

KONKURENTNOST ŠUMSKE BIOMASE U HRVATSKOJ U UVJETIMA TRŽIŠTA CO₂ EMISIJA

IMPACTS OF EMISSION TRADING MARKETS ON COMPETITIVENESS OF FORESTRY BIOMASS IN CROATIA

Robert PAŠIČKO*, Davorin KAJBA**, Julije DOMAC***

SAŽETAK: Povećanje udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj energetske bilanci, jedan je od strateških ciljeva sve većeg broja zemalja. Hrvatska se potpisivanjem međunarodnih sporazuma (npr. Kyoto protokol) te sukladno zakonodavstvu i priključivanju u EU, obvezala na poduzimanje konkretnih koraka u povećanju korištenja obnovljivih izvora energije, sukladno paradigmi "održivog razvoja". Biomasa je obnovljivi izvor energije s najvećim potencijalom u Hrvatskoj.

Cilj ovoga rada je istražiti utjecaj Europske sheme trgovanja emisijama (EU ETS sheme) i fleksibilnih mehanizama Kyotskog protokola – mehanizam Zajedničke implementacije (engl. Joint Implementation, JI) i Mehanizam čistog razvoja (engl. Clean Development Mechanism, CDM) na konkurentnost proizvodnje energije iz biomase. Osnovna prednost biomase u odnosu na fosilne energente je u tome, što se sagorijevanje biomase u svrhu proizvodnje energije smatra tehnologijom bez CO₂ emisija, budući da biomasa tijekom rasta veže CO₂ u procesu fotosinteze.

EU ETS ograničava količinu emisija na nacionalnoj razini i na razini pojedinog postrojenja. Svako postrojenje ima određenu količinu emisijskih prava tj. kvotu kojom raspolaže, a trgovanje između postrojenja omogućuje zadovoljenje vlastite kvote kupnjom emisijskih prava na tržištu. JI i CDM projekti predstavljaju fleksibilne Kyoto mehanizme, koji omogućuju ulaganje u projekte smanjenja emisija izvan zemlje ulagača. Količina emisija smanjena u tim projektima koristi se za zadovoljenje kvota zemlje ulagača, a cijenu CO₂ emisija po toni iz takvih projekata određuje tržište. Ograničenje količine emisija koju pojedino postrojenje ili država smiju emitirati, dovodi do povećanja konkurentnosti niskougličnih tehnologija.

Pri iskorištenju i gospodarenju šumama nastaju velike količine šumske biomase koje se mogu upotrijebiti za proizvodnju energije. Dodatna mogućnost iskorištenja biomase, ostvariva je osnivanjem bioenergetskih plantaža i proizvodnjom biomase šumskih vrsta drveća u kulturama kratkih ophodnji (KKO).

U radu je prikazan matematičko ekonomski model, pomoću kojega je moguće istražiti utjecaj cijene CO₂ emisija na investicijske odluke o gradnji novih elektran ili o promjeni goriva u postojećim elektranama, odnosno istražiti pri kojim cijenama prava na emisiju biomasa postaje konkurentna drugim tehnologijama. Promjena cijene CO₂ emisija utječe na kratkoročne (KGT) i dugoročne granične troškove (DGT) proizvodnje električne energije,

* Robert Pašičko, dipl. ing., Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, Zagreb

** Izv. prof. dr sc. Davorin Kajba, Šumarski fakultet, Svetošimunska 25, Zagreb,
E-mail: davorin.kajba@zg.t-com.hr

*** Dr. sc. Julije Domac, Regionalna agencija sjeverozapadne Hrvatske, Dužice 1, Zagreb

pri čemu odluka o promjeni goriva u postojećoj elektrani ovisi o kretanju kratkoročnih graničnih troškova, dok o dugoročnim graničnim troškovima ovisi investicijska odluka prilikom izgradnje novih elektrana.

Rezultati primijenjenog modela govore kako je u postojećim elektranama (usporedba KGT) uporaba biomase kao goriva konkurentnija od uporabe plina čak i bez poticajne cijene od prodaje električne energije iz obnovljivih izvora (feed-in tarifom), dok je biomasa konkurentnija od ugljena pri cijeni emisijskih prava višoj od 26 €/tCO₂. Prilikom donošenja odluke o investiranju u novu elektranu (usporedba DGT) s postojećom feed-in tarifom, investiranje u izgradnju elektrane na biomasu je isplativija odluka od investiranja u elektranu na ugljen ili plin (pri nižoj cijeni biomase) dok je pri višoj cijeni biomase ona isplativija kod cijene emisijskih prava više od 21 €/tCO₂.

Ključne riječi: šumska biomasa, EU ETS shema, kratkoročni i dugoročni granični troškovi (KGT i DGT), Hrvatska

UVOD – Introduction

Šumska biomasa je organska tvar nastala u šumskom ekosustavu, a čine je drveće i grmlje koje se koristi za mehaničku i kemijsku preradu te za termičko korištenje, kao ogrjevno drvo. Pri klasičnom se iskorištavanju šuma koristi drvo debala, krošanja i grana, čiji je promjer s korom na tanjem kraju veći od 7 cm. Na taj se način iskorišti do 70 % drvene mase zrelih sastojina, dok kod mlađih sastojina to može iznositi i do 50 % (Sušnik i Benković 2007). Udio ostataka i otpada ovisi o brojnim čimbenicima, a prosječno se za sve sastojine i vrste drveća pri sječi i izradi te privlačenju, može procijeniti na više od 20 %. Tako je sa stajališta šumarske struke biomasa dio koji se može iskoristiti za dobivanje energije, odnosno drvna masa dobivena uzgojnim zahvatima kao što su čišćenja i prorede ili kao ostatak od sječe (granjevina, ogrjevno drvo). Izvršenje sječe u "Hrvatskim šumama" d.o.o. za razdoblje 1996–2005. godine iznosilo je svega 57 % etata, a dugoročnim programom gospodarenja od 2006–2015. godine povećava se proizvodnja prostornog drva (uglavnom ogrjevnog drva, granjevine i ostataka pri sječi i izradi) na 1,3 milijuna m³ godišnje, a procjena količine ostataka šumske biomase kao energenta samo u državnim šumama iznositi će preko 2,6 milijuna m³.

Realizirajući današnji etat od 6,5 milijuna m³ od čega se dobiva: 30 % trupaca (blizu 2 milijuna m³), 10 % ili 650.000 m³ celuloznog drva, 20 % ili 1,3 milijuna m³ ogrjevnog drveta, a ostatak od 40 % ili oko 2,6 milijuna m³ predstavlja drvo tanjih dimenzija, koje kao otpad ostaje neiskorišteno u šumi. Od navedenog današnjeg otpada, moglo bi se 62,5 % ili 1,641.000 m³ koristiti za proizvodnju energije, a 37 % ili 984.000 m³ ostajalo bi u šumi kao otpad. Ako toj količini pridružimo količinu od 1,312.800 m³ ogrjevnog drveta, dobijemo ukupnu količinu drva za energiju koja bi već danas mogla doći na energetska tržišta u iznosu od 2,953.800 m³, što je 45 % od ukupnog godišnjeg etata (Tomić i sur. 2008). Također se tome može pridružiti i potencijalno sitno energetska drvo (manjih promjera od

3–7 cm), a koje ne ulazi u bruto masu, a iznosi oko 4 % od bruto mase etata, a zajedno s otpadom (panjevina, kora, gule, otpad od sječe), te uz sitno drvo iz prorjeđivanja sastojina i šumskouzgojnih radova, može doseći količinu od još oko 580.000 m³ (Sučić, 2008). Znači da bi ukupna raspoloživa količina šumske biomase za energiju iznosila oko 3,5 milijuna m³ godišnje.

Na temelju istraživanja, utvrđeno je da bi se i u sljedećem razdoblju moglo dobivati 30 % trupaca, 10 % drva za celulozu, a za bioenergiju bi se moglo koristiti 45 % ili oko 3 milijuna m³, dok bi u šumi ostao otpad od 15 % ili približno oko 1 milijun m³. Intenzivnijim gospodarenjem moglo bi se povećati godišnji etat (sječu) na oko 7,3 milijuna m³, pa bi se u tom slučaju raspolagalo sa 3,3 milijuna m³ šumske biomase za energiju, što je u odnosu na današnje povećanje za 2 milijuna m³. Realno je i da se predviđena količina drvene mase za bioenergiju može povećati primjenjujući naprednije uzgojne zahvate, boljim održavanjem i čišćenjem šuma, pa bi biomasa za proizvodnju biogoriva mogla iznositi 4,2 milijuna m³. Potencijalne količine biomase do 2020. godine iznosile bi prosječno 4,5 milijuna m³, od toga 3,3 milijuna m³ iz šumarskog i 1,2 milijuna m³ iz drvo-prerađivačkog sektora, zaključak je Radne skupine za energetska iskorištavanje šumske biomase pri Ministarstvu regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva.

Prosječna cijena drvene sječke danas iznosi oko 251 kuna/tona (35 €/t) s mokrinom od oko 30–35 %, te predstavlja cijenu s uključenim utovarom za kamionski prijevoz. Cijena uključuje cijenu sječenice kraj panja oboreno, te radove usluge (iznošenje, iveranje i utovar). Cijena s transportom za korisnika na razdaljinu do 50 km povećava ukupnu cijenu za približno 72 kn, odnosno tada bi ona iznosila oko 45 €/t (Sučić, 2008).

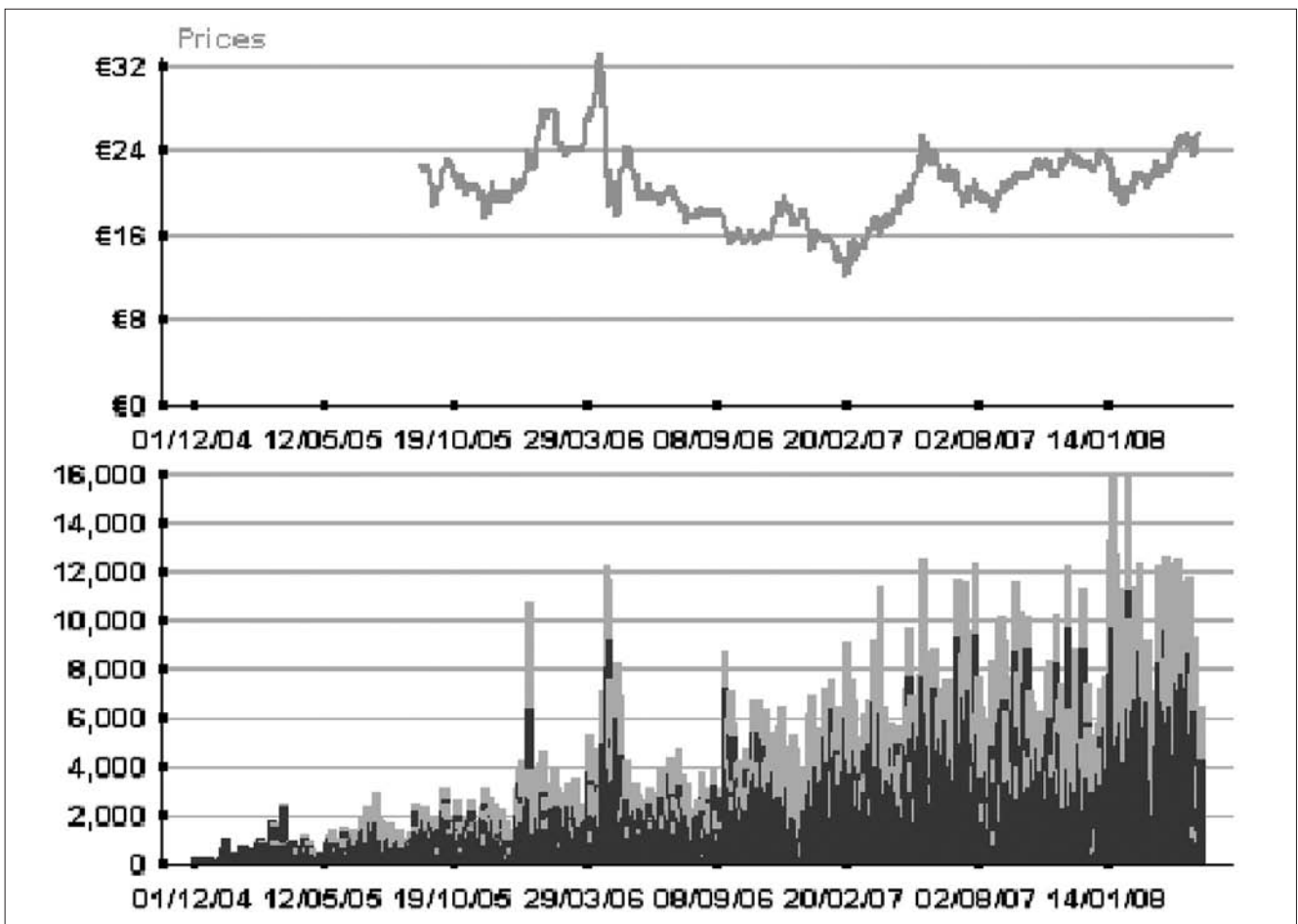
EUROPSKA SHEMA TRGOVANJA EMISIJAMA (EU ETS) European Emission Trading Scheme (EU ETS)

Europska komisija je 13. listopada 2003. godine objavila Direktivu o trgovanju emisijama (E C, 2003), koja definira Europsku shemu trgovanja emisijama, EU ETS. Sama shema pokrenuta je 1. veljače 2005. godine, kao najveći međunarodni sustav trgovanja emisijama u kojemu sudjeluje preko 12.000 energetske intenzivnih postrojenja. EU ETS je shema sa zadanim apsolutnim ograničenjem emisija, gdje svako postrojenje dobije određeni broj emisijskih prava tj. emisijsku kvotu. Omogućeno je trgovanje među postrojenjima, tako da se osim vlastitim smanjenjem emisija, kvota može zadovoljiti i kupovinom emisijskih prava na tržištu. Prva faza trgovanja trajala je od 2005–2007., a druga traje od 2008–2012. i koincidirat će s prvim obvezujućim razdobljem Kyoto protokola. Treća faza najavljena je novim energetsko-klimatskim paketom Europske Komisije (E C, 2008), trenutačno je u fazi planiranja i tra-

jat će od 2013–2020. Postavljeni cilj za EU ETS je smanjenje emisija od 21 % u odnosu na 2005. godinu, do čega će se doći linearnim godišnjim smanjenjem.

U 2006. godini vrijednost svjetskih tržišta emisija iznosila je 22.5 milijardi €, a trgovalo se sa 1.6 milijardi tona CO₂ (PointCarbon, 2008). U ukupnoj svjetskoj trgovini emisijama na EU ETS shemu otpalo je 62 posto ukupnog volumena i preko 80 posto ukupne vrijednosti svih tržišta emisija. Tijekom 2007. godine, ukupni volumen trgovanja porastao je 64 % na 2.7 milijardi tona CO₂, dok je svjetsko tržište emisija u 2007. vrijedilo nešto više od 40 milijardi € (povećanje od 80 % u odnosu na 2006).

Transakcije na EU ETS tržištu vršile su se preko brokera i na burzama. Osim trgovanja preko brokera i burzi postoji i izravno bilateralno tržište na kojemu se transakcije vrše izravno između kompanija.



Slika 1. Kretanje cijene volumena trgovanja CO₂ emisijama (Point Carbon, 2008)

Figure 1 Price and volume of CO₂ emissions traded within EU ETS markets (Point Carbon, 2008)

Tržište emisija znači dodjeljivanje novčane vrijednosti svakoj toni ekvivalentnog CO₂, tj. emisijskome pravu (slika 1). Dodjeljivanje novčane vrijednosti ugljičnome dioksidu, odnosno novčana vrijednost prava na emisije,

utječe na troškove proizvodnje električne energije, pa tako elektrane koje emitiraju manje CO₂ postaju konkurentnije kako raste cijena CO₂ emisija.

JI I CDM MEHANIZMI – JI and CDM Mechanisms

Osim sudjelovanja u EU ETS shemi, Hrvatska svoju emisijsku kvotu može ispunjavati i sudjelovanjem u JI i CDM projektima, te vlastitim mjerama smanjenja emisija. Vlastite mjere smanjenja emisija odnose se na sve projekte unutar same države, čijom se realizacijom smanjuju emisije (kao što su mjere energetske učinkovitosti, povećanje udjela obnovljivih izvora energije ili povećanjem upijanja CO₂ osnivanjem novih šumskih nasada ili boljim održavanjem postojećih). JI i CDM mehanizmi zajedno sa sustavom trgovanja emisijama omogućuju da se smanjenja emisija provode tamo gdje je to najjeftinije.

Kod CDM projekata zemlja domaćin (zemlja u razvoju) ne podliježe ograničenju emisija (takve zemlje u susjedstvu su primjerice Bosna i Hercegovina, Srbija, Albanija, Makedonija), a realizacijom projekta ostvaruju se emisijske uštede u zemlji domaćinu, tzv. CER bonusi (*engl. Certified Emission Reductions*). Ostvareni CER bonusi prebacuju se na račun zemlje ulagača te time ukupan broj emisijskih prava u sustavu raste. Ratifikacijom Kyotskog protokola Hrvatskoj se otvara mogućnost ulaganja u CDM projekte. Ukoliko primjerice Hrvatska razvije projekte korištenja biomase u nekoj od zemalja koje ne podliježu ograničenju emisija, tada iskorištavanje biomase može i neizravno utjecati na smanjenje hrvatskih emisija i zadovoljenje emisijske kvote.

Kod JI projekata obje stranke (i zemlja domaćin i zemlja ulagač) podliježu ograničenju emisija, pa radi zadovoljenja ukupne kvote zbroj emisijskih prava mora ostati nepromijenjen. Zato se ušteda u emisijama, ERU bonusi (*engl. Emission Reduction Units*) prebacuje s računa zemlje domaćina na račun zemlje ulagača. Broj emisijskih prava zemlje domaćina time se smanjuje, a broj emisijskih prava zemlje ulagača povećava za količinu ostvarenih bonusa. Udomljavanje JI projekata u Hrvatskoj znači mogućnost dodatnih poticaja za povećanje udjela biomase.

U 2007. godini ukupno tržište smanjenjem emisija iz CDM projekata iznosilo je 12 milijardi €, a ukupno je smanjeno za 947 MtCO₂ (Point Carbon, 2008). Trgovanje u sklopu JI projekata iznosilo je 38 MtCO₂ u 2007. godini, s vrijednošću tržišta od 326 milijuna €. Jedan od najvažnijih razloga zašto je vrijednost JI tržišta toliko niža od CDM tržišta je to, što je puno teže verificirati JI emisije (odnosno potrebno je dokazati da bez dotičnog JI projekta do smanjenja emisija ostvarenog projektom ne bi nikada došlo).

Veza EU ETS sheme s JI i CDM mehanizmima definirana je EU Direktivom o povezivanju (E C, 2004) (*engl. Linking Directive*). Direktiva o povezivanju omogućava zemljama sudionicama da svoju obvezu podmire pomoću JI i CDM projekata koji se nalaze izvan zemalja pod EU ETS shemom. Postoji nekoliko mogućnosti za stimulaciju JI i CDM projekata vezanih uz energiju biomase, koji mogu povećati konkurentnost biomase u odnosu na druge potencijalne JI/CDM projekte.

Neke od tih mogućnosti su:

- **Objedinjavanje** (*engl. bundling*)
Prema pravilima o CDM projektima, postoji mogućnost objedinjavanja više manjih projekata s ciljem smanjenja troškova.
- **Programski projekti** (*engl. programmatic projects*)
Ovaj poticaj omogućuje da se specifične projektne aktivnosti, koje uključuju malo smanjenje emisija stakleničkih plinova, na puno mjesta registriraju kao jedinstvena projektna aktivnost. Programski projekti otvaraju nove mogućnosti za realizaciju cijelog raspona projekata koji inače ne bi rezultirali količinom emisijskih prava koja bi projekt učinila isplativim.
- **Davanje prioriteta projektima** koji doprinose očuvanju održivog razvoja.

PRORAČUN KRATKOROČNIH GRANIČNIH TROŠKOVA (KGT)

Short run marginal costs (SRMC)

Da bi se mogao analizirati porast konkurentnosti biomase u odnosu na rast cijena CO₂ emisija, razvijen je teoretski matematički model baziran na prethodnim studijama (I E A, 2003; Pašičko i sur., 2008). Model istražuje utjecaj CO₂ na kratkoročne (u daljnjem tekstu KGT) i dugoročne granične troškove (u daljnjem tekstu DGT) proizvodnje električne energije. O kretanju KGT-a ovisi odluka o promjeni goriva u postojećoj elektrani i promjeni voznog reda u radu sustava (tj. rasporeda ulaska elektrana u pogon), dok o dugoročnim graničnim troškovima ovisi investicijska odluka za građenje novih elektrana (odluka o tome koja elektrana će biti građena). Dok KGT uključuju cijenu goriva i varijabilne troškove

proizvodnje, DGT elektrane dodatno tim troškovima pridružuju fiksne troškove i investicijski trošak. Priloženi model pretpostavlja aukcijski način raspodjele emisijskih prava (pri kojemu bi svih 100 % emisijskih prava elektrana trebala kupiti na aukciji), koji je najavljen za treću fazu EU ETS-a od 2013. godine.

Kao što je već navedeno, na temelju KGT proizvodnje određuje se tržišna cijena električne energije i vozni red elektrana. Ukoliko varijabilni troškovi porastu (zbog rasta troškova CO₂), porasti će i tržišna cijena električne energije. Za graničnu elektranu je porast tržišne cijene jednak dodatnom trošku ugljika. Za sve elektrane ispod granične u voznom redu, porast tržišne cijene je veći od

njenih dodatnih proizvodnih troškova. Uslijed takvih novonastalih tržišnih okolnosti, elektrane koje emitiraju manje CO₂, odnosno one koje ga uopće ne emitiraju, profitirat će od povećanih cijena prodaje električne energije. Dugoročno gledano, elektrane koje ne emitiraju CO₂ potpuno će “izgurati” iz voznog reda one koje ga emitiraju. Osim promjene voznog reda elektrana, dodjeljivanje vrijednosti ugljičnome dioksidu smanjuje konkurentnost svih emitera, a povećava konkurentnost onih proizvođača energije koji emisije uspiju smanjiti ili ih uopće nemaju. Upravo u toj činjenici stvara se potreba za analiziranjem alternativnih mogućnosti proizvodnje energije uz što manje emisije.

Cijena emisijskih prava (zapravo vrijednost tone CO₂) povećava varijabilne troškove fosilnih elektrana, a samim time i njihov KGT, budući da svaka emitirana tona CO₂ emisija zahtijeva raspoloživu količinu emisijskih prava. U prvom koraku (bez uračunate cijene emisijskih prava), KGT se računaju iz cijene goriva i varijabilnih troškova.

Kako bi se mogli usporediti KGT različitih vrsta elektrana, potrebno je usporediti njihove troškove proizvodnje (tablica 1). Postoje dvije organizacije koje istražuju sve oblike korištenja energije i to publiciraju

jednom godišnje. Jedna od njih je Energy Information Agency (EIA), dio Department of Energy (DOE) koji se bavi statistikama vezanim za energiju i izdaje Annual Energy Outlook (AEO). U ovom modelu korištena je njihova najnovija publikacija (AEO, 2008) iz koje je preuzeta većina vrijednosti navedenih u tablici za prikaz KGT i DGT troškova.

Troškovi održavanja i pogona se dijele na fiksne i varijabilne – fiksni troškovi ovise samo o postrojenju, a varijabilni ovise o proizvedenoj električnoj energiji. Fiksni troškovi su najvećim dijelom plaće radnika. Također uključuju i troškove održavanja i zamjene uređaja koji se moraju obavljati periodički, neovisno o radu elektrane (na primjer, baždarenje mjernih uređaja). Trošak proizvodnje električne energije je trošak goriva na pragu nuklearne elektrane (trošak obrade goriva ulazi u troškove održavanja i pogona).

Dugoročna cijena goriva je podatak koji je najteže procijeniti. Analiza dosadašnjih publikacija AEO (1982–2007) pokazuje da su prognoze cijene nafte na razdoblje dulje od 5 godina pogrešne i za više od 50 %. Cijene ugljena i plina slijede cijene nafte, dok je cijena nuklearnog goriva uglavnom neovisna.

Tablica 1 Proračun KGT proizvodnje u modelu Izvor: (AEO, 2008; IEA, 2003; Tuerk i sur., 2006; Parson, 2003)

Table 1 SRMC variables used in the mathematical model Izvor: (AEO, 2008; IEA, 2003; Tuerk i sur., 2006; Parson, 2003)

		Ugljen <i>Coal</i>	Plin <i>Gas</i>	Biomasa <i>Biomass</i> Min	Biomasa <i>Biomass</i> Max	Nuklearna <i>Nuclear</i>
Cijena goriva pri elektrani <i>Fuel Price at Plant</i>	€/GJ	3,12	8,57	2,80	3,60	1,00
Termički stupanj učinkovitosti <i>Thermal Efficiency</i>	%	37,00	50,00	29,00	29,00	40,00
Cijena goriva <i>Fuel costs</i>	€/MWh	30,36	61,70	34,76	44,69	29,32
Varijabilni trošak <i>Variable Costs</i>	€/MWh	3,48	1,52	5,09	5,09	0,37
KGT <i>SRMC</i>	€/MWh	33,84	63,22	39,85	49,78	29,69

Kao što je navedeno u uvodnom poglavlju, prema cjeniku “Hrvatskih šuma” d.o.o. koristi se cijena od 45 €/t šumske biomase. Za drvo vlažnosti 30–35 % vlage uzima se gustoća od 0,8 t/m³. Uz gorivu vrijednost drveta od 10 MJ/m³ (Pašičko, 2009), koja se smatra konzervativnom vrijednošću za šumsku biomasu, dobiva se cijena biomase kao ulazna veličina za model 2,8 €/GJ (za cijenu biomase od 35 €/t) i 3,6 €/GJ (za cijenu biomase od 45 €/t). Te vrijednosti korištene su prilikom proračuna KGT i DGT.

Iz tablice 2 vidljivo je koliko iznosi cijena biomase u nekim europskim zemljama. Budući da postoji znatna razlika u cijeni biomase, raspon cijena nalazi se između dvije vrijednosti – minimalne i maksimalne cijene bio-

mase (u tablici naznačeno kao “Biomasa Min” i “Biomasa Max”). Od europskih država, cijena biomase najniža je u Švedskoj (od 1,8 €/GJ), dok je najviša u Austriji, Njemačkoj i Nizozemskoj (10 €/GJ).

Bitno je istaći da su pri izračunu KGT i DGT korištene različite toplinske učinkovitosti – za termoelektrane na ugljen kod izračuna KGT koristi se 37 % (budući da se radi o postojećim elektranama koje su obično starije), dok se prilikom izračuna DGT koristi 43 % (kako se radi o novim elektranama koje u radu imaju povećanu učinkovitost). Kod plina ti iznosi su od 50 % (postojeće jedinice) do 55 % (nove jedinice). Kako se biomasa kod proizvodnje električne energije koristi gotovo uvijek u kombinaciji s proizvodnjom topline (kogenera-

Tablica 2. Usporedba cijena biomase u Hrvatskoj i zemljama EU (Tuerk i sur., 2006)

Table 2 Comparison of biomass prices in Croatia and EU member states (Tuerk et al., 2006)

Država Country	Minimalna cijena biomase (€/GJ) Minimal biomass price (€/GJ)	Maksimalna cijena biomase (€/GJ) Maximal biomass price (€/GJ)
Austrija - Austria	5,6	8,33
Finska - Finland	2,1	4,0
Njemačka - Germany	2,9	10,0
Nizozemska - Netherlands	3,0	10,0
Švedska - Sweden	1,8	3,3
Velika Britanija - UK	2,2	4,2
Hrvatska - Croatia	2,8	3,6

cija), stupanj toplinske učinkovitosti kod biomase iznosi 80 %. No, budući da u Hrvatskoj još nije definirana poticajna otkupna cijena topline iz biomase, u modelu

smo se ograničili samo na proizvodnju električne energije s koeficijentom učinkovitosti od 29 %.

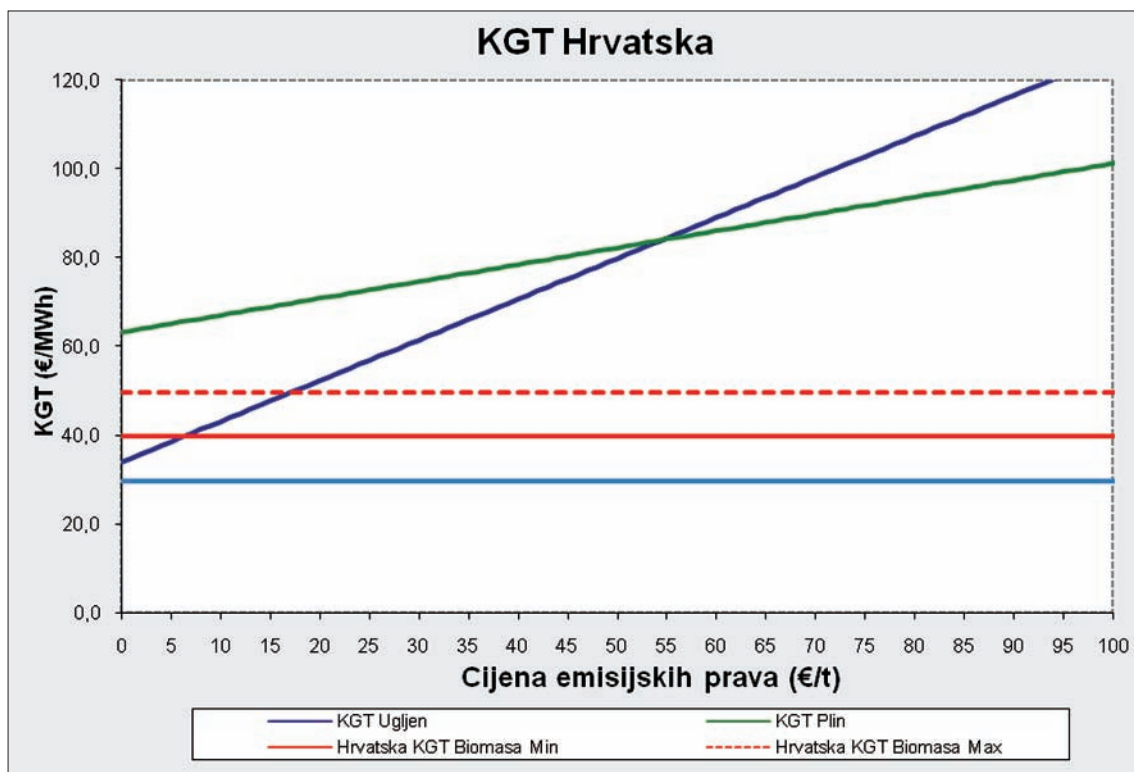
Tablica 3. Faktor emisije po proizvedenoj jedinici energije za različite tipove goriva

Table 3 Emission coefficient per energy unit produced for different fuel types

	Ugljen – Coal	Plin – Gas	Biomasa – Biomass	Nuklearna – Nuclear
Emisije po proiz. jed. energije tCO ₂ /MWh Emission coefficient tCO ₂ /MWh	0,918	0,38	0	0

Sljedeći korak pri opisu matematičkog modela je pridodavanje cijene CO₂ emisija u izračun KGT (tablica 3). Budući da se biomasa smatra emisijski ne-

utralnom ni cijena emisijskih prava ne utječe na izračunu KGT za biomasu (slika 2 i 3).



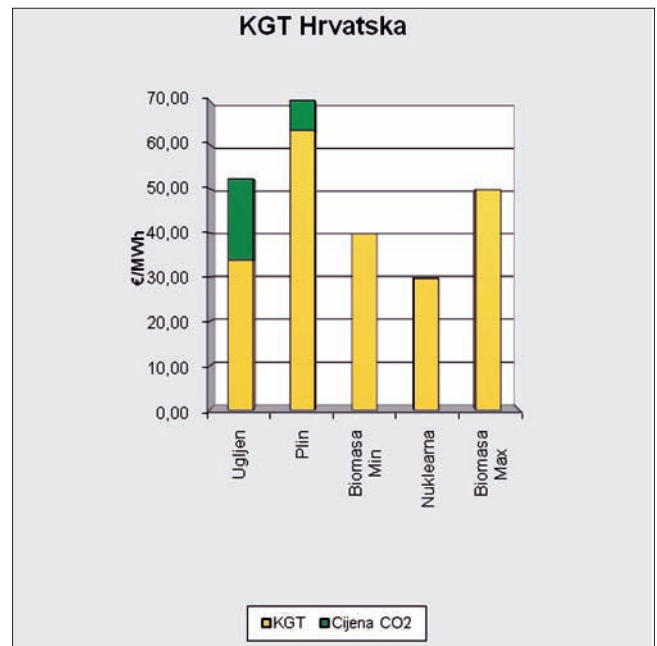
Slika 2. Utjecaj porasta cijene emisijskih prava na kretanje KGT

Figure 2 Impacts of emission allowances price on SRMC

Sa Slike 2 vidi se što se događa s porastom cijene emisijskih prava – mijenjanju se KGT intenzitetom koji ovisi o količini emisija koju ta tehnologija emitira pri proizvodnji jedinice energije (odnosno, za biomasu i

nuklearnu elektranu nema promjene jer nema ni CO₂ emisija). Pri minimalnoj cijeni biomase ona je konkurentnija od plina i kada se ne računa cijena CO₂ prava ili poticajna cijena za otkup proizvedene električne ener-

gije iz biomase. Najkonkurentnija je proizvodnja električne energije korištenjem ugljena i nuklearne elektrane. Nakon 6 €/tCO₂, biomasa postaje konkurentnija od plina i ugljena pri nižoj cijeni, a pri svojoj najvišoj cijeni konkurentnija od plina i ugljena je kod 16 €/tCO₂.



Slika 3. Usporedba porasta KGT proizvodnje iz različitih tehnologija, uz cijenu emisijskih prava od 20 €/t i bez poticajne cijene za proizvedenu električnu energiju iz biomase

Figure 3 Comparison of SRMC for different energy resources with and without emission price 20 €/t (without feed-in tariffs for biomass production)

PRORAČUN DUGOROČNIH GRANIČNIH TROŠKOVA (DGT) Long run marginal costs (LRMC)

U sljedećem dijelu modela proračunati su DGT za elektrane na različita goriva (tablica 4, slika 4 i 5). Kod

donošenje odluke o gradnji nove elektrane, potrebno je uzeti u obzir dodatne troškove zbog emisijskih prava.

Tablica 4. Proračun DGT za potrebe modela, bez poticajne cijene otkupa električne energije. Cijene navedene u € iz 2008. godine (AEO, 2008; IEA, 2003; Tuerk i sur., 2006; Parson, 2003)

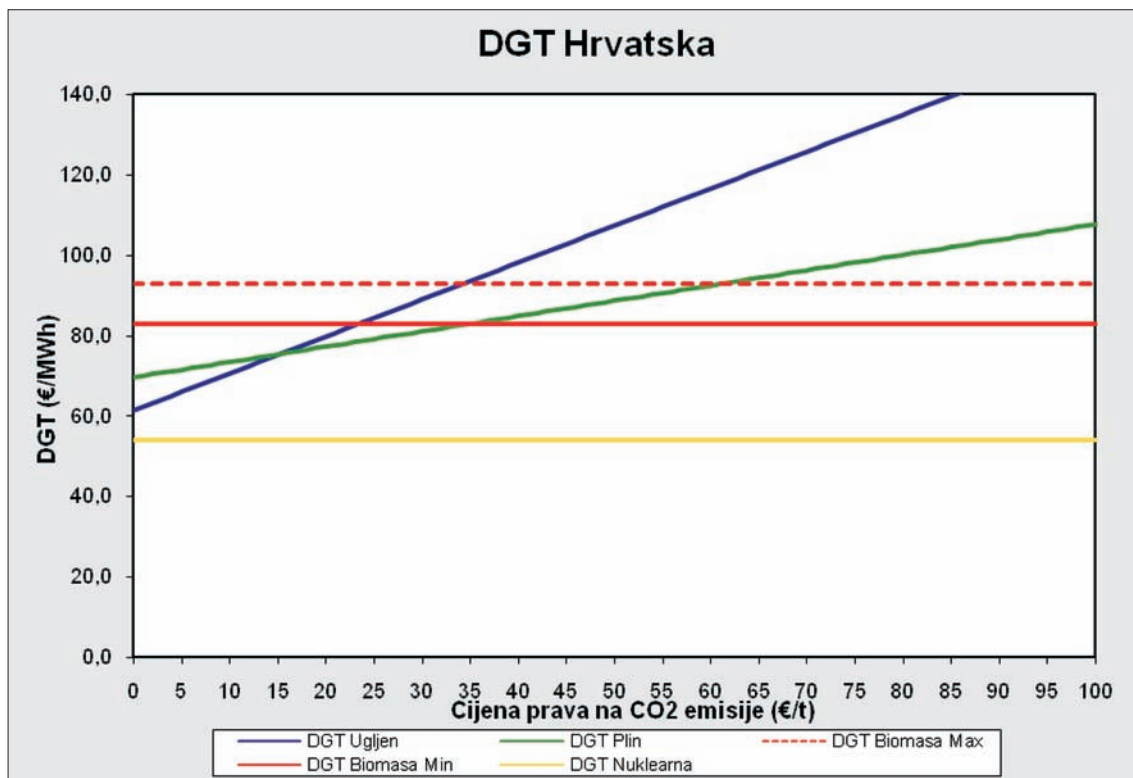
Table 4 LRMC variables used in the mathematical model, without feed in tariffs included, prices in € from 2008 (AEO, 2008; IEA, 2003; Tuerk i sur., 2006; Parson, 2003)

		Ugljen Coal	Plin Gas	Biomasa Min Biomass Min	Biomasa Max Biomass Max	Nuklearna Nuclear
Cijena goriva pri elektrani Fuel Price at Plant	€/GJ	3,12	8,57	2,80	3,60	1,00
Termički stupanj učinkovitosti Thermal Efficiency	%	43,00	55,00	29,00	29,00	40,00
Cijena goriva Fuel Costs	€/MWh	26,12	56,09	34,76	44,69	9,00
Varijabilni trošak Variable Costs	€/MWh	3,48	1,52	5,09	5,09	0,37
Fiksni trošak Fixed Costs	€/MWh	3,98	1,25	6,71	6,71	6,55
Investicijski trošak Costs of Capital	€/MWh	27,78	10,67	36,35	36,35	38,14
DGT LRMC	€/MWh	61,36	69,53	82,91	92,84	54,06

Podaci o cijeni goriva, varijabilnim i investicijskim troškovima preuzeti su većinom iz (AEO, 2008), dok su cijene goriva odraz stanja na europskim tržištima uz cijenu nafte od 84 USD/bbl, za što većina predviđanja pretpostavlja da će odgovarati dugoročnoj cijeni nafte (Mužek, 2008). Kako postoji raspon cijena pri korištenju biomase koriste se dvije rubne cijene. Treba spomenuti kako postoje i velike razlike u investicijskim troškovima za elektrane na biomasu – kod malih (10 kW–50 kW) investicijski troškovi kreću se i preko

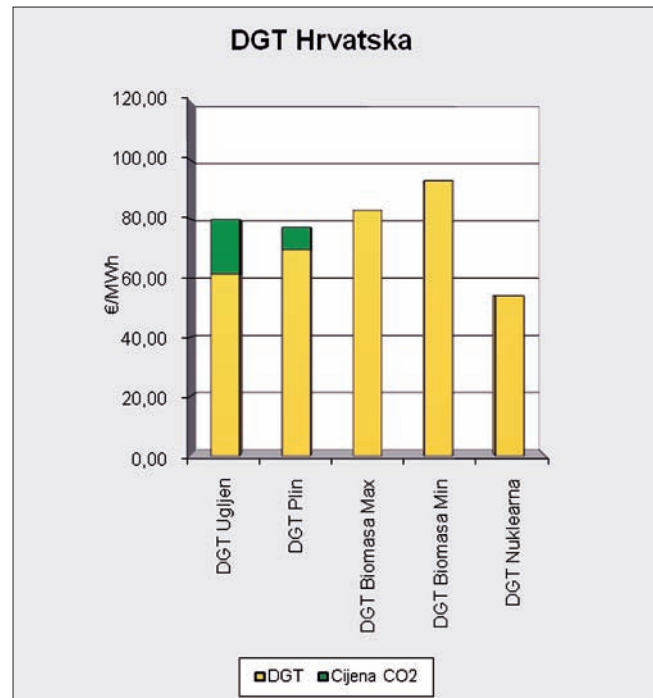
40 €/MWh, dok za velike oni mogu iznositi i samo 12 €/MWh (Parson, 2003). Prilikom opisa karakteristika elektrana na biomasu za potrebe proračuna u modelu odabran je iznos koji odgovara investicijskim troškovima srednje velikih elektrana (AEO, 2008). Investicijski troškovi elektrana uključuju cijenu gradnje elektrane i trošak nabave kapitala za tu gradnju. Cijena gradnje elektrane najčešće se izražava kao osnovna trenutna cijena – ukupna cijena gradnje diskontirana na fiksnu vrijednost dolara (u ovom slučaju, dolar iz 2006.

g.). Tome treba pridodati očekivani trošak kapitala – jenu duga) te očekivani povrat na dio koji investitor financira vlastitim kapitalom (cijenu kapitala).



Slika 4. Utjecaj porasta cijene emisijskih prava na kretanje DGT;
Figure 4 Impacts of emission allowances price on LRM without feed in tariffs

Kao što se vidi sa Slike 4, s porastom cijene emisijskih prava – mijenjanju se DGT intenzitetom koji ovisi o količini emisija koju ta tehnologija emitira pri proizvodnji jedinice energije. U slučaju kad se ne računaju vrijednosti emisijskih prava i bez poticajne cijene otkupa električne energije, najkonkurentnija tehnologija za proizvodnju električne energije je nuklearna, a zatim slijede plin i ugljen. Tehnologija biomase je posljednja u konkurentnosti, no kod 22 €/t niža cijena biomase postaje konkurentnija od plina, a pri cijeni od 33 €/t i viša cijena. Pri cijeni emisijskih prava višoj od 15 €/t, plin postaje konkurentniji od ugljena.



Slika 5. Usporedba porasta DGT proizvodnje iz različitih tehnologija bez poticajne otkupne cijene električne energije, uz cijenu emisijskih prava od 20 €/t

Figure 5 Comparison of LRM for different electricity generation technologies with and without emission price 20 €/t (without feed-in tariffs for biomass production)

UTJECAJ DODATNOG EKONOMSKOG POTICAJA (FEED-IN TARIFE) NA KONKURENTNOST BIOMASE – Impacts of feed in tariffs on biomass competitiveness

U ovom poglavlju dodatno je razmotren utjecaj regulatornog okvira na porast konkurentnosti energije

biomase. U srpnju 2007. godine Vlada je donijela Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz ob-

novljivih izvora energije i kogeneracije koji predviđa poticajnu cijenu proizvođaču električne energije iz obnovljivih izvora energije (Narodne novine, 2007).

Iznos poticaja ovisi o porijeklu biomase i instaliranoj snazi postrojenja (tablica 5).

Tablica 5. Poticaji predviđeni za različite tipove biomase i različitu instaliranu snagu (Narodne novine, 2007)

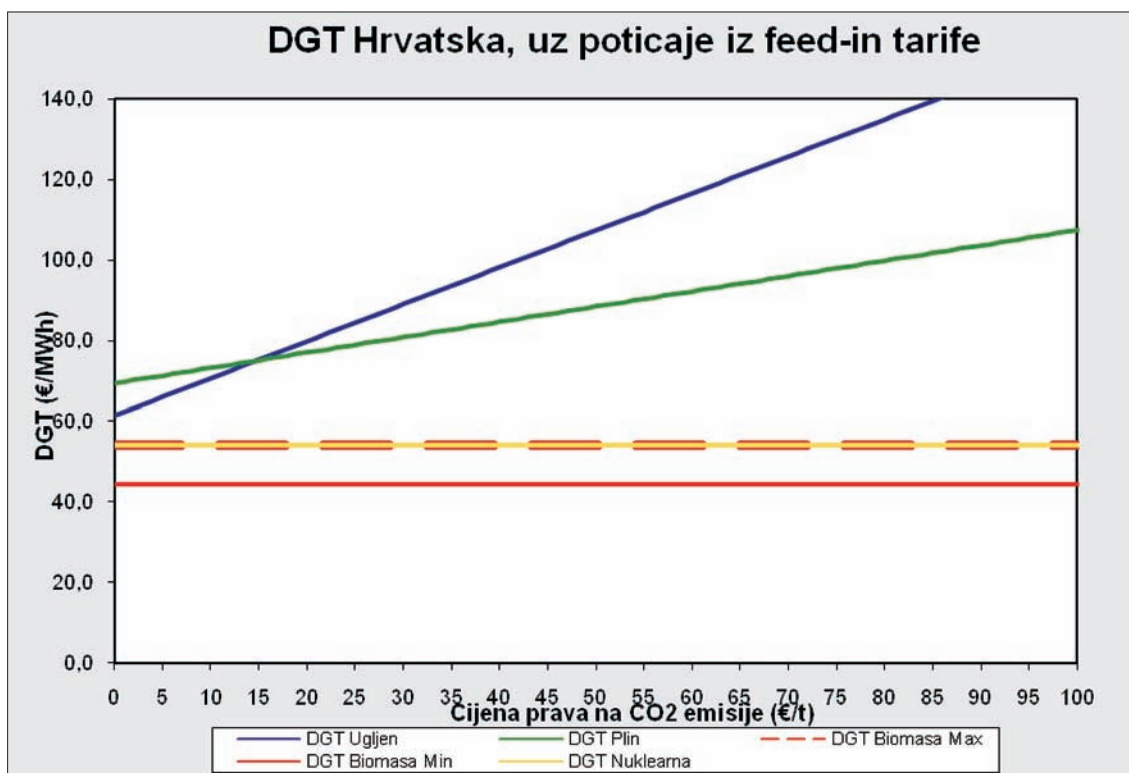
Table 5 Feed in tariffs for different biomass types and for different capacities installed (Narodne novine, 2007)

Vrsta biomase - Biomass type	Cijena biomase - Biomass price
Kruta biomasa iz šumarstva i poljoprivrede (granje, slama, koštice...) – ispod snage 1 MW <i>Biomass from forestry and agriculture (branches, straw, seeds...) – below installed 1 MW</i>	1,20 kn/kWh
Kruta biomasa iz drvno - prerađivačke industrije (kora, piljevina, sječka...) – ispod snage 1 MW <i>Biomass from wood processing industry (bark, sawmill, wood chops...) – below installed 1 MW</i>	0,95 kn/kWh
Kruta biomasa iz šumarstva i poljoprivrede (granje, slama, koštice...) – preko snage 1 MW <i>Biomass from forestry and agriculture (branches, straw, seeds...) – below installed 1 MW</i>	1,04 kn/kWh
Kruta biomasa iz drvno-prerađivačke industrije (kora, piljevina, sječka...) – preko snage 1 MW <i>Biomass from wood processing industry (bark, sawmill, wood chops...) – below installed 1 MW</i>	0,83 kn/kWh

Donošenjem Zakona o energiji i Zakona o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom uveden je jedinstveni tarifni sustav za proizvodnju toplinske energije za cijelu Hrvatsku. No, visina tarifnih stavki još nije određena, a određuje ih Vlada na prijedlog Ministarstva gospodarstva koje pribavlja mišljenje Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA).

Budući da visina tarifnih stavki za proizvodnju topline još nije određena, pri sagledavanju utjecaja ekonomskih poticaja model koristi samo poticaje pri

proizvodnji električne energije. Model koristi uniformnu tarifu za poticaje od 1,00 kn/kWh proizvedene električne energije iz biomase (kao aritmetičku sredinu vrijednosti navedenih u tablici 5). Elektrana na biomasu s termičkim stupnjem iskorištenja od $\mu = 80\%$ ima stupanj iskorištenja pri proizvodnji električne energije $\mu_e = 29\%$, dok je ostatak proizvodnja toplinske energije $\mu_e = 51\%$. To uzrokuje smanjenje varijabilnog troška za 38,6 €/MWh (uz 1€ = 7,5 kn) te dovodi do promjene iznosa KGT i DGT.



Slika 6. Utjecaj porasta cijene emisijskih prava na kretanje DGT uz poticaj iz feed-in tarife; Pri svojoj nižoj i višoj cijeni, biomasa je konkurentnija od ugljena i plina i bez porasta cijene emisijskih prava.

Figure 6 Impacts of emission allowances price on LRM with included feed in tariffs; for its both prices, biomass gets more competitive than gas or coal even without emission allowances price.

PROIZVODNJA BIOMASE U KULTURAMA KRATKIH OPHODNJI (KKO) Biomass production in Short Rotation Cultures (SRC)

Biomasa šumskih vrsta drveća može se proizvoditi u intenzivnim uzgajanjem brzorastućih vrsta drveća kao što su vrbe, topole, joha, breza, bagrem i dr. Ovakav način proizvodnje biomase šumskih vrsta poznat je pod nazivima "kulture kratkih ophodnji" ili "intenzivne kulture kratkih ophodnji" (engl. Short Rotation Coppice ili Short Rotation Intensive Culture). Kulture kratkih ophodnji (KKO) predstavljaju energetske nasade, najčešće vrba i topola, koji se koriste za toplinsku i/ili električnu energiju. Općenito poznata kao proizvodnja biomase u kratkim ophodnjama, takva se izdanačka kultura ili panjača pomlađuje izdancima iz panja ili korijena. Ovi nasadi koriste se kao panjače u vrlo kratkim ciklusima i sijeku se svake druge do pete godine, i osnivaju se s velikom gustoćom sadnje (od 1.000 do 30.000 biljaka/ha). Nakon sječe potjeraju novi izbojci koji će se ponovo posjeći za dvije do pet godina, te će se na taj način sjeći u sukcesivno šest do osam ophodnji, nakon čega se kultura mora iskrčiti i zamijeniti novim sadnim materijalom, budući da vitalitet stabilaca, kao i produkcija biomase, tada značajno opada.

U Hrvatskoj su provedena istraživanja i dobiveni su prvi rezultati u energetskim nasadima selekcioniranih klonova stablastih vrba i topola, odnosno mogućnosti proizvodnje biomase u zavisnosti od staništa, klona i razmaka sadnje te gustine sklopa (Kajba i sur. 2004, Bogdan i sur. 2006).

Kulture kratkih ophodnji definiraju se i kao intenzivni nasadi brzorastućih vrsta drveća na tlima koja su napuštena, na kojima poljoprivredna proizvodnja nije rentabilna ili su nepodesna za uzgoj vrjednijih šumskih vrsta. Takve plantaže brzorastućeg drveća nazivaju se i energetske nasadi ili energetske plantaže. Osnovna funkcija takvog tipa kultura je proizvodnja biomase kao obnovljivog i ekološki prihvatljivog energenta, ali uz to one mogu biti alternativna "poljoprivredna" kultura (na lošijim staništima) i imaju funkciju diversifikacije poljoprivrednog zemljišta, pružaju mogućnost ekološki naprednijeg načina pročišćavanja otpadnih voda i tla (fitoremedijacija), a služe i za vezivanje povećane količine atmosferskog ugljika (ponora ugljika), kako navode Verwijst (2003), Volk i sur. (2004), Smart i sur. (2005).

Do sada je u Hrvatskoj na različitim staništima, uglavnom u nizinskom panonskom području, postavljeno nekoliko pokusnih ploha s brzorastućim šumskim vrstama (Kajba i dr. 1998, Kajba 1999a, Kajba 1999b, Kajba i sur. 2004, Bogdan i sur. 2006). Klono-vi stablastih vrba pokazali su u dosadašnjim istraživanjima najveći potencijal produkcije biomase u kratkim ophodnjama do pet godina (Kajba i sur. 2007, 2007). Cilj je dosadašnjih istraživanja bio utvrditi potencijal produkcije biomase izabranih klonova vrba i to-

pola u kratkim ophodnjama na staništima nepodesnim za uzgoj vrjednijih vrsta šumskog drveća ili za poljoprivrednu proizvodnju.

Osim sadašnje raspoložive šumske biomase daljnje povećanje moguće je ostvariti osnivanjem kultura kratkih ophodnji (KKO) ili uzgajanjem kultura i plantaža brzorastućih vrsta šumskog drveća na 180.000 ha neobraslog šumskog zemljišta. Također su na temelju pedološke obrade poljoprivrednih površina izrađene namjenske pedološke karte Republike Hrvatske i hidro-pedološka karta u kojima su navedene potencijalne površine za uzgoj poljoprivrednih kultura (Tomčić i dr. 2008). U hrvatskoj poljoprivredi također postoje potencijalne mogućnosti za proizvodnju obnovljive energije kroz proizvodnju biogoriva na neobrađenim dijelovima površina (947.000 ha), dok bi se dio površina s privremeno nepogodnim tlima (611.324 ha) i površina s trajno nepogodnim tlima (806.648 ha) mogao iskoristiti za osnivanja kultura kratkih ophodnji sa šumskim vrstama drveća u periodu od maksimalno 15 godina.

Tijekom fotosinteze šumsko drveće apsorbira ugljični dioksid i ugrađuje ga u svoje stanišne stjenke, u nadzemnom dijelu u deblovinu, lišće i grane, a u podzemnom dijelu u svoj korijenov sustav, u strukturu biomase i u tlo. Iz tih razloga akumulacija ugljika u šumskim ekosustavima općenito ima veliko značenje, uglavnom iz pogleda stakleničkih plinova i potencijalnog zagrijavanja atmosfere. Za ugljični dioksid (CO_2) općenito se radi kalkulacija za vezanje ugljika biomasom i tlom za jednu godinu po hektaru ($\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$). U mnogim je zemljama potaknuto osnivanje kultura kratkih ophodnji uz potpore i poticaje neprehrambenih kultura i sukladno izmjenama korištenja tla, s ciljem povećanja površina i udjela korištenja biogoriva te poniranje ugljičnog dioksida. Istraživanja vezivanja CO_2 provedena su u sjevernoj Italiji s klonom topole 'I-214' pri klasičnom plantažiranju i razmaku sadnje od 6 × 6 m (270 biljaka po ha), kao i kod klona topole 'Pegaso' u gustoj sadnji u kulturi kratke ophodnje (12.500 biljaka/ha), tijekom prve tri godine od osnivanja (Zenone i sur. 2008). Utvrđeno je prosječno godišnje poniranje od 19,1 do 23,2 $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ kod plantaže topola, odnosno od 11,2 do 27,5 $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ kod kulture kratkih ophodnji. Prema utvrđenom modelu, kroz deset godina uzgajanja, kod klasične kulture topola rezultiralo bi s ponorom CO_2 od 130 do 183 $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$, zavisno o ulaganju i korištenju agrotehničkih mjera, dok bi u istom periodu od deset godina kod kulture kratkih ophodnji topola to iznosilo od 134 do 235 $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$.

Istraživanja provedena na temu vezivanja CO_2 iskazala su različite vrijednosti kod više različitih vrsta drveća, npr. ona su kod alepskog bora iznosila u prosjeku oko 48, pinjola 27, a hrasta plutnjaka svega 4,5 $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$

godišnje, dok se kod nekih južnoameričkih vrsta šumskog drveća prosječni godišnji ponor kretao od 8,6 do 14,3 t CO₂ ha⁻¹.

Cijena osnivanja jednog ha kulture kratkih ophodnji vrba (9000 kom/ha), koje su se u dosadašnjim istraživanjima iskazale najpodesnije s obzirom na produkciju i na uzgajanje na težim tipovima hidromorfnih tala, iznosi oko 30.000 kuna. U cijenu su uračunati troškovi pripreme zemljišta (oranje i tanjuranje), cijena sadnica (reznica) i dvije njege tijekom prve godine od osnivanja kulture. Procjene dodatnog troška za održavanje su još uvrstiti 18.000 kn/ha (što uključuje 20 nadnica za okopavanje i dvije međuredne ophodnje s mehanizacijom). Time se ukupni troškovi osnivanja i održavanja jednog hektara KKO procjenjuju na 48.000 kn.

U prosjeku kod šest ophodnji (šest sječa od po dvije godine) i s prosječnom produkcijom od 15 t suhe tvari godišnje, ukupna proizvodnja iznosila bi kroz 12 godina na 180 tona suhe drvene tvari. Također bi prosječno ve-

zivanje od 15 t CO₂ ha⁻¹ godišnje u istom razdoblju vezalo ukupno 180 t CO₂ ha⁻¹.

Kalkulacija kulture kratkih ophodnji za klonove vrba kroz 12 godina proizvodnosti iznosila bi:

- ukupni troškovi osnivanja i održavanja ha KKO = 48.000 kn
 - ukupno je tako proizvedeno 180 t suhe drvene tvari
 - cijena tako proizvedene biomase je 48.000 kn / 180 t = 267 kn (tj. 35,6 €/t)
- Ta cijena odgovara tržišnoj cijeni biomase (35 €/t)
- ukupna količina vezanih CO₂ emisija iznosila bi 180 t CO₂/ha

Kalkulacija je izvedena bez poticaja od strane Ministarstva, koji u zemljama EU iznosi od 110 do 220 € ha/godišnje, a za period od 15 godina dobivaju se povlastice oslobođenja od plaćanja poreza na zemljište (usmeno priopćenje, ASO projekt).

ZAKLJUČCI – Conclusions

Europska shema trgovanja emisijama (EU ETS) ograničava količinu emisija na nacionalnoj razini i na razini pojedinog postrojenja. II i CDM projekti predstavljaju fleksibilne Kyoto mehanizme koji omogućuju ulaganje u projekte smanjenja emisija izvan zemlje ulagača. Količina emisija smanjena u tim projektima koristi se za zadovoljenje kvota zemlje ulagača, a cijenu CO₂ emisija po toni iz takvih projekata određuje tržište. Ograničenje količine emisija koju pojedino postrojenje ili država smiju emitirati dovodi do povećanja konkurentnosti niskougljičnih tehnologija. Trenutačne CO₂ emisije u Hrvatskoj dosegnut će količinu dodijeljenu Kyotskim Protokolom u 2009. godini (Pašičko, 2008), pri čemu se naglašava potreba za domaćim mjerama smanjenja emisija u budućnosti. Ulaskom u EU Hrvatska će pristupiti i shemi trgovanja emisijama u EU, što će dodatno naglasiti potrebu za projektima koji bi smanjili CO₂ emisije. Korištenje biomase kao energenta dokazano je razvijena praksa u brojnim zemljama, pa je tako iznos ukupne električne energije proizvedene iz biomase u zemljama članicama EU u 2007. godini bio trostruko veći od ukupne potrošne u Hrvatskoj (EurObserv`ER, 2008).

Pri iskorištenju i gospodarenju šumama nastaju velike količine šumske biomase koje se mogu upotrijebiti za proizvodnju energije. Dodatna mogućnost iskorištenja biomase ostvariva je osnivanjem bioenergetskih plantaža i proizvodnjom biomase šumskih vrsta drveća u kulturama kratkih ophodnji (KKO). Među brojne prednosti KKO spadaju mogućnost primjene na degradiranim zemljištima, vezivanja CO₂ i dodatno zapošljavanje ruralnog stanovništva.

Promjena cijene CO₂ emisija utječe na kratkoročne (KGT) i dugoročne granične troškove (DGT) proizvo-

dnje električne energije, pri čemu odluka o promjeni goriva u postojećoj elektrani ovisi o kretanju kratkoročnih graničnih troškova, dok o dugoročnim graničnim troškovima ovisi investicijska odluka prilikom izgradnje novih elektrana.

Rezultati primijenjenog modela govore kako je u postojećim elektranama (usporedba KGT), upotreba biomase kao goriva konkurentnija od upotrebe plina ili ugljena, čak i bez poticajne cijene od prodaje električne energije iz obnovljivih izvora (*feed-in tarife*). Usporedba KGT važna je kad su te elektrane već izgrađene i međusobno se uspoređuje konkurentnije gorivo za spaljivanje.

Prilikom donošenja odluke o investiranju u novu elektranu, međusobno se uspoređuju DGT pojedinih tehnologija. S postojećom *feed-in* tarifom investiranje u izgradnju elektrane na biomasu je isplativija odluka od investiranja u elektranu na ugljen ili plin, i pri nižoj i pri višoj cijeni biomase. Ovakvi rezultati analize govore o snažnoj ekonomskoj opravdanosti investiranja u energetske korištenje biomase u Hrvatskoj.

Primjenom poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora počeo je nagli razvoj projekata korištenja biomase u energetske svrhe. Velika prepreka razvoju tih projekata bila je nemogućnost investitora da ugovorno kupi biomasu za sljedećih 12+3 godine. Nedavnim sklapanjem predugovora o isporuci biomase (Pašičko, 2009), stvaraju se uvjeti za razvoj tržišta biomase, u što će s vremenom uključiti i vlasnici privatnih šuma.

LITERATURA – References

- Bogdan, S., D. Kajba, I. Katičić, 2006: Produkcija biomase u klonskim testovima stablastih vrba na marginalnim staništima u Hrvatskoj. Glas. šum. pokuse, pos. izd. 5: 261–275.
- Domac, J., M. Beronja, N. Dobričević, M. Đikić, D. Grbeša, V. Jelavić, Ž. Jurić, T. Krička, S. Matić, M. Oršanić, N. Pavičić, S. Pliestić, D. Salopek, L. Staničić, F. Tomić, Ž. Tomšić, V. Vučić, 1998: Bioen Program korištenja biomase i otpada: Prethodni rezultati i buduće aktivnosti. Energetski institut "Hrvoje Požar". Zagreb. 180 str.
- Domac, J., M. Beronja, S. Fijan, B. Jelavić, V. Jelavić, N. Krajnc, D. Kajba, T. Krička, V. Krstulović, H. Petrić, I. Raguzin, S. Risović, L. Staničić, H. Šunjić, 2001: BIOEN Program korištenja energije biomase i otpada. Nove spoznaje i provedba. 144 str.
- EC, 2003: Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC, Official Journal of the European Union, studeni, 2003.
- EC, 2004: Directive 2004/101/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 amending Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanisms, Official Journal of the European Union, studeni 2004.
- EC, 2008: "Commission's Climate and Energy Package", 23 siječnja 2008, dostupno na http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm
- EIA, 2008: Energy Information Administration, Annual Energy Outlook, 2008, DOE/EIA-0383 (2008).
- EurObserv`ER, 2008: Solid Biomass Barometer, No. 188, prosinac 2008.
- IEA, 2003: Emissions trading and its possible impacts on investment decisions in the power sector, 2003 IEA Information Paper. Dostupno na: <http://iea.org/textbase/papers/2003/cop9invdec.pdf>
- Kajba, D., 1999a: Short Rotation Crops in Croatia. U: Christersson, L. & S. Ledin (ur.) Proceeding of the first meeting of IEA, Bioenergy Task 17. June 4–6 1998. Uppsala. Sweden. SLU. str. 37–40.
- Kajba, D., 1999b: Arborescent Willow Biomass Production in Short Rotations. U: Overend, R.P. & E. Chornet (ur.) Proc. of the fourth Biomass Conference of the Americas. August 29 – September 2. Oakland. California. USA. str. 55–60.
- Kajba, D., A. Krstinić, N. Komlenović, 1998: Proizvodnja biomase stablastih vrba u kratkim ophodnjama. Šumarski list 3–4: 139–145.
- Kajba, D., S. Bogdan, I. Katičić - Trupčević, 2004: Produkcija biomase bijele vrbe u klonskom testu Dravica (Šumarija Darda). Šumarski list 9–10: 509–515.
- Kajba, D., S. Bogdan & I. Katičić, 2007: Selekcija klonova vrba za produkciju biomase u kratkim ophodnjama. Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj (energija biomase, bioplina i biogoriva), HGK, Osijek, 27.–29. svibnja 2007., Zbornik radova: 107–113.
- Kajba, D., S. Bogdan & I. Katičić, 2007: Produkcija biomase vrba u pokusnim kulturama kratkih ophodnji u Hrvatskoj. HAZU – Zbornik radova znanstvenog skupa: Poljoprivreda i šumarstvo kao proizvođači obnovljivih izvora energije, Matić, S. (ed.): 99–105.
- Mužek, Z.: "Model cijena energije za vrednovanje scenarija razvoja energetske sustava – Podloge za izradu Energetske strategije", Zagreb, 2008 (dostupno na www.energetska-strategija.hr)
- Narodne novine, 2007: Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, Narodne novine br. 33/07.
- Parsons Brinckerhoff Ltd, 2003: "Powering the Nation – the review of the costs of the generating electricity", Summary Report, ožujak 2003. http://www.pbpower.net/inprint/pbpubs/powering_the_nation_summary.pdf
- Pašičko, R., A. Tuerk, Ž. Tomšić, 2008: Use of biomass in Croatia: options for CO₂ mitigation. International Congress "World Renewable Energy Congress" Glasgow, Scotland, 19–25. July 2008.
- Pašičko, R., D. Žgela, 2008: Preliminarna analiza izgradnje bioenergane na lokaciji Brinje, Depod projekti, Zagreb, svibanj 2009.
- Point Carbon, 2008: "Carbon 2008 – Post Kyoto is now". Oslo, Norway, 2008.
- Smart, L. B., T. A. Volk, J. Lin, R. F. Kopp, I. S. Phillips, K. D. Cameron, E. H. White, L. P. Abrahamson, 2005: Genetic improvement of shrub willow (*Salix* spp.) crops for bioenergy and environmental applications in the United States. *Unasylva* 221, Vol. 56: 51–55.
- Sučić, Ž., 2008: Tehnologije pridobivanja drvne sječke. Međunarodni seminar o šumskoj i drvnjoj biomasi, Centar za razvoj i marketing, Vukovar 1.2 prosinca 2008.

- Sušnik, H., Z. Benković, 2007: Energetska strategija Republike Hrvatske u kontekstu održivog razvitka šumarstva i poljoprivrede. Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj (energija biomase, bioplina i biogoriva), HGK, Osijek, 27.–29. svibnja 2007., Zbornik radova:11–18.
- Tomić, F., T. Krička, S. Matić, S., 2008: Raspoložive poljoprivredne površine i mogućnosti šuma za proizvodnju biogoriva u Hrvatskoj. Šum. list 7–8: 323–330.
- Türk, A. i sur, 2006: “Needs and challenges in implementing key directives – EU Emissions Trading Directive (2003/87/EC)”, Bioenergy NoE; 15. prosinac 2006.
- Verwijst, T., 2003: Short rotation crops in the world. U: Nicholas, I. D. (ur.) IEA Bioenergy Task 30 Proceedings of the Conference: The role of short rotation crops in the energy market. December 1–5, 2003. Mount Maunganui, Tauranga, New Zealand. Str. 1–10.
- Volck, T. A., T. Verwijst, P. J. Tharakan, L.P. Abrahamson, E. H. White, 2004: Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. Ecol. Environ. 2 (8): 411–418.
- Zenone, T., M. Migliavacca, L. Montagnani, G. Seufert, R. Valentini, 2008: Carbon Sequestration in Short Rotation Forestry and Traditional Poplar Plantations. FAO, International Poplar Commission, Poplars, Willows and People’s Wellbeing, 23rd Session, Beijing, China, 27–30 October 2008, 226 p.

POPIS KRATICA

AEO – Annual Energy Outlook	ETS – Emission Trading Scheme
CDM – Clean Development Mechanism	JI – Joint Implementation
CER – Certified Emission Reduction	KGT – Kratkoročni granični troškovi
DGT – Dugoročni granični troškovi	KKO – Kulture kratkih ophodnji
ERU – Emission Reduction Unit	

SUMMARY: A rising share of renewable energy sources in the overall energy balance is one of the strategic goals of a growing number of countries. By signing international agreements (e.g. the Kyoto Protocol), and in accordance with the legislature and accession to the EU, Croatia undertook the obligation to make concrete steps and increase the use of renewable energy sources, as stated by the paradigm “sustainable development”. In Croatia, biomass is a renewable energy source with the greatest potential.

The goal of this work is to explore the impact of the European Emission Trading Scheme (EU ETS Scheme) and flexible mechanisms of the Kyoto Protocol – the Joint Implementation Mechanism, JI, and the Clean Development Mechanism, CDM, – on the competitiveness of biomass energy production. Compared to fossil fuels, the advantage of biomass is that energy from biomass combustion is considered CO₂ free technology, since biomass sequesters CO₂ as part of photosynthesis.

The EU ETS restricts emission amounts at the national level and at the level of single installation. Every industrial operator is allocated a certain amount of emission allowances. In order to satisfy their needs, the operators may trade with their allowances and purchase emission allowances on the market. The JI and CDM projects represent flexible Kyoto mechanisms which allow investment in emissions reduction outside the investing country. The amount of emissions reduced in such projects is used to satisfy the allowances of the investing countries, while the price of CO₂ emissions per ton is determined by the market. An allocated amount of emissions which an installation or a country may emit increases the competitiveness of low-carbon technologies.

Forest management and exploitation produces large quantities of forest biomass, which can be used for energy production. Biomass can additionally be generated by the establishment of bioenergy plantations and biomass production in short rotation crops (SRC) of forest tree species.

The article presents a mathematical economic model which explores the impact of CO₂ prices on investment decisions related to the construction of new electrical power plants or a change of fuels in the existing plants. The model determines emissions allowance prices at which biomass becomes more competitive than other technologies. Changes in CO₂ prices affect short run marginal costs (SRMC) and long run marginal costs (LRMC) of electrical energy production, where a decision on the replacement of fuel in the existing plant depends on trends in short run marginal costs, whereas an investment decision to construct new electrical plants depends on long run marginal costs.

According to the results of the applied model, biomass fuel in the existing plants (comparison of SRMC) is more competitive than gas even with minimal biomass prices and no additional CO₂ allowance price or feed-in tariffs. With CO₂ prices larger than 26 €/t CO₂, biomass becomes more competitive than gas and coal for its minimal price, while for its maximal price it is more competitive at CO₂ prices larger than 21 €/t CO₂.

Key words: forest biomass, EU ETS scheme, short run (SRMC) and long run marginal costs (LRMC), Croatia