

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/269401103>

ENERGETSKI INDEKS PROIZVODNJE DRVNOG ČIPSA

Conference Paper · December 2014

CITATIONS

0

READS

335

6 authors, including:



Srđan Vasković

University of East Sarajevo

52 PUBLICATIONS 101 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Petar Gvero

University of Banja Luka

82 PUBLICATIONS 211 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vlado Medaković

University of East Sarajevo, RS, Bosnia and Herzegovina

43 PUBLICATIONS 74 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Velid Halilović

University of Sarajevo

75 PUBLICATIONS 144 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



ENERGETSKI INDEKS PROIZVODNJE DRVNOG ČIPSA

Srđan Vasković¹, Petar Gvero², Vlado Medaković³, Velid Halilović⁴,
Marko Ikić⁵, Goran Ašonja⁶

Rezime: Proizvodnja čvrstih biogrova definisana je odgovarajućim energetskim lancem snabdijevanja. Proces proizvodnje čvrstih goriva iz drvene biomase počinje sa tehnologijama za skupljanje drvnog ostatka, počev od obaranja stabla pa sve do sistema za preradu (za usitnjavanje, drobljenje, sušenje, presovanje ukoliko se pravi briket ili pelet). Efikasnost proizvodnje drvnog čipsa je u relaciji sa ukupnom uloženom energijom po 1 kWh donje toplotne moći proizvedenog goriva. Ovaj rad će prikazati analizu ukupno uložene energije u snabdijevačkom lancu proizvodnje drvnog čipsa u funkciji od transportnih distanci i vlage u drvetu. Model za analizu energetskog indeksa proizvodnje drvnog čipsa urađen je u softverskom paketu Mathcad.

Ključne riječi: šumska biomasa, čips, energetski lanac, proizvodnja, modeliranje, Mathcad

ENERGY INDEX FOR PRODUCTION WOODEN CHIPS

Abstract: Production of solid fuels from wooden biomass is defined with appropriate energy chain of supply. Procedure for production of solid fuels from wooden biomass, starting with technology for gathering wooden residues and residues from logging up by the system of fuels production (system for milling, crushing, chopping, drying and pressing of wooden residues), presents energy chain of supply with solid fuel from biomass. Efficiency of production wooden chips is the relation of overall invested energy per 1 kWh of lower heating value of produced fuel. This paper will analyze total invested energy in supply chain for production wooden chips as a function transport distance and wood moisture. Paper will mathematically describe chain of wooden chips production from forest transported to the sawmill and to the terminal of processing. Mathematical model for calculation energy index developed in Mathcad software.

Key words: forest biomass, chips, energy chain, production, modelling, Mathcad.

¹ Spec. Srđan Vasković, viši asist., UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, srdjan_vaskovic@yahoo.com

² Dr Petar Gvero, v. prof., UBL, Mašinski fakultet B. Luka, petar.gvero@gmail.com

³ Dr Vlado Medaković, docent, UIS, Mašinski fakultet I. Sarajevo, vlado.medakovic@gmail.com

⁴ Dr Velid Halilović, docent, UNSA, Šumarski fakultet Sarajevo, velidha@yahoo.com

⁵ Mr Marko Ikić, viši asist., UIS, Elektrotehnički fakultet I. Sarajevo, markoikic@yahoo.com

⁶ Goran Ašonja, dipl.inž.maš., gashonya@yahoo.com

1. UVOD - PREGLED ISTRAŽIVANJA SNABDIJEVAČKIH LANACA BAZIRANIH NA BIOMASI

U zemljama u razvoju, oko 22% korišćene energije se dobija iz biomase, međutim radi se o tradicionalnom načinu korišćenja sa veoma niskim stepenom iskorištenja i povećanim emisijama zagađujućih materija. Mnogi scenariji predviđaju u budućnosti značajan porast učešća energije iz biomase [8]. Iz tog razloga potrebno je raditi konstantno na procesu uvođenja novih tehnologija za proizvodnju energije iz biomase sa većim stepenom iskorištenja.

Istraživanja koja se tiču komponovanja snabdijevačkih energetskih lanaca i uopšte korištenja biomase kao energenta su novijeg izdanja. Optimizacija snabdijevačkih lanaca biomasom uglavnom se vrši prema distancama transporta i vlažnosti biomase koja se transportuje. Opis modeliranja regionalne strukture snabdijevanja šumskom biomasom kao gorivom u zavisnosti troškova transporta opisali su (Gronalt, Rauch, 2007.)[3].

Model linearnog snabdijevačkog lanaca biomasom koji uključuje, transport, skladištenje i pripremu biomase obrađen je u (Silke Van Dyken, et al. 2009). Glavni fokus ovog rada nalazi se u iznalaženju linearne zavisnosti između sadržaja vlage u biomasi i energetske moći biomase i ekonomskih pokazatelja, posebno je obrađen slučaj pasivnog sušenja biomase u procesu skladištenja[13].

Planiranje i logistika u korišćenju drvene biomase za proizvodnju energije obrađeni su od strane (Frombo, et al. 2009). Varijable odlučivanja u ovom pristupu su kapacitet postrojenja i prikupljena biomasa sa odgovarajućeg područja dok je ciljna funkcija suma svih troškova u procesu iskorištenja drvene biomase[2].

Produktivnost i troškovi mehanizovane sječe i prikupljanja drveta u energetske svrhe obrađeni su od strane (Roser, et al. 2011). U radu je urađena analiza i pregled troškova koji javljaju u različitim kombinacijama proizvodnje drvnog čipsa kao energenta za slučajeve proizvodnje (kod postrojenja, uz put, na terminalu), shodno transportnim dužinama[12].

U analiza troškova transporta snabdijevačkih lanaca energetskim drvetom na duže distance u Finskoj, analizirani načini transporta pomoću kamiona za drveni čips, transport baliranih ostataka sječe pomoću kamiona ili voza, transport rasutog ostatka itd. (Tahvanainen, Anttila, 2011)[14].

Značaj analize energetskih lanac sa aspekta uložene energije veoma je bitan. U literaturi susrećemo tzv. faktor EROEI (Energy returned on energy invested), koji predstavlja količnik iskoristive energije od određenog energenta (ili od nekog načina proizvodnje energije) i utrošene energije da bi se taj energent ili energija dovela u neki upotrebljiv oblik (Hall, 2011)[5].

U ovom radu se analizira ukupno uložena energija po 1 kWh donje toplotne moći goriva dobijenog u obliku drvnog čipsa. Analizom podataka iz dostupnih literatura ustanovljeno je da faktor EROEI ne postoji jasno definisan u tim podacima. To je prvenstveno zbog specifičnosti drvene biomase kao goriva sa stanovišta njene vlažnosti ali i energetskih gubitaka koji se javljaju tokom prikupljanja. U ovom radu napravljen je matematički model koji izračunava energetski indeks proizvodnje drvnog čipsa i koji se nalazi u korelaciji sa faktorom EROEI u recipročnoj zavisnosti.

2. SPECIFIČNOSTI DRVNE MASE KAO ENERGENTA

Najznačajnija karakteristika biomase koja je u vezi sa sagorjevanjem i ostalim njenim termohemijskim procesima je sadržaj vlage sa čijim se povećanjem smanjuje i

toplotna moć biomase. Vrijednost donje toplotne moći vlažnog drveta može se izračunati prema sledećoj formuli [4]:

$$ehv_w = \frac{ehv_0 \cdot (100 - w) - (2,44 \cdot w)}{100} \quad (1)$$

gdje su:

ehv_w - donja toplotna moć drveta u zavisnosti od sadržaja vlage (MJ/kg),

ehv_0 - toplotna moć suvog drveta (MJ/kg),

2.44 - potrebna energija za isparavanje vode na 25 °C (MJ/kg),

w - sadržaj vlage u totalnoj masi izražen u procentima.

Zapreminska masa ili gustina drveta ρ_0 je definisana kao odnos između suve mase drveta (kg) i zapremine koju zauzima. Ova vrijednost široko varira zavisno od tipa drveta ali uglavnom se nalazi u opsegu između 320 i 720 kg/m³. Toplotna moć po jedinici zapremine može biti izračunata uzimajući u obzir donju toplotnu moć ehv_w i gustinu drveta:

$$ehvv_w = ehv_w \cdot \rho_w \quad (2)$$

Za sadržaj vlage po suvoj osnovi drveta veći od 30% gustina vlažnog drveta iznosi:

$$\rho_w = \rho_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{100}\right)}{\left(1 + \frac{\alpha_v}{100}\right)} = \rho_0 \cdot \frac{10^4}{(100 - w) \cdot (100 + \alpha_v)} \quad (3)$$

Za sadržaj vlage po suvoj osnovi drveta **manji od 30%** gustina vlažnog drveta je:

$$\rho_w = \rho_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{100}\right)}{\left(1 + \left(\frac{\alpha_v}{100} \cdot \frac{u}{100}\right)\right)} = \rho_0 \cdot \frac{3000}{3000 - 30w + \alpha_v \cdot w} \quad (4)$$

gdje su:

$ehvv_w$ - toplotna moć po zapreminskoj jedinici (MJ/m³),

u - sadržaj vlage po suvoj osnovi:

$$u = \frac{100 \cdot w}{100 - w} \quad (\%), \quad (5)$$

ρ_0 - gustina suvog drveta (kg/m³),

ρ_w - gustina drveta sa sadržajem vlage w (kg/m³),

α_v - procenat bubrenja (%) [6].

3. MATEMATIČKI MODEL ZA PRORAČUN ENERGETSKOG INDEKSA PROIZVODNJE DRVNOG ČIPSA

Za proizvodnju biogoriva od drvene biomase potrebno je angažovati: različite tipove mehanizacije, postrojenja za preradu biomase u upotrebljivo gorivo, ljudske i druge resurse. Svaki element energetskog lanca koji učestvuje u snabdijevanju drvnim čipsom kao gorivom, predstavlja izvjesni utrošak energije. Ukoliko taj utrošak energije u obliku vrijednosti donje toplotne moći (fosilnih goriva, el. energije, toplotne energije) svedemo po produktivnosti mašine ili postrojenja (donje toplotne moći prerađenog drveta) i saberemo sve te utroške energija pojedinih elemenata lanca, onda možemo dobiti traženu vrijednost energetskog indeksa.

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \quad (6)$$

Gdje su:

E_i - i -ti element energetskog lanca

n - ukupan broj prenosnih elemenata u energetskom lancu snabdijevanja.

Pošto se u ovom radu analiziraju energetski lanci za proizvodnju biogoriva sa energetskog aspekta, onda se u nastavku daju matematički opisi pojedinih elemenata energetskog lanca u skladu prema prethodno usvojenom konceptu za izračunavanje funkcije energetskog indeksa (E).

3.1 Mašine za prikupljanje biomase u snabdijevačkom lancu

Mašine za prikupljanje biomase su prvi element u lancu od koga počinje čitav proces snabdijevanja sa biomasom. Različite operacije u prikupljanju drvene biomase zahtijevaju različite mašine čiji izbor za korišćenje u praksi zavisi od uslova primjene. U strukturi analiziranih energetskih lanaca koji se analiziraju u ovom radu koriste se sledeće mašine: motorna pila, traktor, kamion, hidraulična dizalica, mobilni iverač, forvarder. Uzima se opcija proizvodnje drvnog čipsa od četinarskog drveta (jela). Za sve proizvodne mašine čija se potrošnja goriva izražava u litrima po satu, (l/h) i radna proizvodnost u zapreminskoj jedinici po satu, (m^3/h), važe sledeće relacije.

$$E_i = \frac{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{\rho_{Fi} \cdot Fc_{iq} \cdot t_{iq}}{1000} \cdot Hv_{iq}}{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot \rho_{0iq} \cdot \frac{10^4}{(100 - w_{iq}) \cdot (100 + \alpha_{viq})} \cdot Pr_{iq} \cdot t_{iq} \cdot (SVF)_{iq}}, \quad (7)$$

Gdje su:

$q=1 \dots n_1$ - broj mašina uključenih u rad,

Fc_{iq} - specifična potrošnja goriva posmatrane radne mašine, litara po satu l/h definisana na bazi tehničkih karakteristika radnih mašina [9],

$ehv_{0iq} = 19,49 \text{ MJ/kg}$ - toplotna moć suvog drveta za smrču (jela),

Pr_{iq} - produktivnost radne mašine, metara kubnih u satu m^3/h različita za različite proizvodne mašine [9],

t_{iq} - vrijeme rada mašine u satima h,

Hv_{iq} - donja toplotna moć goriva (benzina ili nafte zavisno od vrste goriva koje

koristi mašina) u MJ/kg,

$w_{iq} \geq 30\%$ - vlažnost drveta, referentno uzeta 50%.

$\rho_{0iq} = 450 \text{ kg/m}^3$ - gustina drveta u kg/m^3 ,

$\alpha_{viq} = 8\%$ - procenat bubrenja drveta u %,

$(SVF)_{iq}$ - faktor zapreminske ispunjenosti (0,...1) [11],

ρ_{Fi} - gustina goriva (benzina, nafte) pri atmosferskim uslovima u kg/m^3 ,

Mora se napomenuti da prethodno napisane formule važe samo za radne mašine čija se produktivnost izražava u časovima rada.

Takođe, za rad hidraulične dizalice za utovar kamiona, koristiće se minimalna prosječna potrošnja goriva kamiona (rad u praznom hodu). Kamion kao element snabdijevačkog lanaca biomasom koji služi za transport ili drvnog čipsa ili oblovine, razlikovaće se malo po pitanju izračunavanja vrijednosti E_i . Razlog zbog čega je to tako, nalazi se u izražavanju potrošnje goriva kamiona po pređenim kilometrima za neko prosječno definisano opterećenje.

$$E_i = \frac{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{\rho_{Fi} \cdot Ftc_{iq} \cdot l_i}{10^5} \cdot H_{V_{iq}}}{\sum_{q=1}^{n_i} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot M_{tiq} \cdot 1000}, \quad (8)$$

Gdje su:

Ftc_{iq} - specifična potrošnja goriva kod kamiona izražena u litrima po kilometru l/km,

l_i - distanca transporta u kilometrima km, varirana u intervalu od 20 do 50 km svi elementi transporta,

M_{tiq} - nosivost kamiona u tonama t [9].

Mora se naglasiti da je nosivost kamiona za drveni čips različita od nosivosti kamiona za transport trupaca. Potrošnja goriva mašina koje učestvuju u snabdijevačom lancu drvnom biomasom uglavnom se izražava u litrima po satu. Takođe, produktivnost rada pojedinih mašina data je u zapreminskoj količini biomase koju mašina preradi, privuče, prikupi ili utovari u nekom vremenskom intervalu. Da bi se došlo do mjerodavnih veličina potrošnje goriva i produktivnosti različitih mašina za sakupljanje drve biomase, potrebno je izvršiti različita mjerenja i istraživanja u uslovima eksplotacije[9].

3.2 Primarna mehanička prerada drveta

Mehanička prerada drveta podrazumjeva vrstu prerade kod koje se na prvom mjestu mijenjaju oblik i dimenzije drveta uz upotrebu mehaničkih sredstava (pila, noževa i sl.). Ostatak koji nastaje u pilanama predstavlja značajnu količinu drvene biomase za proizvodnju čvrstih biogoriva. Pored glavnog proizvoda na pilanama kao što su daske, grede, različiti oblici poluproizvoda, nastali drveni ostatak od prerade je od manjeg značaja. Energija u primarnoj preradi drveta se zbirno troši po zapreminskoj jedinici gotovog proizvoda. Tako da imamo sljedeću matematičku funkciju energetskog indeksa za pilanu:

$$E_i = r \cdot \frac{\frac{1}{\eta c_{el}} \cdot \left(\sum_{q=1}^{n_i} Fp_{iq} \cdot t_{iq} \cdot Ec_{iq} \right)}{\frac{1}{3,6} \cdot \left(\sum_{q=1}^{n_i} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot \rho_{0iq} \cdot \frac{10^4}{(100 - w_{iq}) \cdot (100 + \alpha_{viq})} \cdot Fp_{iq} \cdot t_{iq} \cdot (SVF)_{iq} \right)}, \quad (9)$$

Gdje su:

$q=1 \dots n_i$ - broj pilana,

Fp_{iq} - produktivnost (kapacitet pilane), metara kubnih po satu m^3/h [9],

Ec_{iq} - specifična potrošnja el. energije po prerađenom kubnom metru kWh/m^3 (20-30 kWh/m^3 meko i tvrdo drvo)[1],

t_{iq} - vrijeme rada pilane u satima h,

ηc_{el} - faktor efikasnosti proizvodnje električne energije iz termoelektrane (ugalj kao gorivo, pretpostavka),

r - faktor drvnog ostatka u primarnoj preradi, kreće se u intervalu od 0,25 do 0,35 (meko i tvrdo drvo bez kore) [1],

$w_{iq} \geq 30\%$ - vlažnost drveta,

ρ_{0iq} - gustina suvog drveta, jela u kg/m^3 ,

α_{viq} - procenat bubrenja drveta u %,

$(SVF)_{iq} = 1$ - faktor zapreminske ispunjenosti (oblovin),

Mora se takođe napomenuti da je kao pretpostavka uzeto da pilana troši el. energiju proizvedenu u termoelektrani. Faktorom $\eta c_{el} = 0,36$ uzeti su u obzir svi gubici energije od termoelektrane do motora koji pogoni sistem za prorez drveta. U faktoru gubitka uključeni su gubici u kotlu, u turbini, generatoru, električnoj mreži napajanja[7]. Takođe svi utrošci energije svode na primarni oblik (toplotnu moć). Na takav način dobija se mogućnost jednostavnog sabiranja vrijednosti toplotnih moći ekvivalentnih određenim oblicima potrošnje energije bilo da se radi o toplotnoj ili električnoj energiji.

3.3 Postrojenje za proizvodnju drvnog čipsa

Matematička funkcija E_i , kojom se opisuje proizvodnja drvnog čipsa,

$$E_i = \frac{\frac{1}{\eta c_{el}} \cdot \left(\sum_{q=1}^{n_i} Pc_{iq} \cdot \eta_t \cdot t_{iq} \right)}{\frac{1}{3,6} \cdot \left(\sum_{q=1}^{n_i} \frac{ehv_{0iq}(100 - w_{iq}) - (2,44w_{iq})}{100} \cdot Fpc_{iq} \cdot t_{iq} \cdot 1000 \right)}, \quad (10)$$

Naglašavamo ponovo da se za pogon postrojenja koristi el. energija proizvedena u termoelektrani. Naravno, to ne mora biti slučaj.

Gdje su:

$q=1 \dots n_i$ - broj postrojenja,

Pc_{iq} - električna snaga postrojenja u kW,

η_t - faktor istovremenosti rada svih elektromotora u postrojenju (0,7-0,95), zavisno od toga da li postrojenje ima ugrađen sistem za kompenz. el. energije,

t_{iq} - vrijeme rada postrojenja u satima h,

$F_{pc_{iq}}$ - izlazna produktivnost postrojenja u tonama po satu, t/h,

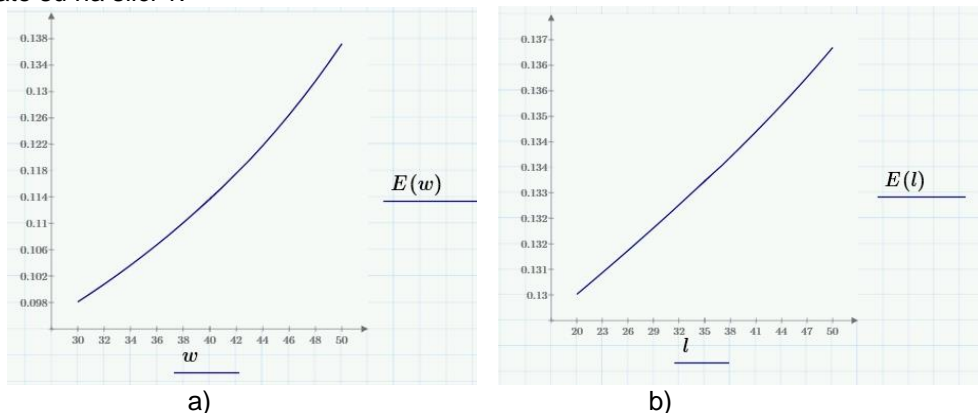
$\eta_{c_{el}} = 0,36$ uzima u obzir sve gubitke energije od termoelektrane do elektropotrošača u fabrici. Kod peleta i briketa postoji propisana vrijednost vlage i kreće se od 9-12%. Zaključuje se da se razlika kod postrojenja za proizvodnju drvnog čipsa, peleta, briketa, vidi samo u instaliranoj snazi postrojenja, produktivnosti i u faktoru kompenzacije el. energije.

4. REZULTATI

Najznačajniji parametri od kojih zavisi vrijednost energetskog indeksa proizvodnje drvnog čipsa su vlaga i dužina transporta. U ovom radu vrijednosti energetskog indeksa E dobijene su u varijaciji vlažnosti w i dužine transporta l .

Prvi slučaj: Variran je procenat vlage od 30 do 50% u drvetu kroz energetski lanac. Dužine transporta su bile konstantne i to dužina transporta oblovine 50 km i dužina transporta ostatka sa pilane do terminala za proizvodnju, 50 km.

Drugi slučaj: varirana je dužina transporta od 20 do 50 km za obje pomenute transportne distance. Procenat vlage je zadržan konstantan i to $w=50\%$. Te zavisnosti date su na slici 1.



Slika 1. Zavisnost energetskog indeksa proizvodnje a) od procenta vlage drveta i b) dužine transporta, za energetski lanac snabdijevanja drvnim čipsom

Može se slobodno zaključiti posmatrajući oba dijagrama sa slike 1. da u najgorem slučaju vrijednost energetskog indeksa iznosi $E=0,138$. Ovo predstavlja ukupno uloženo energiju u energetski lanac proizvodnje drvnog čipsa svedenu na 1 kWh toplotne moći proizvedenog drvnog čipsa. Ukoliko od faktora $E=0,138$ nadjemo recipročnu vrijednost $E_r=7,24$, ova vrijednost govori da za svaku uloženu jedinicu energije svedene na toplotnu moć utrošenog goriva u proizvodnji drvnog čipsa dobijamo 7,24 jedinica toplotne moći drvnog čipsa.

5. ZAKLJUČCI

Značaj proizvodnje energije iz biomase posebno dolazi do izražaja u posljednje vrijeme. U osnovi najznačajniji dio u procesu proizvodnje energije iz biomase predstavlja lanac snabdijevanja. Ukoliko se u tome lancu uspije izvršiti minimizacija proizvodnih troškova, dolazi se do značajnih ušteda prvenstveno u energetskom smislu. S obzirom da postoje različite mogućnosti komponovanja energetskih lanaca snabdijevanja čvrstim gorivima od drvene biomase, onda je

neophodno pokušati napraviti jedinstven matematički pristup ovom problemu. Matematičkim modelom moguće je objediniti različite tipove i veliki broj parametara. Upravo u problemima koji se tiču snabdijevačkog lanca drvnom biomasom to je i glavni problem. Rezultati koji su dobijeni za izračunavanje energetske indeksa snabdijevačkog lanca drvnim čipsom, pokazali su da se za svaku uloženu jedinicu energije u energetski lanac proizvodnje ovog goriva dobija približno 7 jedinica energetske vrijednosti u obliku toplotne moći. Treba imati na umu da je energetski bilans proizvodnje biodizela oko 2,5, što je skoro tri puta više.

LITERATURA

- [1] Danon, G, Bajić, V, Isajev, V, Bajić, S, Oreščanin, S, Rončević, S: Ostaci biomase u šumarstvu i preradi drveta i mogućnost gajenja „energetskih šuma“, poglavlje 2 studije: „Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu primenu i energetsko iskorišćenje u Srbiji“, Šumarski fakultet, Beograd, JP „Srbijašume“, Beograd, Institut za topolarstvo, Novi Sad, 2003, s. 25 – 56.
- [2] Frombo, F., Minicardi, R., Robba, M., Rosso, F., Scaile, R., Planing woody biomass Logistic for energy production: A strategic decision model, *Biomass and Bioenergy* 2009;33:372-383.
- [3] Gronalt, M., Rauch, P., Designig a regional forest fuel supply network, *Biomass and Bioenergy* 2007;31:393-402.
- [4] Hartmann, H., Böhm, T.E., Maier L., Naturbalassene biogene Festbrennstoffe-umweltrelwante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. *Umwelt und Entwicukling* 154. Bayerisches Statsministerium für Landsentiwicukling und Umweltfragen, 2000.
- [5] Hall, C., “Introduction to Special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment),” *Sustainability* 3, no. 10 (October 2011): 1773-1777.
- [6] Hellrigl, B., *Elementi di xiloenergetica (Elements of wood energy)*. Associazione Italiana Energie Rinnovabili. Legnaro (PD), AIEL:320 pp., 2006.
- [7] Honorio, L., Bartaire, J., Bauerschmidt, R., Ohman, T., Tihany, Z., Zeinhofer, H., Scowcroft, J., Vasco de Janerio, Kruger, H., Meier, H., Offermann, D., Lnagnickel, U., Efficiency in electricity generation, Report drafted by Eurelectic „Preservation of resources“, working groups „Upstream“, Subgroup in collaboration with VGB, July 2003.
- [8] *World Energy Outlook 2010*, IEA 2010.
- [9] Krajnc, N., *Wood Energy Technologies, Partnership Programmes – TCDC/TCC – TCP/YUG/3201 (D)*, Belgrade, March 2011.
- [10] Opricović, S., *Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu*, Građevinski fakutet Univerziteta u u Beogradu, 1998.
- [11] Pottie M.A. and Guimier D.Y., *Harvesting and transport of logging residuals and residues*, Forest Engineering Research Institute of Canada, IEA Cooperative Project n. CPC6. FERIC special report, SR33, 1986.
- [12] Roser, D., Sikanen, L., Asikanen, A., Parikka, H., Vaatainen K., *Productivity anad cost of mechanized and energy wood harvesting in North Schotland*, *Biomass and Bioenergy* 2011;35:4570-4580.
- [13] Silke Van Dyken, Bjorn H. Bakken, Hans I. Skjelberd, *Linear mixed-integer models for biomass supply chains with transport, storage and processing*, *Energy*, 2009;35:1338-1350.
- [14] Tahvanainen, T., Anttila P., *Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland*, *Biomass and Bioenergy* 2011;35:3360-3375