

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Marijana Larma

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Studentica:

Marijana Larma

Zagreb, 2013.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marijana Larma**

Mat. br.:

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza potencijala izgradnje postrojenja za proizvodnju peleta iz šumskih ostataka na području Bjelovarsko-bilogorske županije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of biomass pellets production potential from forest residues in Bjelovar-bilogora County**

Opis zadatka:

Zadatak ovog završnog rada je analiziranje potencijala izgradnje postrojenja za proizvodnju peleta od šumskih ostataka na području Bjelovarsko-bilogorske županije, te odabir pogodnih makro-lokacija na području Županije za izgradnju ovih postrojenja.

U okviru rada potrebno je uraditi sljedeće zadatke:

1. Izračunati viškove šumske biomase u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji, po šumarijama koji se mogu koristiti za proizvodnju peleta.
2. Napraviti pregled tehnologija za proizvodnju peleta, potencijalna radna mjesta i utrošak energije u procesu proizvodnje peleta
3. Izvršiti odabir 2 makro-lokacija za izgradnju postrojenja za proizvodnju peleta prema potencijalu šumske biomase i nabavnoj cijene šumskih ostataka, uključivo troškove prikupljanja i transporta biomase.
4. Izračunati unutarnju stopu povrata za investiciju na odabranim lokaciji, uz zadane cijene investicije i prodajne cijene peleta.
5. Napraviti analizu utjecaja promjene vrijednosti instaliranog kapaciteta postrojenja, otkupne cijene peleta, nabavne cijene šumskih ostataka i smjenskog rada na internu stopu povrata na investiciju

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

1. rok: 15. veljače 2013.

2. rok: 11. srpnja 2013.

3. rok: 13. rujna 2013.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.

2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.

3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja na fakultetu strojarstva i brodogradnje i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se na nesebičnoj i stručnoj pomoći mentoru prof. dr. sc. Nevenu Duiću i Borisu Ćosiću.

Sažetak

U ovom završnom radu analiziran je potencijal izgradnje postrojenja za proizvodnju peleta od šumskih ostataka na području Bjelovarsko-bilogorske županije, te su odabrane pogodne makro-lokacije na području županije za izgradnju ovih postrojenja. U prvom dijelu izložen je teorijski uvod o biomasi i peletima, te je prikazana tehnologija proizvodnje peleta. U metodologiji je opisan način na koji se proračunava tehnički potencijal šumskih ostataka i ekonomska isplativost postrojenja. Nadalje su odabrane dvije makro-lokacije, Bjelovar i Daruvar i pretpostavljeni različiti scenariji smjenskog rada, lokacije i kapaciteta postrojenja. Prvi i drugi scenarij su izgradnja postrojenja u Bjelovaru odnosno Daruvaru koje bi u radom u jednoj smjeni iskoristilo sav šumski ostatak iz županije. Treći scenarij je izgradnja dva postrojenja, jedno na svakoj od odabranih lokacija, koja rade u jednoj smjeni. Četvrti i peti predstavljaju dvosmjenski rad na jednoj lokaciji, a šesti dvosmjenski rad na dvije lokacije. Kasnije su za svaki scenarij izračunate unutarnje stope povrata investicije te je napravljena analiza osjetljivosti na promjenu otkupne cijene peleta, cijenu šumskih ostataka i cijenu investicije. Rezultati pokazuju da u Bjelovarsko-Bilogorskoj županiji postoji znatan neiskorišten potencijal šumskih ostataka. Cilj je bio da se u instaliranom postrojenju ili postrojenjima iskoristi sav šumski ostatak županije. Zbog različitih troškova prijevoza sirovine, radne snage i investicijskih troškova, dobivene su različite unutarnje stope povrata za različite scenarije. Najisplativijom se investicijom od navedenih scenarija pokazala izgradnja jednog postrojenja koje radi u dvije smjene, s nešto višim IRR-om kod odabira makro-lokacije u Bjelovaru, jer je nešto centralnije položen u županiji, s tim da nije razmotrena nabava sirovine iz bližih šumarija koje nisu u županiji. Razlike IRR-a zbog položaja nisu velike. Najneisplativiji scenarij pokazao se šesti. Analiza utjecaja promjene navedenih parametara pokazala je da postoji velika osjetljivost investicije u postrojenje na promjenu parametara, pogotovo na promjenu otkupne cijene peleta. Značajan je i utjecaj promjene cijene sirovine, a nešto manje je utjecajan parametar cijena investicije. Iako je s početnim uvjetima uglavnom isplativija izgradnja postrojenja koja rade dvosmjenski, zadnja tri scenarija pokazuju i veću osjetljivost na promjenu parametara nego prva tri. Ako se odabere optimalni režim smjenskog rada, kapacitet i lokacija, svakako je isplativo i opravdano investirati u proizvodnju peleta u Bjelovarsko-Bilogorskoj županiji.

Ključne riječi: Biomasa, drvni peleti, šumski ostaci, Bjelovarsko-Bilogorska županija

Summary

In this bachelor thesis, the potential of building a production facility for pellets from forestry residues in the Bjelovarsko-Bilogorska county was analysed. Suitable macro-locations for building the facility in the county area are chosen. In the first part, theoretical introduction about biomass and biomass pellets is viewed, and the technology for producing biomass pellets is introduced. The procedure for calculating the technical potential of forestry residues and the economic viability of the facility are illustrated in the methodology. Furthermore, two macro-locations, Bjelovar and Daruvar, are chosen. Different scenarios of shift work and location and capacity suggested. The first and the second scenario represent the building of one facility, either in Bjelovar or in Daruvar, which would be producing pellets in one shift, using all the forestry residues from the county. The third scenario is the building of two facilities, one on each location, to also work for one shift. The fourth and fifth assume work in two shifts on two locations, and the sixth two shifts on two locations. Later for each scenario the internal rates of return are calculated and a sensitivity analysis is performed for the fluctuation of pellet price, feedstock and investment costs. The results show there is a considerable idle potential of forestry residues in the Bjelovarsko-Bilogorska county. The goal was to size the facility in a way all the forestry residues produced in the county. Due to different transport, loan and investment costs, different internal rates of return are calculated for the scenarios. It has been shown that the most economically viable of the introduced scenarios is building one production facility to work in two shifts, which has a slightly higher IRR when the chosen location is Bjelovar, because its more central position, having mentioned that feedstock supply from closer woods that are not a part of the county, has not been considered. The differences in the IRR due to location are not too significant. The least profitable scenario is the sixth. Sensitivity analysis for the mentioned parameters has shown there is a great sensitivity for the investment in the facility to changing the parameters, especially to the selling price of the pellets. The influence of the feedstock price fluctuation is also significant, while the investment cost is a less influential parameter. Although with the initial conditions two of the two-shifted scenarios are the most profitable ones, all of the two-shifted scenarios show higher sensitivity to the change of parameters than the first three. If an optimal setup is chosen, it surely is profitable to invest in wood pellet production in the Bjelovarsko-Bilogorska county.

Keywords: Biomass, wood pellets, forestry residues, Bjelovarsko-Bilogorska county

SADRŽAJ

1. UVOD	5
1.1 Biomasa	5
1.2 Opis tehnologije proizvodnje peleta	8
2. METODOLOGIJA	12
2.1 Tehnički potencijal biomase šumskih ostataka	12
2.2 Cijena biomase na lokaciji postrojenja	13
2.3 Ekonomska analiza postrojenja za proizvodnju peleta na odabranim makro-lokacijama	15
2.3.1 Prihodi postrojenja za proizvodnju peleta	15
2.3.2 Rashodi postrojenja za proizvodnju peleta	15
3. ANALIZA SLUČAJA: BJELOVARSKO-BILOGORSKA ŽUPANIJA	17
3.1 Analiza osjetljivosti unutarnje stope povrata	17
3.2 Makro-lokacije za izgradnju postrojenja za proizvodnju peleta	17
3.3 Jednosmjenski rad	18
3.3.1 Jednosmjenski rad na jednoj lokaciji	18
3.3.2 Jednosmjenski rad na dvije lokacije	19
3.4 Dvosmjenski rad	19
3.4.1 Dvosmjenski rad na jednoj lokaciji	19
3.4.2 Dvosmjenski rad na dvije lokacije	19
4. REZULTATI	20
4.1 Tehnički potencijal šumskih ostataka	20
4.2 Cijena biomase na lokaciji postrojenja	23
4.2.1 Cijena biomase na lokaciji postrojenja kod jedne makro-lokacije	26
4.2.2 Cijena biomase na lokaciji postrojenja kod dvije makro-lokacije	26
4.3 Ekonomska analiza postrojenja na odabranim makro-lokacijama	27
4.3.1 Prihodi energetskog postrojenja	27
4.3.2 Troškovi energetskog postrojenja	27
4.3.3 Amortizacija postrojenja	28
4.3.4 Kalkulacija isplativosti postrojenja	29
4.3.5 Analiza osjetljivosti unutarnje stope povrata	30
5. ZAKLJUČAK	35
LITERATURA	36

POPIS SLIKA

Slika 1.1 usporedba toka CO ₂ za fosilna goriva i biomasu [4].....	5
Slika 1.2. Svjetska potrošnja energije prema izvoru [10].....	7
Slika 1.3 Shematski prikaz postrojenja za proizvodnju peleta [20].....	9
Slika 1.4 shematski prikaz sušare toplim zrakom [21].....	10
Slika 1.5. Linija za peletiranje drvene biomase kapaciteta 2-3 t/h [22].....	11
Slika 2.1. način određivanja prosječne udaljenosti biomase [23].....	14
Slika 3.1 Bjelovarsko-Bilogorska županija [25].....	18
Slika 4.1. Podjela šumske površine prema vlasništvu [14].....	20
Slika 4.2. drvena zaliha prema vrstama u RH [14].....	20
Slika 4.3 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Bjelovar i jednosmjenski rad (scenarij 1)	31
Slika 4.4 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Daruvar i jednosmjenski rad (scenarij 2).....	31
Slika 4.5 osjetljivost IRR-a za scenarij s dvije makro-lokacije i jednosmjenski rad (scenarij 3)..	32
Slika 4.6 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Bjelovar i dvosmjenski rad (scenarij 4).....	32
Slika 4.7 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Daruvar i dvosmjenski rad (scenarij 5).....	33
Slika 4.8 osjetljivost IRR-a za dvije makro-lokacije i dvosmjenski rad (scenarij 6).....	33

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Potrebna količina drvnog ostatka za proizvodnju 1 tone peleta ovisno o vrsti [19]..13	
Tablica 2.2. Potrebna količina drvnog ostatka za proizvodnju 1 tonu peleta ovisno o vlazi [19].13	
Tablica 4.1. planirani desetogodišnji etat Bjelovarsko-Bilogorske županije.....21	
Tablica 4.2. Potencijal po šumarijama u volumenu sirovine i masi peleta.....22	
Tablica 4.3. Tehnički potencijal biomase preračunat u tone peleta po satu.....23	
Tablica 4.4 cjenik Hrvatskih šuma d.o.o. – direktni trošak sječke [26].....24	
Tablica 4.5 Prosječne udaljenosti između makrolokacija i šumarija [27].....25	
Tablica 4.6 dodjela šumarija iz kojih se dostavlja sirovina makro-lokacijama.....26	
Tablica 4.7 trošak sirovine na lokaciji postrojenja za različite scenarije.....27	
Tablica 4.8 troškovi električne energije za korištene kapacitete postrojenja.....28	
Tablica 4.9 kalkulacija troškova i dobiti za razne scenarije.....28	
Tablica 4.10 prosječne cijene investicije na tržištu.....29	
Tablica 4.11 Amortizacija investicije.....29	
Tablica 4.12 vrijednosti unutarnje stope povrata za različite scenarije.....30	

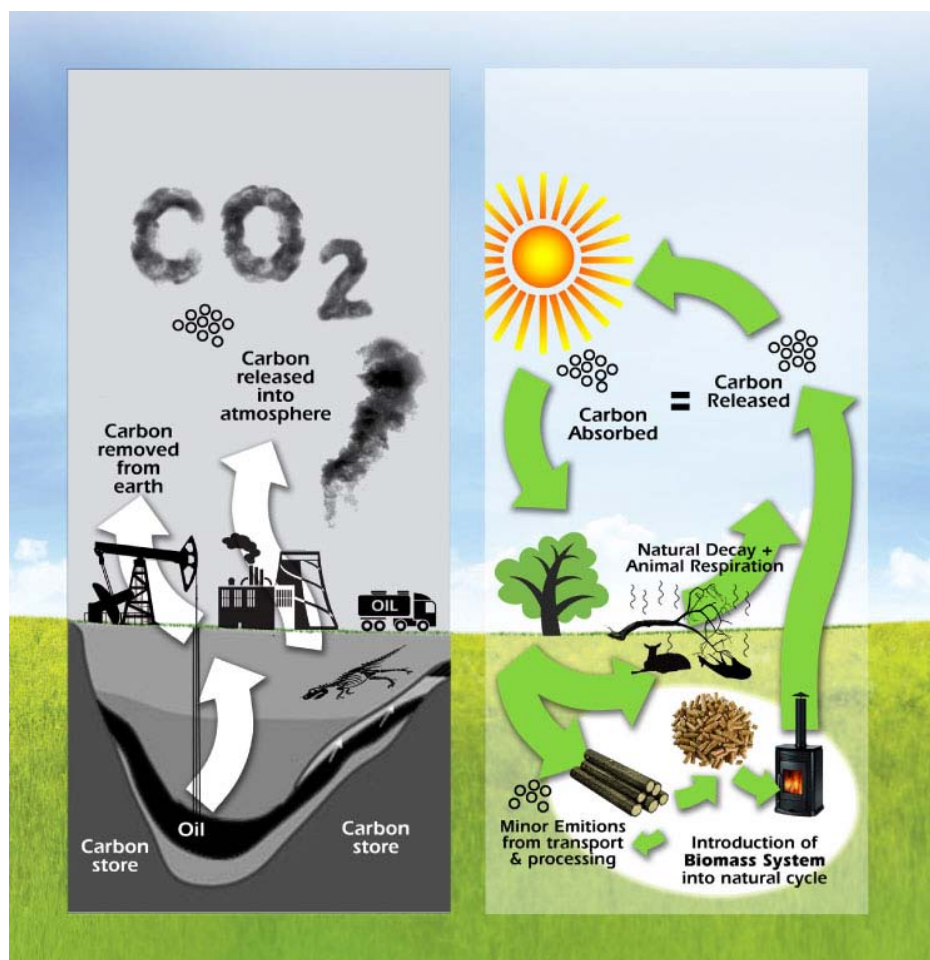
POPIS OZNAKA

- B_C Prosječna cijena sirovine na lokaciji postrojenja za proizvodnju peleta (€/toni)
- C_B Cijena sječke od šumskih ostataka na šumskom putu ili u šumariji (€/toni)
- T_P Specifični trošak prijevoza sirovine (€/toni/km)
- U_i prosječna udaljenost između lokacije biomase s područja i i postrojenja (km)
- K_{Bi} Ukupna količina biomase dovezene s područja i (tona)
- P_B Ukupna godišnja upotreba sirovine u postrojenju (tona)
- P_L Lokacija postrojenja (-)
- C_{Ri} Lokacija biomase (-)

1. UVOD

1.1 Biomasa

Biomasa je tvar dobivena od živućih ili donedavno živućih organizama, koja se može koristiti kao gorivo. Može biti biljnog ili životinjskog porijekla. Glavni gorivi sastojak u biomasi je ugljik, koji dopijeva u organizme iz atmosfere, direktno ili indirektno, ovisno o tome radi li se o biljkama, koje CO_2 fotosintezom pretvaraju u spojeve ugljika određene kalorijske vrijednosti, ili životinjama, u koje ti ugljikovi spojevi dopijevaju hranom, to jest jedenjem biljaka ili životinja koje sadrže ugljik iz biljaka u organizmu. Izgaranjem biomase vraća se u atmosferu u obliku CO_2 ugljik koji je biomasa direktno ili indirektno primila iz atmosfere, te se na taj način zatvara prirodni biogeokemijski ciklus, pa se može reći da je biomasa CO_2 neutralan izvor energije [1-4]. Razlika između biomase i fosilnog goriva vremenskog je karaktera. Biomasa može uzimati istu količinu CO_2 iz okoliša koja se oslobađa izgaranjem. Usporedba prikazana je na slici 1.1.



Slika 1.1 usporedba toka CO_2 za fosilna goriva i biomasu [4]

Ta ravnoteža održana je naravno tek pod uvjetom da je način iskorištenja biomase održiv, znači da iskorištenje nije veće od prirasta. Također, bit će ipak nekih emisija CO₂ zbog vanjskih energenata koji se koriste u procesu prerade te za prijevoz biomase, no ipak, pokazano je da je za drvenu biomasu dobivena energija 10-30 puta veća od one uložene u transport i proizvodnju [5-8]. Jedna od glavnih problematika kod korištenja biomase jest da joj treba velika površina kako bi se dobila određena jedinica energije. Međutim, nema razloga zašto bi to moralo zakinuti proizvodnju hrane ili bilo koji drugi postojeći oblik korištenja površine. Teoretski bi bilo moguće pokriti preko 80 % svjetske potrebe energije od nasada i još dodatnih 10 % od ostatne biomase, uz proizvodnju dovoljne količine hrane istovremeno [9]. Održivim načinom korištenja biomasa postaje obnovljiv izvor energije. Biomasa je ujedno najzastupljeniji obnovljivi izvor energije danas. Postoje različiti oblici – drvena biomasa, ostaci i otpaci iz poljoprivrede, životinjski otpad i ostaci te biomasa iz otpada. Prema standardu CEN/TS 14961:2005 kruta biomasa dijeli se na sljedeće kategorije [1]:

1. Drvena biomasa

1.1. Biomasa od šumskog drveta i energetske plantaže

1.2. Drvena industrija, sekundarni proizvodi i ostaci u drvenoj industriji

1.3. Biomasa od korištenog drveta

2. Biljna biomasa

2.1. Biomasa od poljoprivrednog i vrtlarskog bilja

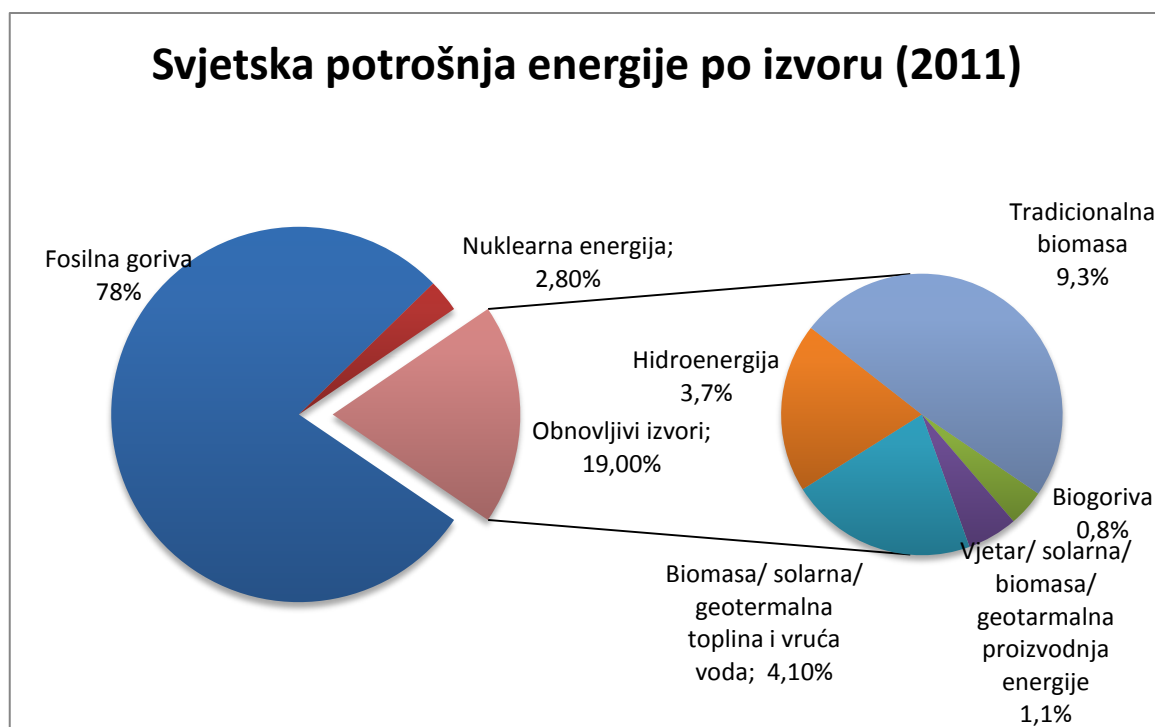
2.2. Biljna industrija, sekundarni proizvodi i ostaci

3. Voćna biomasa

3.1. Biomasa iz voćnjaka i vrtova

3.2. Voćarska industrija, sekundarni proizvodi i ostaci

U svijetu kao izvor energije još uvijek dominiraju fosilna goriva. 2011. godine 78 % svjetske potrošnje energije oslanjala se na fosilna goriva. Od obnovljivih izvora, koji su pokrivali 19 % potrošnje, prednjači biomasa, i to uglavnom u tradicionalnom obliku s 9,3 %, te jedan manji dio zauzima električna energija dobivena od biomase, a moderne tehnologije s biomasom zastupljene su i u dobivanju toplinske energije [10].



Slika 1.2. Svjetska potrošnja energije prema izvoru [10]

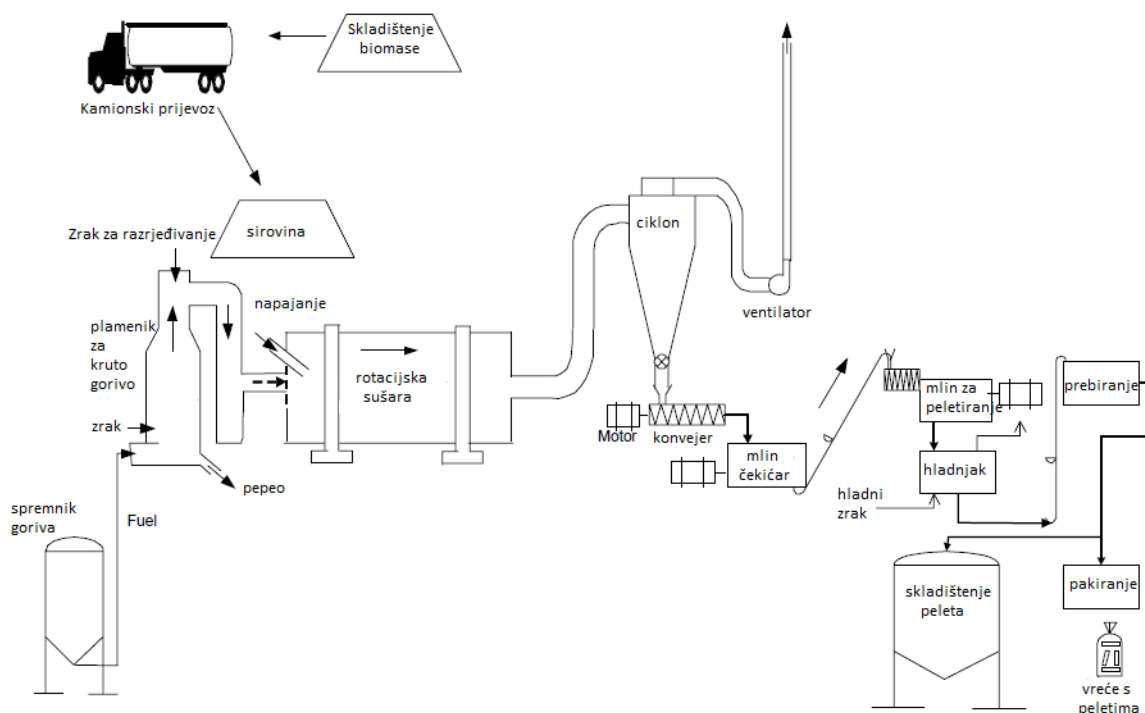
Drvena biomasa je najčešće korišteni oblik biomase u energetici, isto tako je općenito energent s najdužom tradicijom, te je u upotrebi još od doba pračovjeka [11]. U nekim državama u razvoju drvena biomasa pokriva do 90 % potrošnje energije, a u razvijenim zemljama najveće stope korištenja biomase kreću se od 16-18 %, u Švedskoj i Finskoj [12]. Glavni dio drvene biomase koristi se na tradicionalan način, izravnim izgaranjem bez prethodne obrade, za ogrjev [1]. Ako se uvedu ograničenja na emisiju CO₂ i za kućanstva, drvena biomasa bi mogla postati još značajnija. Korištenje biomase za energetske svrhe nema samo ekološki značaj nego i ekonomski i socijalni, jer može smanjiti ovisnosti države o uvozu energenata, te postoji mogućnost otvaranja novih radnih mjesta [13]. Trenutno se u Hrvatskoj drvena biomasa najviše koristi za grijanje kućanstava, često u pojedinačnim pećima. Održivost može se postići samo ako je ukupni etat manji od prirasta. Pritom treba očuvati i raznolikost i ekosustav [14]. Šumskim ostacima smatraju se panjevi i sitna granjevina koja ostaje prilikom sječe, a poslije se usitnjava u sječu (iver) pomoću iverača te se koristi kao gorivo [3].

Otpadna biomasa iz šuma jedan je od izvora sirovine za proizvodnju drvnih peleta i briketa. Pogotovo peleti zadnjih nekoliko godina dobivaju na popularnosti zbog jednostavnosti korištenja i mogućnosti automatizacije dovođenja u ložište, ali i zbog velike gustoće energije u usporedbi sa sirovom drvnom biomasom. Osim lakše upotrebe, pelete je jednostavnije i za prevoziti i skladištiti [15,16]. Standardno peleti imaju promjer od 6-8 mm i dužinu do 38 mm, ali se

proizvode u različitim veličinama. Oni koji imaju promjer veći od 25 mm obično se nazivaju briketima [17]. Peleti mogu se koristiti i u kotlovima za centralna grijanja, i za velike kotlove, koji imaju ogrjevnu moći preko 500 kW [18]. U upotrebi su najrašireniji „premium“ peleti, kod kojih udio pepela ne smije biti veći od 1 %, dok je kod „standardnih“ peleta dozvoljen udio od 2 % pepela. Peleti ne smiju sadržavati više od 300 ppm-a klorida ni više od 0,5 % prašine. Drvna biomasa bez kore uglavnom ne sadržava više od 1 % pepela, ali ako se koristi biomasa drugog porijekla za proizvodnju peleta često će dozvoljene granice biti premašene, tako da potonji ne mogu izgarati u uobičajenim pećima za drvene pelete, nego se moraju nabaviti posebne peći koje su pogodne za izgaranje peleta od ostale biomase. [17]

1.2 Opis tehnologije proizvodnje peleta

Glavna prednost peleta je da su veće nasipne gustoće i manje vlage, a na taj način imaju i veću gustoću energije od svoje polazne sirovine. Kako bi se to postigla veća gustoća, polazni materijal treba prešati, što je ujedno središnji proces u tehnologiji peletiranja. U nekim slučajevima, ako je polazna sirovina zadovoljavajuće gustoće, dovoljna je preša za pelete za proizvodnju istih, što je najčešće slučaj kod pilanskih ostataka. No ipak, najčešće će prethodno biti potrebno usitniti i osušiti polazni materijal. Osim drvene biomase, kao polazna sirovina za proizvodnju peleta za ogrjev mogu se koristiti razne vrste biomase, kao što su primjerice poljoprivredni ostaci. Peleti proizvedeni od poljoprivrednih ostataka imaju veći sadržaj pepela, ali nekada nije potrebno grubo usitnjavanje sirovine nego se može direktno uvesti u mlin čekićar, kao što je slučaj kod korištenja slame kao sirovine. Proizvodnja peleta bit će uglavnom ravnomjerna tokom godine, što se ne može reći i za potražnju, koja je najveća u sezoni grijanja. Dostupnost sirovine također ima manje varijacije tokom godine, tako da će biti potrebno skladištenje sirovine i gotovog proizvoda. Biomasa skladišti se na vanjskim otvorenim skladištima te se prema potrebi prevozi do centralnih skladišta blizu postrojenja. Za pelete potrebno je osigurati odgovarajuće silose za skladištenje [19].



Slika 1.3 Shematski prikaz postrojenja za proizvodnju peleta [20]

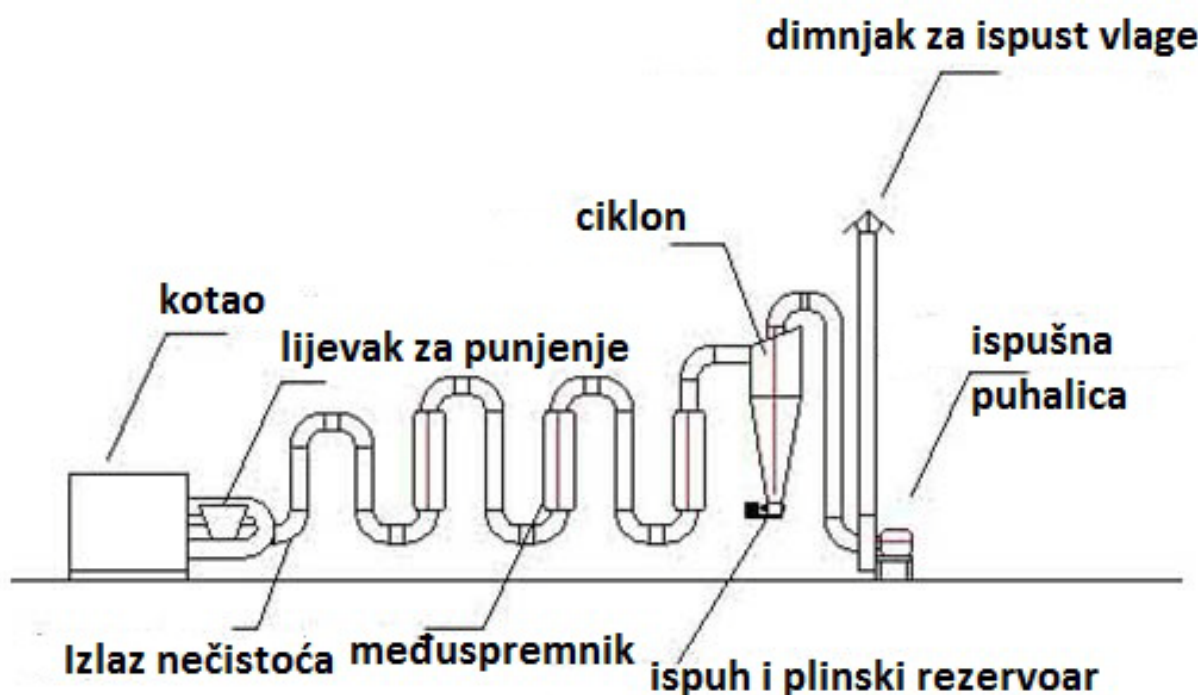
Uobičajene linije za peletiranje na tržištu vrše 5 osnovnih procesa [17]:

1) Usitnjavanje

Najbolji promjer čestica za proizvodnju peleta je 1-5mm, te ako promjer komada premašuje 5 mm prije peletiranja potrebno je usitnjavanje. Drvnu biomasu prije uvođenja u sustav s mlinom čekičarom treba prvo pomoću iverača nasjeckati u sječku, dok se neke druge vrste biomase, npr. slama, mogu direktno uvesti u mlin čekičar.

2) Regulacija vlage

Optimalan sadržaj vlage za proizvodnju peleta kod drvne biomase iznosi 15 % (prihvatljivo je do 20 %). Prema tome, ako je sadržaj vlage veći od 20 % prije peletiranja potrebno je sušenje. Sušenje se najčešće vrši u pećnici, vrućim zrakom ili u rotacijskoj sušari. Ako je razina vlage sirovine preniska, moguće je ovlaživati je parom ili vodom. U slučaju šumskih ostataka, razina vlage je iznad optimalne te je potrebno sušenje. Slika 1.4 prikazuje sušenje vrućim zrakom.



Slika 1.4 shematski prikaz sušare toplim zrakom [21]

3) Proces peletiranja

Peletiranje vrši mlin, te se pod povišenom temperaturom i tlakom istiskuju kroz rešetku peleti cilindričnog oblika, standardno 6-8 mm, ne duži od 38 mm, i ako mogu biti i promjera od primjerice 2 ili 12 mm, ovisno o izlaznoj rešetci koja se po potrebi može zamijeniti. Vezivo za peletiranje drvene biomase je lignin, koji je prirodno sadržan u drvetu, no u nekim slučajevima potrebno je dodavati vezivo. Peleti imaju veću gustoću i ogrjevnu vrijednost od polazne sirovine, te ih je jednostavnije skladištiti, prodavati i koristiti.

4) Hlađenje

Pošto peleti iz mlina izlaze s određenom temperaturom, koja nije pogodna za pakiranje (oko 150°C), i prilično su mekani, prethodno se hlade i istovremeno suše upuhivanjem zraka u posudu s peletima. Izlazni sadržaj vlage ne bi trebao biti viši od 8 %.

5) Pakiranje

Kod postrojenja većeg kapaciteta uputno je da se pakiranje vrši automatski. Za to se najčešće koristi transportna traka i skakač koji ubacuju pelete u uređaj za pakiranje. Za manja postrojenja pakiranje se može vršiti i ručno.

Postoje na tržištu linije za peletiranje u koje su uključeni svi navedeni procesi, po principu „ključ u ruke“, a može se i posebno nabaviti dijelove, što rezultira manjom cijenom, ali nosi i određene nedostatke, jer u slučaju kvara nije uvijek jednostavnokoristiti garanciju proizvođača dijela koji se pokvario, jer su garancije ograničene na određene ulazne parametre, te često dođe do prebacivanja odgovornosti između proizvođača pojedinih dijelova. Kupnjom gotove linije od jednog proizvođača dobiva se na jednostavnosti održavanja te su manji troškovi održavanja. Na slikama 1.3. i 1.5. prikazane su linije za peletiranje drvene biomase.



Slika 1.5. Linija za peletiranje drvene biomase kapaciteta 2-3 t/h [22]

2. METODOLOGIJA

2.1 Tehnički potencijal biomase šumskih ostataka

Tehnički potencijal šumskih ostataka nekog područja proporcionalan je s etatom tog područja. Ne mogu se koristiti svi ostaci u gospodarske svrhe, jer neki moraju ostati za stvaranje humusa i kao zaštita zemljišta, a neki se ne mogu na ekonomičan način iskoristiti [20].

Tehnički potencijal drvnih ostataka (m^3) dobiva se na sljedeći način [23]:

$$\text{TEHNIČKI POTENCIJAL (m}^3\text{)} = \text{ETAT (m}^3\text{)} \times \text{ŠUMSKI OSTATAK (\%)} \quad (2.1)$$

Etat označava sječivu drvenu masu, to jest količinu drvne mase koju je dopušteno iskorištavati u gospodarske svrhe. Svake godine donose se planovi godišnjeg etata, u isto vrijeme pazeći na prirast, koji je zadnjih godina uglavnom nešto viši od etata, tako da se vodi računa o održivom gospodarenju, kako se ne bi narušila prirodna ravnoteža [14]. Za proizvodnju peleta koristi se ostatna šumska biomasa, kao što su panjevi i sitno granje. Koriste se samo grane promjera 7 cm i više, jer je kod manjih promjera problematično odvajanje kore [23]. Najrašireniji peleti ne dozvoljavaju upotrebu kore za proizvodnju jer ona u svom sastavu ima prevelik udio pepela, te premašuje dozvoljene granice za prvoklasnu kvalitetu. Šumski ostatak izvozi se na šumske puteve ili na glavna šumska skladišta te se usitnjava pomoću iverača u sječku [3].

Faktor šumskog ostatka za prosječne šume kreće se od 12 do 15 %. Za bjelogorične šume nešto je niži nego za crnogorične. U ovom radu uzeto je da šumski ostatak iznosi 12 % [3]. Na taj način dobivena je količina ostatne šumske biomase u punim kubnim metrima drva, a da bi se izračunala nasipni volumen sječke, korištena je sljedeća formula, s obzirom na vrstu drva (bjelogorice) [23]:

$$1 \text{ m}^3 \text{ TRUPACA} = 2,5 \text{ NASIPNA m}^3 \text{ SJEČKE} \quad (2.2)$$

Za proizvodnju peleta potrebno je osigurati dovoljne količine sječke. U tablici 2.1. prikazane su potrebne količine ovisno o vrsti drveta ako je sječka zadovoljavajuće vlažnosti [19].

Tablica 2.1. Potrebna količina drvnog ostatka za proizvodnju 1 tone peleta ovisno o vrsti [19]

Vrsta drveta	Količina drvnog ostatka	Količina peleta
Bjelogorično drvo	4 m ³	1 T
Crnogorično drvo	6 m ³	1 T
50/50 kombinacija	5 m ³	1 T

Radi li se o drvnom ostatku nezadovoljavajuće vlažnosti, potrebne količine bit će veće, te će ovisiti samo o udjelu vlage. Tablica 2.2. prikazuje potrebne količine drvnog ostatka za proizvodnju jedne tone peleta ako je sirovina nezadovoljavajuće vlažnosti.

Tablica 2.2. Potrebna količina drvnog ostatka za proizvodnju 1 tonu peleta ovisno o vlazi [19].

Količina vlage	Količina drvnog ostatka	Količina peleta
Do 35%	6,5 m ³	1 T
Do 45%	7,5 m ³	1 T
Preko 50%	9,5 m ³	1 T

Za procjenu satnog kapaciteta postrojenja za proizvodnju peleta, godišnji iznos količine peleta u tonama koji se može dobiti od postojećeg potencijala ostatne šumske biomase podijeljen je s brojem radnih sati u godini, za slučaj jednosmjenskog i dvosmjenskog rada.

2.2 Cijena biomase na lokaciji postrojenja

Cijena biomase na lokaciji postrojenja ovisit će o cijeni sječke od šumskih ostataka na šumskom putu, o cijeni transporta sječke po kilometru i toni, o udaljenosti lokacije sječke i lokacije postrojenja i o veličini postrojenja. Glavni utjecaj na cijenu sječke na lokaciji postrojenja imaju cijena sječke ostatke šumske biomase na šumskom putu i udaljenost između lokacije biomase i lokacije postrojenja, što uvelike ovisi o veličini postrojenja i o raspoloživosti šumskih ostataka u regiji, dakle o lokaciji postrojenja.

Cijena biomase na lokaciji postrojenja u €/t izračunata je na sljedeći način [23]:

$$B_C = \sum_{i=1}^n \frac{[C_B + (T_P \times U_i)] \times K_{Bi}}{P_B}$$

(2.3)

Gdje je:

B_C : Prosječna cijena sirovine na lokaciji postrojenja za proizvodnju peleta (€/toni)

C_B : Cijena sječke od šumskih ostataka na šumskom putu ili u šumariji (€/toni)

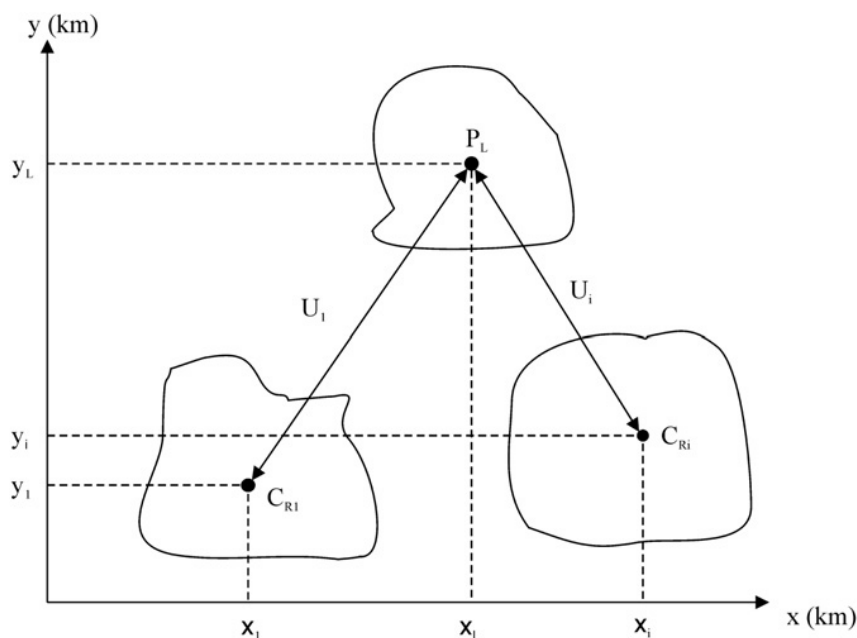
T_P : Specifični trošak prijevoza sirovine (€/toni/km)

U_i : prosječna udaljenost između lokacije biomase s područja i i postrojenja (km)

K_{Bi} : Ukupna količina biomase dovezene s područja i (tona)

P_B : Ukupna godišnja upotreba sirovine u postrojenju (tona)

Metodologija za dobivanje prosječne udaljenosti (U_i) između lokacije postrojenja (P_L) i lokacije biomase (C_{Ri}) prikazana je na slici 2.3.



Slika 2.1. način određivanja prosječne udaljenosti biomase [23]

Na slici 2.1. udaljenosti su prikazane kao ravne crte. U ovom radu korištena je interaktivna karta Hrvatskog autokluba d.o.o. za procjenu udaljenosti od šumarija do makro-lokacija. Kako bi se dobile točnije vrijednosti, preporučljivo je koristiti geografski informatički sustav (GIS).

2.3 Ekonomska analiza postrojenja za proizvodnju peleta na odabranim makro-lokacijama

2.3.1 Prihodi postrojenja za proizvodnju peleta

Osnovni prihod postrojenja za proizvodnju peleta od šumskih ostataka je prihod od prodaje drvnih peleta, i njime je potrebno pokriti sve troškove proizvodnje te ostvariti dobit. Izračunava se na osnovu planiranog kapaciteta postrojenja i prodajne cijene peleta. Prodajna cijena peleta je uzeta kao cijena na mjestu proizvodnje, dakle bez transporta do kupca, tako da je cijena drvnih peleta na tržištu umanjena za transport gotovih peleta do lokacije kupca, skladištenje, utovar i istovar.

2.3.2 Rashodi postrojenja za proizvodnju peleta

Troškovi postrojenja su:

- investicijski troškovi
- troškovi sirovine
- troškovi energije
- troškovi transporta
- troškovi radne snage
- troškovi održavanja
- troškovi amortizacije
- troškovi poreza

Investicijski troškovi su troškovi za nabavu dijelova postrojenja, ili cijele linije, troškovi građevinskih radova, obuke radnika i administrativnih troškova. Najveći dio troškova energije predstavljaju troškovi električne energije potrebne preši. Sušara može koristiti različite energente, od fosilnih do električne energije ili sirove biomase. Troškovi transporta su troškovi transporta sirovine od mjesta nabavka sirovine do postrojenja i troškovi transporta gotovog proizvoda do kupca. U ovom radu nisu se računali troškovi transporta do kupca, nego je računato s cijenom peleta na izlazu iz postrojenja. Pod radnom snagom podrazumijevaju se fizički radnici na postrojenju i zaposleni u administraciji. Troškovi održavanja su popravci i nabava novih

dijelova koji se brzo troše, kao što su matrica kalupa za prešanje i dijelovi mlina čekićara. Troškovi amortizacije ne zbrajaju se u troškove, nego se oduzimaju od bruto profita kako bi se dobila porezna osnovica. Porez je umnožak porezne osnovice i porezne stope. Sama sirovina predstavlja najveći dio troškova.

3. ANALIZA SLUČAJA: BJELOVARSKO-BILOGORSKA ŽUPANIJA

U okviru ovog rada razmotreno je i analizirano nekoliko kombinacija načina rada i raspodjele kapaciteta postrojenja na lokacijama. U ovom poglavlju prikazani su scenariji za koje su napravljene analize isplativosti.

3.1 Analiza osjetljivosti unutarnje stope povrata

Analiza osjetljivosti koristi se za procjenu utjecaja promjene neke vrijednosti na isplativost investicije. Pokazuje koliko je neka investicija rizična, te locira parametre koji najviše utječu na isplativost investicije. Ne bavi se vjerojatnosti promjene nekog parametra, nego samo pokazuje u kojoj mjeri promjena njegove vrijednosti utječe na isplativost projekta, te time pokazuje koji su najveći faktori rizika [24].

3.2 Makro-lokacije za izgradnju postrojenja za proizvodnju peleta

U Hrvatskoj unatoč velikom potencijalu ostatne biomase postoji samo nekoliko poduzeća koja se bave proizvodnjom drvnih peleta, u Primorsko-Goranskoj, Sisačko-Moslovačkoj, Zadarskoj, Osječko-Baranjskoj, Vukovarsko-Srijemskoj županiji i Gradu Zagrebu. Pošto se nijedno od tih poduzeća ne nalazi na području Bjelovarsko-Bilogorske županije, lokacije postojeće proizvodnje nećemo uzeti u obzir za odabir makro-lokacije. Od peleta proizvedenih u Hrvatskoj, čak 98 % se izvozi, tako da je značenje lokalnog tržišta zasad simbolično. Ako će se u budućnosti uspostaviti ograničenja na emisije CO₂ i iz zgrada, peći na pelete mogle bi postati značajnije, pošto se u usporedbi s tradicionalnom upotrebom drvnih cjepanica ne gubi toliko na komforu koji je osiguran ako se kuća ili zgrada grije na tekuća fosilna goriva. Odabir makro-lokacija vrši se uzimajući u obzir sljedeće stavke:

- Udaljenost sirovine od lokacije
- Prostorna mogućnost izgradnje postrojenja za proizvodnju peleta
- Dostupnost i kvaliteta električne mreže na lokaciji
- Prometna povezanost

Posebno treba uzeti u obzir položaj makro-lokacije u odnosu na dostupnu sirovinu, tako da se transportni troškovi svedu na minimum. Dostupnost biomase u neposrednoj blizini te veličina postrojenja bitno utječu na trošak transporta sirovine i isplativost postrojenja.

3.3 Jednosmjenski rad

Način rada bitno utječe na isplativost postrojenja. Za zadani kapacitet proizvodnje peleta, ako se proizvodi u jednoj smjeni, smanjuju se godišnji troškovi radnika, ali je potrebno kupiti postrojenje većeg kapaciteta, ako se želi kao što je planirano iskoristiti sav tehnički potencijal županije, tako da rad u jednoj smjeni smanjuje godišnje troškove, ali zato povećava investicijske troškove. Iz prije navedenih razloga, za makro-lokacije odabrani su Bjelovar i Daruvar, što su ujedno i dva najveća grada u županiji. Pogodan je i položaj jednog u odnosu na drugog, jer bi Bjelovar uzimao sirovinu iz sjeverozapadnog dijela županije, a Daruvar iz jugoistočnog, što će imati utjecaja na isplativost u režimu s dva postrojenja koji dijele kapacitet Županije sirovinom na pola. Na slici 3.1 prikazan je položaj tih gradova u Bjelovarsko-Bilogorskoj županiji.



Slika 3.1 Bjelovarsko-Bilogorska županija [25]

3.3.1 Jednosmjenski rad na jednoj lokaciji

Prvi razmotreni slučaj bio je izgradnja jednog postrojenja za proizvodnju peleta od ostatne šumske biomase na području Bjelovarsko-Bilogorske županije koje bi koristilo sve šumske ostatke iz županije. Analiza za taj slučaj napravljena je za dvije odabrane makro-lokacije. Prednost proizvodnje na jednoj lokaciji je također manji godišnji trošak radne snage, ali ovaj put u odnosu na rad na dvije lokacije ne raste investicijski trošak, nego trošak transporta sječke do

postrojenja, jer veći proizvodni kapacitet zahtjeva i veće količine sirovine, što je kod biomase značajno zbog velike potrebne površine za dobivanje određene količine energije. U daljnjem tekstu slučaj jednosmjenskog rada u makro-lokaciji Bjelovar, s postrojenjem koje može proizvoditi 9 tona peleta na sat nazivat će se „scenarij 1“. Sličan slučaj, ali na makro-lokaciji Daruvar, nazivat će se „scenarij 2“.

3.3.2 Jednosmjenski rad na dvije lokacije

U ovom scenariju u odnosu na prethodni bit će veći godišnji troškovi radne snage, investicijski trošak neće se značajno promijeniti, a ušteda će biti ostvarena na troškovima transporta, zbog manje relacije koju teretna vozila moraju prijeći da bi opskrbila postrojenje dovoljnom količinom sirovine. Pozitivno sa socijalnog stajališta kod povećanja troškova radne snage što se ne vidi u kalkulaciji je što bi se otvorio veći broj radnih mjesta. Slučaj u kojem jednosmjenski rade dva postrojenja, jedno na svakoj makro-lokaciji, s kapacitetima proizvodnje od 4,5 t/h, nazivat će se „scenarij 3“.

3.4 Dvosmjenski rad

U suprotnosti s jednosmjenskim režimom rada, u ovom slučaju značajno će se smanjiti investicijski trošak, ali će se troškovi radne snage povećati, ali se povećava mogućnost zapošljavanja.

3.4.1 Dvosmjenski rad na jednoj lokaciji

Izvedena je tehno-ekonomska analiza isplativosti izgradnje postrojenja manjeg kapaciteta nego za dvosmjenski rad na makro-lokacijama Bjelovar i Daruvar s radom u dvije smjene. U ovim slučajevima povišeni su kao u scenariju 1 i 2 troškovi transporta zbog djelomično velike udaljenosti između sirovine i lokacije postrojenja. Dvosmjenski rad s instaliranim kapacitetom od 4,5 t/h u Bjelovaru nazivat će se „scenarij 4“, a u Daruvaru „scenarij 5“

3.4.2. Dvosmjenski rad na dvije lokacije

Ovaj scenarij dopušta upotrebu najmanjih postrojenja, kapaciteta kakvog ima češće za naći na tržištu, udaljenosti transporta unutar granica prihvatljivosti, i mogućnost zapošljavanja najvećeg broja ljudi. Istovremeno, veći su troškovi za radnu snagu. Dva postrojenja kapaciteta od 2,5 t/h na dvije lokacije u dvosmjenskom radu zvat će se „scenarij 6“

4. REZULTATI

4.1 Tehnički potencijal šumskih ostataka

47 % kopnene površine hrvatske, ili 2.688.687 ha, su šume i šumska zemljišta. Od toga se 2.106.917 ha ili oko 78 % nalazi u državnom vlasništvu, dok je ostalo u privatnom vlasništvu. Na slici 4.1. vidljiva je podjela šumske površine Hrvatske prema vlasništvu.



Slika 4.1. Podjela šumske površine prema vlasništvu [14]

U ovom radu uzeti su u obzira isključivo šumski ostaci proizvedeni sa strane šuma u državnom vlasništvu. 95 % šuma i šumskog zemljišta su prirodne šume. Glavni dio šumskog područja zauzimaju Bjelogorične šume (84 %), dok su crnogorične šume zastupljene s 16 % područja. Najčešće vrste drveća, i njihovi udjeli u drvnoj zalihi u m³ prikazane su na slici 4.2.



Slika 4.2. drvna zaliha prema vrstama u RH [14]

U okviru ovog završnog rada bilo je potrebno izračunati viškove šumske biomase u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji po šumarijama, koji se mogu koristiti za proizvodnju peleta. U tu svrhu korišteni su javni podaci hrvatskih šuma, gdje se mogu naći podaci pojedinih etata po gospodarskim jedinicama unutar šumarija, te je izračunat ukupni etat za svaku šumariju na području Bjelovarsko-Bilogorske županije zbrajanjem etata glavnog i prethodnog prihoda svake gospodarske jedinice u određenoj šumariji, dakle za deset šumarija unutar uprave šuma podružnica Bjelovar: Šumarija Bjelovar, Šumarija Čazma, Šumarija Ivanska, Šumarija Velika Pisanica, Šumarija Veliki Grđevac, Šumarija Grubišno Polje, Šumarija Garešnica, Šumarija Đulovac, Šumarija Daruvar i Šumarija Sirač.

Šumski ostatak su panjevi i sitna granjevina, do minimalnog promjera 7 cm, kako bi bilo još izvedivo odstraniti koru. U ovom radu uzeto je da je tehnički potencijal 12 % etata u punim m³. Planirani desetogodišnji etati po šumarijama dobiveni su iz javnih podataka Hrvatskih šuma d.o.o. U tablici 4.1. prikazani su planirani desetogodišnji etati šumarija Bjeovarsko-Bilogorske županije.

Tablica 4.1. planirani desetogodišnji etat Bjelovarsko-Bilogorske županije

Šumarija	Etat glavnog prihoda (m3)	Etat prethodnog prihoda (m3)	Ukupno (m3)
Bjelovar	544126,00	189944,00	734070,00
Čazma	230160,00	183105,00	413265,00
Ivanska	142629,00	152756,00	295385,00
Veliki Grđevac	312301,10	188652,20	500953,20
Velika Pisanica	254988,00	185598,00	440586,00
Garešnica	310651,90	229090,80	539742,80
Grubišno polje	296376,00	238912,00	535288,00
Đulovac	292049,00	90305,00	382354,00
Daruvar	225174,00	119316,00	344490,00
Sirač	302371,00	199303,00	501674,00
Bjelovarsko – Bilogorska Županija	2910826,00	1776982,00	4687808,00

Da bi se dobili prosječni godišnji etati, planirani desetogodišnji podijeljeni su s 10. Za dobivanje godišnjeg tehničkog potencijala korištena je jednadžba (2.1), a za izračun nasipnog volumena sječke jednadžba (2.2). Zatim je korišten podatak iz tablice (2.2) o potrebnom volumenu sječke za proizvodnju jedne tone peleta u ovom radu korišteno je da je potrebno 7,5 m³ za 1 t. Tablica

4.2. prikazuje godišnji etat po šumarijama, tehnički potencijal, godišnje raspoloživi volumen sječke, te mogućnost godišnje proizvodnje peleta u tonama.

Tablica 4.2. Potencijal po šumarijama u volumenu sirovine i masi peleta

Šumarija	Godišnji etat (m3)	Tehnički potencijal (m3)	Volumen sječke (m3)	masa peleta (t)
Bjelovar	73407,00	8808,84	22022,10	2936,28
Čazma	41326,50	4959,18	12397,95	1653,06
Ivanska	29538,50	3544,62	8861,55	1181,54
Veliki Grđevac	50095,32	6011,44	15028,60	2003,81
Velika Pisanica	44058,60	5287,03	13217,58	1762,34
Garešnica	53974,28	6476,91	16192,28	2158,97
Grubišno polje	53528,80	6423,46	16058,64	2141,15
Đulovac	38235,40	4588,25	11470,62	1529,42
Daruvar	34449,00	4133,88	10334,70	1377,96
Sirač	50167,40	6020,09	15050,22	2006,70
Bjelovarsko – Bilogorska Županija	468780,80	56253,70	140634,24	18751,23

Postrojenja za proizvodnju peleta na tržištu označena su kapacitetima u tonama na sat. Radi procjene veličine postrojenja koje treba nabaviti, godišnji potencijal u masi peleta podijeljen je s brojem radnih sati, kako bi se dobio satni kapacitet potencijala šumarija, za slučaj rada u jednoj i dvije smjene. Uzeto je da u jednoj smjeni ima 2.112 radnih sati [19]. Tablica 4.3. prikazuje potrebni satni kapacitet po šumarijama. Cilj je bio iskoristiti sav tehnički potencijal ostatne biomase s područja Bjelovarsko-Bilogorske županije, u raznim slučajevima odabira makro-lokacija i smjenskog rada.

Tablica 4.3. Tehnički potencijal biomase preračunat u tone peleta po satu

Šumarija	masa peleta (t)	kapacitet za jednu smjenu (t/h)	kapacitet za dvije smjene (t/h)
Bjelovar	2936,28	1,39	0,70
Čazma	1653,06	0,78	0,39
Ivanska	1181,54	0,56	0,28
Veliki Grđevac	2003,81	0,95	0,47
Velika Pisanica	1762,34	0,83	0,42
Garešnica	2158,97	1,02	0,51
Grubišno polje	2141,15	1,01	0,51
Đulovac	1529,42	0,72	0,36
Daruvar	1377,96	0,65	0,33
Sirač	2006,70	0,95	0,48
Bjelovarsko - Bilogorska Županija	18751,23	8,88	4,44

Iz navedenog se vidi da je najproduktivnija šumarija Bjelovar, međutim treba uzeti u obzir i površinu šumarije, zbog troškova transporta po cestama koje su uglavnom nerazvrstane. Šumarija Bjelovar imaujedno i najveću površinu. Optimalan odnos visoke produktivnosti i male površine ima primjerice šumarija Sirač.

4.2 Cijena biomase na lokaciji postrojenja

Način dobivanja cijene biomase opisan je u poglavlju 2.2. Najveći dio cijene predstavlja sama sirovina. U tablici 4.4 prikazane su cijene sječke iz Hrvatskih šuma.

Tablica 4.4 cjenik Hrvatskih šuma d.o.o. – direktni trošak sječke [26]

Vrsta drveta	Sortiment	Cijena	Gustoća	Cijena	Usluga	Drvena sječka	Drvena sječka ukupno
		Kn/m		Kn/t		kn	euro
BUKVA/GRAB	VMC ¹ - VMO II ²	120	0,9	133	125	258	35,34
	VMC-SJEČ.	104	0,9	116	135	251	34,38
	VMO II-SJEČ	78	0,85	92	155	247	33,83
TVRDO LISTOPADNO DRVO	VMC-VMO II	104	0,85	122	125	247	33,84
	VMC-SJEČ.	91	0,85	107	135	242	33,15
	VMO II-SJEČ	61	0,8	76	155	231	31,64
MEKO LISTOPADNO DRVO	VMC-VMO II	86	0,7	123	125	247	33,84
	VMC-SJEČ.	75	0,7	107	135	242	33,15
	VMO II-SJEČ	46	0,65	71	155	226	30,96
CRNOGORIČNO DRVO	VMC-VMO II	78	0,8	98	125	223	30,55
	VMC-SJEČ.	67	0,8	84	135	219	30
	VMO II-SJEČ	32	0,75	43	155	198	27,12

¹VMC - Celulozno drvo - VM

⁴VMO II - Ogrjevno drvo II - VM

Prvo je određena prosječna udaljenost između lokacije biomase i lokacije postrojenja za makrolokacije Bjelovar i Daruvar i za svaku šumariju, pomoću interaktivne karte Hrvatskog autokluba d.o.o. U tablici 4.5 prikazane su prosječne udaljenosti u km.

Tablica 4.5 Prosječne udaljenosti između makrolokacija i šumarija [27]

Šumarija	prosječna udaljenost do Bjelovara (km)	prosječna udaljenost do Daruvara (km)
Bjelovar	18	60
Čazma	35	87
Ivanska	22	52
Veliki Grđevac	30	30
Velika Pisanica	25	40
Garešnica	50	46
Grubišno polje	40	32
Đulovac	70	22
Daruvar	60	15
Sirač	65	18

Za izračun cijene šumskog ostatka na lokaciji postrojenja korištena je jednadžba (2.3). Masa sirovine dobivena je iz volumena sječke i gustoće sječke 300 kg/m^3 [28], a za specifični trošak transporta uzeta je cijena od $0,1 \text{ €/toni/km}$ [3]. Korištena je cijena sječke od 35 €/t . Pretpostavljeno je da se u oba slučaja prevozi sav tehnički potencijal šumskih ostataka do odabrane lokacije.

Teretna vozila koja se uobičajeno koriste u šumarijama za transport imaju zapremninu $10,35 \text{ m}^3$ bez prikolice, a s dodanom prikolicom oko 20 m^3 . Masa vozila s prikolicom bez tereta iznosi oko 20 t (metričkih tona). Na cestama koje se koriste zabranjen je promet za vozila čija ukupna masa prelazi 40 t , tako da za prijevoz drvnih trupaca i većih grana nema potrebe za teretnim vozilima veće zapremnine. Pošto je nasipna gustoća šumskih ostataka manja nego gustoća složenih drvnih trupaca, za prijevoz prvih može se razmotriti nabava većih teretnih vozila. Iskustvena gornja granica isplativosti za duljinu transportnog puta sirovine iz šume iznosi $50\text{-}60 \text{ km}$. Za slučaj prosječne udaljenosti 30 km , jedno vozilo bi u radnom danu moglo dva do tri puta dovesti sirovinu, ovisno o vremenskim uvjetima, zbog cesta na kojima se može voziti prosječnom brzinom od 30 km/h te zbog utovara i istovara, koje vrši vozač teretnog vozila pomoću vilica. Druga mogućnost je da se nabave posebni kamioni zapremnine 90 m^3 koji može prevoziti 24 t ostatne šumske biomase, tako da je ukupna masa vozila s teretom 40 t , s demontažnim zatvorenim spremnikom, koji se može ostaviti na mjestu utovara dok kamion ne dođe po puni spremnik i donosi prazni [19]. Kamioni koji se trenutno koriste u Hrvatskim šumama troše s prikolicom prazni cca. 45 l/100 km i puni 55 l/100 km .

4.2.1 Cijena biomase na lokaciji postrojenja kod jedne makro-lokacije

Na način opisan u poglavlju 4.2, za makro-lokaciju Bjelovar izračunata je cijena šumskih ostataka na lokaciji postrojenja od 39,02 €, a za makro-lokaciju Daruvar 39,11 €. Ako bi se išlo graditi postrojenje u tog kapaciteta trebalo bi se razmotriti nabavljanje sirovine i iz šumarija koje nisu na području županije, jer su Daruvaru na primjer bliže šumarije Pakrac i Lipik nego Bjelovar, Čazma i Ivanska.

4.2.2 Cijena biomase na lokaciji postrojenja kod dvije makro-lokacije

Kod scenarija s dva postrojenja, jednim u Bjelovaru i jednim u Daruvaru, smanjit će se trošak transporta jer će biti manja godišnja proizvodnja za svako postrojenje, pa će biti i manja potrebna prosječna udaljenost koju će prevaljivati teretna vozila sa sirovinom. U slučaju odabranih makro-lokacija zbog njihovog međusobnog položaja. U tablici 4.6 prikazan je način odabira šumarija za makro-lokacije. Zeleno su označene šumarije koje su odabrane. To je izvedeno na način da se svaka šumarija dodijeli makro-lokaciji kojoj je bliža, a istovremeno će i potrebni satni kapacitet obadvaju postrojenja biti gotovo isti

Tablica 4.6 dodjela šumarija iz kojih se dostavlja sirovina makro-lokacijama

Šumarija	prosječna udaljenost do Bjelovara (km)	prosječna udaljenost do Daruvara (km)
Bjelovar	18	60
Čazma	35	87
Ivanska	22	52
Veliki Grđevac	30	30
Velika Pisanica	25	40
Garešnica	50	46
Grubišno polje	40	32
Đulovac	70	22
Daruvar	60	15
Sirač	65	18

U scenarijima s svije makro-lokacije, dobivamo cijenu biomase na lokaciji postrojenja za makro-lokaciju Bjelovar 37,53 €, a za makro-lokaciju Daruvar 37,80 €

4.3 Ekonomska analiza postrojenja na odabranim makro-lokacijama

Na isplativost postrojenja utječe niz faktora, od kojih se na neke ne može direktno, ili ne može bitno utjecati, a to su tržišne cijene sirovine, gotovih peleta, električne energije, specifična cijena transporta, cijena postrojenja određenog kapaciteta, troškovi održavanja te visina poreza i cijena radne snage, ako je lokacija već odabrana. U ovom radu analizirana je isplativost za razne kombinacije onih faktora na koje se može utjecati, a utječu na isplativost postrojenja.

4.3.1 Prihodi energetskog postrojenja

Jedini prihod energetskog postrojenja je prodaja peleta, svi troškovi i njome se moraju pokriti i ostvariti dobit. U ovom radu, u svim scenarijima jednaka je količina godišnje proizvedenih peleta, jer je cilj bio iskoristiti svu ostatnu biomasu Bjelovarsko-Bilogorske županije. Za cijenu peleta na izlazu iz postrojenja korišteno je 130 €/t. S godišnjom proizvodnjom od 18.751,23 tona peleta u godini, dobiven je godišnji prihod od 2.437.660 €

4.3.2 Troškovi energetskog postrojenja

Najveći trošak predstavlja nabava sirovine. Za različite scenarije izračunat je trošak biomase na lokaciji postrojenja. Ukupna količina nabavljene sirovine bit će u svim slučajevima jednaka. U tablici 4.7 prikazana je kalkulacija troškova sirovine.

Tablica 4.7 trošak sirovine na lokaciji postrojenja za različite scenarije

Kalkulacija troškova sirovine	količina sirovine (t)	Prosječna cijena sirovine na lokaciji postrojenja (€/t)	troškovi sirovine (€)
Bjelovar 42190 t (scenariji 1 i 4)	42190	39,11	1650050,90
Daruvar 42190 t (scenariji 2 i 5)	42190	39,02	1646253,80
Bjelovar 21458 t	21458	37,53	805331,12
Daruvar 20732	20732	37,8	783667,33
Bjelovar 21458 t+ Daruvar 20732 t (scenariji 3 i 6)	42190	37,66	1588998,46

Za cijenu električne energije do snage 1 MW korištena je cijena od 0,1824 € [23]. Tablica 4.8 prikazuje troškove električne energije jednog postrojenja za korištene kapacitete. U prvom redu je manji faktor opterećenja jer proizvodnja ostatne šumske biomase nije toliki da se postoji mogućnost proizvodnje 2,5 t/h peleta na dvije lokacije u dvije smjene s 2.112 radnih sat mjesečno, tako da je skaliran u odnosu na druge sukladno mogućoj proizvodnji.

Tablica 4.8 troškovi električne energije za korištene kapacitete postrojenja

kapacitet postrojenja	cijena struje (€/kWh)	snaga (kW) preša+ostali uređaji	faktor opterećenja	broj radnih sati	cijena po satu (€/h)	troškovi električne Energije (€)
2,5 t/h	0,1824	280	0,72	2112	40,8576	77662,13
4,5 t/h	0,1824	500	0,8	2112	72,96	154091,52
9 t/h	0,1824	1000	0,8	2112	145,92	308183,04

*prosječne snage dobivene su raspitivanjem kod proizvođača linija za drvene pelete

Pretpostavljena je prosječna cijena radne snage od 1.000 € bruto mjesečno. Za jedno postrojenje koje usitnjava i suši biomasu, zajedno s administracijom, po smjeni treba 6 radnika [19]. Troškovi energije dobiveni su iz tablice 4.8, umnoženi s brojem postrojenja i brojem smjena za određeni scenarij.

Tablica 4.9 kalkulacija troškova i dobiti za razne scenarije

Kalkulacija troškova i dobiti	radna snaga 12 mjeseci	troškovi energije	troškovi sirovine	ukupni troškovi	ostali troškovi (do 5% ukupnih)	ukupno	cijena peleta	Prihod	Bruto profit
Scenarij 1	72000	308183	1646444	2026627	101331	2127958	130	2437660	309702
Scenarij 2	72000	308183	1649968	2030151	101508	2131659	130	2437660	306001
Scenarij 3	144000	308183	1588998	2041181	102059	2143241	130	2437660	294419
Scenarij 4	144000	308183	1646444	2098627	104931	2203558	130	2437660	234102
Scenarij 5	144000	308183	1649968	2102151	105108	2207259	130	2437660	230401
Scenarij 6	288000	310649	1588998	2187647	109382	2297029	130	2437660	140631

4.3.3 Amortizacija postrojenja

Oduzimanjem troškova od prihoda dobiven je bruto profit, kao u tablici 4.9. Da bi se dobila porezna osnovica, od bruto profita oduzima se amortizacija. Amortizacija predstavlja knjigovodstveni pad vrijednosti investicije. U ovom radu primijenjena je linearna metoda amortizacije, a ukupna stopa amortizacije je 100 %, tako da godišnja stopa amortizacije ovisi o knjigovodstvenom vijeku trajanja investicije. Cijene postrojenja prikazane su u tablici 4.10.

Tablica 4.10 prosječne cijene investicije na tržištu

kapacitet postrojenja	prosječna cijena investicije (€)
2,5 t/h	500000
4,5 t/h	900000
9 t/h	1800000

Tablica 4.11 Amortizacija investicije

udio sredstva u investiciji	sredstvo koje podliježe amortizaciji	knjigovodstveni vijek trajanja	godišnja stopa amortizacije	godišnja amortizacija (€), scenariji 1, 2 i 3	godišnja amortizacija (€), scenariji 4 i 5	godišnja amortizacija (€), scenarij 6
15%	građevinski radovi	20	5%	270000	6750	7500
5%	nematerijalna dobra	5	20%	90000	9000	10000
80%	oprema	15	6,67%	1440000	48000	53333

4.3.4 Kalkulacija isplativosti postrojenja

Kalkulacija isplativosti daje nam informaciju o tome hoće li se materijalna osnova projekta smanjivati ili povećavati, kada se uzme u obzir cjelokupni vijek trajanja postrojenja [3]. Postoji nekoliko metoda za ocjenu isplativosti investicije, a neke od njih su:

- Metoda vremena otplate
- Metoda prosječne stope povrata
- Metoda unutarnje stope povrata (IRR)
- Metoda neto sadašnje vrijednosti
- Metoda indeksa profitabilnosti

U ovom radu za ocjenu rentabilnosti investicija korištena je metoda unutarnje stope povrata (IRR). Unutarnja stopa povrata je ona diskontna stopa, koja izjednačava neto sadašnju vrijednost s nulom. Izračun je urađen za vijek trajanja postrojenja od 20 godina.

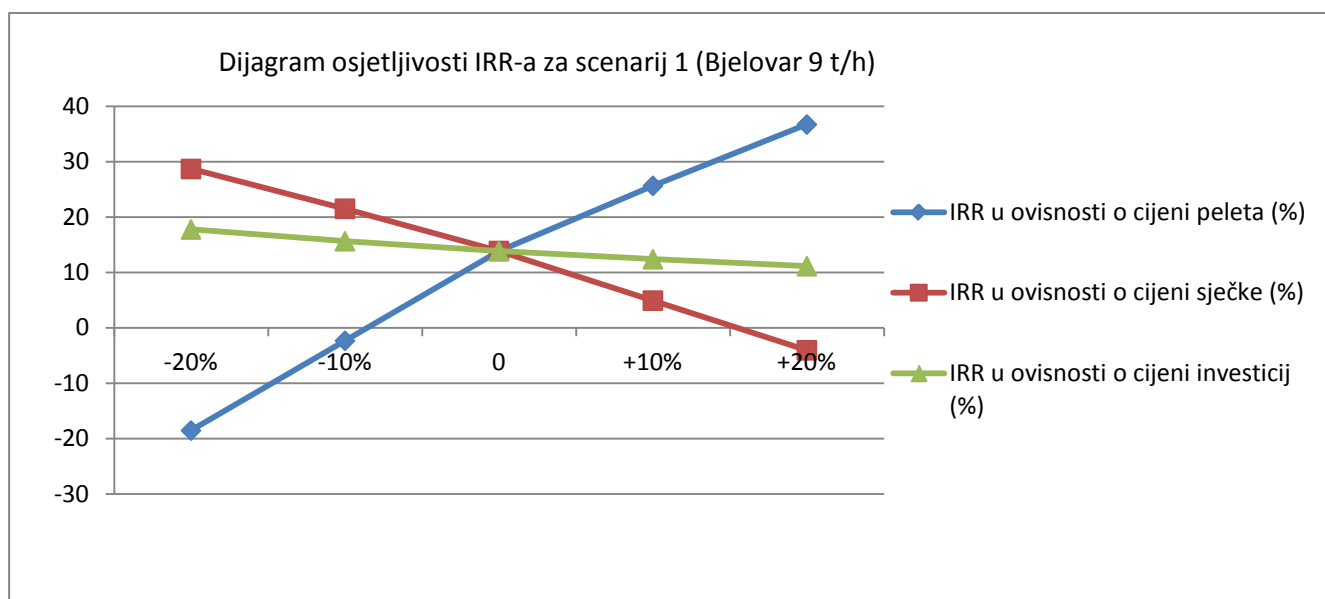
Tablica 4.12 vrijednosti unutarnje stope povrata za različite scenarije

Scenarij	IRR
1 (9t/h Bjelovar)	13,89%
2 (9t/h Daruvar)	13,70%
3 (4,5 t/h Bjelovar + 4,5 t/h Dauvar)	13,10%
4 (4,5 t/h Bjelovar)	21,68%
5 (4,5 t/h Daruvar)	21,33%
6 (2,5 t/h Bjelovar + 2,5 t/h Daruvar)	10,88%

Iz priloženog se vidi da su rentabilnija postrojenja veće godišnje produktivnosti. To ne ide u nedogled jer postoji granica udaljenosti kod koje trošak transporta postaje previsok. Također je isplativije proizvoditi u više smjena.

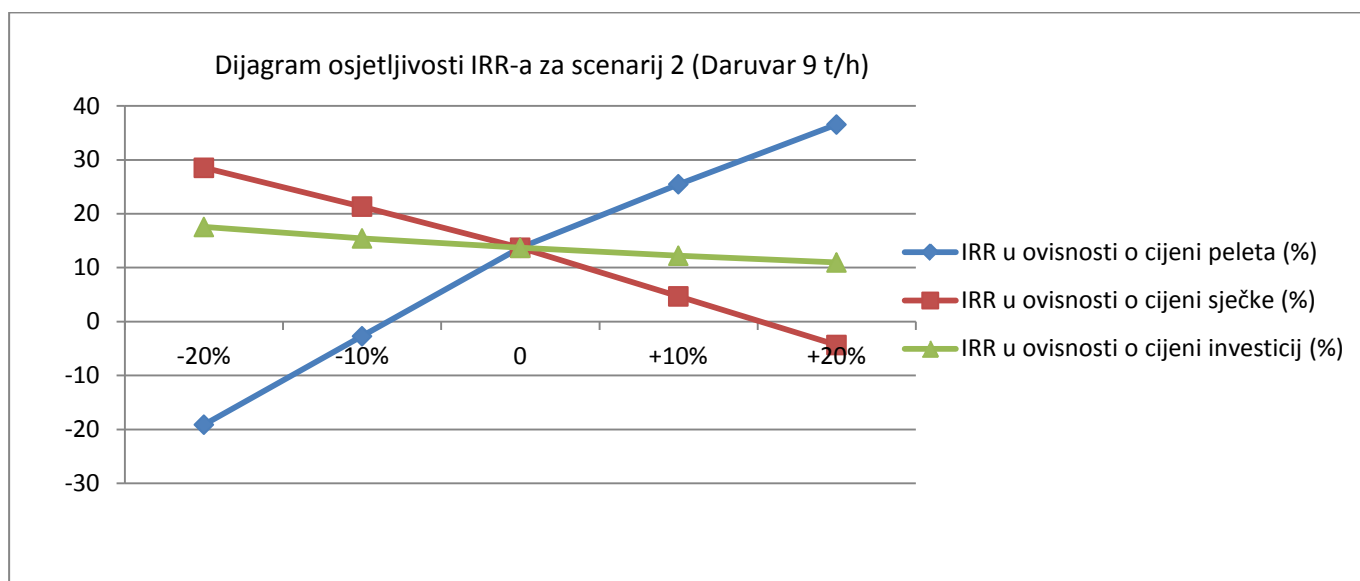
4.3.5 Analiza osjetljivosti unutarnje stope povrata

U scenariju 1, za početne uvjete s investicijskim troškom od 1.800.000 € otkupnom cijenom peleta od 130 €/t i cijenom sječke 35 €/t, IRR iznosi 13,89 %. Izrazito je osjetljiv na promjenu cijene peleta, što se može objasniti time što je prodaja peleta jedini prihod. Već kod smanjenja prodajne cijene od 10 %, IRR pada ispod nule, dakle investicija je neisplativa bez obzira na diskontnu stopu. Veliku osjetljivost pokazuje i na promjenu cijene sječke, jer je nabava sirovine glavni trošak. Ovdje IRR pada ispod nule kod poskupljenja od 15 %.



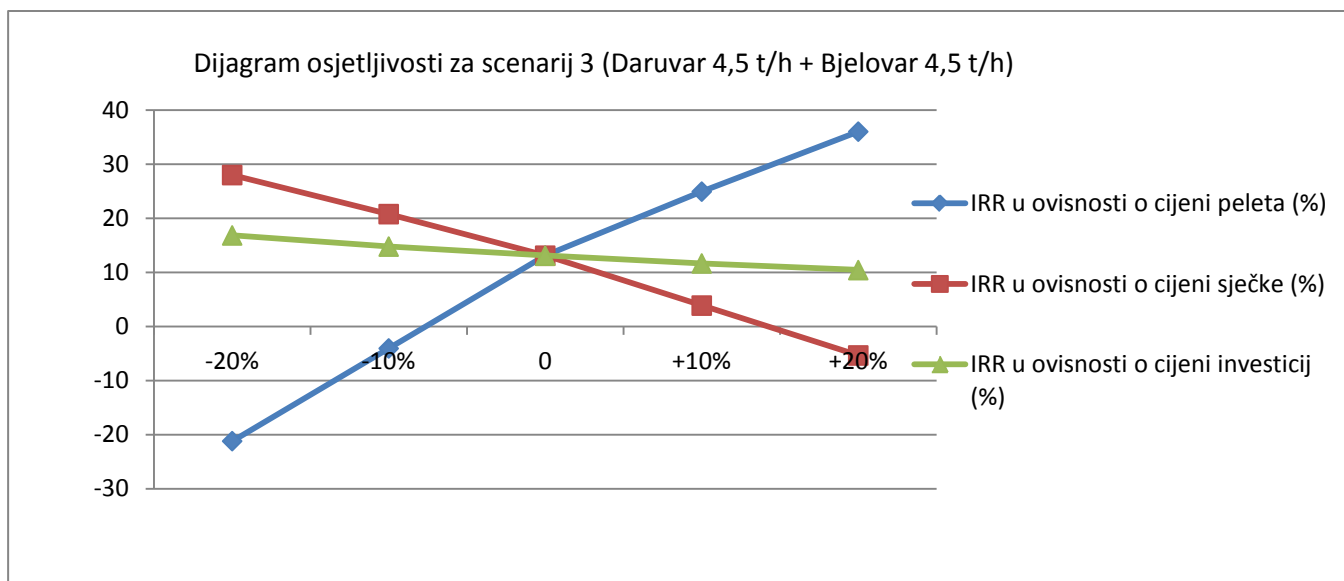
Slika 4.3 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Bjelovar i jednosmjenski rad (scenarij 1)

Scenarij 2 vrlo je sličan scenariju 1, a razlikuje se jedino u transportnom trošku, tako da je točka početnog IRR-a pomaknuta na 13,7 %, a analizirani faktori utječu na IRR na isti način.



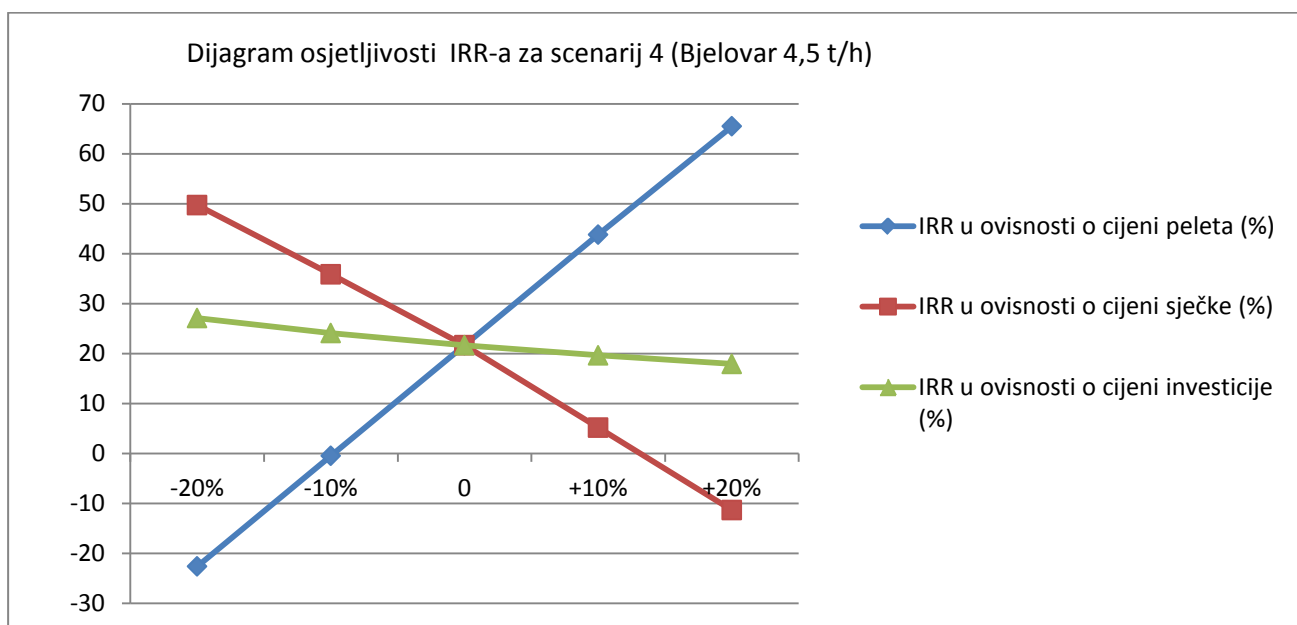
Slika 4.4 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Daruvar i jednosmjenski rad (scenarij 2)

Scenarij 3 također pokazuje slične karakteristike osjetljivosti na promjenu odabranih parametara. Polazi od nešto niže unutrašnje stope povrata, 13,10 %, tako da investicija postaje neisplativa kod nešto manjih odstupanja cijene prodaje peleta i kupovine sječke nego za rad na jednoj lokaciji. Investicijski trošak u ovom slučaju iznosi $2 \times 900000 = 1800000$, što je isto kao i u scenarijima 1 i 2.



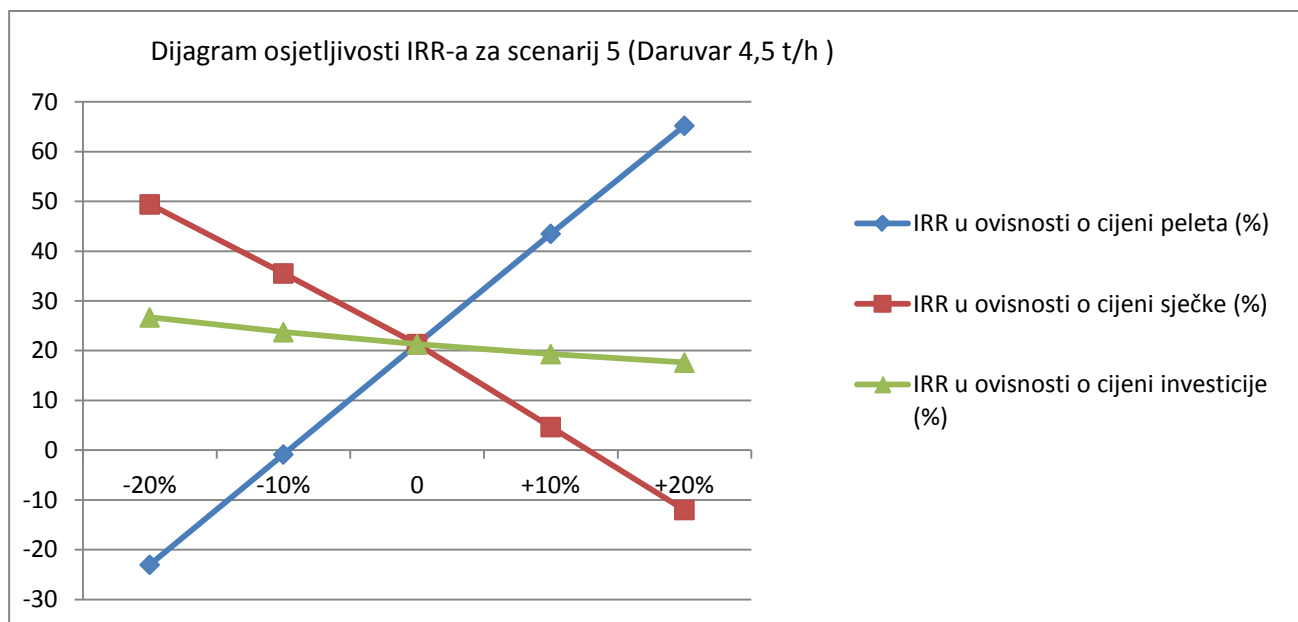
Slika 4.5 osjetljivost IRR-a za scenarij s dvije makro-lokacije i jednosmjenski rad (scenarij 3)

U scenariju 4, investicijski trošak je niži ali su veći troškovi radne snage, tako da su viši godišnji troškovi. Viša je unutrašnja stopa povrata za početne uvjete i iznosi 21,68 %, ali su strmije karakteristike osjetljivosti IRR-a za promjene sva tri ispitana parametra.



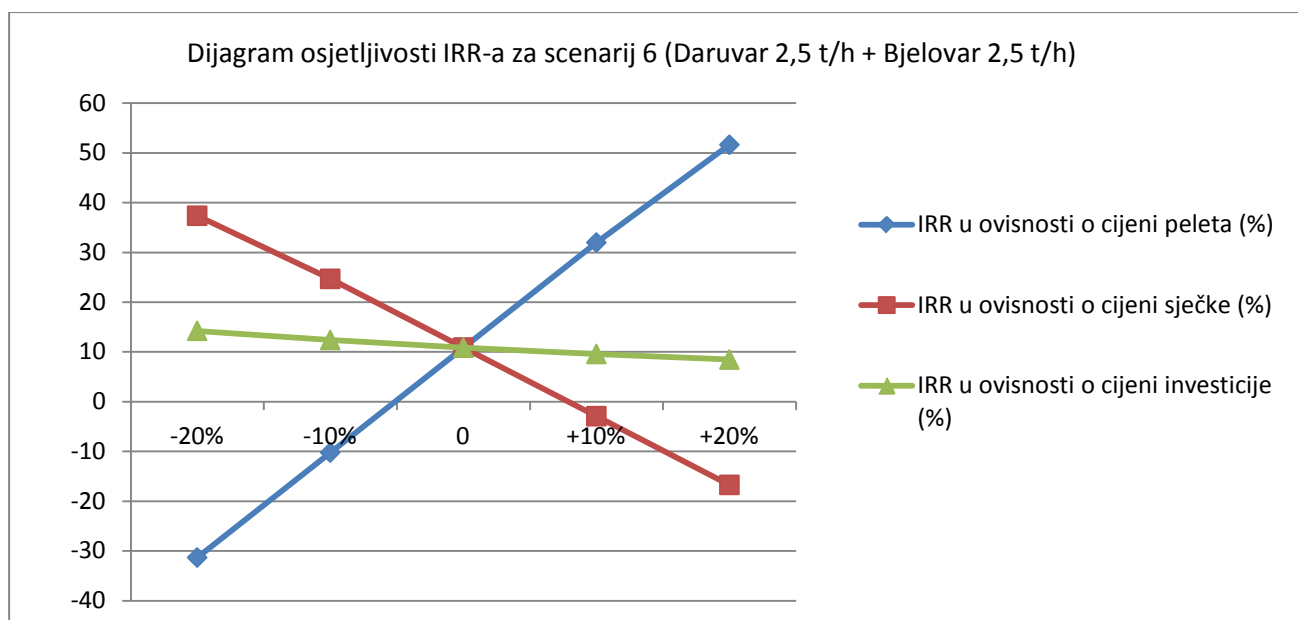
Slika 4.6 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Bjelovar i dvosmjenski rad (scenarij 4)

Scenarij 5 sličan je scenariju 6, s tim da početni IRR iznosi 21,33 %. Karakteristike nisu bitno premjenjene u odnosu na prethodni slučaj.



Slika 4.7 osjetljivost IRR-a za makro-lokaciju Daruvar i dvosmjenski rad (scenarij 5)

Investicija u izgradnju postrojenja kapaciteta 2,5 t/h pokazala se u ovom radu manje isplativom od ostalih slučajeva. S jedne strane je investicijski trošak viši nego kod izgradnje jednog postrojenja koje će raditi u svije smjene, jer ne bi bilo iskorišteno svih instaliranih 5 t/h a s druge strane su u ovom slučaju najviši troškovi radne snage. Početni IRR iznosi 10,88 %, a osjetljivost je izrazito visoka kao u prethodna dva slučajeva.



Slika 4.8 osjetljivost IRR-a za dvije makro-lokacije i dvosmjenski rad (scenarij 6)

U svim scenarijima, od ispitanih parametara, najveća je osjetljivost vrijednosti unutarnje stope povrata na promjenu cijene peleta, što je razumljivo jer je prodaja peleta u svim slučajevima jedini prihod. Nabavak sirovine nije jedini, ali je najveći trošak, te je osjetljivost na promjenu cijene sječke također visoka. Nešto manje utjecajnim, ali nikako zanemarivim parametrom, pokazao se ukupni investicijski trošak.

5. ZAKLJUČAK

Cijene sirovina za proizvodnju peleta u Hrvatskoj su konkurentne, i postoji znatan potencijal biomase od šumskih ostataka, koji je trenutno neiskorišten. U budućnosti je vjerojatno da će se i tržište u Hrvatskoj povećavati, pogotovo ako fosilna goriva budu i dalje pratila trend poskupljenja, što bi imalo pozitivan učinak na Hrvatsko gospodarstvo, jer bi time postalo neovisnije. Drvni peleti su dobra alternativa i za goriva koja se koriste za centralna grijanja, a postoji čak i proizvodnja peći za centralno grijanje u Hrvatskoj. Proizvodnja peleta od šumske biomase u Hrvatskoj pokazuje dobre rezultate u analizi isplativosti, te je svakako opravdano ulagati u nju. Pozitivno je i što se otvaranjem pogona otvaraju radna mjesta i potiče gospodarstvo. Osim toga, biomasa se može koristiti kao obnovljiv izvor energije, a poznato je i da Europska Unija ulaže u održivi razvoj, te ima specijalnih fondova za obnovljive izvore energije.

Za isti kapacitet, isplativije je imati jedno postrojenje i proizvoditi u više smjena, jer je trošak transporta relativno nizak a potreban je manji investicijski trošak. Pozitivan aspekt rada u više smjena je i taj da se postoji veća mogućnost zapošljavanja. Na taj način povećava se unutarnja stopa povrata s početnom uvjetima, ali i postaje osjetljivija na promjene cijene sirovine i gotovog proizvoda. U ovom radu pokazalo se najisplativije proizvoditi drvne pelete u više smjena, te na manje makro-lokacija te je za korištenje šumskih ostataka jedne županije dovoljno jedno postrojenje.

LITERATURA

1. BIOMASS Energy Centre, <http://www.biomassenergycentre.org.uk>, 20.08.2013.
2. Biomasa, Wikipedia website. <http://hr.wikipedia.org/wiki/Biomasa>, 17.07.2013.
3. Boris Ćosić, *Analiza potencijala izgradnje energetske postrojenja loženih različitim tipovima biomase u Hrvatskoj i odabir lokacija*, Zagreb, 2008.
4. Eveco Green Building solutions, <http://www.evecosolutions.co.uk>, 28.08.2013.
5. Bomann, U.J., Turnbull, J.H.: *Integrated Biomass Energy Systems And Emissions Of Carbon Dioxide*, Biomass and Bioenergy Vol. 13, NO. 6, pp. 333-343. 1997
6. Ledig, F. T.: *Silvicultural systems for energy efficient production of fuel from biomass*, Biomass as a non fossil fuel source ed. D. L. Klaas, Symposium 144, American Chemical Society, Washington, DC, 1981
7. Turhollow, A.H., Perlack, R.D.: *Emissions of CO₂ from energy crop production*, Biomass and Bioenergy, 1 (1991), pp. 129–135
8. Foster, C.: *The carbon and energy budgets of energy crops*, Energy Conversion and Management, 14 (1993), pp. 897–904
9. Hall, D.O., Scrase, J.D.: *Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future?*, Biomass and Bioenergy Vol. 15, Issues 4–5, 11, 1998, Pages 357–367
10. Grupa autora, *Renewables 2012 Global Status Report*, Renewables Energy Policy Network for the 21st Century, Pariz, 2013
11. Šimić, Z.: *Energija biomase*, FER, Zagreb, 2010.
12. Hall, D.O.: *Biomass Energy*, Energy Policy, 19 (1991), pp. 711–731
13. Benković, Z.: *Značaj šumarstva u korištenju obnovljivih izvora energije*, 2. Hrvatski dani biomase 2007. / 9. Europski dani biomase regija, Okrugli stol: "obnovljivi izvori energije- biomasa, bioplin i biogorivo", Našice, 07. Rujna 2007.
14. Hrvatske Šume d.o.o. – Javni podaci, <http://javni-podaci-karta.hrsume.hr/>, 29.04.2013.
15. Vinterbäck, J.: *Pellets 2002: the first world conference on pellets*, Biomass and Bioenergy 27 (2004) 513–520
16. Wolf, A., Vidlund A., Andersson, E.: *Energy-efficient pellet production in the forest industry—a study of obstacles and success factors*, Biomass and Bioenergy 30 (2006) 38–45
17. Daniel Ciolkosz, *Manufacturing Fuel Pellets from Biomass*, The Pennsylvania State University, 2009.

18. Kotlovi za loženje peletima – Centrometal, <http://www.centrometal.hr>, 13.06.2013.
19. REZ Regionalna razvojna agencija za regiju Centralna BiH, Studija izvodljivosti – *komercijalna upotreba drvnog ostatka u centralnoj BiH kao projekat oporavka i ekonomskog razvoja regije*, Zenica, 2006.
20. Mani, S., Sokhansanj, S.; Bi, X., Turhollow, A.: *Economics Of Producing Fuel Pellets From Biomass*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Applied Engineering in Agriculture, Vol. 22(3): 421-426, 2006.
21. Agico Group, <http://www.chinascrowpress.com>, 5.9.2013.
22. Zhangqiu YULONG Machine Co.,Ltd, <http://www.yulongjixie.org>, 16.07.2013.
23. Ćosić, B., Stanić, Z., Duić, N.: *Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: Case study Croatia*, Energy 36 (2011) 2017-2028
24. Puška, A.: *Analiza osjetljivosti u funkciji investicijskog odlučivanja*, Praktični menadžment, Vol. II, br. 3, str. 80-86, 2011.
25. Udruga tjelesnih invalida Bjelovar, <http://utib.hr/>, 1.9.2013.
26. Sučić, Ž., Molc, J., Slunjski, M.: *Prezentacija za 2.Hrvatske dane biomase 2007. / 9.Europski dani biomase regija 2007.*, Iskorak Hrvatskih šuma d.o.o., Našice, 7.rujna. 2007.
27. Interaktivna karta Hrvatskog autokluba, <http://map.hak.hr/>, 30.08.2013.
28. Grupa autora: *Priručnik o gorivima iz drvne biomase*, Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske, Zagreb, 2012.