

# Analiza potencijala proizvodnje biomase iz brzorastućih nasada s neobrađenih poljoprivrednih zemljišta za korištenje u energetskim postrojenjima u Republici Hrvatskoj

---

Pfeifer, Antun

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:611614>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-18**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering  
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Antun Pfeifer**

Zagreb, 2015. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Student:

Antun Pfeifer

Zagreb, 2015. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, profesoru Nevenu Duiću, na vodstvu pri izradi ovog rada te asistentu Borisu Ćosiću, dipl.ing. na nesebičnoj i stručnoj pomoći oko razrade i realizacije rada. Također zahvaljujem profesoru Davorinu Kajbi sa Šumarskog fakulteta na susretljivosti i pomoći.

Posebno sam zahvalan svojoj obitelji, majci Mirjani i ocu Mladenu te sestrama Marini i Danijeli i svojoj djevojci Teni na njihovom neizmjenom strpljenju, potpori i podršci koju su mi pružali kroz trajanje mog studija.

Antun Pfeifer



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske 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:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Antun Pfeifer** Mat. br.: 0035162613

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza potencijala proizvodnje biomase iz brzorastućih nasada s neobrađenih poljoprivrednih zemljišta za korištenje u energetske postrojenjima u Republici Hrvatskoj**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of biomass production potential from short rotation crops on unused agriculture land for use in biomass power plants in Croatia**

Opis zadatka:

Zadatak ovog diplomskog rada je analiza potencijala proizvodnje biomase iz brzorastućih nasada koji se uzgajaju na neobrađenim poljoprivrednim zemljištima, te odabir pogodnih makro-lokacija na području Hrvatske za izgradnju energetske postrojenja loženih na biomasu. Veličina postrojenja za koja se vrši analiza i odabir lokacija su do 15 MWe.

U okviru diplomskog rada potrebno je:

1. Napraviti pregled literature o uzgoju brzorastućih nasada, prinosima različitih kultura, troškovima podizanja i održavanja ovih nasada te o cijenama biomase iz energetske nasada u Hrvatskoj i EU.
2. Napraviti analizu potencijala neobrađenih poljoprivrednih zemljišta u Hrvatskoj po županijama koji se može koristiti za uzgoj brzorastućih nasada.
3. Izračunati potencijal biomase s neobrađenih poljoprivrednih zemljišta u Hrvatskoj po županijama koji se može koristiti u energetske svrhe.
4. Odabrati 5 makro-lokacija za izgradnju energetske postrojenja prema potencijalu biomase iz brzorastućih nasada i nabavnoj cijeni biomase, uključujući i troškove prikupljanja i transporta biomase.
5. Izračunati unutarnju stopu povrata za investicije na odabranim lokacijama, uz zadanu cijenu investicije, troška biomase iz brzorastućih nasada i otkupnu cijenu električne energije.
6. Napraviti analizu utjecaja promjene vrijednosti nabavne cijene biomase iz brzorastućih nasada, troškova transporta, investicijskih troškova u energetske postrojenja i cijene električne energije na internu stopu povrata na investiciju.


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

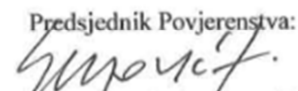
Zadatak zadan:  
13. studenog 2014.

Rok predaje rada:  
15. siječnja 2015.

Predviđeni datumi obrane:  
21., 22. i 23. siječnja 2015.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Neven Duić

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VIII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD.....	1
1.1. Primjena biomase iz brzorastućih nasada u energetske svrhe.....	2
1.2. Problemi i perspektiva neobrađenog zemljišta .....	5
2. ENERGETSKI NASADI U HRVATSKOJ I U EUROPSKOJ UNIJI .....	8
2.1. Kulture kratkih ophodnji – vrste u primjeni za pridobivanje biomase .....	8
2.1.1. Vrba.....	11
2.1.2. Konoplja.....	14
2.1.3. Topola .....	16
2.1.4. Miskant .....	21
2.1.5. Reed Canary Grass (RCG).....	23
2.2. Primjena kultura kratkih ophodnji za energetske namjene u Europskoj uniji .....	24
3. POTENCIJAL NEOBRAĐENIH POLJOPRIVREDNIH ZEMLJIŠTA U HRVATSKOJ ZA UZGOJ ENERGETSKIH NASADA .....	32
3.1. Poljoprivredno zemljište koje se ne koristi u RH .....	32
3.1.1. Trenutno stanje podataka o zemljištu .....	32
3.2. Tehnički potencijal korištenja kultura kratkih ophodnji na neiskorištenom poljoprivrednom zemljištu .....	36
3.3. Energetski potencijal pridobivene biomase s neobrađenih zemljišta po županijama	37
3.4. Scenarijski pristup – razrada scenarija kultivacije raspoložive površine.....	37
3.4.1. Scenarij 1 – 75% iskorištenog zemljišta .....	37
3.4.2. Scenarij 2 – 50 % iskorištenog zemljišta .....	37
3.4.3. Scenarij 3 – 25 % iskorištenog zemljišta .....	38
3.5. Odabir makrolokacija za izgradnju energetskih postrojenja pogonjenih na biomasu iz energetskih nasada .....	38
3.6. Tehno-ekonomska analiza projekata energetskih postrojenja na biomasu .....	40

---

4. REZULTATI .....	48
4.1. Tehnički potencijal biomase pridobivene iz energetske nasade .....	48
4.2. Energetski potencijal biomase pridobivene iz energetske nasade .....	52
4.3. Ekonomska analiza scenarija i analiza osjetljivosti s obzirom na značajne parametre 56	
4.3.1. Makrolokacija 1 – Velika Gorica – ekonomska analiza .....	61
4.3.2. Velika Gorica - Analiza osjetljivosti.....	62
4.3.3. Makrolokacija 2 – Sisak – ekonomska analiza .....	64
4.3.4. Sisak - Analiza osjetljivosti.....	65
4.3.5. Makrolokacija 3 – Koprivnica - Ekonomska analiza.....	67
4.3.6. Analiza osjetljivosti .....	68
4.3.7. Makrolokacija 4 - Slavonski Brod - Ekonomska analiza.....	70
4.3.8. Analiza osjetljivosti .....	71
4.3.9. Makrolokacija 5 – Osijek - Ekonomska analiza .....	73
4.3.10. Analiza osjetljivosti .....	74
5. ZAKLJUČAK.....	76
LITERATURA.....	78
PRILOZI.....	81

## POPIS SLIKA

Slika 1. Pogodnost tla za obradu u području krša [6].....	7
Slika 2. Područja pod šumama vrbe i topole [19] .....	9
Slika 3. Nasadi vrbe (crops4energy.co.uk) .....	11
Slika 4. Sječa nasada vrbe .....	13
Slika 5 . Proizvodni ciklus biomase iz nasada vrbe (bisyplan.bioenarea.eu).....	14
Slika 6. Nasad konoplje i sječa.....	15
Slika 7. Nasad topole.....	17
Slika 8. Sječa topole .....	19
Slika 9. Nasadi RCG-a .....	23
Slika 10. Energetski usjevi u pojedinim zemljama EU [22] .....	25
Slika 11. Princip udaljenosti težišta površina farmi KKO i energetskog postrojenja [29] .....	39
Slika 12. Specifični investicijski troškovi kogeneracijskih postrojenja područnog grijanja [28] .....	42
Slika 13. Usporedba tehničkog potencijala biomase iz KKO po županijama i po scenarijima	48
Slika 14. Tehnički potencijal biomase s državnog zemljišta .....	49
Slika 15. Tehnički potencijal drvene sječke s državnog zemljišta.....	49
Slika 16. Tehnički potencijal biomase s privatnog zemljišta.....	50
Slika 17. Ukupan tehnički potencijal prema kategorijama vlasništva nad zemljištem .....	51
Slika 18. Usporedba energetskog potencijala po županijama i po scenarijima .....	52
Slika 19. Energetski potencijal biomase iz KKO na državnom zemljištu .....	53
Slika 20. Energetski potencijal biomase iz KKO na privatnom zemljištu.....	54
Slika 21. Ukupan energetski potencijal biomase iz KKO prema vlasništvu nad zemljištem ..	55
Slika 22. Lokacija postrojenja na makrolokaciji Koprivnica - privatno zemljište.....	58
Slika 23. Velika Gorica - lokacija postrojenja .....	61
Slika 24. Ovisnost IRR-a o cijeni goriva i transporta - Velika Gorica.....	62
Slika 25. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene investicije i otkupne cijene električne energije ..	63
Slika 26. Sisak - lokacija postrojenja .....	64
Slika 27. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta - Sisak .....	65
Slika 28. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene investicije i električne energije .....	66
Slika 29. Lokacija postrojenja na makrolokaciji Koprivnica.....	67



---

Slika 30. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta - Koprivnica.....	68
Slika 31. Promjena IRR-a u ovisnosti o cijeni investicije i cijeni električne energije .....	69
Slika 32. Slavonski Brod - lokacija postrojenja .....	70
Slika 33. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta - Slavonski Brod .....	71
Slika 34. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene investicije i cijeni električne energije.....	72
Slika 35. Osijek - lokacija postrojenja .....	73
Slika 36. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta .....	74
Slika 37. Ovisnost IRR-a o cijenama investicije i električne energije .....	75
Slika 38. IRR za odabrane makrolokacije .....	77

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tipične vrijednosti svojstava goriva [3].....	3
Tablica 2. Svojstva energetske nasade [3] .....	5
Tablica 3 . Klasifikacija pogodnosti tla po klasama [6].....	6
Tablica 4. Površine ugara u 2004. godini [26] .....	33
Tablica 5. Podaci o neobrađenom zemljištu prema popisu poljoprivrede iz 2003. godine.....	33
Tablica 6. Podaci APZ-a o raspoloživom neobrađenom zemljištu iz 2014. godine .....	34
Tablica 7. Ukupno neobrađeno poljoprivredno zemljište .....	35
Tablica 8. Troškovi osnivanja i održavanja farmi kultura kratkih ophodnji u EU [33].....	44
Tablica 9. Amortizacijske stope [29], [32].....	45
Tablica 10. Cijena toplinske energije u CTS-ima HEP-Toplinarstva d.o.o. u Hrvatskoj [36].	47
Tablica 11. Tehnički potencijal po županijama, kategorijama vlasništva i scenarijima .....	50
Tablica 12. Ukupni energetske potencijal po županijama .....	52
Tablica 13. Pregled energetske potencijala po županijama uz podjelu prema kategoriji vlasništva .....	54
Tablica 14. Cijene biomase na pragu postrojenja na lokacijama, nakon optimizacije.....	57
Tablica 15. Investicijske troškovi u kogeneracijsko postrojenje .....	58
Tablica 16. Apsolutna vrijednost troškova investicije .....	59
Tablica 17. Trošak pogona i održavanja .....	59
Tablica 18. Amortizacija .....	59
Tablica 19. Rata kredita .....	59
Tablica 20. Prihodi .....	60
Tablica 21. Godišnji trošak goriva .....	61
Tablica 22. IRR - Velika Gorica .....	62
Tablica 23. Trošak goriva - Sisak.....	64
Tablica 24. IRR - Sisak .....	65
Tablica 25. Trošak goriva - Koprivnica .....	67
Tablica 26. IRR – Koprivnica .....	68
Tablica 27. Trošak goriva - Slavonski Brod .....	71
Tablica 28. IRR - Slavonski Brod .....	71
Tablica 29. Trošak goriva - Osijek.....	73

---

Tablica 30. IRR- Osijek ..... 74



## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
KKO	-	Kulture kratkih ophodnji
SRC	-	Short rotation coppice
IRR	-	Internal rate of return
RCG	-	Reed Canary Grass
SRF	-	Short rotation forestry
AEBIOM	-	European Biomass Association
FAO	-	Organizacija za prehranu i poljoprivredu Ujedinjenih Narod
EU	-	Europska unija
CAP	-	Common agricultural policy
$P_y(n)$	$t_{DM}/ha/year$	Prinos suhe tvari
$B_{teh(n)}$	$t_{DM}/ha/year$	Tehnički potencijal
$H_d$	MJ/kg	Donja ogrjevna vrijednost
$B_{ep(n)}$	TJ/god	Energetski potencijal
$C_{B,E}$	[€/t]	Trošak biomase na pragu postrojenja
$C_k$	HRK/kWh <sub>e</sub>	Garantirana cijena električne energije
$P_{el}$	kWh	Proizvedena električna energija
$P_{th}$	kWh	Proizvedena toplinska energija
$P_{fuel}$	kWh	Dobavljena energija goriva

## **SAŽETAK**

U ovom radu je obrađena mogućnost uzgoja energetskih nasada na neiskorištenom poljoprivrednom zemljištu u Republici Hrvatskoj. Hrvatska raspolaže s gotovo 3 000 000 ha poljoprivrednog zemljišta, ali se koristi samo oko 1 000 000 ha. Stoga je očito da postoji značajan potencijal koji se može koristiti mnogo efikasnije nego što je to danas slučaj. Izložene su vrste kultura kratkih ophodnji i energetskih usjeva koji se trenutno koriste u Europi za energetske eksploatacije te su opisane njihove karakteristike koje su važne za primjenu na zemljištima koja su uzeta u obzir i za energetske eksploatacije. Također je analiziran potencijal tako kultiviranih zemljišta po županijama u Hrvatskoj i elaboriran energetski i tehnički potencijal. Potom se pomoću optimizacijskog modela odredilo 5 makrolokacija u Hrvatskoj za energetska postrojenja instalirane snage do 15 MW<sub>e</sub> koja bi bila pogonjena na biomasu pridobivenu iz energetskih nasada. Za ta postrojenja, provedena je tehno-ekonomska analiza i analiza osjetljivosti s obzirom na promjene vrijednosti značajnih parametara. Potom je dan zaključak o ovom načinu korištenja neiskorištenog potencijala poljoprivrednog zemljišta za energetske upotrebe koristeći pritom energetske nasade koji su već u Europi uspostavljeni i korišteni, a čija se korist ogleda, ne samo u pridobivenoj biomasi, nego i u povoljnim utjecajima na zemljište, biološku raznolikost i korištenje kao ponor za stakleničke plinove – naročito CO<sub>2</sub>.

Ključne riječi: Biomasa, energetski nasadi, kogeneracija, tehno-ekonomska analiza

## **SUMMARY**

In this paper the possibility of growing energy crops on unused agricultural land in the Republic of Croatia is examined. Croatia has nearly three million hectares of agricultural land, but it is only about one million hectares in use. Therefore, it is obvious that there is a significant potential that can be used much more efficiently than it is the case today. Types of crops and short rotation coppice currently used in Europe for energy exploitation and their characteristics that are important for application on soil are taken into account. The potential of land cultivated in such fashion in counties in Croatia and energy and technical potential is elaborated. Then, using the optimization model, five macro-locations in Croatia are selected for power plants with installed capacity up to 15 MW that would be driven by the biomass acquired from energy crops. For such plants, techno-economic analysis and sensitivity analysis with respect to the value of the significant parameters was carried out. Then the conclusion for this way of exploiting unused potential of agricultural land for energy use by utilizing energy crops that are already established in Europe and used, and whose benefit is reflected not only in acquired biomass, but also in the favorable impacts on land, biodiversity and use as a sink for greenhouse gases - particularly CO<sub>2</sub>.

Key words: Biomass, energy crops, CHP, techno-economic analysis

## 1. UVOD

Biomasa je prvi i najstariji izvor energije koji su ljudi koristili, a danas je to obnovljivi izvor energije s velikim potencijalom za iskorištavanje i može pridonijeti zaštiti okoliša, otvaranju novih radnih mjesta i ukupnom gospodarskom razvoju cijele zemlje. Biomasi čine brojni proizvodi biljnog i životinjskog svijeta, a može se podijeliti na drvenu (ostaci iz šumarstva i drvne industrije, brzorastući nasadi, otpadno drvo iz drugih djelatnosti te drvo koje nastaje kao sporedni proizvod u poljoprivredi), nedrvnu (ostaci, sporedni proizvodi i otpad iz biljinogojstva te biomasa dobivena uzgojem uljarica, algi i trava) te biomasu životinjskog podrijetla (otpad i ostaci iz stočarstva). Postoje brojni načini da se iz biomase dobije energija. Biomasa se može izravno pretvarati u toplinsku energiju izgaranjem te tako proizvesti vodena para za korištenje u industriji i topla voda za u kućanstvima ili se u parno-turbinskom procesu može dobivati električna energija u malim termoelektranama. Postrojenja koja kombiniraju ova dva oblika energije nazivamo kogeneracijskim postrojenjima koja su naročito prikladan način za energetske korištenje biomase. Neke biljke daju ulje koje se može upotrebljavati u dizelskim motorima. Može se fermentacijom proizvoditi etanol za pogon vozila, anaerobnom fermentacijom može se dobiti metan koji se može upotrijebiti kao pogonsko gorivo. Suhom destilacijom (grijanje bez prisutnost zraka) može se od biomase dobiti metanol, aceton, drveni ugljen i drugi proizvodi.

Strateške odrednice hrvatske energetske politike usmjerene su k povećanju udjela obnovljivih izvora energije u neposrednoj potrošnji, pri čemu se najveće povećanje očekuje u korištenju biomase u energetske svrhe. Ovakva očekivanja su potvrđena i u novom Akcijskom planu za obnovljive izvore energije iz 2013. godine. Potencijal biomase u RH razmjerno je velik i obuhvaća šumski i drveno-industrijski ostatak, ogrjevno drvo, ostatak iz poljoprivrede, te biomasu prikupljenu pri održavanju cesta i infrastrukturnih objekata. U sljedećem desetljeću predviđa se udvostručenje korištenja biomase u energetske pretvorbama kako zbog primjene poticajnih mjera, tako i zbog razvoja domaće drvoprerađivačke industrije. Izgradnjom i pogonom kogeneracijskih postrojenja na drvenu biomasu povećat će se udjel i omogućiti učinkovito korištenje obnovljivih izvora energije, te na taj način višestruko doprinijeti ispunjavanju ciljeva energetske politike RH [1] i [2].

Pokretanje sektora korištenja biomase vjerojatno će stvoriti i potrebu za namjenskim uzgojem brzorastućih vrsta drva (alternativno se koristi i naziv kulture kratkih ophodnji od engl. Short



Rotation Coppice (SRC)) za što su pogodne ne samo neobrasle šumske površine nego i poljoprivredno zemljište.

U ovom radu bit će provedena analiza potencijala neobrađenog zemljišta za uzgoj brzorastućih nasada koje će se koristiti za pridobivanje biomase za upotrebu u energanama. Za odabrane lokacije, koje će se optimirati prema raspoloživim količinama biomase na određenom području, napraviti će se tehno-ekonomska analiza da bi se pokazala isplativost rada takvih postrojenja i analiza osjetljivosti na promjene značajnih ulaznih parametara.

### 1.1. Primjena biomase iz brzorastućih nasada u energetske svrhe

Primarni proizvod, u ovom slučaju, miscanthus, topola, vrba, Reed Canary Grass (RCG), se pretvara u čvrstu biomasu u obliku sječke ili brikete, pelete i bale koristeći tehnologiju za kompaktiranje i može se koristiti u elektranama i toplanama ili CHP postrojenjima (najpoželjnije). Postoje tri vrste biljaka koje su pogodne za proizvodnju čvrstih biogoriva:

- godišnje biljne vrste – sadi se i bere svake godine - kao što su žitarice, konoplja, ili kenafa;
- višegodišnje vrste – jednom zasađene, rastu 12-25 godina, a berba godišnje - kao što su miscanthus, RCG i drugih trstike;
- kulture kratkih ophodnji (SRC) – sadi se jednom obično svakih 20-30 godina, a bere svakih dvije do osam godina - kao što su vrbe, topole, bagrem ili paulovnja s višegodišnjim ritmom žetve.

Najbolji energetske nasadi su izdržljivi, njihovi prinosi suhe tvari su visoki i konstantni i njihovi troškovi proizvodnje su niski. Višegodišnja navika rasta, niski agrokemijski zahtjevi, učinkovito pretvaranje solarne energije u biomasu i jednostavnost pretvorbe natrag u korisnu energiju jamstvo su da će energetska učinkovitost proizvodnje biti visoka uz nizak utjecaj na okoliš. Za zapaljive usjeve je praktično ako obrezivanje može biti provedeno kad je suho. Prijevoz, skladištenje i izgaranje je tad lakše i ogrjevna vrijednost je visoka. Za bioplinke usjeve, nizak sadržaj vlage nije toliko važan jer se usjevi obično pohranjuju kao silaža. Za proizvodnju bioplina usjevi trebaju biti obrezani kada je njihova proizvodnost plina na optimalnoj razini.

Posebno je korisno ako je energetske usjev pogodan za postojeće elektrane i suspaljivanje s gorivom koje se već koristi. To drži investicijske troškove niskim, zahtijevajući, na primjer, samo drobljenje i pokretne trake za bale biomase. Sadržaj pepela trebao bi biti nizak, točka

taljenja pepela treba biti dovoljno visoka i izgaranje se treba dogoditi bez emisije štetnih elemenata poput klora i teških metala. Sječka energetskih nasada je obično pogodna za suspaljivanje s drvnom sječkom, tresetom ili ugljenom. Na primjer, RCG, konoplja i slama imaju veći sadržaj klora i niže točke taljenja pepela od šumske biomase, što je činjenica koja se mora uzeti u obzir kada se planira omjer mješavine goriva. Razlike u ogrjevnim vrijednostima su manje, ako se sadržaj suhe tvari biogoriva smatra prema **Error! Unknown switch argument.** U praksi, sadržaj vode u biogorivu odražava njegovu ogrjevnu vrijednost. U praksi, varijacija može biti visoka.

Tablica 1. Tipične vrijednosti svojstava goriva [3]

	Jedinica	Vrba	Konoplja	RCG	Topola	Meko drvo
Sadržaj vlage pri sječi	%	50	10-15	10-15	50-55	50
Produkcija suhe mase	t <sub>DM</sub> /ha/year	6-10	5-10	4-10	10-20	3-5
Sadržaj pepela	%	2,9	1,5	1-8	0,5-1,9	1-2
Gornja ogrjevna vrijednost	MJ/kg	19,97	18,79	19,20	19,43	20,3
Donja ogrjevna vrijednost	MJ/kg	18,62	17,48	17,28-18,72	18,10	18,97
Ugljik (C)	%DM	49,8	47,3	48,6	39,7	50,6
Vodik (H)	%DM	6,26	6	6,1	7,7	6,24
Sumfor (S)	%DM	0,03	0,04	0,04-0,17	0,2	0,03
Dušik (N)	%DM	0,39	0,7	0,3-2	0,9	0,1
Klor (Cl)	%DM	0,03	0,01	0,01-0,09	0,04	0,01
Aluminij (Al)	g/kg pepela	2,2	2,1	2,8	16,7	16
Kalcij (Ca)	g/kg pepela	243	240	66,5	189,3	238,8
Kalij (K)	g/kg pepela	123,3	44,7	129,5	28,6	80,7
Magnezij (Mg)	g/kg pepela	23,4	24	21,7	42,9	31,4
Natrij (Na)	g/kg pepela	2,5	3,5	7,0	3,6	4,6
Fosfor (P)	g/kg pepela	36,9	49,3	32,3	17,9	12,4
Silicij(Si)	g/kg pepela	93,3	160	218,3	178	73,9
Temperatura taljenja pepela	°C	1490	1610	1400	1160	1200

Nizak unos gnojiva i drugih kemikalija pri uzgoju ove biljke pomaže smanjiti utjecaj na okoliš te poboljšati energetsku učinkovitost. Također je važno da biljke mogu pretvoriti solarnu energiju učinkovito preko procesa fotosinteze.

Tijekom fotosinteze šumsko drveće apsorbira ugljični dioksid i ugrađuje ga u svoje stanične stijenke, u nadzemnom dijelu u deblo, lišće i grane, a u podzemnom dijelu u svoj korijenski sustav i u tlo. Iz tih razloga akumulacija ugljika u šumskim ekosustavima općenito ima veliko značenje, uglavnom iz perspektive stakleničkih plinova i potencijalnog zagrijavanja atmosfere. Za ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) općenito se radi kalkulacija za vezanje ugljika biomasom i tlom za jednu godinu po hektaru (t CO<sub>2</sub>/ha). 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.

Dva glavna puta fotosinteze su C3 i C4 put. Općenito, C3 asimilacijski put prilagođen je za rad pri niskoj temperaturi (15-20 ° C), dok C4 metabolički put biva učinkovitiji pretvarač pri visokoj razini svjetlosti i toplijim klimatskim uvjetima.

Tropska trave, kao što su šećerna trska, kukuruz, također Miscanthus i slatki sirak su C4 biljke. C4 biljke mogu stvoriti teoretski maksimalni prinos suhe tvari od 55 t/ha godišnje u usporedbi s 33 t/ha kod normalnih C3 umjerenim usjeva. Međutim, C4 biljke mogu samo stvoriti takav prinos u vrućim klimatskim uvjetima. U umjerenj klimi C3 biljke mogu biti prikladnije. Na primjer, šumski nasadi kratkih rotacija pogodni za proizvodnju energije pri umjerenj klimi su uglavnom C3 vrste - vrba, topola, itd. Općenito, C4 biljke, kao što je Miscanthus, su pogodnije za poljoprivredne površine, dok C3 biljke mogu uzgajati i na manje kvalitetnom zemljištu. Da bi uzgoj usjeva bio ekološki prihvatljiv, udaljenost prijevoza treba biti što je moguće manja, po mogućnosti u krugu od 40 km.

Kako bi se utvrdilo prikladnost energetske usjeva za rast u odabranom području, sljedeće čimbenike treba uzeti u obzir:

- agronomski faktori, kao što su to uroda, tla i klime,
- prikladnost postojećih strojeva,
- energetska bilanca po hektaru,
- učinkovitog korištenja svih komponenti uroda u fazi obrade.

Ogrjevna vrijednost, sadržaj pepela kod odabranih biljaka i svojstva pepela kao što točka tališta pepela, kao i sadržaj vlage u berbi su od presudne važnosti za proizvodnju energije.

Prinos suhe tvari (DM) i ogrjevna vrijednost usjeva su najvažniji čimbenici u određivanju energetskeg potencijala za kruta goriva. Dakle, treba napomenuti da je prinos suhe tvari u velikoj mjeri ovisan o tlu i klimatskim uvjetima, dok sadržaj vode ovisi o vremenu berbe.

Za usporedbu usjeva, svaki od značajnih vrsta je predstavljen u nastavku.

Tablica 2. Svojstva energetskih nasada [3]

Usjev	Produkcija suhe mase	Donja ogrjevna vrijednost	Energetski potencijal po ha	Sadržaj vlage	Sadržaj pepela
	[t <sub>DM</sub> /ha/year]	[MJ/kg <sub>DM</sub> ]	[GJ/ha]	%	% <sub>mase</sub>
Slama	2-4	17	35-70	14,5	5
Miskantus	8-32	17,5	140-560	15	3,7
Konoplja	10-18	16,8	170-300	n/a	n/a
Vrba	8-15	18,5	280-315	53	2,0
Topola	9-16	18,7	170-300	49	1,5
Trska	15-35	16,3	245-570	50	5
RCG	6-12	16,3	100-130	13	4
Visoka trava	9-18	17	n/a	15	6
Bagrem	5-10	19,5	100-200	35	n/a
Drvo	3-5	18,7	74,8	50	1-1,5

## 1.2. Problemi i perspektiva neobrađenog zemljišta

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 hidropedološka karta u kojima su navedene potencijalne površine za uzgoj poljoprivrednih kultura [4]. U hrvatskoj poljoprivredi također postoje 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 [5] i [6]. U ovom radu razmatra se potencijal neobrađenog poljoprivrednog zemljišta. Obzirom da je razlika između evidentirane površine i površine koja se trenutno koristi značajna, želi se prikazati mogućnost korištenja zemljišta koja bi bila poticajna za lokalno gospodarstvo, pomogla bi u ostvarenju strateških ciljeva Republike Hrvatske u energetskom sektoru i imala bi u vidu očuvanje bioraznolikosti i održivo gospodarenje resursima. Imajući to u vidu, potrebno je obratiti pažnju na razlike u klimi i karakteristikama tla u Primorskoj i

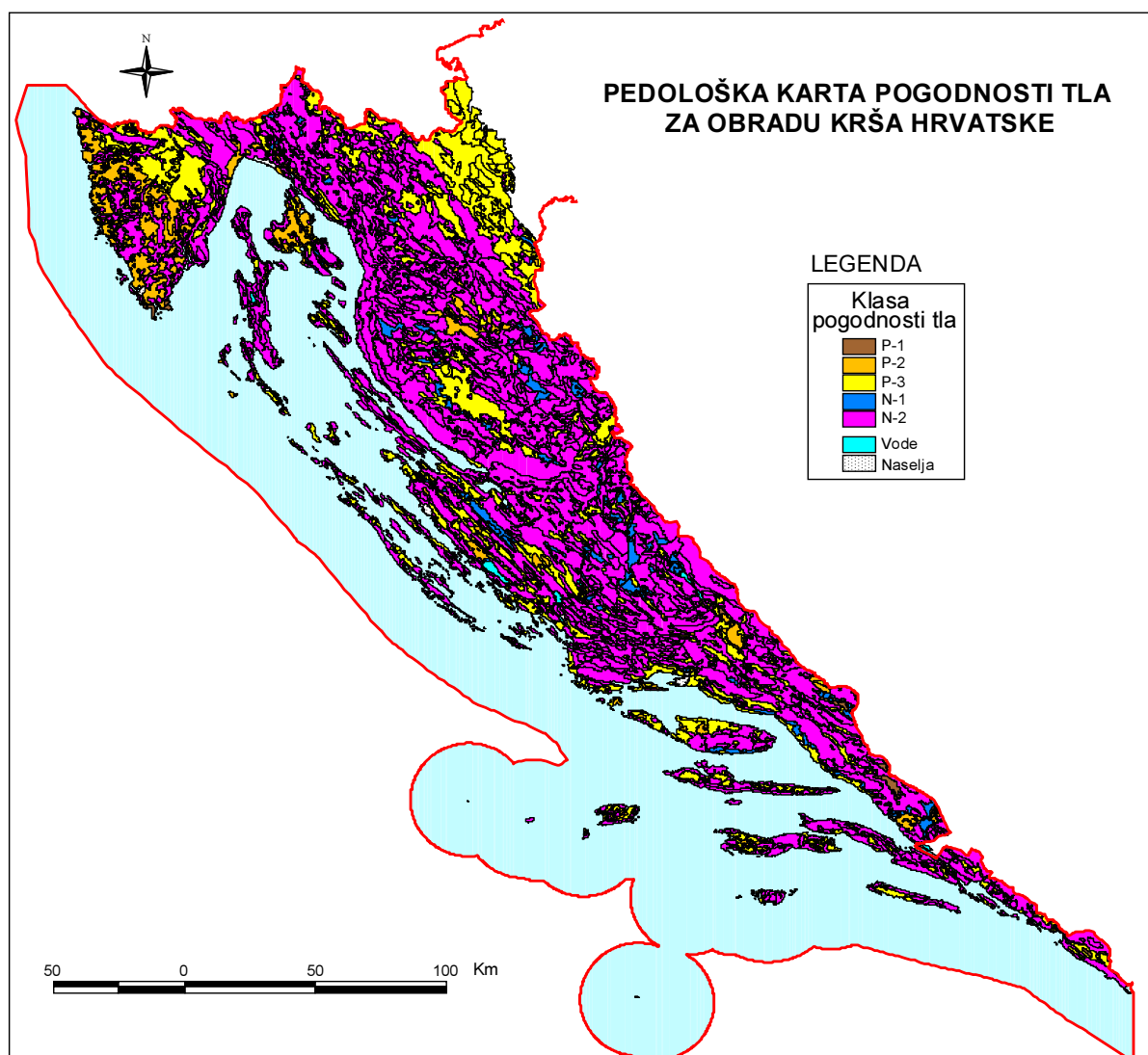
Kontinentalnoj Hrvatskoj. Klimatska obilježja uvjetuju i drugačiji potencijal kojim raspolažu pojedine županije u Hrvatskoj, pa tako u primorskim županijama dolazi do izražaja veći potencijal energije vjetra i sunca u odnosu na potencijal biomase [7], [8], [9], [10] i [11]. Također je nužno za pravilnu orijentaciju ovog rada primijetiti razlike u vrsti tla u primorskim županijama u odnosu na županije s kontinentalnom klimom. Pokazano je da se kod županija Primorske Hrvatske većina zemljišta koje se evidentira kao poljoprivredno zemljište, može prema FAO klasifikaciji svrstati u trajno nepogodno zemljište za poljoprivrednu proizvodnju [6].

Tablica 3 . Klasifikacija pogodnosti tla po klasama [6]

Redovi pogodnosti	Klase pogodnosti	Opis i glavne vrste ograničenja
P Pogodno za obradu	P-1 Dobra pogodnost	Nema značajnih ograničenja i potreba uređenja. Slabija osjetljivost na kemijske polutante
	P-2 Umjereni pogodnost	Umjereni ograničenja zbog nagiba i/ili erozije, skeleta, dreniranosti, stjenovitosti. Srednja osjetljivost na kemijske polutante
	P-3 Ograničena pogodnost	Ozbiljna ograničenja zbog nagiba i/ili erozije, dubine tla, vertičnosti, skeletnosti, kapacitet tla za vodu, kiselosti, stjenovitosti i kamenitosti. Jača osjetljivost na kemijske polutante
N Nepogodno za obradu	N-1 Privremeno nepogodna tla	Ograničenja koja se mogu popraviti – kiselost, prekomjerno vlaženje, dreniranost, alkaličnost, zaslanjenost. Različita osjetljivost na kemijske polutante.
	N-2 Trajno nepogodna tla	Nisu moguće i/ili isplative melioracije zbog kamenitosti, stjenovitosti, erozije, nagiba, dubine tla, kiselosti, vertičnosti – glinovitosti. Različita osjetljivost na kemijske polutante.

Na Slika 1 je prikazana raspodjela zemljišta u području tla krša u Primorskoj Hrvatskoj. Može se primijetiti da je većina zemljišta trajno nepogodno za poljoprivrednu proizvodnju.

Obično bi baš ovakvo zemljište bilo uzimano u obzir za proizvodnju biomase iz KKO, ali u ovom slučaju je riječ o nepogodnosti zbog nagiba ili zbog toga što je velik dio ove površine zapravo gola stijena. Na takvom zemljištu nije isplativo podizati energetske nasade, a na zemljištu bolje kvalitete u ovim županijama bi KKO predstavljale izravnu konkurenciju uzgoju prehrambenih kultura, zbog već značajno ograničene površine pogodnih zemljišta. Stoga Primorsko-goranska, Splitsko-dalmatinska, Zadarska, Ličko-senjska, Šibensko-kninska i Dubrovačko-neretvanska županija izlaze iz daljnjeg razmatranja u ovom radu. Istarska županija ostaje izolirana na ovaj način, te se ni ona neće uzimati u obzir, zbog udaljenosti na kojima je ekonomski i ekološki opravdano prikupljati biomasu za postrojenja koja će se razmatrati.



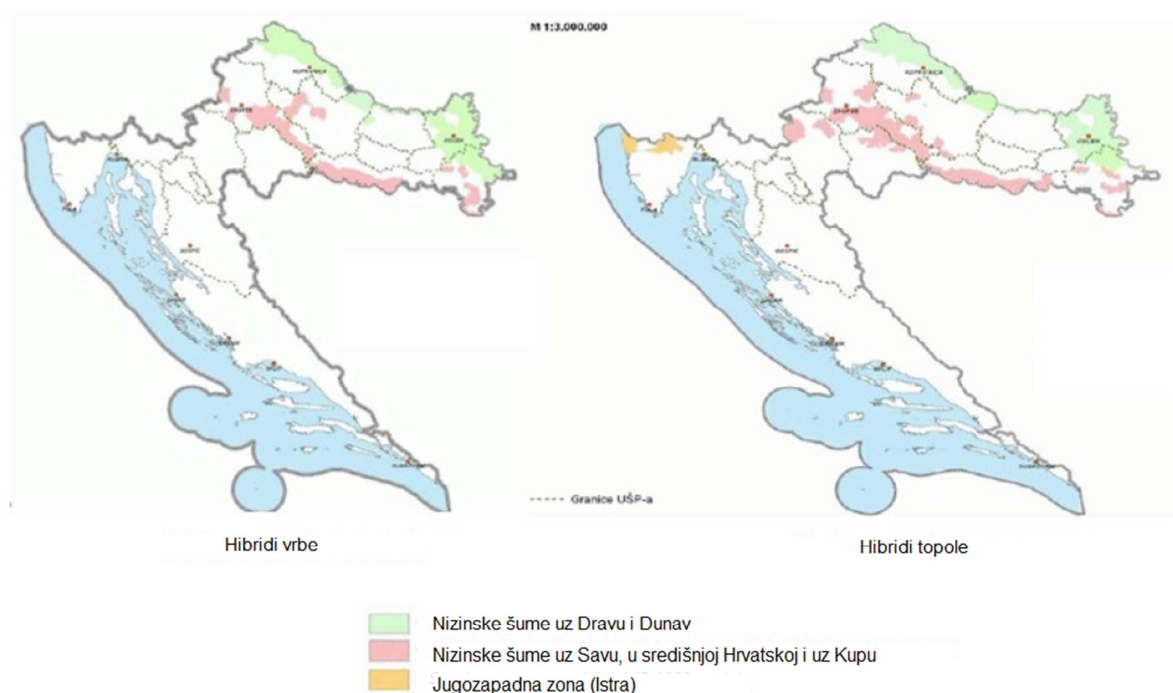
Slika 1. Pogodnost tla za obradu u području krša [6]

## 2. ENERGETSKI NASADI U HRVATSKOJ I U EUROPSKOJ UNIJI

### 2.1. Kulture kratkih ophodnji – vrste u primjeni za pridobivanje biomase

Biomasa šumskih vrsta drveća može se proizvoditi i intenzivnim uzgajanjem brzorastućih vrsta drveća kao što su vrbe, topole, joha, breza, bagrem i dr.. Ovakav način proizvodnje biomase šumskih vrsta poznat je pod nazivom proizvodnja biomase iz “kulture kratkih ophodnji” ili “intenzivne kulture kratkih ophodnji” (engl. Short Rotation Coppice (SRC) ili Short Rotation Intensive Culture (SRIC)). Kulture kratkih ophodnji (KKO) predstavljaju energetske nasade, najčešće vrba i topola, koji se koriste kao gorivo u lokalnim kotlovnica za toplinsku ili pak u energetskim postrojenjima s kogeneracijom za toplinsku i električnu energiju. Općenito poznata kao proizvodnja biomase u kratkim ophodnjama, takva se izdanačka kultura ili panjača pomlađuje izdancima iz panja ili korijena, što znači da je riječ o višegodišnjoj kulturi. Ovi nasadi koriste se kao panjače u vrlo kratkim ciklusima i sijeku se svake druge do pete godine te se osnivaju 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 stabalaca, kao i produkcija biomase, tada značajno opada. Kulture kratkih ophodnji definiraju se i kao intenzivni nasadi brzorastućih vrsta drveća na tlima koja su napuštena, na kojima poljoprivredna proizvodnja nije ekonomski isplativa 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) [12],[13] i [14]. U ovom radu će se u obzir uzimati veća površina, to jest sva poljoprivredna površina koja nije iskorištena bit će smatrana napuštenom.

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 gustoća sklopa [15]. Cilj je dosadašnjih istraživanja bio utvrditi potencijal proizvodnje biomase izabranih klonova vrba i topola u kratkim ophodnjama na staništima nepodesnim za uzgoj vrjednijih vrsta šumskog drveća ili za poljoprivrednu proizvodnju. Do sada je u Hrvatskoj na različitim staništima, uglavnom u nizinskom panonskom području, postavljeno nekoliko pokusnih ploha, ukupno oko 30 ha, s brzorastućim šumskim vrstama [16] i [17]. Klonovi stablastih vrba pokazali su u dosadašnjim istraživanjima najveći potencijal produkcije biomase u kratkim ophodnjama do pet godina [18]. Ne postoje još komercijalni energetski nasadi, ali provedena istraživanja, poglavito na klonovima vrbe i topole, jer su to vrste koje već uspijevaju u šumama Hrvatske, pokazuju da je za očekivati da bi to bile vrste koje bi trebalo preferirati i za energetsku upotrebu. Na slici 10. se prikazuje gdje u Hrvatskoj uspijevaju ove vrste.



Slika 2. Područja pod šumama vrbe i topole [19]



U uvodu su spomenuta istraživanja na području šuma kao ponora za ugljični dioksid iz atmosfere. Takva istraživanja vezivanja CO<sub>2</sub> 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. Utvrđeno je prosječno godišnje poniranje od 19,1 do 23,2 t CO<sub>2</sub>/ha kod plantaže topola, odnosno od 11,2 do 27,5 t CO<sub>2</sub>/ha kod kulture kratkih ophodnji. Prema utvrđenom modelu, kroz deset godina uzgajanja, kod klasične kulture topola rezultiralo bi s ponorom CO<sub>2</sub> od 130 t do 183 t CO<sub>2</sub>/ ha, zavisno o ulaganju i korištenju agrotehničkih mjera, dok bi u istom periodu od deset godina kod kulture kratkih ophodnji topola to iznosilo od 134 t do 235 t CO<sub>2</sub>/ha. Istraživanja provedena na temu vezivanja CO<sub>2</sub> iskazala su različite vrijednosti kod više različitih vrsta drveća, npr. ona su kod alepskog bora iznosila u prosjeku oko 48 t CO<sub>2</sub>/ha, pinjola 27 t CO<sub>2</sub>/ha, a hrasta plutnjaka svega 4,5 t CO<sub>2</sub>/ha [20].

U nastavku se iznose karakteristike značajnijih vrsta energetskih nasada, trenutno u upotrebi u Europskoj uniji, zajedno s perspektivom na mjestu upotrebe, značajnim podacima vezanim uz uzgoj, način osnivanja plantaža i sječu te transport i skladištenje biomase pridobivene iz ovih kultura.

Pažnja je posvećena načinu prikupljanja, obradi zemljišta pri zasnivanju plantaža i potrebnom unosu tvari, jer to utječe na kasnije potrebne tretmane dimnih plinova nakon što se provede izgaranje goriva s većom ili manjom vjerojatnosti pojave lakih metala i drugih elemenata čije se emisije nadgledaju iz perspektive zaštite okoliša. O ovome je važno voditi računa zbog toga što je nužno adekvatno tretirati goriva iz biomase kako bi ona stvarno bila obnovljiv i ekološki prihvatljiv izvor energije.

### 2.1.1. Vrba

Vrba (*Salix* spp.) uključuje nekoliko vrsta drveća i grmlja, od kojih su neki brzo rastući te se kultiviraju za dobivanje energije u "energetskim šumama" u Švedskoj od prve naftne krize 1970-ih. Klonovi *Salix viminalis* uglavnom se koriste u energetskim šumama. Takav nasad prikazuje Slika 3.



Slika 3. Nasadi vrbe (crops4energy.co.uk)

Druge vrste, kao što su *Salix dasyclados* također se uzgaja, ali u ograničenoj mjeri. Vrba ima gotovo istu neto ogrjevnu vrijednost kao i drvena goriva, oko 18,5 MJ / kg<sub>dm</sub>.

Vrba je, ne samo izvor bioenergije, već i pomaže u rješavanju određenih problema okoliša i tla. Uzgoj vrbe može se kombinirati s pročišćavanjem urbanih i industrijskih voda, može smanjiti upotrebu pesticida, pomoći da se izbjegne erozija tla, štiti podzemne vode i povećanje biološke raznolikosti itd.

Kad je navodnjavan otpadnim vodama, SRC nasad djeluje kao biološki filtri i uklanja hranjive tvari, kao i neke teške metale iz otpadnih voda. Takva biofiltracija može zamijeniti konvencionalnu tercijarnu obradu, uz povećanje prinosa SRC biomase zbog navodnjavanja i gnojidbe. Sustav ima mnoge prednosti, kao što su recikliranje nutrijenata, smanjenje zdravstvenih rizika, dobra energetska bilanca, jeftiniji sustav za pročišćavanje vode za tvrtke, veća profitabilnost za uzgajivače zbog niže cijene gnojiva i višeg prinosa. Glavni nedostaci su niži potencijal za pročišćavanje tijekom zime i obilježje sustava da treba relativno velike

površine. Ova vrsta sustava za navodnjavanje za nasade se koristi u Švedskoj, Francuskoj i Irskoj. Smanjenje upotrebe pesticida je još jedna važna prednost nasada vrbe. U usporedbi s tradicionalnom proizvodnjom žitarica, oko 60% manje pesticida se koristi za nasade vrbe.

*a) Trenutna proizvodnja i potencijal u bliskoj budućnosti*

Vrba se uglavnom uzgaja na području južne Švedske, gdje je oko 1.250 poljoprivrednika radi s komercijalnim nasadima trenutačno u ukupnom iznosu površine od oko 13.500 ha. Razdoblje osnivanja i intervali između žetve su 3-5 godina i prinos može dosegnuti oko 8-10 tona suhog materijala po hektaru godišnje, ali značajna promjena ovisi o regiji i godini. Trenutno oko 20% od ukupne potrošnje energije u Švedskoj podmiruje biomasa. Biogoriva od izravnog uzgoja čine vrlo mali doprinos (<1 TWh u 2008. godini, ne uključujući usjeve proizvedene za bioplin), u usporedbi s onima iz ostataka drvne industrije. Postoji veliki neiskorišteni potencijal i bioenergija može doprinijeti do 220 TWh, 10% od toga dolazi iz dugogodišnjeg uzgoja biomase. Do danas, sječka vrbe za izravno izgaranje je najčešće korišteni proizvod na tržištu.

*b) Tehnologije za uzgoj i berbu*

Plantaže vrbe osnivaju se sadnicama u proljeće. Vrba obično rodi 2-3 metara dugim granama koje se režu između prosinca i ožujka, kada su pupoljci potpuno neaktivni. To može biti posađeno odmah ili pažljivo pohranjeno u hladnim uvjetima (-2 do -4 ° C) dok se ne koristi. Potrebno je zaštititi sadni materijal od gubitka vlage tijekom skladištenja prije sadnje. Posebne dizajna („twin“ redaka) i tehnike za vrbe plantaže osnivanje su razvijeni. Vrbine grane 2-3 m dužine su odrezane na 15 - 20 cm duge komade neposredno prije sadnje. Dizajn „twin-row“ omogućuje razmak od 0,75 m između redova i 1.5 m između „redova blizanaca“, što je dovelo do gustoće sadnje od oko 13.000 sadnica po hektaru. Suzbijanje korova tijekom prve godine je vrlo važno. Vrbin korijenski sustav uspostavlja se u prvoj godini, tijekom koje nije otporan poput korova. Široko spektarni herbicidi, kao što je glifosat, često se koriste za kontrolu višegodišnjih korova prije bilo kakvog uzgoja, pa čak i dva do tri tjedan nakon toga. Mehaničko suzbijanje korova je alternativa. Plantaže vrbe trebaju mnogo vode i hranjivih tvari, obično zahtijevaju 3 - 5 mm vode dnevno tijekom vegetacije. Potrebnija za hranjivim tvarima varira ovisno o starosti nasada i stupnju razvoja kulture. Na primjer, ne gnojidba se preporuča u Švedskoj tijekom godine osnivanja, ali 45 kg N po hektaru treba primijeniti u drugoj (tj prva žetva) godini, te

100 - 150 kg N tijekom treće i četvrte godine. Istraživanja supkazala da ekonomska i ekološka korist može biti rezultat korištenja otpadne vode za navodnjavanje, i mulja, zajedno s pepelom iz izgaranja biogoriva, kao gnojivom. Istraživanje je također pokazalo da vrba može sanirati zemljišta onečišćena organskim onečišćivačima i teškim metalima. Sadnja mješavine različitih sorti ili vrsta uvijek se preporučuje. Istraživanje je dovelo do razvoja novih snažnih sorti vrba s povećanom otpornošću na bolesti kao što su hrđe i oštećenja od insekata, uključujući vrbine bube. Berbu vrbe, to jest sječu i obradu u sječku prikazuje Slika 4.



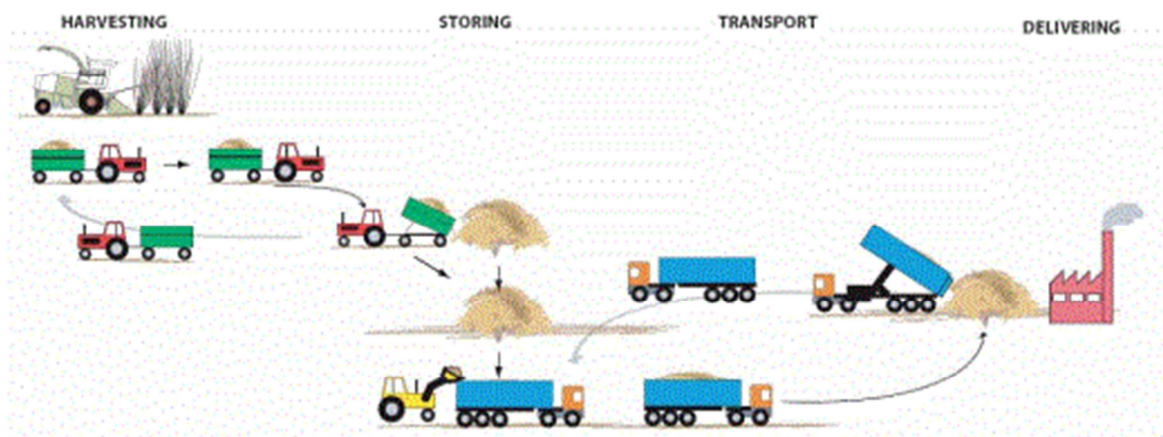
Slika 4. Sječa nasada vrbe

Vrba se bere tijekom zime kada je tlo je zamrznuto i sadržaj vlage u biomasi je na najnižoj (oko 50%) razini. Vrba se bere nakon 3-5 godina rasta. Sakupljači koji mogu rezati i sjeckati u jednoj ili dvije operacije te su sposobni za rezanje dva reda u jednom prolazu najčešće se koriste u Švedskoj.

#### c) Logistika

Vrbina biomasa obično se bere izravno rezanjem i sjeckanjem na terenu. Sječka je zatim prevezena u postrojenja za daljinsko grijanje ili kogeneracijska postrojenja gdje se spremaju i

koriste. Ista se oprema može koristiti za proizvodnju i opskrbu sječke vrbe za CHP postrojenja kao što se koristi za proizvodnju konvencionalne drvene sječke. Nema velike razlike ni u uvjetima skladištenja za vrbu ili konvencionalnu drvenu sječku. Vrba može biti pohranjena u snopove u dužem vremenskom razdoblju, bez značajnog smanjenja kvalitete. Proizvodni ciklus biomase iz vrbe prikazuje Slika 5.



Slika 5 . Proizvodni ciklus biomase iz nasada vrbe (bisyplan.bioenarea.eu)

#### d) Tehnologije za energetska eksploataciju

Sječka vrbe najčešće se koristi kao kruto gorivo za izravno izgaranje u kotlovima za grijanje ili CHP. Međutim, ona trenutno doprinosi do 20% u smjesi goriva, jer vrba sadrži povišene razine problematičnih elemenata za sagorijevanje (kao što su K, Cl, Na, N, Mg i sl) u usporedbi s drugim drvnim gorivima, što dovodi do povećanog rizika od korozije, šljake i sl i u drugim aspektima. Sječka vrbe se koristi na isti način kao i drvena sječka i ima sličnu ogrjevnost. Studije izgaranja vrbinog praha i peleta ili briketa su provedene, a očekuje se da će se suspaljivanje vrba i ostale vrste goriva proučavati u budućnosti.

#### 2.1.2. Konoplja

Konoplja (*Cannabis sativa* L.) je jednogodišnja biljka. To je višenamjenska biljka koja je kultivirana zbog korištenja vlakana u stabljici, fiksnog ulja u sjemenu, i opojne smole koju luče žlijezde epidermisa. Većina od konoplje uzgojene u Europi se koristi za proizvodnju vlakana. Vlakna se koriste u industriji celuloze i papira, a preostatak se koristi kao postelje za životinje. Proizvodnja energije u obliku krutog goriva iz cijele konopljine stabljike je relativno nova primjena. Polje nasada konoplje i primjer mehaniziranog skupljanja prikazuje Slika 6.



Slika 6. Nasad konoplje i sječa

*a) Trenutna proizvodnja i potencijal u bliskoj budućnosti*

Konoplja je trenutno korištena na maloj skali za proizvodnju energije u Švedskoj. Poljoprivrednici su, međutim, zainteresirani za ovaj usjev, jer je godišnjak i omogućuje veću fleksibilnost u obrezivanju sustav od trajnica kao što su vrbe ili RCG. Konoplja je također zanimljiva iz točke gledišta organskog uzgoja, jer se obično ne zahtijeva pesticid ili fungicid. Cilj Vlade je da je najmanje 20% od švedske poljoprivrede treba biti certificiran kao organski uzgoj do 2010. Konoplja se smatra zanimljivom komponentom za plodoreda u ekološkoj poljoprivredi. Došlo je do stalnog porasta uzgoja konoplje 2003-2007, dosegnuvši najviše oko 800 ha. U 2008. godini, samo polovica tog prostora (oko 400 ha) se koristi za proizvodnju konoplje.

*b) Tehnologije koje se koriste u uzgoju i berbi*

Da bi u potpunosti iskoristiti vegetaciju konoplje, treba sijati već u proljeće što je ranije moguće. Sjeme se sije najbolji na 2 - 3 cm dubine i na udaljenosti od 25 cm između redova. Iako će sadnice proklijati i preživjeti na temperaturama iznad smrzavanja, samo temperatura tla 8-10 ° C je optimalna. Dobra vlažnost tla je potrebno za klijavost sjemena, a adekvatna količina oborina je potrebna za dobar rast, pogotovo tijekom prvih 6 tjedana. Za energetske svrhe gustoća od 20 do 40 kg/ha se preporuča. Uzgoj konoplje može zahtijevati dodavanje do 110 kg/ha dušika, te 40 do 90 kg/ha pepela. Gnojidba dušikom u viškom 200 kg/ha je testirana s dobrim rezultatima. Konoplja se bere za energetske svrhe kao uvenuo, suhe materijal u kasnu zimu ili proljeće nakon vegetacije. To znači da se cijela sezona rasta koristi, što daje visok prinos biomase. Tijekom zime lišće će otpasti i sadržaj pepela se spušta. Neki od neželjenih elemenata (N, S, Cl) se izlučuju iz materijala tijekom zime, pa se stoga dobiva

bolje gorivo od drugih trava. Konoplja može biti dobivena rezanjem i baliranje ili se može sjeckati preciznim sjekačem i dobivati rastresit materijal. Bale mogu biti pohranjene u zatvorenom prostoru ili u natkrivenoj hrpi kako bi ih zaštitili od kiše. Usitnjeni materijal može biti pohranjen u silosima za zaštitu od kiše. Žetva konoplje konvencionalnim strojevima ponekad može biti problematična jer snažna vlakna imaju tendenciju da se zaglave u rotirajućim dijelovima strojeva.

### *c) Logistika*

Kao i kod drugih energetskih nasada, uključujući i RCG i slamu, logistika je jako zahtjevna. Usjev se bere samo jednom godišnje, često u proljeće kada je potreba za sirovinu za kotlovnice i elektrane niska. To znači da je često potrebno skladište za pohranu uroda.

Baliranje nudi učinkovito sredstvo za prikupljanje, obradu i pohranu materijala, ali je isto tako značajna stavka troškova u proizvodnom lancu. Korištenje konoplje u velikim kotlovnica i elektranama zahtijeva da se materijal izreže i pomiješa s drugim gorivima prije izgaranja. Različite metode za zbijanje praha konoplje su proučavane da bi se moglo poboljšati transport materijala. Pretpostavlja se da je materijal sakupljen na terminalima gdje sječka konoplje biva pomiješana s drugim gorivima, kao što su drvena sječka, kora ili treset. Smjesa se zatim transportira u kotlovnice i elektrane za izgaranje. Na taj način se suhi materijal konoplje može koristiti za poboljšanje energetske vrijednosti vrlo vlažnih materijala (npr kora).

### *d) Tehnologije za energetsku eksploataciju*

Konoplja može biti rafinirana u brikete ili pelete da se poveća gustoću energije i poboljša ponašanje u upotrebi. Ovaj materijal se može koristiti za dobivanje topline u javnim (plamenika, peći i kotlovi) ili u većim kotlovnica i elektranama. Kada se koristi konoplju u većim postrojenjima za grijanje i elektranama, briketiranje i / ili peletiziranje materijala često nije potrebno. Trenutno se istražuje rukovanje prahom konoplje i miješanje s drugim gorivima na sličan način kao i za RCG i vrbe.

### **2.1.3. Topola**

Topola (*Populus spp.*) je stablo koje pripada obitelji Salicaceae, te se naširoko koristi u tradicionalnom šumogojstvu i šumarstvu. Podnosi široki raspon uvjeta tla, ali općenito raste u

dubokim plodnim tlima i najprikladnije je za mediteranske klime, jer je vrlo osjetljivo na mraz. Kako izgleda višegodišnji nasad topole, prikazuje Slika 7.



Slika 7. Nasad topole

#### a) Osnivanje

Pod optimalnim uvjetima SRF („short rotation forestry“) plantaža topola može dosegnuti razinu produktivnosti od oko 20  $t_{DM}/ha$  godišnje. Topola je trenutno najvažnija vrste za SRF u Italiji. Svi postojeći komercijalni nasadi se temelje na topolinim klonovima uzgajanim u sjevernim dijelovima Italije (Lombardia, Piemonte, Veneto, Friuli, Emilia Romagna) i u manjoj mjeri u središnjoj Italiji (Marche, Umbria, Lazio i Toscana) s ukupno procijenjenim površinama pod nasadima od oko 5.700 ha. Prva komercijalna iskustva s SRF su bila početkom 2000. godine u Lombardiji zahvaljujući dostupnosti sredstava iz programa ruralnog razvoja i dodatnih regionalnih potpora. U početku je usvojen švedski model (gustoća nasada, berba svake godine), a rezultati su ohrabrujući, ali je bilo nedostatka poznavanja najbolje prakse od strane poljoprivrednika, koji su često koristili samo marginalno zemljište za SRF i nisu uložili dovoljno napora u održavanje i gnojidbu plantaže. Prisutnost velikih subjekata koji su spremni ulagati u elektrane na biomasu će dovesti do snažnog potencijala tržišta za drvena goriva u bliskoj budućnosti. Međutim, interes poljoprivrednika za SRF je pao u



posljednje dvije godine, zbog promjena u profitabilnosti žitarica. SRF je dalje profitabilan, ali se ne smatra konkurentnim u usporedbi s tradicionalnim kulturama u ovom trenutku.

U Španjolskoj, ON CULTIVOS projekt (2005. – 2012.) predstavlja glavnu nacionalnu inicijativu, gdje energetske usjevi uključuju: carinata (*Brassica carinata*), Topola (*Populus spp*), krmni sirak (*Sorghum bicolor*), kao i žitarice za proizvodnju bioetanola i uljanu repicu (*Brassica napus*).

Procijenjena demonstracijska površina na kraju projekta je oko 10.000 ha, uključujući područja na sjeveru (Navarra, Aragon, Cataluna, Castilla y Leon), centralnu Španjolsku (Castilla La Mancha, Madrid) i jugoistočnu (Andaluzija, Extremadura) Španjolsku. Prijave za ove inicijative uključuju proizvodnju energije za grijanje, proizvodnja energije, razvoj biogoriva i rasplinjavanje. Cilj proučavanja klonova topole i hibrida je generirati znanje i iskustvo za održivu proizvodnju u španjolskom kontekstu. Učinkovitost korištenja oskudnih resursa, kao što je voda, optimizaciju proizvodnje u pogledu razmaka / rotacije, odabir i praćenje strojeva prilagođenih berbi i povezane logistike, ekonomike, proizvodnje energije i okoliša su od velikog interesa za promicanje topola kao energetske usjeva.

Ciljevi za proizvodnju biomase u španjolskom planu korištenja obnovljivih izvora određen je s udjelom od 40% energetske usjeva. Prema planu moraju postići 1,9 Mtoe godišnje u električnim i toplinskim primjenama do 2010. godine i 2,2 Mtoe godišnje iz biogoriva. Istraživanje o SRF u Italiji je u tijeku još od rane faze bioenergije u ratarstvu pomoću topola i uglavnom je usmjereno na genetsko poboljšanje i klonsku selekciju, optimiziranje tehnike uzgoja, berbe i mehanizacije te skladištenja i logistike proizvodnje biomase. Istraživački naponi tijekom posljednjih nekoliko godina dali su značajne rezultate. Primjer mehanizirane sječe prikazuje Slika 8.



Slika 8. Sječa topole

Od početka dva glavna ograničavajuća faktora su: visoka cijena strojeva dovela je do potrebe za većim plantažama kako bi povećali godišnji broj radnih sati stroja i smanjili jedinične troškove, te poteškoće kod strojeva za žetvu drveća s više od 6 cm promjera, koji su uobičajeni u 2-3 godine starim plantažama.

#### *b) Logistika*

Energetski usjevi su uglavnom distribuirani od lokalnih tvrtki u blizini postrojenja za pretvorbu energije, a mogu se koristiti u postojećim sustavima za obradu druge biomase (zeljastih i drvenastih sorti). Plantaže su često na mjestima u blizini energetskog postrojenja zbog smanjenja troškova cestovnog prijevoza. Maksimalni kapacitet kamiona je 90 m<sup>3</sup>.

#### *c) Skladištenje*

Topola uzgajana kao energetski nasad je sezonska u pogledu proizvodnje i berbe, a energana radi tijekom cijele godine. Stoga je potrebno pohraniti biomasu kako bi se osigurala pouzdana opskrbu drva. Duga razdoblja skladištenja utječu na cijenu, kvalitetu (kalorijsku vrijednost, vlaga, plijesan, pepeo) i smanjenje suhe tvari. Skladište može biti na različitim mjestima (blizu proizvodnog područja, u neposrednoj blizini postrojenja, na srednji položaj). Sadržaj vlage svježe topole u berbi je oko 55%. Zbog ovog razloga vanjsku pohranu u velikim gomilama rasute sječke može dovesti do vrenja i kasnijeg gubitka suhe tvari do 5%

mjesečno. Da bi prevladali taj problem, istraživanja se aktivno provode da se identificiraju najbolja rješenja za pohranu.

Aktualni trendovi su:

- Pohrana pod pokrovom (moguće samo za male količine sječke)
- Identifikacija optimalnih dimenzija cjepanica. Dimenzija cjepanica utječe na ravnotežu između isparavanja i apsorpcijske sposobnosti za vlagu
- Korištenje platna (plastične mreže) ili posebnim tkanina (Top Tex) koje puštaju vlagu van, ali su nepropusne za kišnicu (to izgleda kao vrlo učinkovito rješenje u ovom trenutku).
- Za dulje skladištenje oblik cjepanica je više zgodan nego sječka, jer smanjuje biološku aktivnost i degradaciju povezan sa zelenom drvenastom biomasom.

#### *d) Tehnologije za energetska eksploataciju*

ORC turbinska postrojenja su u stanju proizvesti toplinu i električnu energiju za male i sustave srednjeg razmjera (od 200 kWe do 2 MW po jedinici) pomoću tehnologije Rankineovog ciklusa. Turbo-generator zajedno s diatermičkim naftnim kotlom je savršen primjer visoko učinkovitog kogeneracijskog postrojenja (18% električne energije i 79% za toplinsku proizvodnju). Diatermički uljni kotao, pogonjen drvenastom biomasom, grije ulje do 300 ° C, proizvodi potrebnu toplinu za turbogenerator, koji proizvodi električnu energiju i toplinski učin od 90 ° C. Ovi sustavi su pogodni za studije slučaja u kojima je lokalna dostupnost biomase ograničena i smanjenu veličinu postrojenja, osim što smanjuje opću složenost postrojenja i optimiziranje troškova za skladištenje, transport i logistiku, dopušta pojačanu iskoristivost topline u kogeneraciji s jasnom okolišnom, energetska i ekonomskom koristi. Izravno suspaljivanje s ugljenom u 50 MW postrojenju u sjevernoj Španjolskoj pomoću tehnologije atmosferskog fluidiziranog sloja izgaranja (AFBC), s toplinskom učinkovitosti 82,59%, koristi 59,8% odbačenog ugljena, 35,3% ugljena, a 4,9% drvne biomase. Apsorbentski materijal vapnenac (95,5% CaCO<sub>3</sub>). Potrošnja goriva je oko 64 t/h i potrošnja apsorbeta 5 t/h. Drvenasta ostatna biomasa i energetska nasadi predstavljaju prednosti u proizvodnji u pogledu šumskog vrednovanja, smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i povećanja lokalnog zapošljavanja.

#### 2.1.4. *Miskant*

*Miscanthus* je višegodišnja vrsta, rizomska trava koja potječe iz Azije. Rizomska vrsta podrazumijeva da se širi putem podzemnog skladišnog organa (rizoma). *Miscanthus x giganteus* nije invazivna i svaka biljka naraste do otprilike 1 metar u promjeru, nakon čega se biljka ne nastavlja širiti. *Miscanthus* može narasti i do 3,5 metra i teoretski može dati godišnji prinos do 30 t/ha suhe tvari osim prvih nekoliko godina. Poput ostalih bioenergetskih usjeva, stabljika *miscanthusa* može se koristiti kao gorivo za proizvodnju toplinske i električne energije, ili u budućnosti za pretvorbu u biogoriva 2. generacije poput etanola. *Miscanthus* je bogat ligninom i lignoceluloznim vlaknima i ima C4 metabolički put.

##### a) *Klimatski uvjeti i preferencije tla*

*Miscanthus* može se uzgajati u umjerenj klimi i na mnogim vrstama obradivog zemljišta. Prinos usjeva ovisi o suncu, dostupnosti vode i temperaturi. *Miscanthus* ne raste na temperaturama ispod praga od 6 °C. To je znatno manje nego za kukuruz, što znači da je sezona rasta dulja. Tlo je važan čimbenik za *miscanthusovu* produktivnost. Prinos na plodnim tlima može doseći i do 30 tona suhe tvari po hektaru godišnje ( $t_{DM}/ha/god$ ). No prinos na manje produktivnim tlima teško može doći do 10  $t_{DM}/ha/god$ . Povećanje produktivnosti rezultira povećanjem potražnje vode. Na primjer, kako bi se proizvelo maksimalne prinose, *miscanthus x giganteus* može koristiti veće količine vode, do 900 mm/god. Nekoliko zaključaka obzirom na pogodna tla za *miscanthus*:

- tla koja su pogodna za uzgoj kukuruza vjerojatno će biti pogodan za *miscanthus*
- najpogodnije tlo za uzgoj *miscanthusa* je srednje pogodno tlo, kao što su pjeskovite ili muljevite ilovače (smeđa zemlja ili para-smeđa zemlja) s dobrim kretanjem zraka, visokog kapaciteta zadržavanja vode i sadržaja organske tvari
- maksimalni prinosi nisu postignuti kada se usjev uzgaja na plitkim tlima u kombinaciji s dugim sušnim razdobljima tijekom ljeta, iako je moguće osnivanje i opstanak.
- hladna i teška poplavna tlu (npr gline) nisu pogodne za uzgoj *miscanthusa*
- moguće je da uzgajati *miscanthus* u pjeskovitim tlima s niskim kapacitetom vode, ali prinosi su niski u tim okolnostima.

##### b) *Sjetva*

To je važno uspostaviti usjev ispravno prije sadnje. Nakon što je usjev potpuno uspostavljen, u pravilu nema potrebe za daljnjim kemijskim tretmanom. Dvije metode propagacije se

koriste u Europi - micropropagacijom i gomoljastom podjelom (rizom). Rizomski način se koristi češće i više je ekonomski održiv način da se uzgaja miscanthus. Rizomi trebaju biti postavljeni tako da se omogući ekspanziju biljaka tijekom života usjeva i na dubini tla od 5-15 cm. Gustoća sadnje varira od 10.000 do 15.000 ili više rizoma po hektaru. Miscanthus ne zahtijeva veliki unos gnojiva (maksimalna količina dušika je između 50 i 70 kg N/( ha \* god)). Vrijeme sadnje trebalo biti dovoljno blizu kraja godine kako bi se izbjeglo ozbiljne kasnoproletne mrazove, ali dovoljno rano kako bi se omogućilo dobro osnivanje, rast i pohrana hranjivih tvari u rizomu prije zimskih mrazova. Mlade biljke i rizomi mogu biti vrlo osjetljivi na mraz (kada se koristi metoda micropropagacijske sadnje) - ako je temperatura tla padne na manje od 3,5 ° C tijekom prve sadnje godine, rizomi umiru. Ipak, miscanthus biljka uzgojene iz rizoma može preživjeti barem - 5,5 ° C i potencijalno hladnije temperature.

Miscanthus najčešće se sadi u ožujku ili travnju, doseže 1-2 metara u visinu od kraja kolovoza, počinje sušenje do kraja srpnja, a bere se u zimskim mjesecima. Međutim, u hladnim podnebljima kao što je u središnjoj i sjevernoj Europi miscanthus se suši nakon prvog mraza (koji ubija stanice stabla), a bere se u proljeće (ožujak), neposredno prije rasta novih izdanaka tako da su novi izdanci neoštećeni. U toplijim klimama južne Europe, biljka počinje sušenje u studenom, a može biti brana od studenog do veljače ili početkom ožujka.

### c) Žetva

Jednom uspostavljen, obrezivanje može biti u redovitim razmacima najmanje 15 godina. Žetva miscanthusa treba se provesti kada je sadržaj vlage najniži, a prije nego ponovni rast počinje u sljedeće proljeće. Miscanthus se ne bere se u prvoj godini zbog niskog prinosa biljke, međutim, prinos u drugoj godini može doseći maksimalnih 10 t/ha<sub>DM</sub>. U drugoj godini pa nadalje se može očekivati da bi se postigla maksimalna visina 2,5-3,5 m. Do treće godine se prinosi kreću između 10-15 tona suhe tvari po hektaru (20 t/ha je maksimalno zabilježeno). Žetva se može provesti korištenjem više različitih strojeva, kao što su kosilice, kombajni, balirke i prijevoz konvencionalnim sredstvima. Rezni dio kombajna treba prilagoditi na najniži moguću položaj da se izbjegne gubitak prinosa. Neki strojevi su posebno prilagođeni za rezanje i obrađivanje biljke u isto vrijeme (razvijen od strane Claas i DEUTZ-FAHR). U južnoj Europi vlažnost miscanthusa kod berbe može biti niska (15%), međutim, u Njemačkoj i Velikoj Britaniji je između 16-25%, ako se biljka bere kada je sadržaj vlage najniži.

### 2.1.5. *Reed Canary Grass (RCG)*

RCG je višegodišnja biljka C3 metabolizma koja obično raste u vlažnim područjima. Samonikla u umjerenim regijama, kao i Skandinaviji, gdje se koristi već 20-ak godina za proizvodnju energije. Biljka se uglavnom uzgaja u Finskoj s ukupnom procijenjenom obradivom površinom od 20 000 ha u 2007. Nasad RCG-a prikazuje Slika 9.



Slika 9. Nasadi RCG-a

Ova rhizomatska trava raste prirodno između 60 cm i 2 m uvis i ima svijetlo zeleno ili bjelkasto zeleno lišće 10-35 cm i 6 -18 cm širine.

#### a) *Propagacija i preferencije tla*

RCG se širi prirodno puzanjem rizoma, ali biljke mogu biti podignute i iz sjemena. Cvatnja se događa od lipnja do kolovoza, i sjeme se proizvodi. Biljka se često javlja u vlažnim mjestima, uz obale rijeka, potoka, jezera i bazena. Prednosti vrste kao energetske usjeva su njegova prilagodba siromašnih mokrim tlima, njegova sposobnost da nikne iz sjemena i njegovom postizanju visokog sadržaja suhe tvari. RCG treba relativno malo gnojiva. Uspjeh usjeva ovisi o dovoljnoj opskrbi hranjivim tvarima i kisikom bogatom vodom tekućicom. RCG tolerira, kako suše tako i veliku vlagu zbog velikog korijenskog sustava. U SAD-u, gdje se trava uglavnom uzgaja za stočnu hranu, što se uglavnom koristi zbog svoje dobre otpornosti na suhom mjestu u prerije.

#### b) *Žetva, baliranje i logistika*

Svojstva goriva su poboljšana kada se trava osuši za sljedeću jesen i zimu, u kojem se hranjive tvari akumuliraju u korijenje i voda ispire štetne elemente u tragovima u određenoj mjeri. (RCG) se obično bere svake godine u proljeće s konvencionalnim tehnologijama ili

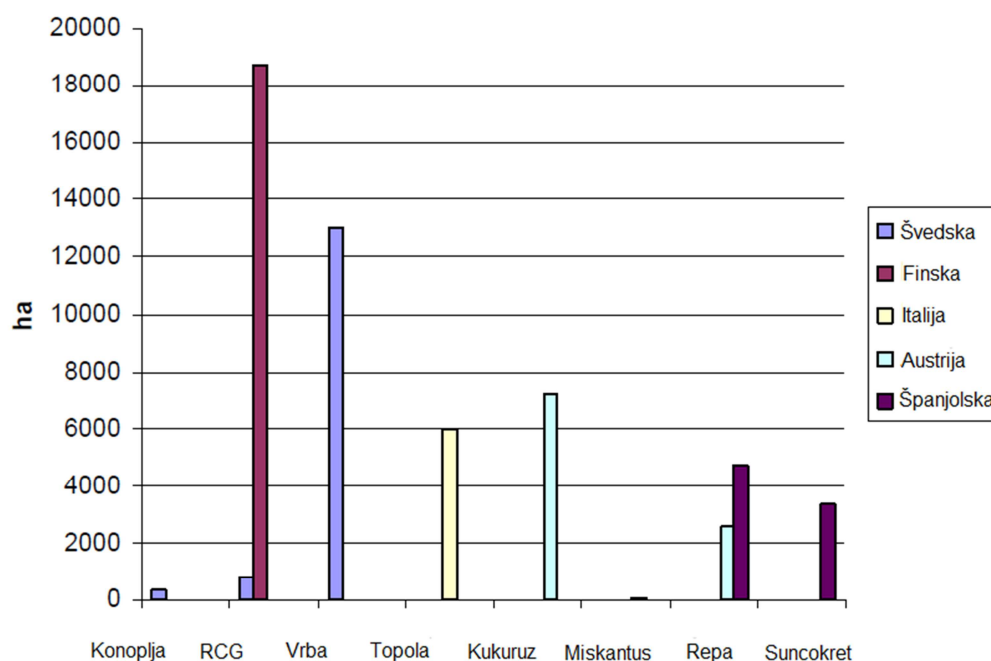
košnjom ili baliranjem pomoću balirke visoke gustoće. Prinos ove biljke može biti 11 t<sub>DM</sub>/ha/god, međutim prosječan je prinos od 6-8 t<sub>DM</sub>/ha/god. Trajanje usjeva od 12-15 godina je moguće. Zbog nižeg sadržaja vlage - 85-90% suhe tvari u berbi, RCG se može lako pretvoriti u pelete, brikete i prah. Ipak, žetva, baliranje i logistika trebaju daljnja poboljšanja kako bi ova biljka bila isplativije eksploatirana. Kod žetve gubici mogu biti vrlo visoki i do 50-60% zbog male mase goriva, osobito u usitnjenom obliku. Prijevoz RCG može biti ekonomičan samo za kratke udaljenosti, manje od 80 km. Također učinkovitost transporta okruglih bala, koji je najčešći tip baliranja, je relativno niska. Prevladavajući poljoprivredni sjekači i industrijske drobilice elektrana u većini slučajeva su neprikladni za sjeckanje od bala za proizvodnju goriva. Druga alternativa za smanjenje visokih troškova transporta je miješati travu s iverjem ili tresetom prije prijevoza na velike udaljenosti. U Finskoj se biljka uglavnom koristi za suspaljivanje s drugim vrstama biomase ili u elektranama na ugljen. Zbog svojstava goriva, RCG treba koristiti u mješavinama s tresetom i drvnom sječkom, u suprotnom bi moglo dovesti do blokade na transportnim sustavima. Studije i praktično iskustvo su pokazale da je optimalna količina RCG u smjesi 10-20% (što je 20-30% volumena), ovisno o glavnom gorivu. Takva količina RCG-a neće izazvati koroziju u kotlovima ili povećanje onečišćenja, što je primarna briga [19].

## 2.2. Primjena kultura kratkih ophodnji za energetske namjene u Europskoj uniji

Energetski usjevi s visokim prinosom već se često koriste u dobro isprobanim sustavima, kao što su proizvodnja bioplina iz poljoprivredne biomase (kukuruz, zajedno s gnojem). Bioplin se obično koristi za kogeneracijska postrojenja (agregat od nekoliko stotina kW do 40 MW, 20 MW<sub>el</sub> i 20 MW<sub>th</sub>), koji su posebno popularni u Njemačkoj, Austriji, Italiji i Danskoj. Korištenje poboljšanog bioplina kao transportnog biogoriva je relativno novi razvoj, ali može potaknuti povećano korištenje kukuruza i druge biomase u budućnosti. Za 2006. godinu, AEBIOM procjenjuje da je oko 600.000 ha obradivog zemljišta korišteno za proizvodnju energetskih usjeva za postrojenja za proizvodnju bioplina. U Europi, šumski oblici energetskih nasada pokrivaju oko 50.000 - 60.000 ha zemljišta u 2007.[21],[22]. To je vrlo mala površina u odnosu na onu koja se koristi za tradicionalne energetske usjeve za biogoriva za transport, koja pokrivaju oko 2,5 milijuna hektara (uglavnom žitarice i repa).

Najveća područja pod energetskim usjevima nalaze se u Velikoj Britaniji (uglavnom *Miscanthus* i vrba), Švedskoj (vrba, RCG), Finska (RCG), Njemačka (*Miscanthus*, vrbe, itd),

Španjolska i Italija (Miscanthus, topola). Statistike plantaže energetskih usjeva za kruta biogoriva su gotovo nepostojeće u mnogim europskim zemljama. Prikaz dominantnih kultura energetskih usjeva u pojedinim zemljama daje slika 10.



Slika 10. Energetski usjevi u pojedinim zemljama EU [22]

U 2008. godini Europska unija ambiciozno se obvezala povećati udio obnovljivih izvora energije do 20% od ukupne potrošnje energije do 2020. Također je dogovoreno da se 10% goriva u transportu treba zamijeniti biogorivima do 2020. godine. Potrebni rast bioenergije će uglavnom dolaziti iz šumarstva, ali će nasadi također biti potrebni da se stigne do cilja. Biomasa proizveden od polja sastoji se od ostataka (slame, ostataka i sl), a posebno uzgaja usjeve (npr, Miscanthus, topole, vrbe, RCG, uljane repice, kukuruza). Nisu svi ostaci dostupni za proizvodnju biomase, jer su im potrebni za stočnu hranu i stelju i za održavanje plodnosti tla. U EU-27 zemljama na raspolaganju potencijal ostatka procjenjuje se na 1-3 EJ prema različitim studijama (1 EJ = 1018 J). Najveći dio te energije se nalazi u slami i najveći potencijal je u Njemačkoj, Francuskoj, Španjolskoj i Velikoj Britaniji. Danska je trenutni lider u korištenju slame za proizvodnju energije. Pri procjeni potencijala bioenergije usjeva prvo je potrebno predvidjeti približnu površinu potrebnu za proizvodnju hrane. U EU-27 se računa na oko 111 milijuna hektara obradivog zemljišta i oko 69 milijuna ha trajnog travnjaka. Za stanovništvo EU-27 je malo vjerojatno da će se brzo povećati u bliskoj budućnosti.



Procjenjuje se da će, ako će naša prehrana bila umjerena (mješovito povrće-životinjski proizvodi), za to bi trebalo oko 62% obradive zemlje da bi se moglo hraniti populaciju EU-27. Očekuje se da će svjetska populacija premašiti 9 milijardi do 2050. Da se nahrani ovu populaciju s umjerenom prehranom će zahtijevati 65% svih globalno dostupnih obradivih površina. Prema tom istraživanju, možemo koristiti 10 - 30% obradivog zemljišta za bioenergetske usjeve u EU-27. To će proizvesti 2-6 EJ energije iz ekološki prihvatljivog izvora, ako se prinos pretpostavlja da je 10 t<sub>DM</sub>/ha. Procjenjuje se da je energija usjeva potencijal će biti oko 3 EJ do 2050. u EU-27, ako je naša prehrana bila umjerena. Ako naša prehrana bila bogata (temelji se na životinjskim proizvodima) ne bi bilo tako značajnog potencijala. Najveće mogućnosti za povećanje proizvodnje energetske usjeva su u istočnoj Europi, gdje su prinosi prehrambenih proizvoda na razinu onih u zapadnoj Europi. Specifični energetske usjevi vjerojatno se neće promijeniti od onih trenutno u upotrebi, jer su intenzivno proučavani nekoliko desetljeća (Miscanthus, RCG, vrbe, topole, kukuruz i djeteline za bioplin, pšenice i uljane repice). Poljoprivredni ostatak i namjenski energetske nasadi zajedno tvore 3-9 EJ potencijala bioenergije. To je oko 4-13% od procijenjene ukupne potrošnje energije u EU-27 za 2020. Bioplin iz stajskog gnoja nije uključen u tim brojkama, ali bioplin iz energetske usjeva jest [22].

Različite zemlje su usvojile različite vrste sustava podrške, koji se ukratko raspravljaju u nastavku. U Finskoj su poljoprivredne subvencije za uzgoj RCG-a isti kao i subvencije za ostale poljoprivredne kulture (500 - 700 €/ha godišnje). To je bitno za ekonomiju RCG goriva lanca. S druge strane, zbog subvencija koje su iste za sve kulture, sustav ne potiče poljoprivrednike na uzgoj RCG, ako je cijena goriva niska. Uspostava plantaža energetske nasada ili energetske usjeva za proizvodnju energije nije podržana u Finskoj. Elektrane mogu dobiti investicijske potpore (npr 15-30% investicijskih troškova) i one mogu izbjeći trgovanje emisijama ukoliko koriste biogoriva umjesto fosilnih goriva. U Italiji, od siječnja 2009. godine, novi sustav potpora je unaprijedio prijašnji „zeleni certifikat“ mehanizam koji podržava proizvodnju električne energije samo od korištenja biogoriva: mala postrojenja (<1 mW) dobivaju tarifu od 0,22 €/kWh, dok veće elektrane dobivaju zelene certifikate (temeljene na promjenjivim tržišnim cijenama), te dodatnih 10% bonusa. U Španjolskoj, glavina poticaja se odnose na "reguliranu tarifu", korištenja energetske usjeva za proizvodnju električne energije. Prema tome regulirana tarifa za ≤ 2MW proizvođača za prvih 15 godina je 0,1696 €/kWh i 0,1559 €/kWh za > 2 MW proizvođača [23].

U Švedskoj, porezi, subvencije i potpore za korištenje obnovljivih izvora energije su primjenjivati od početka 1990-ih. Najznačajnija komponenta je porez na emisiju ugljičnog dioksida izazvanu izgaranjem fosilnih goriva za proizvodnju topline, koji je prvi put uveden 1991. Korisnici obnovljivih izvora, poput biogoriva, su izuzeti od poreza na emisije CO<sub>2</sub>. Razina „ugljičnog“ poreza povećala se s oko 0,025 € (0,25 SEK) po kg CO<sub>2</sub> u ranim 1990-ih do 0,063 € (0,63 SEK) u 2002. godini, a na kraju još 0,006 € (0,06 SEK) po kg CO<sub>2</sub> je dodano u 2007. Značajne subvencije su bile na raspolaganju za razvoj kogeneracijskog postrojenja koja koriste biogoriva od 1980. Na primjer, Enköping CHP postrojenja dobila su subvencije od 400 € (4000 SEK) po kW<sub>e</sub> kapaciteta, oko 40% od ukupne investicije. Osim toga, CHP postrojenja koja koriste biogoriva mogu također biti podržana kroz druge programe, kao što su zeleni certifikati, trgovanja emisijama, program za energetske učinkovitost u industriji (PFE), itd. Poticaji za poljoprivrednike počeli u području proizvodnje biomase iz farmi klonova vrba, program je u pogonu od kraja 1980-ih. Poljoprivrednici danas dobivaju subvencije od oko 5000 kruna (oko 500 €) od vlade, iako je bilo 10.000 SEK na početku programa. Nažalost, ne postoji slična subvencija na raspolaganju za osnivanje drugih energetske usjeva. U Austriji, za proizvodnju električne energije iz bioplina, fiksna feed-in tarifa između 11,30 c€/kWh (snaga > 1000 kW) i 16,95 c€/kWh (snaga < 100 kW) je jamčena na više od 10 godina. U 11. godini vlasnik postrojenja dobiva 75% od ove feed-in tarife i u 12. godini, 50%. Zbog visokih troškova sadnog materijala za energetske usjeve, austrijski vlasnici postrojenja dobivaju dodatni bonus od 4 c€/kWh u 2008. Ova potpora vlade za nova bioplinska postrojenja je ograničena na 5,1 M € godišnje.

U Italiji i Španjolskoj, vezano uz uzgajanje topole, razvila su se tržišta za biomasu. U Italiji postoje trenutno dva tržišta za biomasu iz SRF plantaže topola:

- elektrana na biomasu i male i srednje velike kogeneracije / toplane
- Industrija za proizvodnju ploča i drvo za namještaj

Postoji oko pet operativnih elektrana na biomasu u sjevernoj i središnjoj Italiji koje prihvaćaju sječku iz SRF (gotovo 60 MWe instalirane snage). U skoroj budućnosti neki važni operateri su izrazili interes za električnu energiju na biomasu sječke iz SRF plantaža. Konkretno:

- ENEL: najveća nacionalna energetska tvrtka i opskrbljivač električnom energijom planira uvesti suspaljivanja biomase iz SRF u četiri od njegovih elektrana na ugljen;
- POWERCROP: tvrtka je Eridania-Sadam Group (industrije šećera) planira 4 elektrane na biomasu do 2011. godine, nakon stavljanja izvan pogona šećerane slijedom reformi politike vezane uz šećer.

Neke brojke za Italiju:

- Prosječna cijena ogrjevnog drva: 40-50 € / t biomase dostavljene na vrata elektrane (40% vlage)
- Prosječna cijena plaćena za poljoprivrednike za držanje stabala: 18-20 € / t svježe biomase (isključuje berbu i troškove prijevoza, plaća kupac)
- Prosječni prihodi za 35 t svježe biomase / ha: 630-700 € / ha godišnje
- Prosječni godišnji troškovi plantaže (uključujući osnivanje plantaže): 350-500 € / ha godišnje
- Potpore iz programa ruralnog razvoja na raspolaganju za početnu osnivanje nasada (oko 40% izravnih troškova)

Ne postoji jasno uspostavljeno španjolsko tržište obzirom da je proizvodnja energetske biomase još uvijek u ranoj fazi. Neke od najvažnijih španjolskih tvrtki pokazali interes za korištenjem šumske biomase iz SRF nasada, same ili u mješavini s drugim gorivima:

- ACCIONA: velika nacionalna energetska tvrtka, proizvođač električne energije, vlasnik 25 MW elektrane na biomasu pogonjene slamom žitarica.
- VALORIZA: važna energetska tvrtka, proizvođač električne energije, vlasnik nekih biljaka električne energije na biomasu koriste ulja otpada maslina i topola u bliskoj budućnosti.
- HUNOSA: ugljenarska tvrtka koja planira provesti suspaljivanje ugljena-drvene biomase, uključujući i vrba.
- ENCE: velika celuloze i papira tvrtka uključene u biomasu na poluotoku Iberica i u Latinskoj Americi.

Zbog nedostatka povijesnih podataka na razini države, regionalni položaj na jugu Španjolske je odabran kao primjer. Ostali teritoriji mogu proizvesti različite podatke. Neki brojčane procjene pod uvjetom da su:

- Prosječna ogrjevno drvo cijena 40 - 50 € / t svježe biomase na licu mjesta.
- Sadnice 0,12-0,15 € / jedinica.
- Održavanje košta 560-570 € / ha / godišnje, uglavnom za gnojivo i navodnjavanje.
- Sadnja: mehanizirana 0,1 € / zemljište i ručno 0,14 € / zemljište.

Postoji nekoliko glavnih prepreka za razvoj energetske biomase za proizvodnju bioenergije (tehnički, ekonomski, lokalni i one koje se odnose na poljoprivredne probleme i obnove

marginalnog zemljišta). Prvo, troškovi osnivanja prilično su visoki s obzirom na činjenicu da su reznice i rizomi nasada skupi i specifični strojevi moraju se koristiti za sadnju. Drugo, različiti klimatski uvjeti i tla uvode distorziju u prinosu produktivnosti. Žetva i logistika mogu biti prilično skupi, a time i sadnja energetskih nasada možda postaje manje isplativa. Nadalje, poljoprivrednici imaju poteškoća da vide dugoročnu stabilnost za uzgoj energetskih nasada u postojećem političkom okviru. Važna barijera je komercijalizacija energetskih nasada. Poljoprivrednika uzgoj energetskih nasada obvezuje da uzgaja barem 10-15 godina. To je vrlo veliki rizik, jer seljak ne zna hoće li namjenski usjevi će biti konkurentni za 3 godine u usporedbi s tradicionalnim godišnjim usjevima. Kako bi se osigurala konkurentnost tih usjeva ugovori između poljoprivrednika i prerađivačke industrije trebaju osigurati sličan prihod poljoprivrednika kao uzgoj tradicionalnih kultura. Ove i mnoge druge prepreke mogu se prevladati s daljnjim naporima u istraživanju i razvoju područja, zakonodavstvom na razini EU-a, a uz dodatnu financijsku i zakonodavnu podršku poljoprivrednicima koji su spremni uzgajati energetske nasade. Sadašnje stanje na tržištu usjeva čini više isplativim za poljoprivrednike uzgajanje tradicionalnih kultura. Europska pomoć od 45 eura nije dovoljno da bi nasad bio više konkurentan. Dakle, većina europskih zemalja ima vrlo spor rast plantaža energetskih nasada s izuzetkom onih u kojima Europska potpora nadopunjuje nacionalnu podršku. Ipak, eventualno rastuće cijene nafte čine energetske nasad troškovno konkurentnim.

### **Zajednička poljoprivredna politika (CAP)**

Reforma CAP-a uvela je potpore za poticanje proizvodnje usjeva za dobivanje energije. Reforma pruža poticaj za poljoprivrednike da uzgajaju energetske nasade, preko pomoći za energetske nasade i kroz „setaside“ program (čime je dozvoljen uzgoj usjeva za mnoge neprehrambene namjene, od kojih je jedan proizvodnja energije). Pomoć od 45 eura po hektaru je dostupna poljoprivrednicima koji proizvode energetske nasade. To se primjenjuje na maksimalno zajamčena područja u cijeloj EU, od 2 milijuna hektara. Poljoprivrednici se mogu kvalificirati za primanje pomoći ako im je proizvodnja energetskih nasada pokrivena ugovorom između poljoprivrednika i odgovarajući prerađivačke industrije. Ova je potpora dodatna na SPS (jedinostvenih plaćanja) i SAPS (plaćanje po specifičnoj površini, najčešće primjenjuju u novim državama članicama) plaćanja. Međutim, Europska pomoć od 45 eura je smanjena na 31,5 eura u 2007. godini s obzirom na činjenicu da je premašila maksimum površine 2 milijuna hektara za koje pomoć može biti

odobrena. Nadalje, zbog slabe žetve u 2006. i posljedičnog povećanja cijena žitarica, izdvojiti zemljišta nije bilo više obavezno za jesen 2007. i proljeće 2008. žetve [24].

### **Nacionalna potpora**

Uredba Vijeća (EZ) br 1782/2003 odobrava isplate državnih potpora. Države članice sada mogu platiti državnim potporama do 50% za uspostavu višegodišnjih energetske nasade na zemljištu za koje farmer je podnio zahtjev za osnovnu pomoć za energetske nasade. Dodatna podrška je moguća uz suglasnost Europske komisije.

### **Nacionalne politike**

Nacionalne politike nisu dovoljne, a u mnogim zemljama ne postoje za razvoj energetske nasade u EU-27. Ipak, zemlje poput Švedske, Velike Britanije, Irske uvele su potrebne mjere i politike kako bi se omogućilo sadnju energetske nasade.

### **Primjer nacionalnih programa potpore - Švedska**

Švedska ima najveći udio nasade vrba u cijeloj EU i relativno visok udio RCG-a. To je zbog visokog oporezivanja fosilnih goriva i odgovarajuće nacionalne potpore za energetske usjeve. Olakšice za podršku u Švedskoj ovise o vrsti poljoprivrednog zemljišta. Pomoćne naknade za marginalno zemljište za energetske nasade variraju između € 125 i € 276/ha/god.

### **Podrška za plantaže**

Poljoprivrednik koji uzgaja energetske nasade može podnijeti zahtjev za pomoć. Takva plantaža može biti posađena na svim vrstama poljoprivrednog zemljišta, osim prirodnih pašnjaka (zaštićenih otvorenih krajobraza, područja s prirodnom florom i faunom). Ako se energetske nasade sadi na ne marginalnoj zemlji, posebni zahtjevi su zatraženi od poljoprivrednika, kao što su određeno obrazovanje i iskustvo u njegovanju takvih nasada. Poljoprivrednici moraju pružiti informacije o raspoloživim financijama za takve plantaže. Potpora je odobrena čim prijava dođe do lokalne samouprave. Pomoć iznosi 5.000 SEK (€ 536) po hektaru. Ako nasad nije na ugaru, maksimalni iznos je SEK 480.000 (€ 51,482) po gospodarstvu ili poljoprivrednom poduzeću za razdoblje od četiri godine.

### **Ujedinjeno Kraljevstvo**

Sustav za energetske nasade - omogućuje sufinanciranje za odobrene energetske nasade

- vrba, topola i miscanthus su među prihvatljivim energetskim kulturama.
- Sredstva dostupna za razdoblje od 2007-2013
- Kulture kratkih ophodnji £1,000 po hektaru
- Miscanthus £800 po hektaru

Infrastruktura za biomasu - pomaže razviti lanaca opskrbe potrebne za žetvu, spremanje, obradu i opskrbu energetskim nasadima i drvnom biomasom za krajnje korisnike

- ukupno £3.5 M se dodjeljuju u cijeloj zemlji. Najviše £200,000 po skupini ili kompaniji.
- klizna skala za administrativne set-up troškovi za skupine proizvođača do 100% u prvoj godini, 80% u drugoj godini i 60% u trećoj godini
- Isto klizna skala za troškove iznajmljivanja specijalnih strojeva.
- Do 40% za specijalne strojeve i dodatni prostor za pohranu
- Specifični troškovi obuke - do 35% za skupine malih i srednjih poduzeća i do 25% za velike proizvođače.

Financijska pomoć za biomasu - podržava instalaciju toplinskih sustava na biomasu i kogeneracijske projekte u industrijskim, trgovačkim i javnim djelatnostima u Engleskoj.

## **Irska**

Pomoć za biomasu (vrba i miscanthus)

- 50% troškova vezanih uz uspostavu plantaža miscanthusa i vrba na ugaru i na područjima koja su bila predmet potpore za EU Premium 45 € po hektaru.
- poljoprivrednici mogu dobiti do 1450 € po hektaru
- € 8M se dodjeljuju u razdoblju 2007-2009

Top-up za energetske usjeve Premium

- 80 € hektaru u 2007. za potporu uzgoja energetskih usjeva
- € 125 plaća se povrh 45 € potpore za razdoblje od 3 godine
- trenutna maksimalna površina koja se podupire po proizvođaču tijekom razdoblja od tri godine je 37,5 hektara [24],[25].

### 3. POTENCIJAL NEOBRAĐENIH POLJOPRIVREDNIH ZEMLJIŠTA U HRVATSKOJ ZA UZGOJ ENERGETSKIH NASADA

#### 3.1. Poljoprivredno zemljište koje se ne koristi u RH

Danas poljoprivredne površine zauzimaju 2,955.728 ha. Od toga su 1,074.159 ha pogodne, 1,074.510 ha ograničene, a 806,328 ha trajno nepogodne površine za poljoprivrednu proizvodnju. Detaljnije je u uvodu raspravljeno koje se površine mogu dalje obračunavati za tehnički potencijal. Potencijali obradivih površina iznose 2,150.000 ha, a obrađuje se svega 1,092.000 ha. Danas je moguće u poljoprivredi iz biomase (organskih ostataka i otpadaka) dobivati 673.530 t/god biogoriva, a da se ne ugrozi stalnost prirodnog obnavljanja organske tvari u tlu [3]. Površine koje su ograničene ili nepogodne za poljoprivrednu proizvodnju, zapravo su pogodne (i to se potiče) za kultivaciju preko uzgoja energetskih nasada. Površine koje su pogodne, ali iz raznih razloga dugo vremena stoje neiskorištene, također se u ovom radu razmatraju kao površine koje se mogu koristiti za uzgoj energetskih nasada. U *Nacionalnom akcijskom planu za OIE do 2020.godine* iz 2013. godine [2], iskazano je da je preostala površina poljoprivrednog zemljišta u iznosu 53.866,87 ha, prema provedenim javnim natjecajima. Ova brojka bi mogla biti i viša kad se uzme u obzir svo zemljište pogodno za upravo ovakvo korištenje, naročito zbog toga što je riječ o uzgoju energetskih nasada za koje je pogodno i ono zemljište koje je prethodno opisano kao za poljoprivrednu proizvodnju trajno nepogodno.

##### 3.1.1. *Trenutno stanje podataka o zemljištu*

Do prije nekoliko godina (2005.), statistika o marginalnom zemljištu u Hrvatskoj je vođena i prikazivana u okviru statističkih ljetopisa koje izdaje Državni zavod za statiku. Takvo zemljište (ugari) je bilo iskazano po županijama, te se moglo jednostavnije doći do zemljišta koje nije obrađeno, a nalazi se u državnom vlasništvu. U tablici 4. se može vidjeti stanje ugara 2004. godine po županijama. Nakon 2005. godine, zbog usklađivanja sa statističkim metodama u EU, iskazuje se samo ukupno korištena poljoprivredna površina. Zato se u zadnjih 8 godina teže dolazi do točnih podataka o neiskorištenom poljoprivrednom zemljištu, marginalnom zemljištu i privatnom zemljištu. Obzirom da se kasnije ove podatke nije vodilo na ovakav način, u ovom radu se uzimaju u obzir površine državnog zemljišta iz najnovijih

podataka, a to su poljoprivredne površine u državnom vlasništvu koje u međuvremenu nisu kroz javne natječaje došle pod zakup ili prodaju, te površine privatnih ugara iz 2004. godine.

Tablica 4. Površine ugara u 2004. godini [26]

Županija	Javno [ha]	Privatno [ha]
Krapinsko-zagorska	166,00	1.783,00
Grad Zagreb	70,00	1.866,00
Varaždinska	442,00	1.469,00
Međimurska	1.306,00	2.910,00
Koprivničko-križevačka	3.841,00	987,00
Osječko-baranjska	20.155,00	5.316,00
Vukovarsko-srijemska	3.324,00	2.662,00
Virovitičko-podravsko	9.908,00	5.221,00
Zagrebačka	7.750,00	8.890,00
Bjelovarsko-bilogorska	10.881,00	15.476,00
Dubrovačko-neretvanska	1.976,00	3.448,00
Požeško-slavonska	10.609,00	12.875,00
Primorsko-goranska	47,00	25.541,00
Brodsko-posavska	13.262,00	7.326,00
Istarska	14.185,00	27.617,00
Karlovačka	15,00	82.259,00
Sisačko-moslavačka	10.899,00	57.412,00
Splitsko-dalmatinska	1.171,00	39.885,00
Šibensko-kninska	618,00	18.807,00
Zadarska	1.874,00	10.374,00
Ličko-senjska	6.123,00	27.476,00
Ukupni zbroj	118.622,00	359.600,00

Prema popisu poljoprivrede iz 2003. godine, također se može naći podatke koji su prikazani u tablici 5.:

Tablica 5. Podaci o neobrađenom zemljištu prema popisu poljoprivrede iz 2003. godine

Naziv županije	Ostalo zemljište, od toga neobrađeno poljoprivredno zemljište, ha
Zagrebačka županija	6.972,82
Krapinsko-zagorska županija	3.488,39
Sisačko-moslavačka županija	14.707,12
Karlovačka županija	13.845,16
Varaždinska županija	2.517,19
Koprivničko-križevačka županija	1.178,55
Bjelovarsko-bilogorska županija	2.868,33
Primorsko-goranska županija	2.512,85
Ličko-senjska županija	7.094,46



Virovitičko-podravska županija	1.255,85
Požeško-slavonska županija	2.352,72
Brodsko-posavska županija	2.818,33
Zadarska županija	4.109,01
Osječko-baranjska županija	2.376,64
Šibensko-kninska županija	4.498,34
Vukovarsko-srijemska županija	1.652,02
Splitsko-dalmatinska županija	6.714,37
Istarska županija	8.707,02
Dubrovačko-neretvanska županija	3.792,80
Međimurska županija	967,01
Grad Zagreb	1.502,99
UKUPNO	95.931,97

Nakon što je u 2009. godini osnovana *Agencija za poljoprivredno zemljište*, ponovno se analiziralo sve podatke, uzevši u obzir sve trenutno upisano, te podatke o najmovima, ugovorima i svim ostalim dostupnim sporazumima, te se došlo do stanja koje prikazuje tablica 6., a koje se koristi u daljnjem razmatranju kao najnoviji podatak.

Tablica 6. Podaci APZ-a o raspoloživom neobrađenom zemljištu iz 2014. godine

	NAZIV ŽUPANIJE	Neobrađeno (ha)
1	Krapinsko-zagorska	115,27
2	Grad Zagreb	589,78
3	Varaždinska	1.009,79
4	Međimurska	1.702,89
5	Koprivničko-križevačka	2.563,36
6	Osječko-baranjska	3.826,71
7	Vukovarsko-srijemska	4.445,69
8	Virovitičko-podravska	7.019,16
9	Zagrebačka	7.989,94
10	Bjelovarsko-bilogorska	9.974,94
11	Dubrovačko-neretvanska	11.179,28
12	Požeško-slavonska	15.391,35
13	Primorsko-goranska	15.811,90
14	Brodsko-posavska	19.689,77
15	Istarska	30.877,30
16	Karlovačka	32.767,84
17	Sisačko-moslavačka	33.733,16
18	Splitsko-dalmatinska	38.634,64
19	Šibensko-kninska	57.432,02
20	Zadarska	62.315,14

21	Ličko-senjska	104.932,03
	nerazvrstano zemljište	14,85
	UKUPNO	462.016,81

Kada se neobrađenom državnom zemljištu iz gornje tablice 6. pridruži prijašnje neobrađeno privatno zemljište, dobiva se kao rezultat neobrađeno zemljište po županijama u ukupnom zbroju, koji prikazuje tablica 7. S ovim podacima se u nastavku rada proračunavaju tehnički potencijal, energetski potencijal i scenariji.

Tablica 7. Ukupno neobrađeno poljoprivredno zemljište

NAZIV ŽUPANIJE	Neobrađeno (ha)
Krapinsko-zagorska	1.898,27
Grad Zagreb	2.455,78
Varaždinska	2.478,79
Međimurska	4.612,89
Koprivničko-križevačka	3.550,36
Osječko-baranjska	9.142,71
Vukovarsko-srijemska	7.107,69
Virovitičko-podravska	12.240,16
Zagrebačka	16.879,94
Bjelovarsko-bilogorska	25.450,94
Dubrovačko-neretvanska	14.627,28
Požeško-slavonska	28.266,35
Primorsko-goranska	41.352,90
Brodsko-posavska	27.015,77
Istarska	58.494,30
Karlovačka	115.026,84
Sisačko-moslavačka	91.145,16
Splitsko-dalmatinska	78.519,64
Šibensko-kninska	76.239,02
Zadarska	72.689,14
Ličko-senjska	132.408,03

### 3.2. Tehnički potencijal korištenja kultura kratkih ophodnji na neiskorištenom poljoprivrednom zemljištu

Uzima se u obzir površine iskazane u prethodnom poglavlju i osobine kultura kratkih ophodnji koje su u primjeni u Europi, u nastavku se razvija tri scenarija s različitim površinama zemljišta koje će biti posvećeno uzgoju SRC-a. Za kombinaciju koja će se uzgajati, odabrane su vrbe i topole zbog već napravljenih istraživanja u Hrvatskoj i zbog klimatskih uvjeta koji pogoduju tim vrstama.

U Hrvatskoj ove vrste postižu 12  $t_{DM}/ha/god$  prosječno, što je nešto niže od maksimalnog prinosa koji bi se mogao očekivati (15  $t_{DM}/ha/god$ ) zbog različite kvalitete zemljišta koja su uzimana u obzir u ovom proračunu. Istovremeno, svaki hektar raspoloživog zemljišta mora se uračunati uz uzimanje u obzir održivosti proizvodnje kroz radni vijek nasada (15-20 godina). Obzirom da će se s određene površine biomasa pridobivati sječom svakih 3 godine, a zbog kontinuiranog rada postrojenja potrebno je imati svake godine zahtijevanu količinu goriva, svaki hektar površine će biti podijeljen na tri dijela, pri čemu će u svakom dijelu biti biljke različite starosti.

Tehnički potencijal biomase iz KKO se može dobiti izrazom (1):

$$B_{teh(n)} = A(n) * P_y(n) * 1/3 \quad (1)$$

Gdje je  $A(n)$  površina neobrađenog zemljišta u županiji u [ha], a  $P_y(n)$  godišnji prinos KKO u [ $t_{DM}/ha/god$ ].

Treba imati u vidu ograničenja koja su obrazložena u uvodu, vezano uz županije u primorskom dijelu zemlje, gdje je klima drugačija i same vrste tla nisu pogodne za uzgoj energetskih nasada u većem opsegu. Zbog toga se scenariji računaju samo sa županijama gdje je to procijenjeno kao opravdan pristup, kako ekonomski i ekološki, tako i iz perspektive energetske politike s obzirom na lokalno dostupne izvore energije.

### 3.3. Energetski potencijal pridobivene biomase s neobrađenih zemljišta po županijama

Energetski potencijal slijedi iz ogrjevnosti vrijednosti pridobivene biomase. U uvodu su analizirane osobine različitih šumskih vrsta pogodnih za uzgoj energetskih nasada. U nastavku će se računati uz pretpostavku da se površina na raspolaganju koristi za uzgoj vrba i topola u omjerima koji bi bili pogodni za očuvanje bioraznolikosti i uvjeta zaštite od bolesti i nametnika na području koje se kultivira. Obzirom da je ogrjevna vrijednost vrba i topola podjednaka, ne će se ulaziti na ovom mjestu u analizu omjera površina pod jednom ili drugom vrstom, već će se usvojiti donju ogrjevnost vrijednost od 18,5 MJ/kg<sub>dm</sub> i za vrba i za topolu na suhoj osnovi, to jest za kg<sub>dm</sub> s 0% vlage. Dakako, obzirom da je vlaga same biomase pri sječi oko 50-55%, što je u uvodu i opisu vrsta KKO detaljnije opisano, a da se kroz daljnje postupanje ta biomasa mehanički obrađuje, najčešće u sječku, i skladišti, smatrat će se da je na pragu energetskog postrojenja riječ o sječki s udjelom vlage od oko 30% i ogrjevnosti vrijednosti od 12,22 MJ/kg, odnosno 3,4 kWh/kg [27].

Prema tome, energetski potencijal  $B_{ep(n)}$  je za određenu županiju  $n$ , izražen jednadžbom:

$$B_{ep(n)} = B_{teh(n)} * H_{d(B)} \quad (2)$$

Gdje je  $B_{teh(n)}$  tehnički potencijal u županiji, a  $H_{d(B)}$  donja ogrjevna vrijednost pridobivene biomase.

### 3.4. Scenarijski pristup – razrada scenarija kultivacije raspoložive površine

#### 3.4.1. Scenarij 1 – 75% iskorištenog zemljišta

U ovom scenariju maksimalno se iskorištava površina na raspolaganju, uz minimalnu površinu preostalu za održanje bioraznolikosti i raspolaganje za prehrambene kulture. Pri tom se računa da od dostupne površine samo jedna trećina je na raspolaganju svake godine za sječu. Na taj način se, prema izrazu (1), tablica 7. preračunava i tako dobiva novi iznosi raspoložive površine.

#### 3.4.2. Scenarij 2 – 50 % iskorištenog zemljišta

U ovom scenariju je dano više prostora za korištenje u svrhe uzgoja prehrambenih kultura i druge svrhe, ali je još uvijek većina površine posvećena uzgoju energetskih nasada. Kroz scenarije se može vidjeti koliko bi bilo poželjno raspoložive površine posvetiti kultivaciji kroz KKO. Zbog toga scenariji prikazuju tri veličine površina.

### 3.4.3. Scenarij 3 – 25 % iskorištenog zemljišta

U scenariju 3 podjednaka površina je posvećena uzgoju kultura kratkih ophodnji i ostalim (prehrambenim) kulturama kao i drugim svrhama. Ovaj scenarij će se pokazati kao najvažniji za razlikovanje između potencijala državnog i privatnog neobrađenog zemljišta, jer je njihova raspodjela po županijama nejednolika.

## 3.5. Odabir makrolokacija za izgradnju energetskih postrojenja pogonjenih na biomasu iz energetskih nasada

Prilikom izbora lokacije potrebno je udovoljiti različitim zahtjevima kao što su [28]:

- blizina izvora i mogućnost dopremanja dovoljnih količina biomase,
- osiguran pristup vozilima s postojećih prometnica,
- priključak na elektroenergetsku mrežu je jednostavan i jeftin
- postoji mogućnost priključka na vodopskrbni i kanalizacijski sustav,
- postoji mogućnost odlaganja krutog goriva,
- toplinskih potrošači nisu udaljeni – niži troškovi distribucije toplinske energije

Postojanje transportne infrastrukture značajno je zbog mogućnosti brzog i jeftinog dopremanja biomase, kako bi se smanjili troškovi i povećala ekonomska isplativost projekta.

Cijena biomase će uvelike ovisiti o udaljenosti između postrojenja i izvora biomase.

Ovu cijenu se može dobiti iz izraza (3) [29]:

$$C_{B,E} = \sum_{i=1}^n \frac{[C_B + (T_p \times U_i)] \times K_{Bi}}{P_B} \quad (3)$$

Gdje je:

$C_{B,E}$ : Prosječna cijena sirovine na lokaciji postrojenja [€/t]

$C_B$ : Cijena biomase pridobivene od energetske nasade [€/t<sub>DM</sub>]

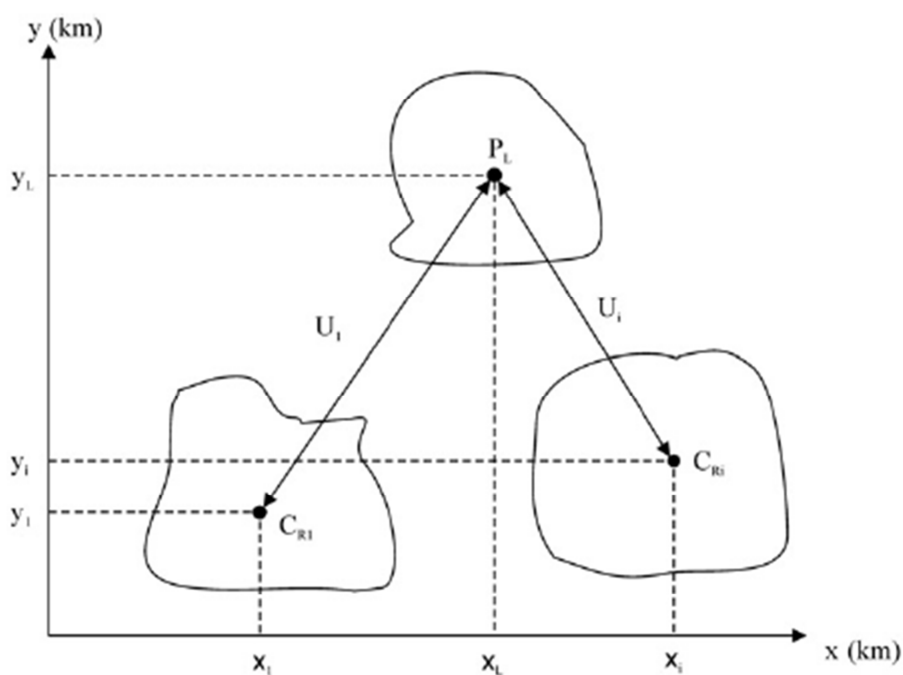
$T_P$ : Specifični trošak prijevoza sirovine [€/t/km]

$U_i$ : Prosječna udaljenost između lokacije biomase s područja  $i$  i postrojenja [km]

$K_{B,i}$ : Ukupna količina biomase dovezene s područja  $i$  [tona]

$P_B$ : Ukupna godišnja potrošnja sirovine u postrojenju [tona]

Kako bi se dobila prosječna udaljenost između lokacije biomase s određenog područja i postrojenja koje eksploatira tu biomasu, u proračunu su uzeta u obzir težišta površina pod energetskim nasadima u pojedinim županijama, između kojih je tražena optimalna lokacija za određene makro-lokacije. Ilustraciju ovog principa prikazuje Slika 11. :



Slika 11. Princip udaljenosti težišta površina farmi KKO i energetskog postrojenja [29]

U cilju optimizacije lokacije energetskih postrojenja, uz zadane veličine kao što su broj i površina farmi KKO, geografska dužina i širina gradova ili područja gdje će postrojenje zadovoljavati potrebe za toplinskom energijom i troškovi održavanja i pogona, biomase i transporta te trošak investicije, razvijeni su kodovi koji daju rješenja kao lokaciju za postrojenje s minimalnom cijenom biomase, uz još uvijek pouzdanu opskrbu [30].

Ovakvi kodovi čine modele kojima se može odrediti optimalna lokacija postrojenja na zadanoj makro-lokaciji, uz poznavanje pravaca dobave biomase.

Pri tome model razvija mrežu kvadranta pri čemu svaki kvadrant predstavlja površinu od 1 km<sup>2</sup>. Model proračunava prosječnu cijenu biomase po toni ( $C_{B,E}$ ) u svakom kvadrantu te odabire najpovoljniju lokaciju na način da program nakon pozicioniranja u određeni kvadrant računa udaljenosti od izvora biomase, to jest težišta županije u ovom slučaju, te ih sortira prema udaljenostima. Biomasa koja je bliža po udaljenosti ima prednost u odnosu na udaljenije šumarije, sve dok se ne dosegne zadnji izvor biomase iz koje je potrebno uzimati biomasu. Za najpovoljniju lokaciju se zatim ispisuje točan redoslijed izvora iz kojih se uzima biomasa, količine biomase iz pojedinih izvora i drugi podaci. Zbog jednostavnog zadavanja ulaznih podataka, dio koda koji odabire otpadnu biomasu iz drvne industrije može se jednostavno prilagoditi ukoliko postoji neki drugi potencijalni izvor biomase, npr. poljoprivredne površine zasađene s KKO. Sve lokacije izvora zadaju se u obliku geografskih koordinata; geografske širine i geografske dužine. Udaljenosti između određenih koordinata model računa pomoću 'haversine' formule koja uzima Zemlju kao kuglu, zanemarujući efekte elipse. Navedena formula se pokazala izuzetno točnom, pogotovo za relativno male udaljenosti koje se pojavljuju u ovom modelu, pa se može aproksimativno prikazivati udaljenosti u skladu sa slikom 11, kao ravne linije ( $U_i$ ) [30].

### 3.6. Tehno-ekonomska analiza projekata energetske postrojenja na biomasu

U ovom radu se razmatraju kogeneracijska postrojenja veličine do 15 MW<sub>e</sub> instalirane snage. Trenutno je dobro istražena i tržišno zrela tehnologija kogeneracije za takvu veličinu postrojenja ona koja se zasniva na parno-turbinskom Rankineovom ciklusu.

Tehnologije izgaranja koje se primjenjuju u izravnom izgaranju biomase, dijele se na izgaranje na rešetki (stacionarnoj ili pomičnoj) i izgaranje u fluidiziranom sloju. Na izbor tehnologije izgaranja utječu: veličina postrojenja, značajke biomase, dopuštena razina emisije štetnih tvari, količina te opseg održavanja koje je investitor spreman prihvatiti. Izbor tehnologije izgaranja nema prevelik utjecaj na specifični potrošak topline u postrojenju. Na specifični potrošak topline više utječe konfiguracija parno-turbinskog procesa. Suvremena postrojenja s izgaranjem na rešetki najčešće su povoljnija od postrojenja s izgaranjem u fluidiziranom sloju. Fluidizacija sloja povećava efikasnost izgaranja ali i zahtijeva dodatnu energiju za pogon ventilatora zraka što povećava vlastitu potrošnju električne energije

kogeneracijskog postrojenja [28]. Zato se novije i sofisticiranije tehnologije obično koriste kod većih postrojenja ( $>50 \text{ MW}_e$ ).

Danas se za povećanje efikasnosti i kod manjih postrojenja od  $15 \text{ MW}_e$  koriste metode poput podizanja parametara svježe pare i uvođenja međupregrijanja pare, regenerativnog zagrijavanja napojne vode i sušenja goriva otpadnom toplinom dimnih plinova.

Za veća postrojenja, biomasa se često razmatra

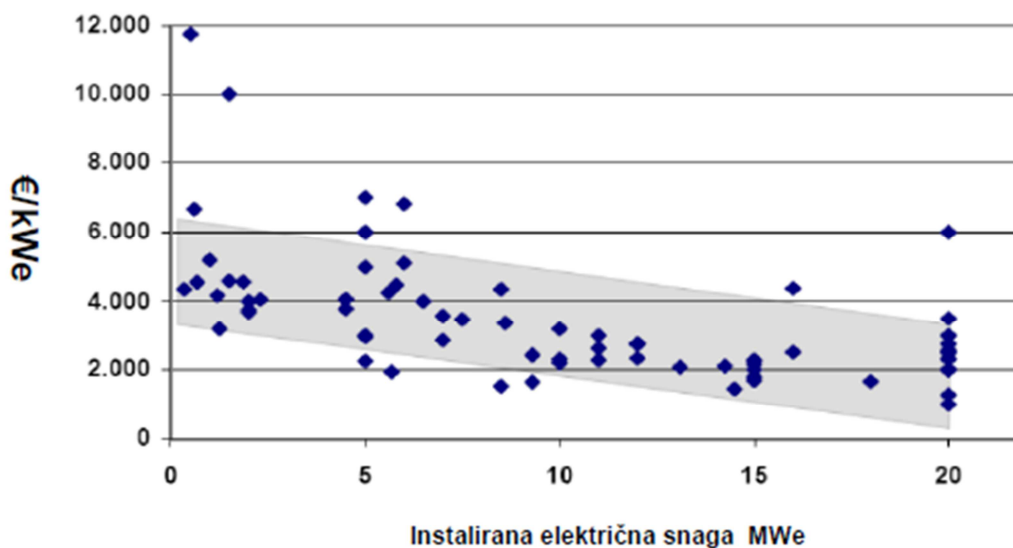
U zadnjih 20 godina na području kogeneracija na biomasu većih od  $2 \text{ MW}_e$  instalirane snage, koriste se uglavnom tehnologije kako slijedi [31]:

- parnog kotla s parnom turbinom uz izgaranje na rešetci
- parnog kotla s parnom turbinom uz izgaranje u fluidiziranom sloju
- rasplinjavanje biomase u fluidiziranom sloju uz tehnologiju plinske turbine

Troškovi investicije u kogeneracijsko postrojenje na biomasu obuhvaćaju sam kotao s odgovarajućom tehnologijom, turbinu i pomoćnu opremu, priključak na mrežu, školovanje osoblja sustav za pročišćavanje dimnih plinova, silos za gorivo i transportne sustave [32].

Na Sliku 12. se može vidjeti da u području instalirane snage od interesa za ovaj rad, to jest manje od  $15 \text{ MW}_e$ , postoji raspon od  $1800 \text{ €/kW}_e$  do oko  $6000 \text{ €/kW}_e$ , što ovisi o odabranoj tehnologiji izgaranja i konfiguraciji sustava.





Slika 12. Specifični investicijski troškovi kogeneracijskih postrojenja područnog grijanja [28]

U nastavku će za svaku makro-lokaciju biti odabrana veličina postrojenja u skladu s tehnički i ekonomski raspoloživom biomasom i potrebama za toplinskom energijom.

Pogonski troškovi postrojenja u području instaliranih snaga od interesa za ovaj rad kreću se između 2 i 3% od ukupne investicije [28].

Za iskazivanje ekonomske opravdanosti projekta, na raspolaganju su različite metode, koje se mogu podijeliti na [32]:

metode perioda povrata

- metoda jednostavnog perioda povrata

metode diskontiranja tokova novca nakon oporezivanja

- metoda neto sadašnje vrijednosti
- metoda unutrašnje stope povrata

Upravo će metoda unutrašnje stope povrata biti korištena u ovom radu za analizu isplativosti proizvodnog lanca polja energetske nasade – kogeneracijsko energetske postrojenje na biomasu.

Metoda unutrašnje stope povrata (engl. internal rate of return – IRR) je metoda koja uzima u obzir vremensku vrijednost novca i veličinu toka novca. Unutrašnja stopa povrata je ona

diskontna stopa koja izjednačava sadašnju vrijednost očekivanih troškova sa sadašnjom vrijednošću očekivanih prihoda. Ukoliko je ona veća od važeće diskontne stope, investicija je isplativa, ukoliko je ona manja, investicija nije isplativa u parametrima koji su zadani.

Profit postrojenja, od kojeg se otplaćuje uložena sredstva, dobiva se iz razlike prihoda i rashoda.

Prihodi ovakvih postrojenja sastoje se od [28] i [32]:

- prihoda od prodaje električne energije (uz ostvarivanje prava na poticaje i potpore za kogeneraciju i primjenu obnovljivih izvora energije
- prihoda od prodaje toplinske energije

Rashodi se sastoje od:

- troškova ulaganja u strojarску i elektrotehničku opremu
- troškova ulaganja u projektiranje, dozvole i slično
- troškova za izvođenje radova (građevinski radovi i materijal)
- troškova poreza i ostalo
- troškovi pogona i održavanja

Posebno se pažnju treba obratiti na troškove pogona i održavanja, obzirom da oni uključuju troškove goriva. Cijena goriva, to jest biomase pridobivene iz energetske nasade, sastoji se od cijene same biomase i od cijene prijevoza do praga elektrane. Pri tome je u poglavlju o metodologiji detaljnije razrađen utjecaj udaljenosti lokacija farmi energetske nasade od lokacije energetskog postrojenja.

Cijena biomase  $C_B$ , koja se odnosi na biomasu koja je posječena na lokaciji samih farmi energetske nasade, dobiva se izrazom (6):

$$C_B = T_S + T_Z + T_{O\&M} \quad (4)$$

Gdje je:

$T_S$  – trošak sadnica odabrane vrste [€/ha]

$T_Z$  – trošak zemljišta i njegove obrade [€/ha]

$T_{O\&M}$  – trošak održavanja farme energetske nasade i sječe biomase [€/ha]

Sama biomasa pridobivena iz energetskih nasada prevozi se i skladišti na isti način kao i druge vrste šumske biomase, pa će skladištenje i transport biti po istoj cijeni kao što bi to bilo za sječku šumske biomase ili šumski ostatak.

U Europi je na više lokacija već u eksploataciji površina zemljišta pod kulturama kratkih ophodnji, o čemu je bilo govora više u uvodu. U tablici koja slijedi, prikazani su troškovi osnivanja i održavanja plantaža KKO i cijena pridobivene biomase. Za sjeverne zemlje je to nešto viša cijena, poglavito zbog niže produktivnosti ( 8-10  $t_{DM}/ha/god$ ).

Tablica 8. Troškovi osnivanja i održavanja farmi kultura kratkih ophodnji u EU [33]

ZEMLJA	VRSTA NASADA	TROŠKOVI OSNIVANJA €/ha	TROŠKOVI ODRŽAVANJA €/ha/y	PRODAJNA CIJENA €/t <sub>DM</sub>
Švedska - Nynas Gard	Vrba	1222	330	65
Švedska - Puckgarden	Vrba	1110	265	52
Latvija	Vrba	1450	-	-
Latvija - SALIXENERGI	Vrba	1630	480	-
Francuska - Bretanja	Vrba	2545	355	-
Njemačka - Goettingen	Topola	2750	250	65
Italija - Rinnova	Topola	2320	875	55
Hrvatska - procjena	Vrba	3916	196	43,47

U Istočnoj Europi, određene studije pokazuju da je cijena osnivanja plantaža KKO između 1500 i 2500 €/ha [4], što dobro odgovara gore navedenim vrijednostima. Dosadašnjim istraživanjima je ukazano na trenutnu cijenu uspostave jednog hektara energetskih nasada u Hrvatskoj od oko 30 000 kn/ha, uz troškove održavanja od 18 000 kn kroz cijeli vijek plantaže vrbe (12 godina). Što daje ukupno 48 000 kn/ha (6267 €/ha). Pritom je prosječna produkcija biomase bila 12  $t_{DM}/ha/god$ , to jest 144  $t_{DM}/ha$  u vijeku takve plantaže. Cijena ove biomase, dakle, iznosi 43,47 €/t uz srednji tečaj kune prema euru od 7,66 kn = 1€ [5].

U strukturi ukupnih troškova posebno mjesto zauzima amortizacija kao stalni knjigovodstveni trošak. Ovaj trošak se može definirati kao sredstvo obračunavanja investicije kroz radni vijek postrojenja i on ne utječe na prihodovnu stranu postrojenja, već na iznos poreza koji je potrebno platiti.

Taj trošak smanjuje knjigovodstvenu dobit postrojenja u određenom obračunskom razdoblju, tako da, što je u tom razdoblju amortizacija veća, manji porez na dobit je potrebno platiti u tom periodu. Za otpis dugotrajne imovine i građevinskih radova koristi se linearna metoda s primjenom prosječne godišnje amortizacijske stope [34].

Prosječna godišnja amortizacijska stopa za pojedinu imovinu koja se amortizira prikazana je u tablici 9. :

Tablica 9. Amortizacijske stope [29], [32]

Imovina	Knjigovodstveni vijek trajanja (godina)	Prosječna godišnja amortizacijska stopa (%)
Građevine i pogon	20	5
Oprema i uređaji	15	6,67
Nematerijalna ulaganja	5	20

Glavni prihod kogeneracijskog postrojenja bit će cijena električne energije koju postrojenje predaje u mrežu. Od 31. listopada 2013. godine na snazi je novi Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije prema kojemu se iznos poticajne cijene (C) za postrojenja na biomasu snage veće od 5 MW računa sljedećim izrazom:

$$Ck = C \times k \quad (5)$$

pri čemu je  $k$  korekcijski faktor poticajne cijene. On iznosi 0,9 za postrojenja s ukupnom godišnjom učinkovitosti < 45 %, jednak je jedinici za postrojenja sa efikasnošću između 45 % i 50 % (uključivo), a za postrojenja sa ukupnom godišnjom učinkovitosti > 50 % iznosi 1,2. Poticajna cijena (C) elektrane na biomasu prema ovom tarifnom sustavu izražena je kao referentna cijena električne energije (RC), koja je jednaka iznosu važeće tarifne stavke za radnu energiju po jedinstvenoj dnevnoj tarifi za opskrbu električnom energijom u okviru univerzalne usluge, tarifni model *Plavi*. Trenutno je taj iznos 0,78 HRK/kWh<sub>e</sub>. Bitno je

napomenuti da se referentna cijena električne energije (RC) određuje za svako obračunsko razdoblje isplate poticaja pa je taj iznos promjenjiv. Očekivano je ipak da cijena električne energije neće padati pa samim time niti poticajna naknada, no realno je očekivati da bi taj iznos mogao rasti tijekom godina. U ovom radu će se pretpostaviti jednaka poticajna cijena tijekom zagarantiranih 14 godina koliko iznosi trajanje ugovora o garantiranim otkupnim cijenama. Kasnije će se to diskutirati u poglavlju o analizi osjetljivosti Također, postrojenje će se proračunati sa ukupnom iskoristivosti  $> 50 \%$  kako bi se ostvario korekcijski faktor 1,2. Time će garantirana poticajna cijena iznositi:

$$Ck = 0,78 \times 1,2 = 0,936 \text{ HRK/kWhe} \quad (6)$$

Odnosno, uz srednji tečaj kune prema euru od  $7,66 \text{ kn} = 1\text{€}$ , ta cijena je  $0,12219 \text{ (€/kWh}_e)$  [30], [35].

Da bi se postigla ova poticajna tarifa, potrebno je da postrojenje postiže proizvodnju prema izrazu (9):

$$0,5 \leq \frac{P_{el} + P_{th}}{P_{fuel}} \quad (7)$$

Gdje je  $P_{el}$  [kWh] dobivena električna energija,  $P_{th}$  [kWh] dobivena toplinska energija, a  $P_{fuel}$  [kWh] uložena energija goriva.

Postrojenje također mora prodavati toplinsku energiju potrošačima u blizini, zbog toga se pri odabiru lokaciji biralo gradove s potrošnjom toplinske energije koju bi postrojenja mogla djelomično podmirivati.

Cijene toplinske energije u Hrvatskoj za centralne toplinske sustave, određene su tarifama HEP-Toplinarstva d.o.o., za veće gradove u kojima se na ovaj način opskrbljuje kućanstva te industrijske i poslovne korisnike toplinskom energijom.

Cijene same toplinske energije (bez distribucije) za kućanstva i industriju u većim gradovima, gdje postoje CTS-i, prikazane su, prema cjeniku HEP-Toplinarstva d.o.o., u tablici 10.:

Tablica 10. Cijena toplinske energije u CTS-ima HEP-Toplinarstva d.o.o. u Hrvatskoj [36]

GRAD	Kućanstva [kn/kWh]	Industrija [kn/kWh]
OSIJEK	0,1492	0,2891
ZAGREB	0,1525	0,305
SISAK	0,1089	0,2058
SAMOBOR	0,2605	0,2952
V.GORICA	0,276	0,3128
PROSJEK	0,18942	0,28158

Za potrebe izračuna prihoda energetskih postrojenja od prodaje toplinske energije, bit će u nastavku uzeta prosječna cijena koja je navedena u tablici. Odnosno, uz srednji tečaj kune prema euru od 7,66 kn = 1€, ta cijena je 0,0247 (€/kWh<sub>t</sub>) u kućanstvima, je 0,0368 (€/kWh<sub>t</sub>) u industriji, dok je srednja cijena između ove dvije tarife 0,0307 (€/kWh<sub>t</sub>).

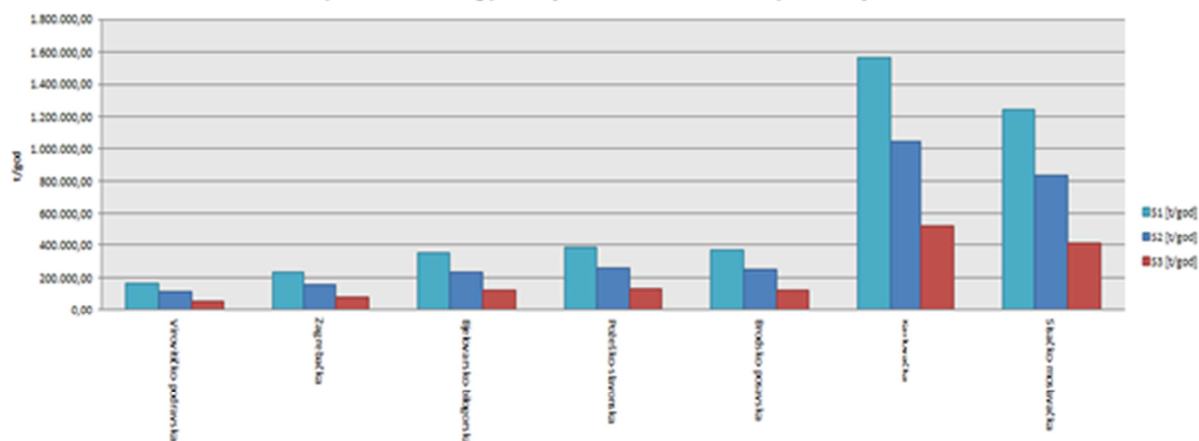
## 4. REZULTATI

### 4.1. Tehnički potencijal biomase pridobivene iz energetskih nasada

Kada se promatra biomasu koja će biti uskladištena na lokaciji postrojenja i potom predana na korištenje na pragu postrojenja, riječ je o biomasi u obliku sječke s M30% vlage. Do sad je bilo govora o biomasi izraženoj u masi suhe tvari, to jest  $[t_{DM}/ha/god]$ .

To se preračunava u suhu biomasu s 30% vlage na suhoj osnovi uzevši da je  $12 t_{DM}/ha/god$  jednako  $15,6 t/ha/god$  ovakve biomase nakon skladištenja, te postiže ogrjevnu vrijednost od  $12,22 MJ/kg$  [37], [38].

Tehnički potencijal za sve scenarije prikazuje slika 13.:

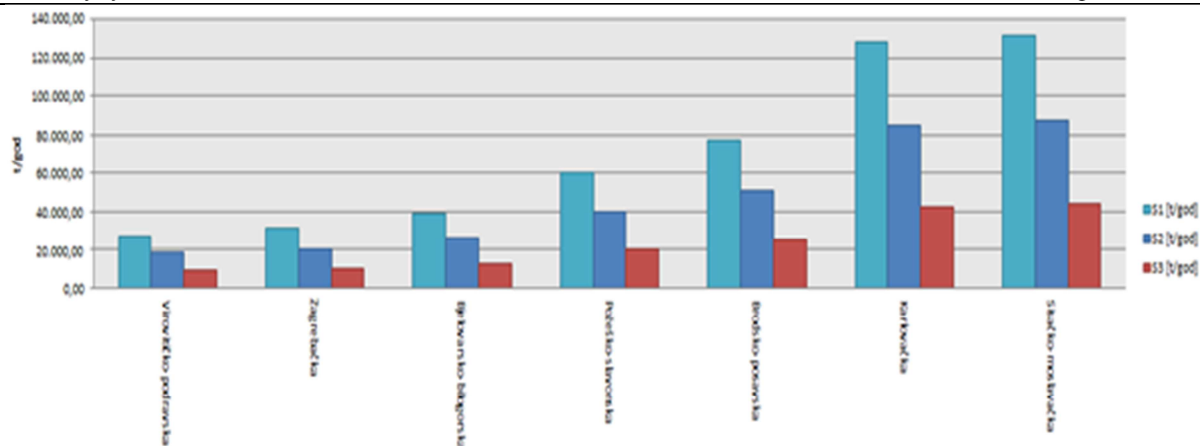


Slika 13. Usporedba tehničkog potencijala biomase iz KKO po županijama i po scenarijima

Odvojeno se može promatrati tehnički potencijal državnog i privatnog poljoprivrednog zemljišta, prema Tablica 4.

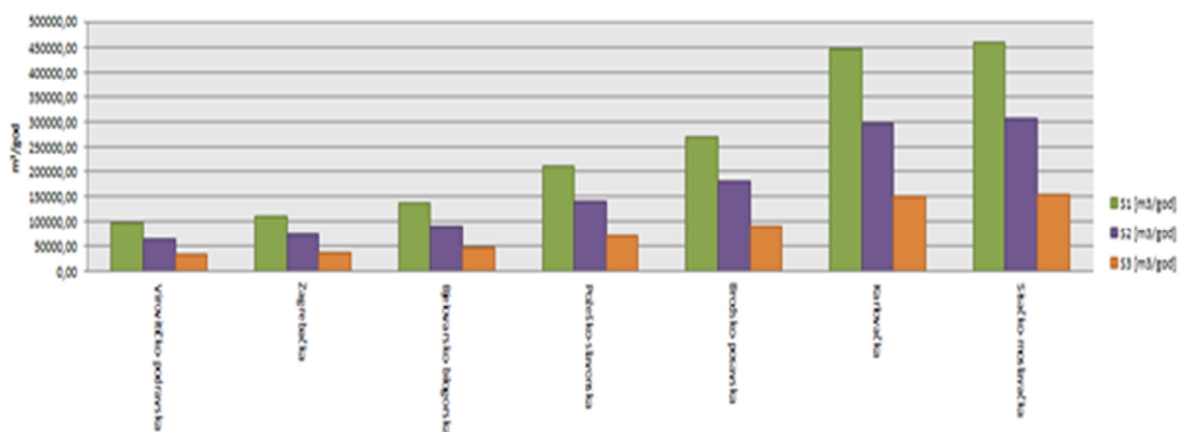
Postoji značajna razlika u površini zemljišta koje je na raspolaganju po županijama, zbog toga je na slikama uvijek prikazano manje županija nego se razmatra, kako bi prikaz bio pregledan. U tabličnim prikazima su obuhvaćene sve županije koje se razmatraju pa se može ta razlika i vidjeti.

Tehnički potencijal biomase M30% u  $[t/god]$  na državnom zemljištu prikazan je na slici 14.:



Slika 14. Tehnički potencijal biomase s državnog zemljišta

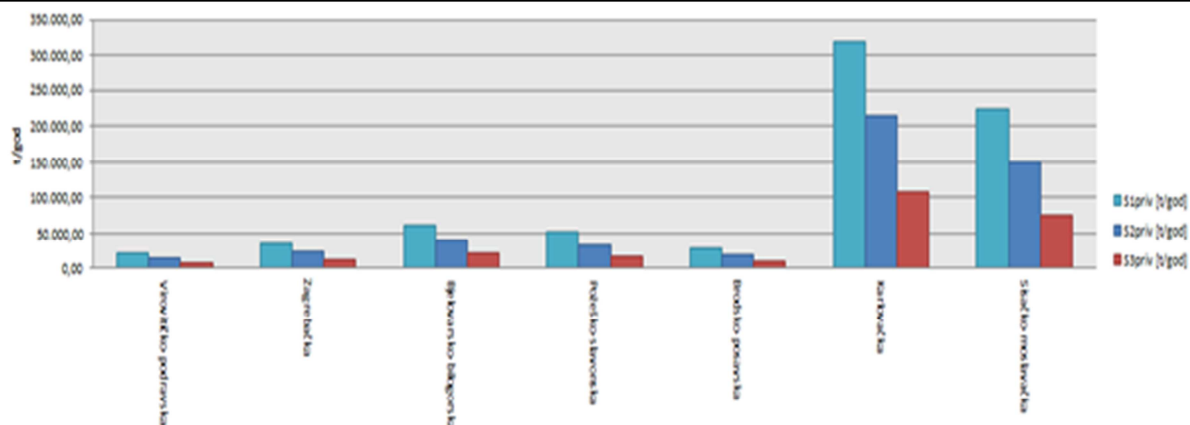
Na slici 15. je prikazan tehnički potencijal ovakve biomase preračunat u drvenu sječku M30% u [ $m^3$ /god].



Slika 15. Tehnički potencijal drvene sječke s državnog zemljišta

Kad razmatra privatno zemljište, stanje je malo drugačije po županijama, pa slika 16. prikazuje potencijal drvene biomase u [t/god] s neobrađenog privatnog zemljišta iz tablice 4. Zbog preglednosti su izostavljene iz prikaza županije s manjim potencijalom. Kasnije je u tabličnom prikazu dan pregled svih županija s potencijalom po scenarijima.





Slika 16. Tehnički potencijal biomase s privatnog zemljišta

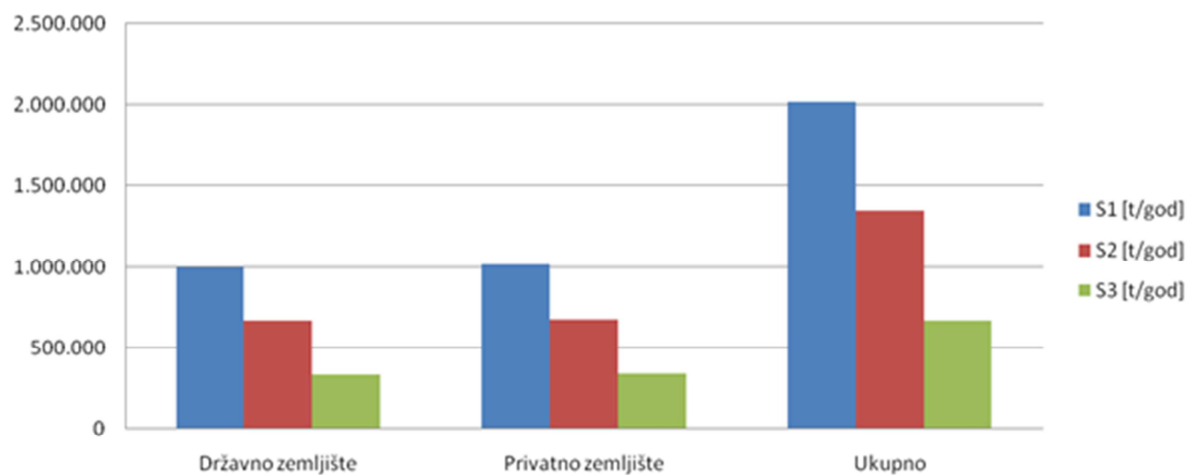
Može se uočiti da je u županijama kontinentalne Hrvatske preostalo relativno manje privatnog neiskorištenog zemljišta nego što je to slučaj kod državnog, ali u Karlovačkoj i Sisačko-moslavačkoj županiji i dalje je mnogo neiskorištenog zemljišta iz obje kategorije, što utječe na kasnije rezultate proračuna značajno.

U tablici 11. je prikazan tehnički potencijal svih županija, po kategorijama vlasništva i po scenarijima:

Tablica 11. Tehnički potencijal po županijama, kategorijama vlasništva i scenarijima

Županije:	Scenariji					
	S1priv [t/god]	S1drž [t/god]	S2priv [t/god]	S2drž [t/god]	S3priv [t/god]	S3drž [t/god]
Krapinsko-zagorska	6.953,70	449,55	4.635,80	299,70	2.317,90	149,85
Varaždinska	5.729,10	3.938,18	3.819,40	2.625,45	1.909,70	1.312,73
Međimurska	11.349,00	6.641,27	7.566,00	4.427,51	3.783,00	2.213,76
Koprivničko-križevačka	3.849,30	9.997,10	2.566,20	6.664,74	1.283,10	3.332,37
Osječko-baranjska	20.732,40	14.924,17	13.821,60	9.949,45	6.910,80	4.974,72
Vukovarsko-srijemska	10.381,80	17.338,19	6.921,20	11.558,79	3.460,60	5.779,40
Virovitičko-podravska	20.361,90	27.374,72	13.574,60	18.249,82	6.787,30	9.124,91
Zagrebačka	34.671,00	31.160,77	23.114,00	20.773,84	11.557,00	10.386,92
Bjelovarsko-bilogorska	60.356,40	38.902,27	40.237,60	25.934,84	20.118,80	12.967,42
Požeško-slavonska	50.212,50	60.026,27	33.475,00	40.017,51	16.737,50	20.008,76
Brodsko-posavska	28.571,40	76.790,10	19.047,60	51.193,40	9.523,80	25.596,70
Karlovačka	320.810,10	127.794,58	213.873,40	85.196,38	106.936,70	42.598,19
Sisačko-moslavačka	223.906,80	131.559,32	149.271,20	87.706,22	74.635,60	43.853,11

Ukupan tehnički potencijal po kategorijama zemljišta prema vlasništvu prikazuje slika 17.:

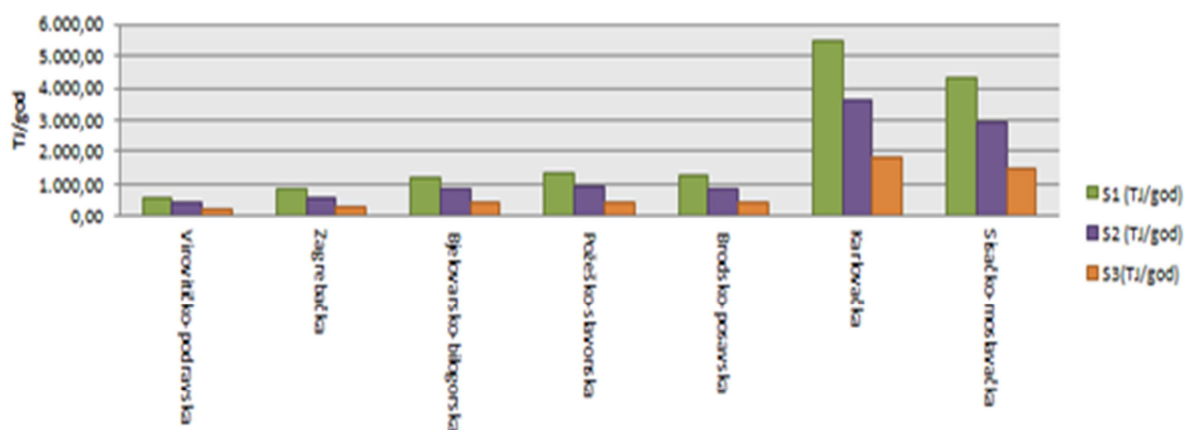


Slika 17. Ukupan tehnički potencijal prema kategorijama vlasništva nad zemljištem

#### 4.2. Energetski potencijal biomase pridobivene iz energetskih nasada

Preračunavanje iz tehničkog u energetski potencijal se provodi korištenjem izraza (2).

Uspoređujući tako dobiveni energetski potencijal za sve županije, prema obrazloženim scenarijima, dobiva se dijagram na slici 18.



Slika 18. Usporedba energetskog potencijala po županijama i po scenarijima

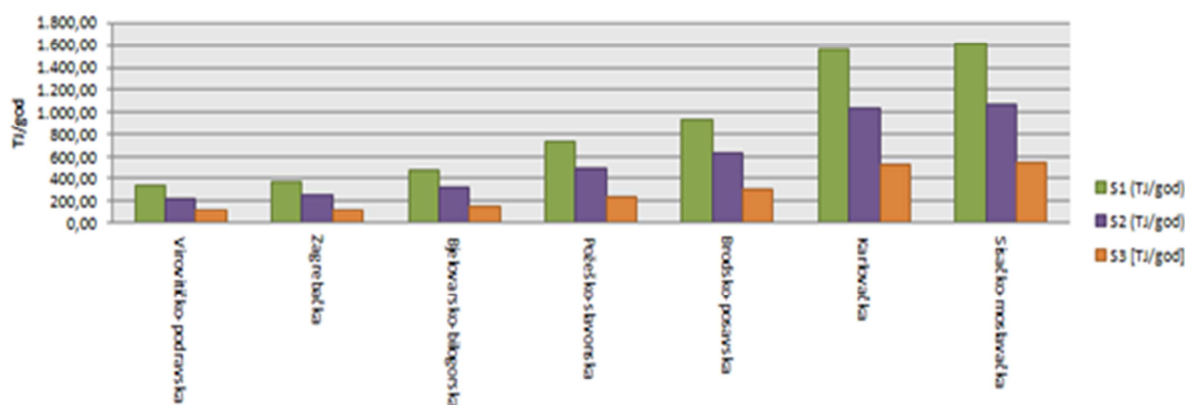
U nastavku je dan i tablični prikaz energetskog potencijala kultura kratkih ophodnji u [t/god] po županijama, od kojih neke nisu uključene na slici 18., zbog preglednosti:

Tablica 12. Ukupni energetski potencijal po županijama

Županija:	S1 (TJ/god)	S2 (TJ/god)	S3(TJ/god)
Krapinsko-zagorska	90,47	60,31	30,16
Varaždinska	118,13	78,76	39,38
Međimurska	219,84	146,56	73,28
Koprivničko-križevačka	169,20	112,80	56,40
Osječko-baranjska	435,72	290,48	145,24
Vukovarsko-srijemska	338,74	225,83	112,91
Virovitičko-podravska	583,34	388,89	194,45
Zagrebačka	804,46	536,31	268,15
Bjelovarsko-bilogorska	1.212,94	808,63	404,31
Požeško-slavonska	1.347,12	898,08	449,04
Brodsko-posavska	1.287,52	858,35	429,17
Karlovačka	5.481,95	3.654,63	1.827,32
Sisačko-moslavačka	4.343,80	2.895,86	1.447,93
UKUPNO	24.703,63	16.469,08	8.234,54

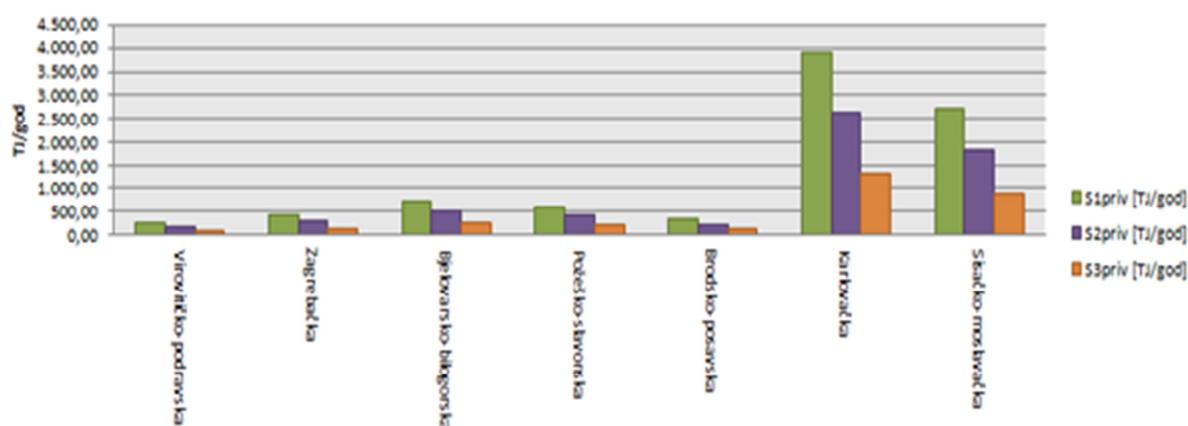
Kad se razmatra energetska potencijal prema kategorijama vlasništva, što je zanimljivo iz perspektive budućeg energetskog planiranja i donošenja mjera i strategija održivog energetskog razvoja te povezivanja između sektora energetike i ruralnog razvoja, razlike su vidljive u prikazima koji slijede.

Na slici 19. prikazan je energetska potencijal biomase iz KKO na državnom zemljištu. Prikazane su županije s većim potencijalom, a kasnije u tabličnom prikazu potencijal svih županija koje se razmatraju.



Slika 19. Energetska potencijal biomase iz KKO na državnom zemljištu

Na slici 20. je prikazan energetska potencijal biomase iz KKO na privatnom zemljištu, te zajedno ovi potencijali čine prikaz na slici 18. Može se uočiti ponovo istaknutu razliku između Karlovačke i Šišačko-moslavačke županije u odnosu na ostale županije. Prikazane su županije s većim potencijalom, a u nastavku, u tablici su prikazane sve županije koje se razmatraju te potencijal privatnog i državnog zemljišta.



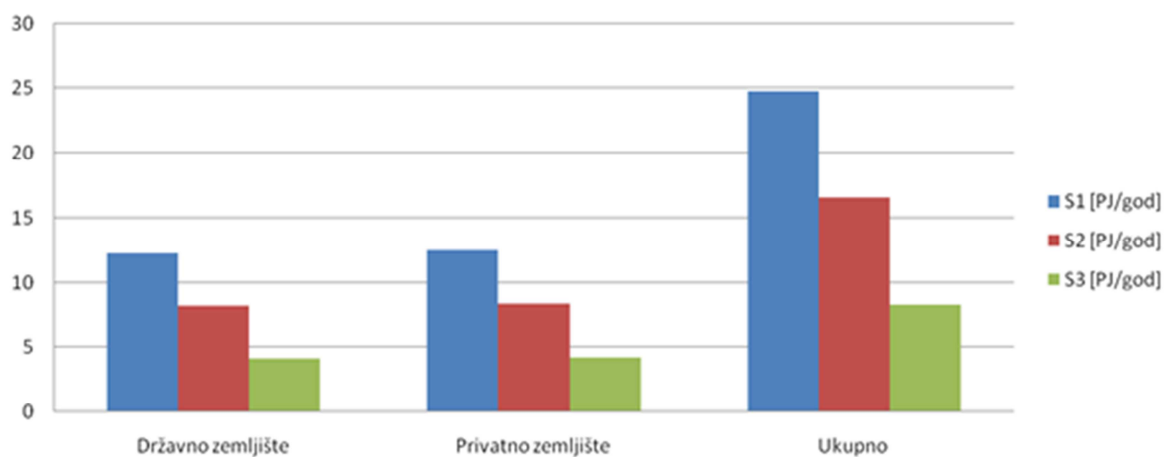
Slika 20. Energetski potencijal biomase iz KKO na privatnom zemljištu

U tablici 13. je prikazan potencijal na državnom i privatnom zemljištu, po županijama i po scenarijima. Tu je vidljiv potencijal županija koje nisu prikazane na prethodnim slikama zbog preglednosti, obzirom da je njihov potencijal značajno manji.

Tablica 13. Pregled energetskog potencijala po županijama uz podjelu prema kategoriji vlasništva

Županija:	Scenariji					
	S1priv [TJ/god]	S1drž [TJ/god]	S2priv [TJ/god]	S2drž [TJ/god]	S3priv [TJ/god]	S3drž [TJ/god]
Krapinsko-zagorska	84,97	5,49	56,65	3,66	28,32	1,83
Varaždinska	70,01	48,12	46,67	32,08	23,34	16,04
Međimurska	138,68	81,16	92,46	54,10	46,23	27,05
Koprivničko-križevačka	47,04	122,16	31,36	81,44	15,68	40,72
Osječko-baranjska	253,35	182,37	168,90	121,58	84,45	60,79
Vukovarsko-srijemska	126,87	211,87	84,58	141,25	42,29	70,62
Virovitičko-podravska	248,82	334,52	165,88	223,01	82,94	111,51
Zagrebačka	423,68	380,78	282,45	253,86	141,23	126,93
Bjelovarsko-bilogorska	737,56	475,39	491,70	316,92	245,85	158,46
Požeško-slavonska	613,60	733,52	409,06	489,01	204,53	244,51
Brodsko-posavska	349,14	938,38	232,76	625,58	116,38	312,79
Karlovačka	3.920,30	1.561,65	2.613,53	1.041,10	1.306,77	520,55
Sisačko-moslavačka	2.736,14	1.607,65	1.824,09	1.071,77	912,05	535,88

Ukupan energetski potencijal, prema kategorijama vlasništva nad zemljištem, prikazan je na slici 21.



Slika 21. Ukupan energetska potencijal biomase iz KKO prema vlasništvu nad zemljištem

### 4.3. Ekonomska analiza scenarija i analiza osjetljivosti s obzirom na značajne parametre

U ovom poglavlju će biti analiziran svaki od scenarija koji su prethodno razrađeni i ovisni o dostupnom zemljištu. U ovisnosti o potrebama za toplinom na odabranim makro-lokacijama i dostupnim količinama biomase, za svaku lokaciju se dobiva veličina postrojenja i za takvo postrojenje su iskazani troškovi i prihodi. Prikazuje se tok novca i dobiva iznos unutarnje stope povrata. Ukoliko je ona veća od zadane diskontne stope, projekt bi bilo profitabilan, ako je manja, projekt ne bi bio profitabilan u okviru zadanih uvjeta. Također se analizira kako promjene značajnih veličina, poput cijene biomase pridobivene iz KKO, cijene transporta do energetske postrojenja i cijene električne energije, kao osnovne stavke po kojoj energetska postrojenja ostvaruju prihod, utječu na unutarnju stopu povrata investicije u slučaju projekata energetske postrojenja na odabranim lokacijama.

U skladu s poglavljem 3., odabrane su makro-lokacije:

- Makro-lokacija 1 – Velika Gorica
- Makro-lokacija 2 – Sisak
- Makro-lokacija 3 – Koprivnica
- Makro-lokacija 4 – Slavonski Brod
- Makro-lokacija 5 – Osijek

Za njih se u nastavku provodi analiza isplativosti projekta, služeći se metodom unutarnje stope povrata te se provodi analiza osjetljivosti.

Cijene biomase na pragu postrojenja, dobivene su u skladu s izrazom (3), koristeći se modelom u MatLabu [30] i [34] u skladu s metodologijom.

Može se primijetiti da je cijena niža za lokacije koje su blizu Karlovačke i Sisačko-moslavačke županije, zbog toga što u tim županijama ima mnogo neobrađenog zemljišta, pa pridobivena biomasa zadovoljava potrebe i većih postrojenja od onih koja se razmatraju. Cijena se za udaljenije lokacije više razlikuje, ali se pokazalo da su površine na razini 25% raspoloživih već dovoljne za postrojenja ove veličine, stoga bi bilo potrebno u budućem radu napraviti detaljniji model za ovakve slučajeve.

Cijene biomase na odabranim makro lokacijama, po scenarijima, prikazuje tablica 14.

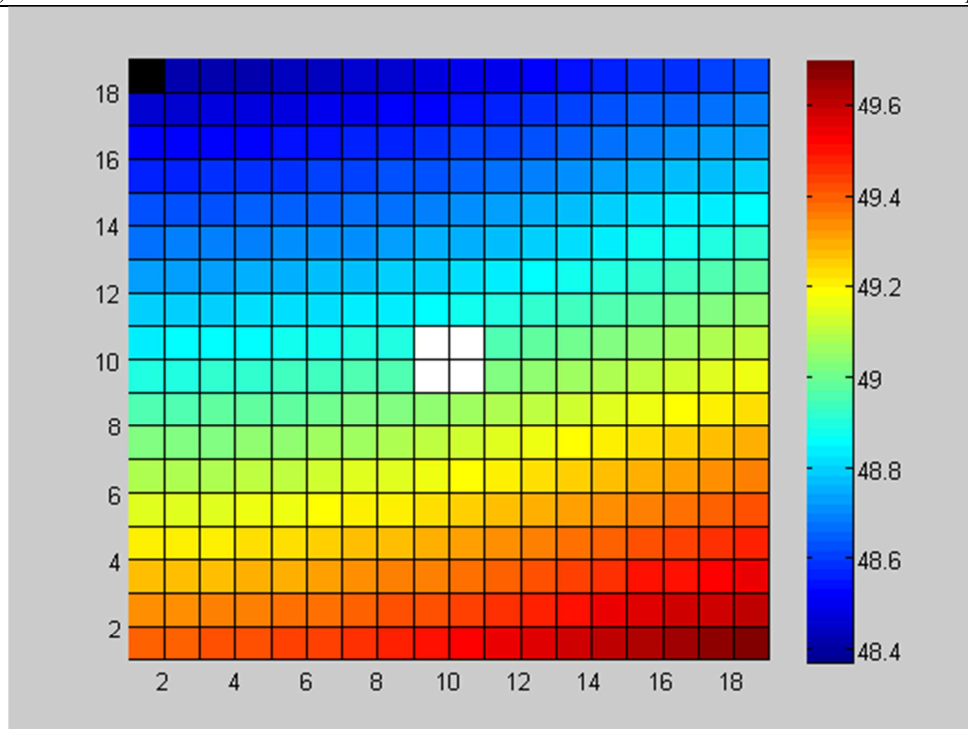
Tablica 14. Cijene biomase na pragu postrojenja na lokacijama, nakon optimizacije

Lokacija	15 MW <sub>e</sub> + 30 MW <sub>t</sub>				
	S1	S2	S3		
	Cijena biomase (€/t)				
			Državno	Privatno	Ukupno
Velika Gorica	43,52	43,56	46,42	46,36	45,83
Sisak	43,82	43,82	43,87	43,82	43,82
Koprivnica	45,88	46,70	49,01	48,37	47,12
Slavonski Brod	44,05	44,05	45,45	47,53	44,78
Osijek	45,00	45,98	49,44	49,78	47,78

Za scenarije 1 i 2, izračun daje bliske cijene u slučaju razmatranja privatnog i državnog zemljišta, zbog velike količine biomase na raspolaganju. Stoga su za ta dva scenarija cijene prikazane zajednički. U slučaju scenarija 3 postoje razlike u cijeni kad se razmatra državno i privatno zemljište u odnosu na scenarije 1 i 2. Scenarij 3 je kritičan scenarij koji se razmatra, uzimajući pritom uvijek onaj slučaj kad je cijena biomase najviša. Za ostale slučajeve profit projekta je viši.

Model daje grafički izlaz u obliku karte 19x19, koje se sastoji od polja veličine 1 km<sup>2</sup> na makro-lokaciji koja je u pitanju. Na slici 22. prikazana je jedna takva karta, za slučaj makro-lokacije Koprivnice, scenarija 3, za izračun privatnog zemljišta.





Slika 22. Lokacija postrojenja na makrolokaciji Koprivnica - privatno zemljište

U ovom slučaju, postojenje bi se nalazilo na lokaciji 2-19, s koordinatama 46,0818, 16,7142 uz cijenu biomase 48,37 (€/t). Centar grada je na slici označen bijelom bojom, a lokacija postrojenja crnom bojom. Ovakve karte se mogu dobiti za svaki izračun u ovom modelu, a za prve tri makro-lokacije se iz razloga što u okolici ima više biomase nego što je potrebno za ovu veličinu postrojenja, ne razlikuju. Troškovi za sva postrojenja podijeljeni su na fiksne i varijabilne troškove, te na troškove financiranja i računovodstvene troškove. Za postrojenja na svim lokacijama, vrijede zajednički parametri prikazani u tablici 15.:

Tablica 15. Investicijski troškovi u kogeneracijsko postrojenje

Investicije	Iznos
Specifični trošak investicije [€/kW <sub>e</sub> ]	2500
Instalirana snaga na generatoru [MW]	15
Ukupni stupanj djelovanja postrojenja	0,6
Udio kredita u financiranju investicije [%]	100
Vrijeme otplate kredita [god]	14
Kamatna stopa kredita [%]	7
Diskontna stopa [%]	12

Također, vrijedi i izračun troškova navedenih u tablici 16.:

Tablica 16. Apsolutna vrijednost troškova investicije

Troškovi izgradnje	Iznos
Ukupni trošak investicije	37.500.000,00 €
Građevinski radovi	3.750.000,00 €
Strojarska oprema i uređaji	33.375.000,00 €
Nematerijalni troškovi	375.000,00 €

Isti za sva postrojenja su i troškovi održavanja, prikazani u tablici 17.:

Tablica 17. Trošak pogona i održavanja

Varijabilni trošak	Od ukupne investicije [%]	Iznos
Trošak pogona i održavanja	3	1.125.000,00 €

Troškovi amortizacije komponenata su jednaki za sve lokacije i iznose:

Tablica 18. Amortizacija

Komponenta	Knjigovodstveni vijek trajanja	Amortizacijska stopa [%]	Godišnja amortiacija
Građevinski radovi	20	5	187.500,00 €
Strojarska oprema i uređaji	15	6,66667	2.225.000,00 €
Projekt, dozvole itd...	5	20	75.000,00 €

Financijski troškovi otplate kredita su navedeni u tablici 19.:

Tablica 19. Rata kredita

Iznos kredita	37.500.000,00 €
Kamata	7,00%
Rok otplate	14
Rata kredita	4.287.935,20 €

Postrojenja ostvaruju prihode od prodaje električne energije i toplinske energije. Cijene po kojima se oblici energije prodaju iznose, kao što je navedenu u prethodnom poglavlju,

0,12219 (€/kWh<sub>e</sub>), odnosno za toplinsku energiju 0,0307 (€/kWh<sub>t</sub>). Godišnji prihod od prodaje je prikazan u tablici 20.:

Tablica 20. Prihodi

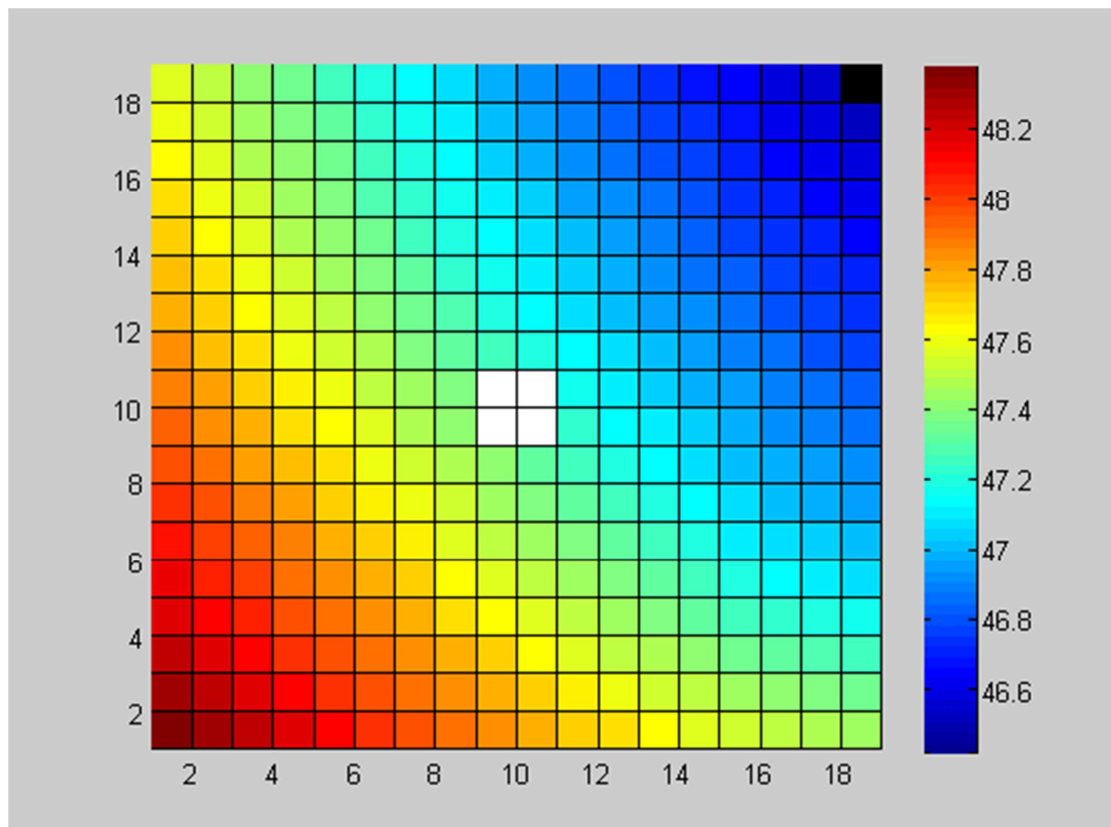
Prihod od prodaje električne energije	Prihod od prodaje toplinske energije
14.662.800,00 €	4.789.200,00 €

Kako je već navedeno, za ocjenu rentabilnosti investicije, koristit će se metoda unutrašnje stope povrata (IRR). Ukoliko je IRR stopa jednaka ili veća od zadane diskontne stope, prijedlog investicije je rentabilan, ako je IRR stopa manja, prijedlog nije rentabilan.

U nastavku se analizira, za svaku pojedinu makrolokaciju, optimalan položaj postrojenja, godišnji trošak goriva prema scenarijima i IRR za svaki od scenarija prema kategoriji vlasništva nad zemljištem. Nakon toga za svaku lokaciju se provodi analiza osjetljivosti, kako bi se utvrdilo kako promjene značajnih parametara utječu na IRR za svaki pojedini slučaj.

### 4.3.1. Makrolokacija 1 – Velika Gorica – ekonomska analiza

Slika 23. prikazuje lokaciju postrojenja i grada na ovoj makro-lokaciji. Riječ je o prikazu scenarija 3 s razmatranjem državnog zemljišta.



Slika 23. Velika Gorica - lokacija postrojenja

U ovom slučaju, postojenje bi se nalazilo na lokaciji 19-19, s koordinatama 45.6190, 16.1808 uz cijenu biomase 46,42 (€/t). Centar grada je na slici označen bijelom bojom, a lokacija postrojenja crnom bojom.

Trošak goriva iznosi ukupnu godišnju količinu goriva koju postrojenje potroši pomnoženu s cijenom koja je utvrđena modelom i prikazana Tablica 14. Godišnje izdatke za gorivo prikazuje tablica 21. Oni su konstantni kroz vrijeme trajanja ugovora, a njihova promjena i utjecaj te promjene na IRR se analizira u analizi osjetljivosti.

Tablica 21. Godišnji trošak goriva

Godišnji trošak goriva	
Državno	Privatno
7.205.476,24 €	7.196.162,82 €

Iznos unutarnje stope povrata uz gore navedene troškove i prihode iznosi, za državno i privatno zemljište, te u zbroju jednog i drugog zemljišta:

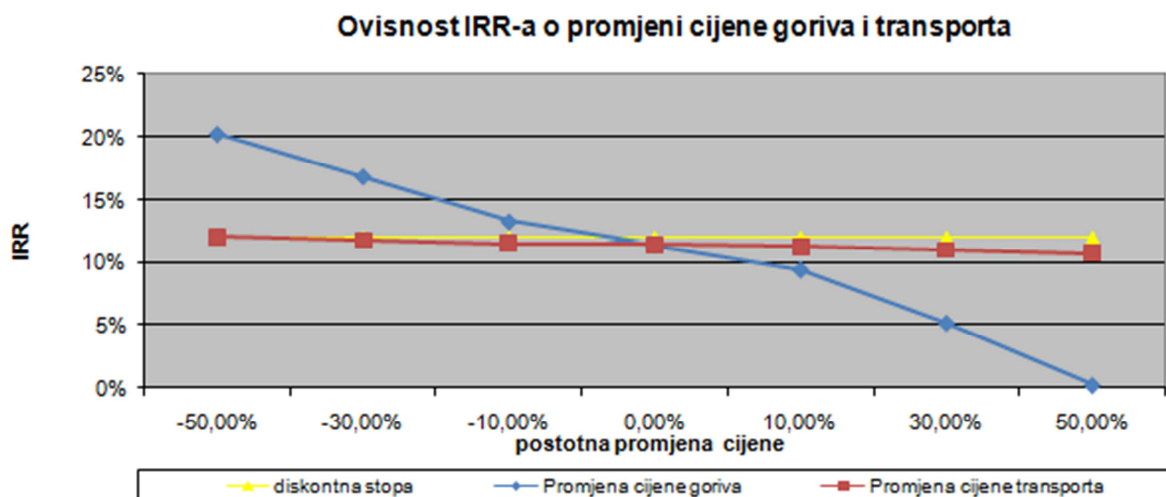
Tablica 22. IRR - Velika Gorica

Kategorija vlasništva	IRR
Državno	11,39%
Privatno	11,41%
Ukupno	11,65%

#### 4.3.2. Velika Gorica - Analiza osjetljivosti

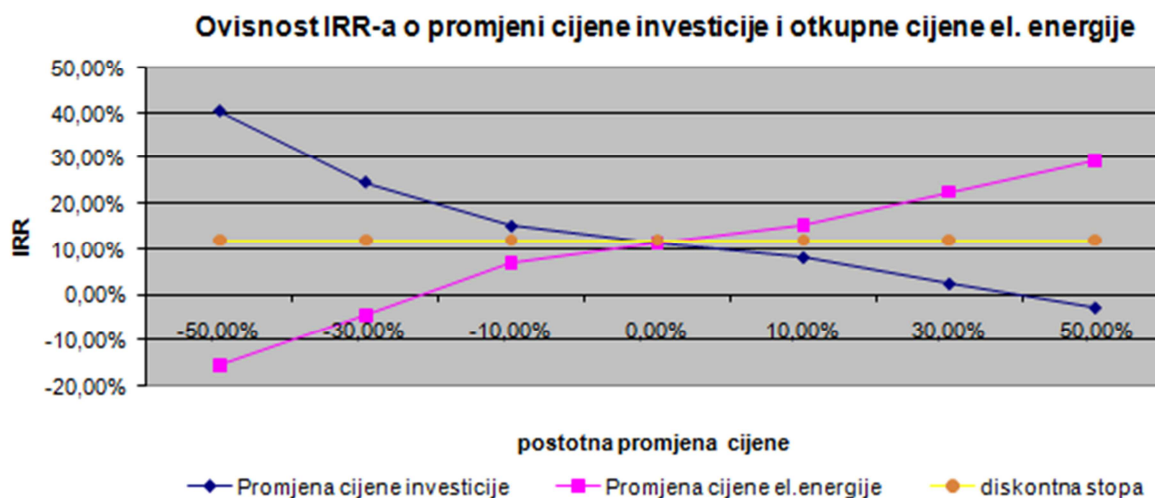
Važni faktori koji mogu utjecati na promjenu isplativosti projekta tijekom njegovog radnog vijeka su u ovom slučaju cijena biomase iz brzorastućih nasada, specifični investicijski trošak u energetska postrojenja, prodajna cijena električne energije i cijena transporta.

U slučaju lokacije u Velikoj Gorici, utjecaj promjene ovih faktora na IRR se vidi iz prikaza koji slijede, slika 24, i 25. Oni su razmatrani za slučaj državnog zemljišta.



Slika 24. Ovisnost IRR-a o cijeni goriva i transporta - Velika Gorica

Na slici 24. je prikazan utjecaj promjene cijene biomase iz KKO i transporta do lokacije postrojenja. Ova dva faktora su prikazana zajedno jer su vezana kao komponente cijene biomase na pragu postrojenja.

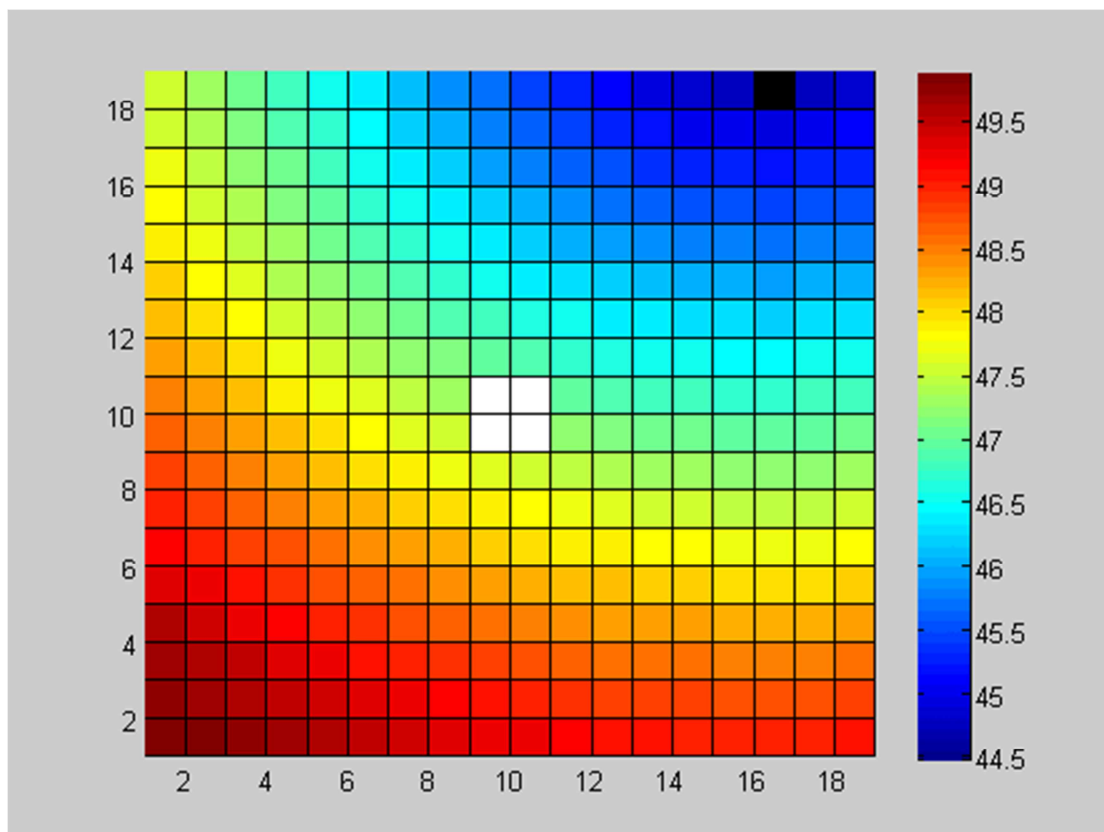


Slika 25. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene investicije i otkupne cijene električne energije

Na slici 25. prikazana je ovisnost IRR-a o promjenama cijena investicije u samo postrojenje, te promjene cijene po kojoj postrojenje prodaje električnu energiju u mrežu. Može se opaziti da ovi faktori imaju intenzivniji utjecaj na promjenu isplativosti postrojenja nego prije navedeni. Promjena od 10 % na niže cijene investicije, odnosno na više prodajne cijene električne energije bi ovaj projekt učinila isplativim. Za ovaj slučaj, kod cijena biomase i transporta utjecaj je također značajan, jer je projekt na samoj granici isplativosti, pa bi sniženje cijene biomase za 10 % također učinilo projekt isplativim. Cijena transporta je dovoljno mala stavka da ima vrlo slab utjecaj.

### 4.3.3. Makrolokacija 2 – Sisak – ekonomska analiza

Na slici 26. prikazana je lokacija postrojenja i grada na ovoj makro-lokaciji. Razmatran je scenarij 3 i državno zemljište.



Slika 26. Sisak - lokacija postrojenja

U ovom slučaju, postojenje bi se nalazilo na lokaciji 16-19, s koordinatama 45.4023, 16.4428 uz cijenu biomase 43,87 (€/t). Centar grada je na slici označen bijelom bojom, a lokacija postrojenja crnom bojom.

Trošak goriva iznosi ukupnu godišnju količinu goriva koju postrojenje potroši pomnoženu s cijenom koja je utvrđena modelom i prikazana Tablica 14. Godišnje izdatke za gorivo prikazuje tablica 23.

Tablica 23. Trošak goriva - Sisak

Godišnji trošak goriva	
Državno	Privatno
6.809.656,24 €	6.801.895,06 €

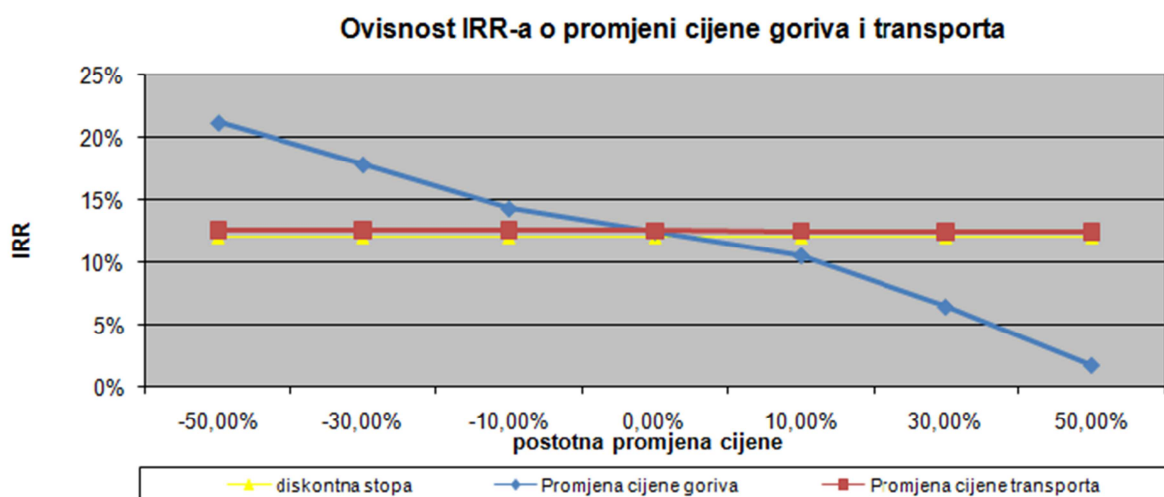
Iznos unutarnje stope povrata uz gore navedene troškove i prihode iznosi, za državno i privatno zemljište, te u zbroju jednog i drugog zemljišta:

Tablica 24. IRR - Sisak

Kategorija vlasništva	IRR
Državno	12,50%
Privatno	12,52%
Ukupno	12,52%

#### 4.3.4. Sisak - Analiza osjetljivosti

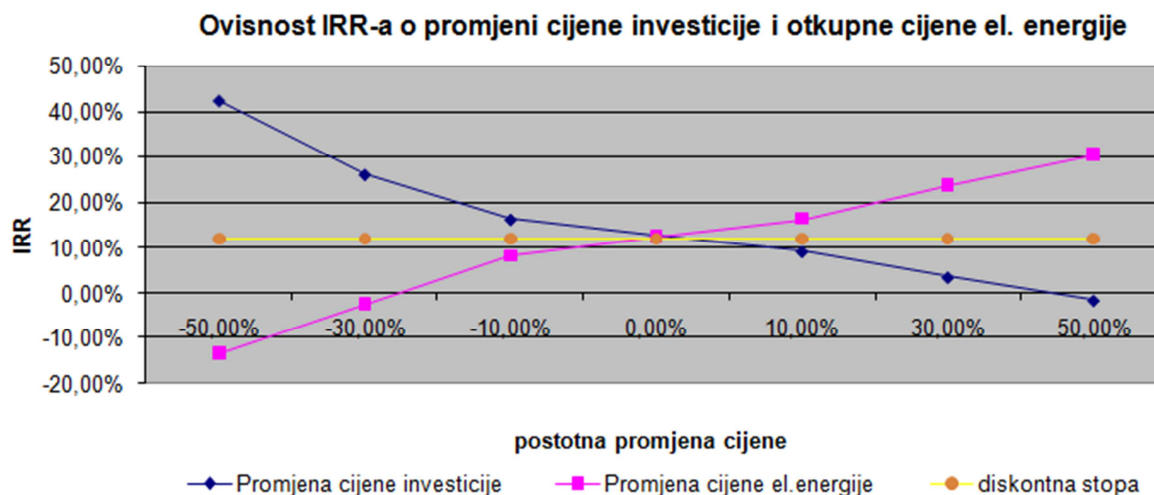
Važni faktori koji mogu utjecati na promjenu isplativosti projekta tijekom njegovog radnog vijeka su u ovom slučaju cijena biomase iz brzorastućih nasada, specifični investicijski trošak u energetska postrojenja, prodajna cijena električne energije i cijena transporta. U slučaju lokacije u Sisku, utjecaj promjene ovih faktora na IRR se vidi iz prikaza koji slijede. Analiza je provedena za pridobivanje goriva s državnog zemljišta.



Slika 27. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta - Sisak

Na slici 27. je prikazan utjecaj promjene cijene biomase iz KKO i transporta do lokacije postrojenja. Ova dva faktora su prikazana zajedno jer su vezana kao komponente cijene biomase na pragu postrojenja.



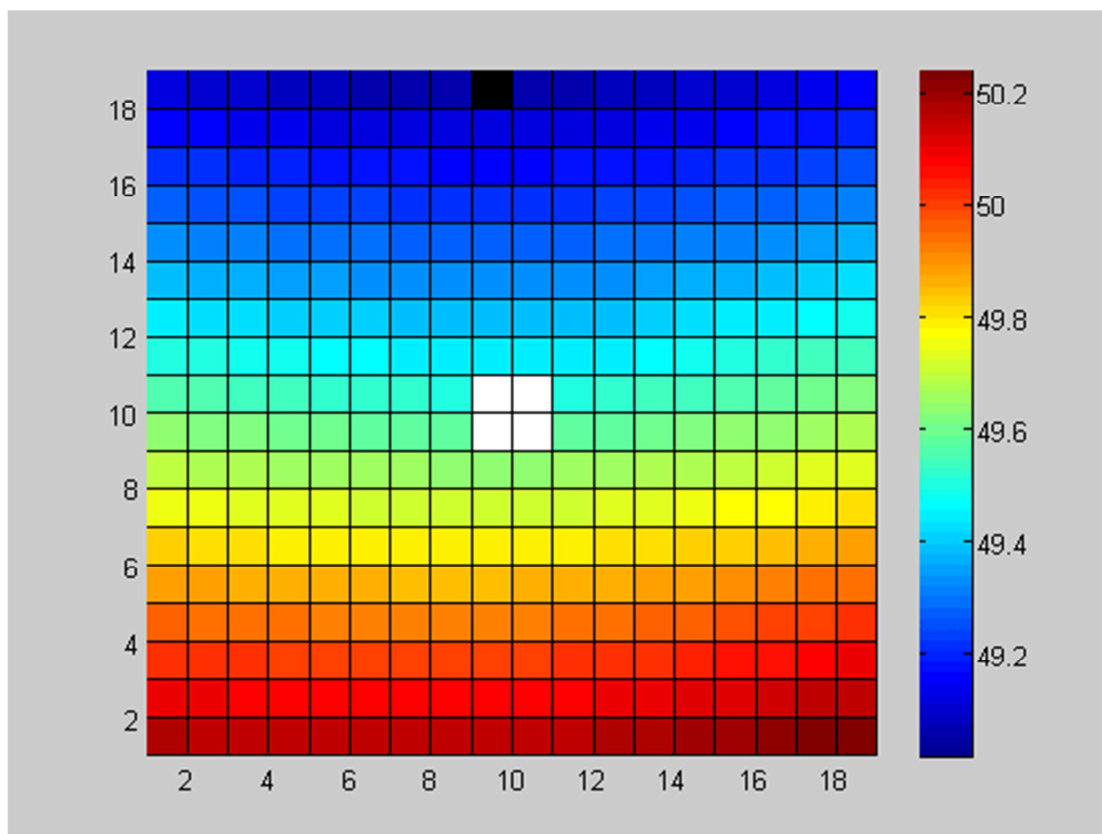


Slika 28. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene investicije i električne energije

Na slici 28. prikazana je ovisnost IRR-a o promjenama cijena investicije u samo postrojenje, te promjene cijene po kojoj postrojenje prodaje električnu energiju u mrežu. Može se opaziti da ovi faktori imaju intenzivniji utjecaj na promjenu isplativosti postrojenja nego prije navedeni. Promjena od 10% na više cijene investicije, odnosno na niže prodajne cijene električne energije učinile bi da projekt bude neisplativ, a veće promjene od ovih mijenjaju sliku puno drastičnije. Kod cijena biomase i transporta također se svakom promjenom cijene biomase na više isplativost projekta može dovesti u pitanje, dok cijena transporta uopće nema utjecaja zbog malog iznosa.

#### 4.3.5. Makrolokacija 3 – Koprivnica - Ekonomska analiza

Lokacija postrojenja na samoj makro-lokaciji, za scenarij 3 i razmatrano državno zemljište, vidljiva je na slici 29.



Slika 29. Lokacija postrojenja na makrolokaciji Koprivnica

Cijena biomase na pragu postrojenja na poziciji 9-19 , na lokaciji 46.0818, 16.8157 iznosi 49,01 (€/t).

Trošak goriva iznosi ukupnu godišnju količinu goriva koju postrojenje potroši pomnoženu s cijenom koja je utvrđena modelom i prikazana Tablica 14. Godišnje izdatke za gorivo prikazuje tablica 25.

Tablica 25. Trošak goriva - Koprivnica

Godišnji trošak goriva	
Državno	Privatno
7.607.505,18 €	7.508.162,12 €

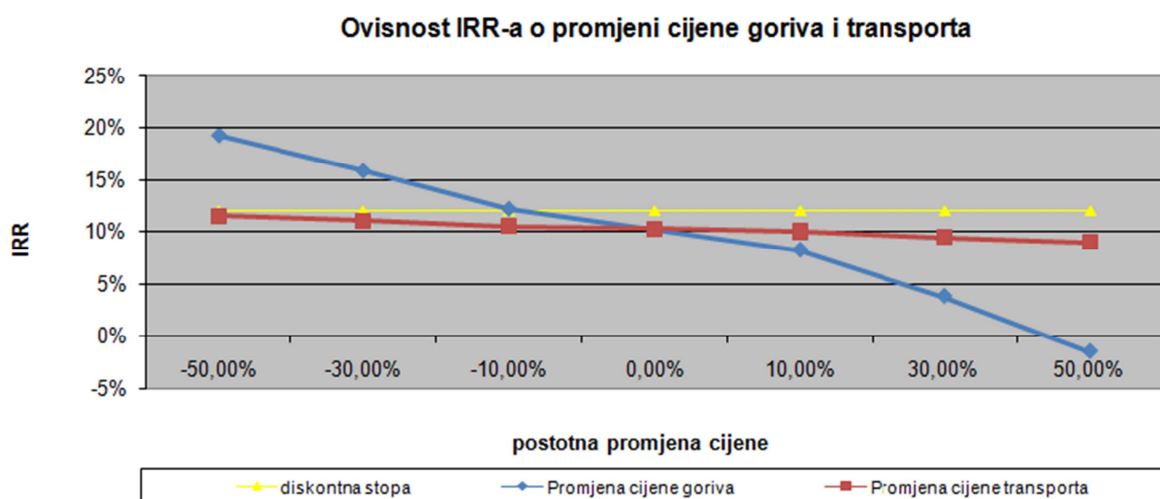
Iznos unutarnje stope povrata uz gore navedene troškove i prihode iznosi, za državno i privatno zemljište, te u zbroju jednog i drugog zemljišta:

Tablica 26. IRR – Koprivnica

Kategorija vlasništva	IRR
Državno	10,23%
Privatno	10,52%
Ukupno	11,08%

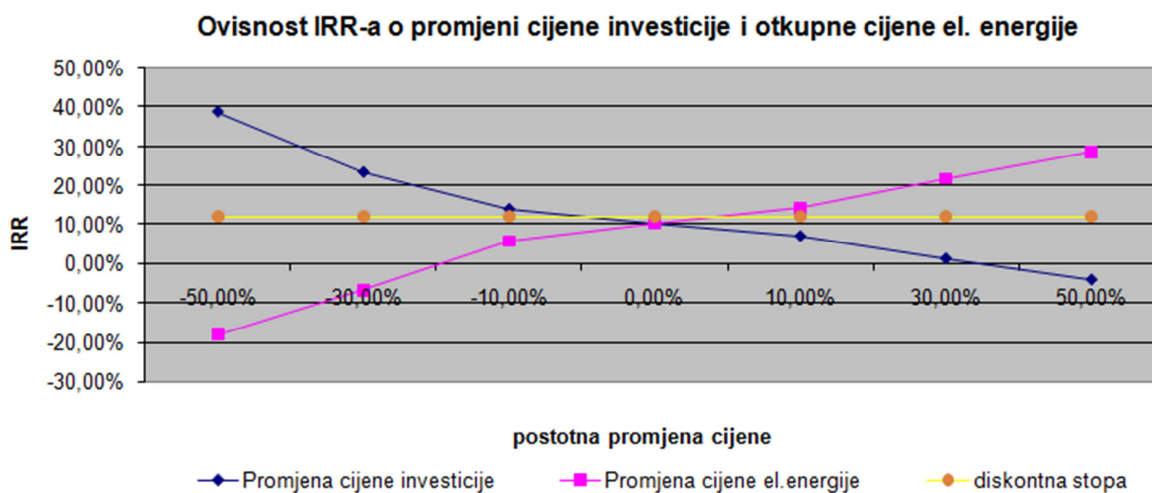
#### 4.3.6. Analiza osjetljivosti

Važni faktori koji mogu utjecati na promjenu isplativosti projekta tijekom njegovog radnog vijeka su u ovom slučaju cijena biomase iz brzorastućih nasada, specifični investicijski trošak u energetska postrojenja, prodajna cijena električne energije i cijena transporta. U slučaju lokacije u Koprivnici, utjecaj promjene ovih faktora na IRR se vidi iz prikaza koji slijede. Analiza je provedena za pridobivanje goriva s državnog zemljišta.



Slika 30. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta - Koprivnica

Na slici 30. je prikazan utjecaj promjene cijene biomase iz KKO i transporta do lokacije postrojenja. Ova dva faktora su prikazana zajedno jer su vezana kao komponente cijene biomase na pragu postrojenja.

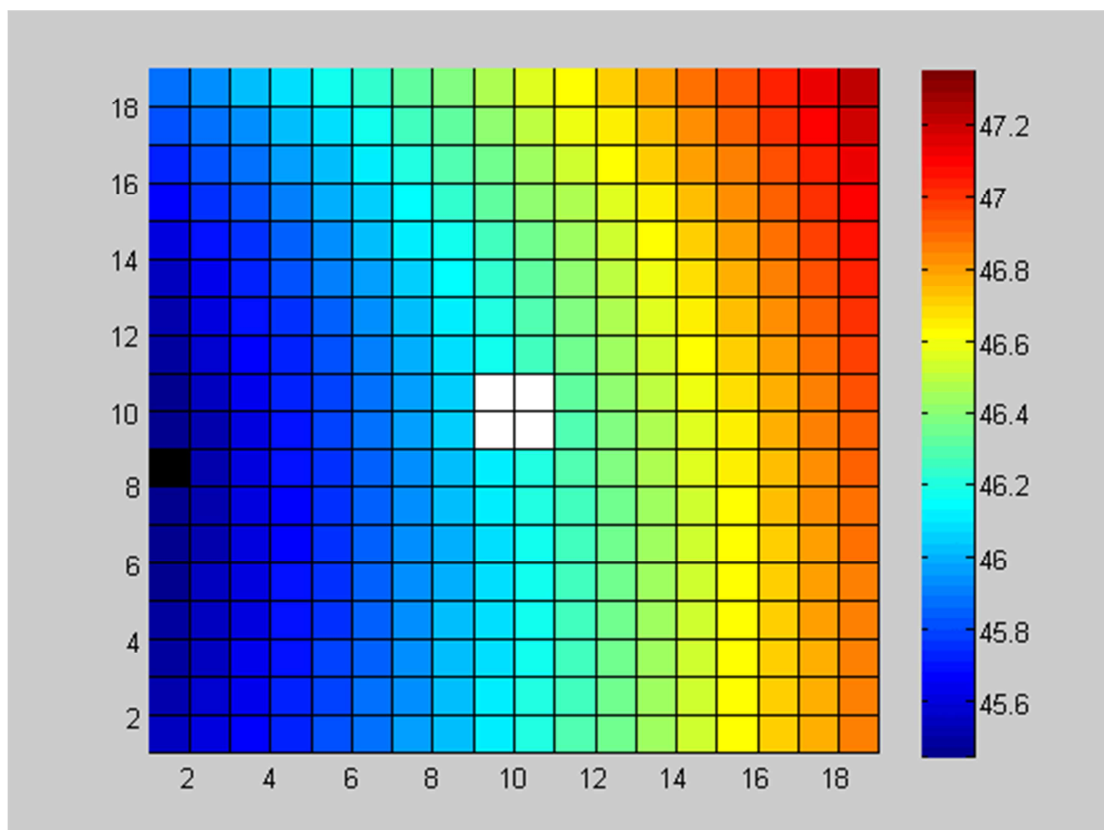


Slika 31. Promjena IRR-a u ovisnosti o cijeni investicije i cijeni električne energije

Na slici 31. prikazana je ovisnost IRR-a o promjenama cijena investicije u samo postrojenje, te promjene cijene po kojoj postrojenje prodaje električnu energiju u mrežu. Može se opaziti da ovi faktori imaju intenzivniji utjecaj na promjenu isplativosti postrojenja nego prije navedeni. Promjena od 10% na niže cijene investicije, odnosno na više prodajne cijene električne energije mogu dovesti projekt do isplativosti. To vrijedi i kod cijena biomase, a kod transporta utjecaj je znatno blaži i tek 50-postotno sniženje dovodi projekt blizu isplativosti.

#### 4.3.7. Makrolokacija 4 - Slavonski Brod - Ekonomska analiza

Na slici 31. prikazana je pozicija postrojenja na ovoj makro-lokaciji. Razmatran je scenarij 3, uz biomasu pridobivenu s državnog zemljišta.



Slika 32. Slavonski Brod - lokacija postrojenja

U ovom slučaju, postojenje bi se nalazilo na lokaciji 1-8, s koordinatama 45.1847, 17.9025 uz cijenu biomase 45,45 (€/t). U slučaju pridobivanja mase s privatnog zemljišta, lokacija postrojenja je na položaju 45.2477, 17.9025, ali uz cijenu biomase na pragu postrojenja u iznosu od 47,53 (€/t). Crnom bojom je označena lokacija postrojenja, a bijelom bojom je označeno središte grada.

Trošak goriva iznosi ukupnu godišnju količinu goriva koju postrojenje potroši pomnoženu s cijenom koja je utvrđena modelom i prikazana Tablica 14. Godišnje izdatke za gorivo prikazuje tablica 27.

Tablica 27. Trošak goriva - Slavonski Brod

Godišnji trošak goriva	
Državno	Privatno
7.054.909,41 €	7.377.774,35 €

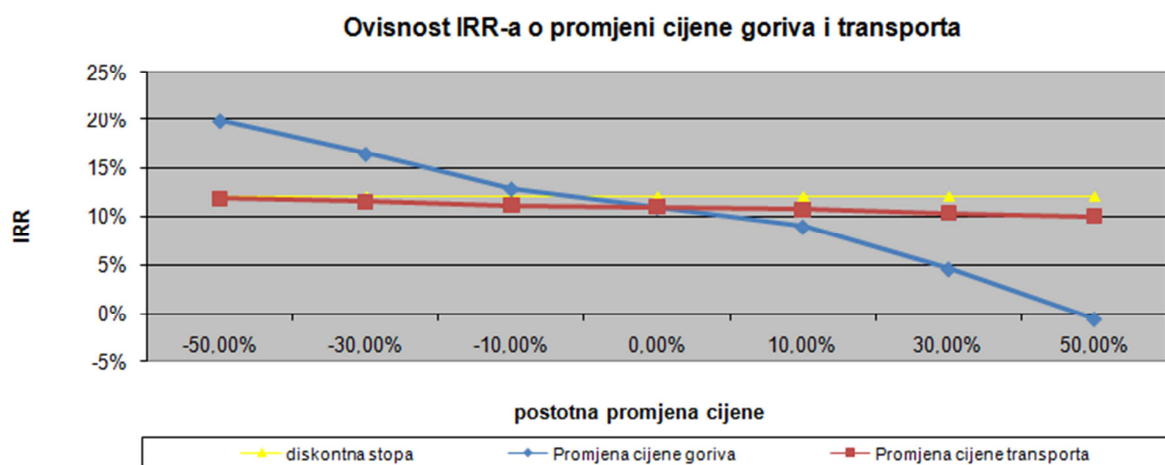
Iznos unutarnje stope povrata uz gore navedene troškove i prihode iznosi, za državno i privatno zemljište, te u zbroju jednog i drugog zemljišta:

Tablica 28. IRR - Slavonski Brod

Kategorija vlasništva	IRR
Državno	11,81%
Privatno	10,89%
Ukupno	12,10%

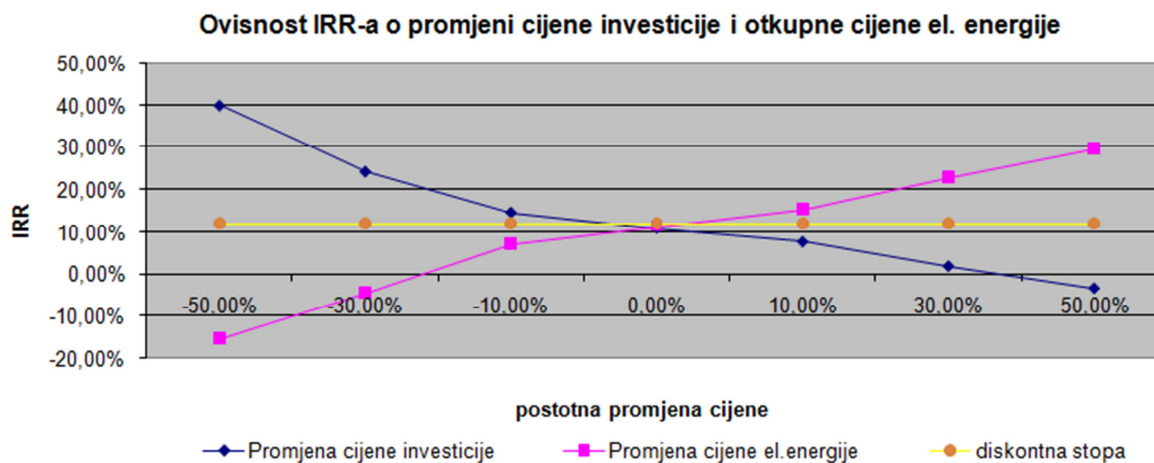
#### 4.3.8. Analiza osjetljivosti

Važni faktori koji mogu utjecati na promjenu isplativosti projekta tijekom njegovog radnog vijeka su u ovom slučaju cijena biomase iz brzorastućih nasada, specifični investicijski trošak u energetska postrojenja, prodajna cijena električne energije i cijena transporta. U slučaju lokacije u Slavonskom Brodu, utjecaj promjene ovih faktora na IRR se vidi iz prikaza koji slijede. U ovom slučaju, najviša cijena biomase je za slučaj pridobivanja biomase s privatnog zemljišta. Taj slučaj se diskutira ovdje.



Slika 33. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta - Slavonski Brod

Na slici 32. je prikazan utjecaj promjene cijene biomase iz KKO i transporta do lokacije postrojenja. Ova dva faktora su prikazana zajedno jer su vezana kao komponente cijene biomase na pragu postrojenja.

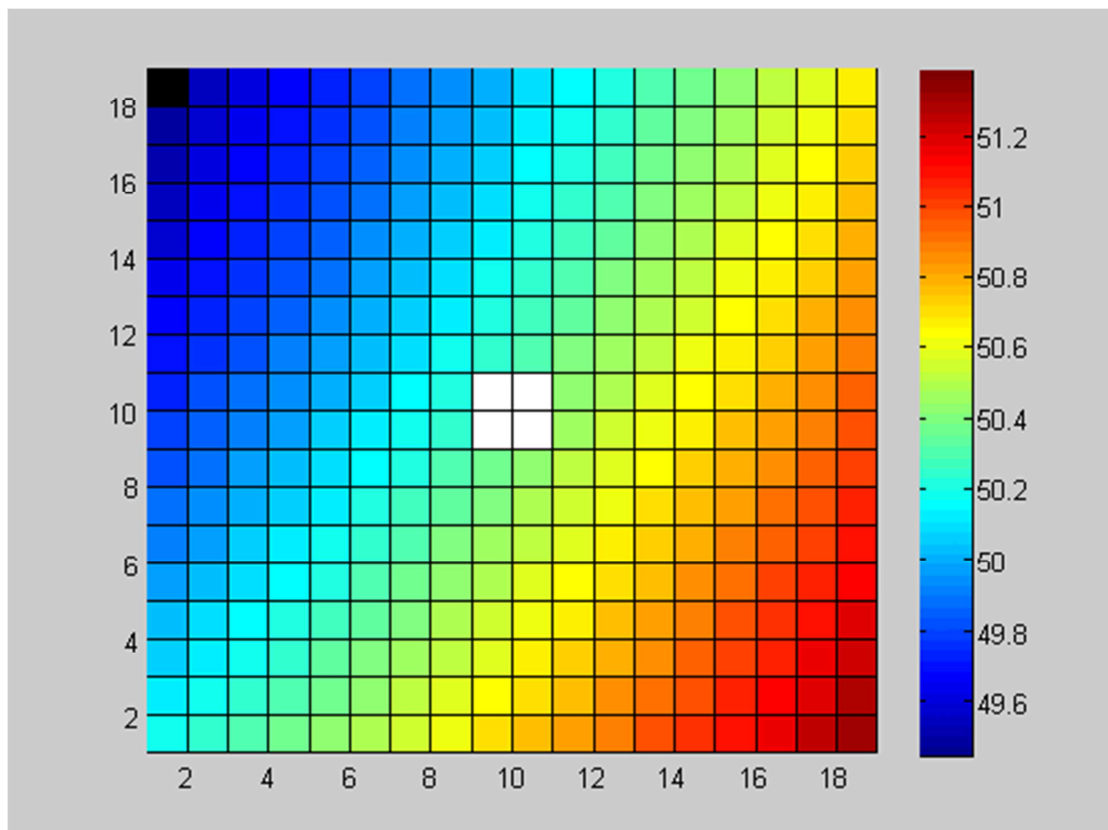


Slika 34. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene investicije i cijeni električne energije

Na slici 33. prikazana je ovisnost IRR-a o promjenama cijena investicije u samo postrojenje, te promjene cijene po kojoj postrojenje prodaje električnu energiju u mrežu. Može se opaziti da ovi faktori imaju intenzivniji utjecaj na promjenu isplativosti postrojenja nego prije navedeni. Promjena od 10% na niže cijene investicije, odnosno 15% na više prodajne cijene električne energije mogu učiniti ovaj projekt isplativim. Kod cijena biomase i transporta, cijena biomase je utjecajna u jednakoj mjeri kao cijena investicije i električne energije, dok transport utječe tek pri velikom sniženju cijene, više od 50 %.

#### 4.3.9. Makrolokacija 5 – Osijek - Ekonomska analiza

Na slici 34. prikazan je položaj postrojenja na ovoj makro-lokaciji. Razmatran je scenarij 3, s državnim zemljištem za pridobivanje biomase.



Slika 35. Osijek - lokacija postrojenja

U ovom slučaju, postrojenje bi se nalazilo na lokaciji 1-19, s koordinatama 45.4765, 18.5654 uz cijenu biomase 49,44 (€/t). Centar grada je na slici označen bijelom bojom, a lokacija postrojenja crnom bojom. Ukoliko se razmatra biomasa s površina u privatnom vlasništvu, lokacija ostaje ista, ali cijena je 49,78 (€/t).

Trošak goriva iznosi ukupnu godišnju količinu goriva koju postrojenje potroši pomnoženu s cijenom koja je utvrđena modelom i prikazana Tablica 14. Godišnje izdatke za gorivo prikazuje tablica 29., promjene cijene se diskutiraju u analizi osjetljivosti.

Tablica 29. Trošak goriva - Osijek

Godišnji trošak goriva	
Državno	Privatno
7.674.251,29 €	7.727.027,29 €



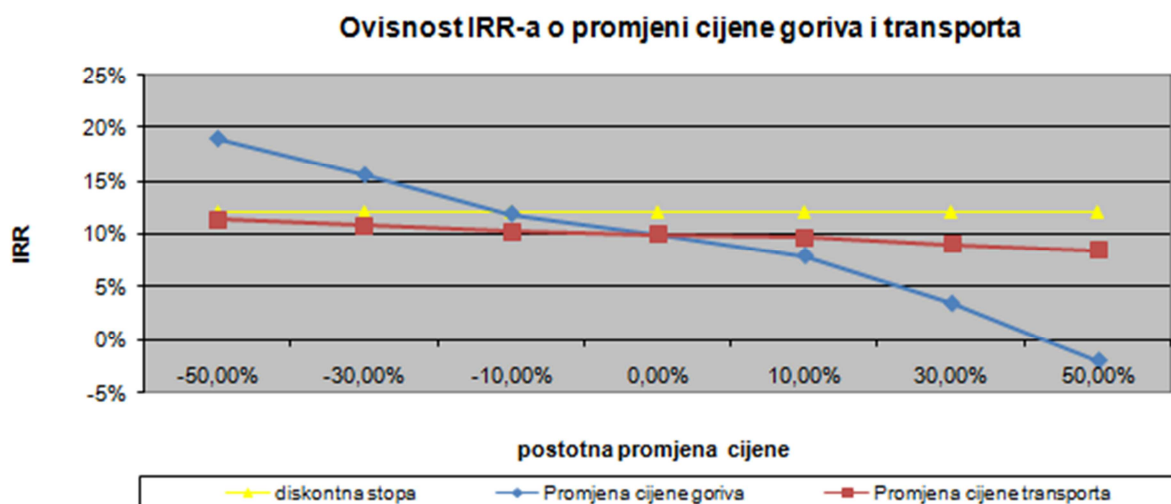
Iznos unutarnje stope povrata uz gore navedene troškove i prihode iznosi, za državno i privatno zemljište, te u zbroju jednog i drugog zemljišta:

Tablica 30. IRR- Osijek

Kategorija vlasništva	IRR
Državno	10,03%
Privatno	9,88%
Ukupno	10,78%

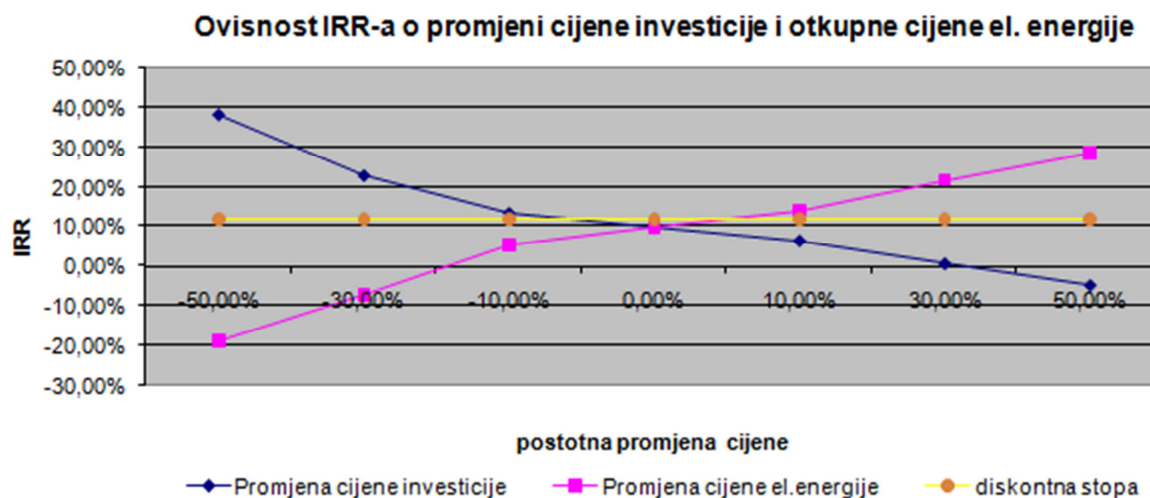
#### 4.3.10. Analiza osjetljivosti

Važni faktori koji mogu utjecati na promjenu isplativosti projekta tijekom njegovog radnog vijeka su u ovom slučaju cijena biomase iz brzorastućih nasada, specifični investicijski trošak u energetska postrojenja, prodajna cijena električne energije i cijena transporta. U slučaju lokacije u Osijeku, utjecaj promjene ovih faktora na IRR se vidi iz prikaza koji slijede. Razmatra se scenarij s pridobivanjem biomase s privatnog zemljišta.



Slika 36. Ovisnost IRR-a o promjeni cijene goriva i transporta

Na slici 36. je prikazan utjecaj promjene cijene biomase iz KKO i transporta do lokacije postrojenja. Ova dva faktora su prikazana zajedno jer su vezana kao komponente cijene biomase na pragu postrojenja. Obzirom da je projekt pri zadanim uvjetima neisplativ, jedino sniženje cijena može imati pozitivan efekt, koji se opaža tek pri sniženju cijena više od 30 %.



Slika 37. Ovisnost IRR-a o cijenama investicije i električne energije

Na slici 36. prikazana je ovisnost IRR-a o promjenama cijena investicije u samo postrojenje, te promjene cijene po kojoj postrojenje prodaje električnu energiju u mrežu. Može se opaziti da ovi faktori imaju intenzivniji utjecaj na promjenu isplativosti postrojenja nego prije navedeni. Promjena od 10% na niže cijene investicije, odnosno na više prodajne cijene električne energije projektu mijenjaju ocjenu prema metodi IRR-a. Cijene biomase također sniženjem za 10%, dok transport tek sniženjem većim od 50% može pridonijeti da projekt bude isplativ.

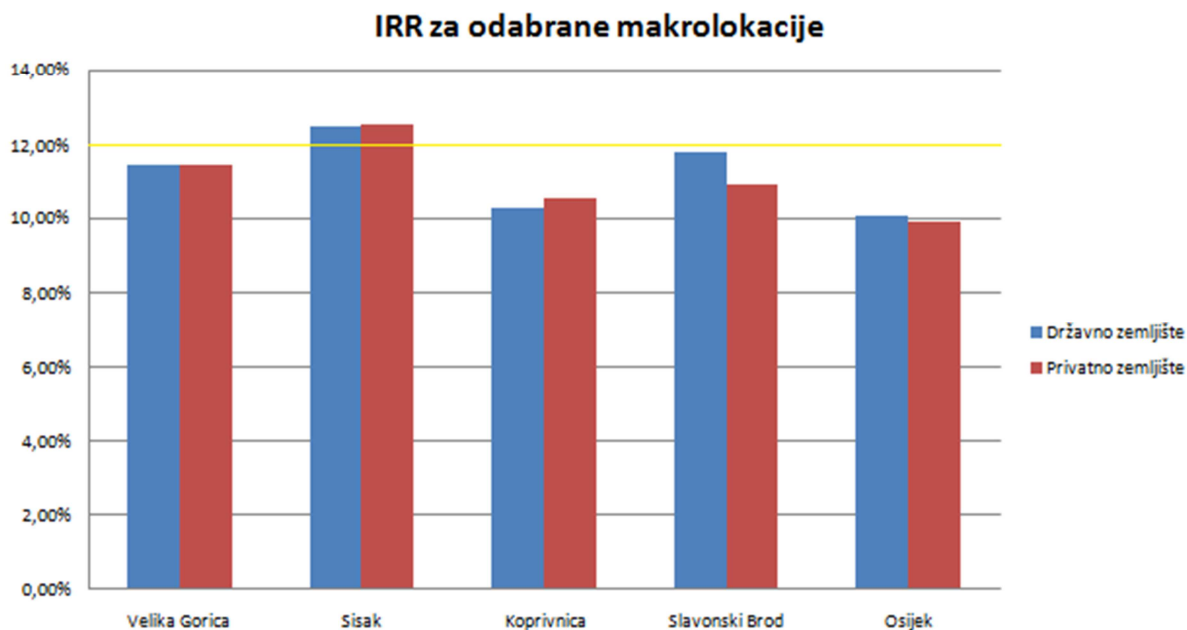
## 5. ZAKLJUČAK

U nastojanju da postigne ambiciozne ciljeve koje je pred sebe postavila do 2020. godine, a i u razdoblju nakon tog roka, EU, a time i Hrvatska, teži razvijati nove, obnovljive izvore energije i tehnologije za njihovu eksploataciju. Iako su obnovljivi izvori poput sunca i vjetra zauzeli značajno mjesto u opskrbi energijom u EU u zadnjih 10 godina, pokazalo se da na području biomase, koje ima veliki potencijal po cijeloj Europi, a pogotovo u Hrvatskoj, trenutni način eksploatacije mogu biti nedovoljni za zadovoljavanje ciljeva. Stoga se u više zemalja već prije 15-tak godina počelo uzgajati plantaže energetskih usjeva i nasada i s raznim vrstama izvoditi istraživanja, kako bi se istražio i komercijalizirao i ovaj oblik biomase. Energetski nasadi su se pokazali dobrima iz više razloga: oni mogu ostvariti vrlo dobre prinose biomase, ali isto tako pomažu u povećanju bioraznolikosti, služe kao privremeno stanište životinjama, mogu pomoći pri obnavljanju tla koje je bilo zagađeno i mogu služiti za pročišćavanje otpadnih voda fitoremedijacijom.

Istovremeno, Hrvatska ima velike površine zemljišta koje se ne obrađuje, već predstavlja neiskorišten potencijal. Uz trenutno gospodarsko stanje, valja razmotriti sve opcije koje bi pomogle otvaranju novih radnih mjesta i oživljavanju gospodarstva. Naročito je to pogodno onda kada se više potreba može podmiriti (i prilika iskoristiti) integracijom u jedan proizvodni lanac između iskorištavanja zemljišta koje stoji prazno, sadnjom energetskih nasada, i gradnje kogeneracijskih energetskih postrojenja koja će biti pogonjena na pridobivenu biomasu i opskrbljivati svoje sredine obnovljivom energijom – električnom i toplinskom.

Aktualni podaci govore o vrlo velikom energetskom potencijalu ukoliko se koristi veće površine neobrađenog zemljišta. Stoga su razmatrane razne makro-lokacije u kojima postoji potreba za toplinskom energijom. Pomoću modela je određena cijena biomase iz energetskih nasada na pragu postrojenja i pozicija postrojenja na makro-lokaciji.

Tehno-ekonomska analiza koja je provedena, govori o mogućnosti da postrojenja koja su postavljena u blizini velikih neobrađenih površina budu isplativa. IRR za ova postrojenja, razmatrajući izvor biomase prema kategoriji vlasništva prikazuje Slika 38. :



Slika 38. IRR za odabrane makrolokacije

Na slici je žutom bojom prikazana odabrana diskontna stopa od 12%. Lokacije koje su blizu velikih neobrađenih površina u Karlovačkoj i Sisačko-moslavačkoj županiji, prema ovoj metodologiji pokazuju bolju isplativost, a općenito uz manje (10%) sniženje cijena biomase i investicije te blago povišenje cijene električne energije ili poticajne tarife (do 10%), takvi projekti mogu predstavljati priliku koju valja razmotriti kad se planira lokalni energetski razvoj.

Kako bi se otvorio put da kulture kratkih ophodnji kao opskrbljivač biomasom za lokalna energetska postrojenja postanu komercijalne i u Hrvatskoj, potrebno je provesti još istraživanja u okviru lokalnog energetskog planiranja, ali je od najveće važnosti da se uredi zakonski okvir koji će bolje definirati što su kulture kratkih ophodnji u Hrvatskoj – šumska ili poljoprivredna kultura ili i jedno i drugo, te na kojem zemljištu se sve smiju uzgajati i što će se poticati u roku idućih 15-20 godina.

Rješenjem tih pitanja otvorila bi se mogućnost za razvitak tržišta jednom gorivu koje do sad Hrvatska u praksi ne poznaje, a ima dobar potencijal za povećanje zapošljavanja, za pomoć pri postizanju ciljeva, za poboljšanje bioraznolikosti i za pokretanje gospodarstva kroz novu, zelenu energetiku.

## LITERATURA

- [1] Energetska strategija RH
- [2] Nacionalni akcijski plan za OIE 2013.
- [3] Annual report, AEBIOM 2007.
- [4] Tomić, F.; Krička, T.; Matic, S.: Raspoložive poljoprivredne površine i mogućnosti šuma za proizvodnju biogoriva u Hrvatskoj, Šumarski list br. 7–8, CXXXII (2008)
- [5] Kajba, D.; Domac, J.; Šegon, V.: Procjena potencijala brzorastućih nasada u Republici Hrvatskoj: Primjer rezultata u sklopu FP7 projekta Biomass Energy Europe, 2011.
- [6] Bogunović, M; Bensa, A: Tla krša – Temeljni čimbenik biljne proizvodnje
- [7] Potencijal obnovljivih izvora energije – studija 08 – Primorsko-goranska županija – REPAM projekt, EIHP 2012.
- [8] Potencijal obnovljivih izvora energije – studija 13 – Zadarska županija – REPAM projekt, EIHP 2012.
- [9] Potencijal obnovljivih izvora energije – studija 15 – Šibensko-kninska županija – REPAM projekt, EIHP 2012.
- [10] Potencijal obnovljivih izvora energije – studija 17 – Splitsko-dalmatinska županija – REPAM projekt, EIHP 2012.
- [11] Potencijal obnovljivih izvora energije – studija 19 – Dubrovačko-neretvanska županija – REPAM projekt, EIHP 2012.
- [12] VERWIJST, T.: Short rotation crops in the world. *In: Nicholas ID (ed) IEA Bioenergy Task 30, Proceedings of the Conference The role of short rotation crops in the energy market., Mount Maunganui, Tauranga, New Zealand, 1-5 December 2003., pp 1-10*
- [13] Smart, L.B.; Cameron, K.D.: Genetic Improvement of Willow (*Salix* spp.) as a Dedicated Bioenergy Crop, 2008.
- [14] Timothy A. Volk, Theo Verwijst, Pradeep J. Tharakan, Lawrence P. Abrahamson, and Edwin H. White 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Frontiers in Ecology and the Environment* **2**: 411–418.
- [15] Kajba, D.; Bogdan, S.; Katičić-Trupčević, I.: Proizvodnja biomase klonova bijele vrbe u pokusnoj kulturi kratkih ophodnji Dravica. Šum. list 9-10:509-515
- [16] Bogdan, S., Kajba, D.; Katičić, I.: Produkcija biomase u klonskim testovima stablastih vrba na marginalnim staništima u Hrvatskoj. Glas. šum. pokuse, pos. izd. 5, 261-275., 2006.

- [17] Kajba, D., Bogdan, S.; Katičić, I.: 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.
- [18] Zenone, T.; Facciotto, G.; Nervo, G.; Bregante, S.: New Poplar Clones Selected for Short Rotation Coppice in Italy, SRC International conference 2008.
- [19] Short Rotation Woody Crops (SRC) plantations for local supply chains and heat use, Project No: IEE/13/574, SRC production in Croatia, Czech Republic, France, Germany, Greece, Latvia and Macedonia, 2014.
- [20] Zapata Aranda, P.: BIO-HEAT (IEE) – Promotion of Short Rotation Coppice for District Heating Systems in Eastern Europe, 2010.
- [21] Allen, B. at all.: Space for energy crops – assessing the potential contribution to Europe's energy future. IEEP, 2014.
- [22] AEBIOM: Annual report 2009.
- [23] Ericsson, K; Rosenqvist, H; Nilsson, L.J.: Energy crops production costs in EU, *Biomass and Bioenergy 2009 Vol 33 (11) 1577-1586*
- [24] Energy from field energy crops – a handbook for energy producers, Jyväskylä Innovation Oy & MTT Agrifood Research Finland , 2009
- [25] RESTMAC project 'Creating Markets for Renewable Energy Technologies - EU RES technology marketing campaign' – NEW DEDICATED ENERGY CROPS FOR SOLID BIOFUELS – AEBIOM, 2008.
- [26] Statistički ljetopis 2005., Državni zavod za statistiku
- [27] Priručnik o gorivima iz drvne biomase, REGEA, 2008.
- [28] Lončar, D.; Krajačić, G.; Vujanović, M.: Podrška developerima - primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvenu biomasu; Centar za transfer tehnologije - CTT; Zagreb; 2009.
- [29] Ćosić, B.; Stanić, Z.; Duić, N.: Geografska raspodjela ekonomskog potencijala za korištenje biomase iz poljoprivrede i šumskog ostatka u energetske svrhe: Studija slučaja Hrvatske, *Energy 36 (2011) 2017-2028*
- [30] Dominković, D.F.: Odabir optimalne lokacije za postrojenje na biomasu, Seminarski rad, *Ekonomika energetike*, FSB 2014.
- [31] Hollingdale, A.: Recent Advances in Biomass Energy Technology in Europe and Applications for SE Asia, NRI 2006.

- 
- [32] Ćosić, B.: Analiza potencijala izgradnje energetske postrojenja loženih različitim tipovima biomase u Hrvatskoj i odabir lokacija – diplomski rad, FSB 2008.
- [33] Dimitriou, I i sur.: SRC+ projekt EU - Best practice examples on sustainable local supply chains of SRC, Uppsala, Švedska, 2014.
- [34] Duić, N., Osnove energetike, digitalni udžbenik.
- [35] Dominković, Ćosić, Bačelić-Medić, Duić, An optimization model for combining seasonal pit thermal energy storage and biomass trigeneration energy system, SDEWES Conference, June 2014
- [36] HEP-Toplinarstvo d.o.o. - CJENIK - CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAV (CTS), 05.01.2015.
- [37] Domac, J. i sur.: Kako planirati i provesti projekt područnog grijanja na biomasu – priručnik, REGEA 2011.
- [38] Verdonckt, P.: Woody biomass for local use: Short rotation coppice, BioEnergyFarm, 2nd International Training, Kortrijk, 2011.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc