

Ante Čikić

UDK: 620.91:641(497.5-35Bjelovar)

Stručni članak

Rukopis prihvaćen za tisak: 24. 4. 2012.

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U FUNKCIJI INTENZIVNE PROIZVODNJE POVRĆA

Sažetak

Skromna je cjelogodišnja intenzivna proizvodnja povrća u zatvorenim prostorima s kontroliranim uvjetima, često neadekvatnih termotehničkih rješenja, s velikom potrošnjom i visokim troškovima energije. Proizvodni ciklus se ograničava na topliji dio godine kada su troškovi energije manji što značajno smanjuje ekonomičnost, kakvoću prinosa, konkurentnost i dugoročni opstanak proizvođača na tržištu. Bjelovarsko-bilogorska županija i susjedne županije raspolažu značajnim potencijalom obnovljivih izvora energije (biomasa, geotermalna energija) koji se multiplikativno ne usmjeravaju podizanju proizvodnih djelatnosti, a posebno intenzivnom uzgoju povrća u plastenicima. Nedostatak egzaktnih istraživanja i korištenje načelnih procjena često su razlog nedovoljnog praktičnog vrjednovanja biomase i geotermalne energije i mogućeg doprinosa ekonomičnoj intenzivnoj proizvodnji povrća. Provedena su istraživanja raspoloživosti šumske i biljne biomase, drvnih ostataka u drvopredivačkim pogonima te geotermalnog potencijala u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji iskoristivih u energetskej opskrbi centraliziranih i/ili decentraliziranih objekata (plastenika) za intenzivnu proizvodnju povrća. Analiziran je održivi ekonomični polumjer prikupljanja, pripreme i dobave obnovljive biomase. Prikazana i analizirana je potrošnja i ekonomičnost toplinske energije iz različitih vrsta pogonskog goriva usporediva s izravno primjenjivim obnovljivim izvorima energije. Kvantificiranim vrijednostima istaknuta je komplementarnost raspoloživih obnovljivih izvora energije s razvojem cjelogodišnje intenzivne proizvodnje povrća u plastenicima.

Ključne riječi: Bjelovarsko-bilogorska županija; biomasa; geotermalna energija; plastenici; uzgoj povrća; ekonomičnost.

1. Uvod

Veliki doprinos znanstvenotehnološkog i informacijskog napretka razvoju globalizacije ubrzao je i snaženje društveno-ekonomskih vrijednosti i odnosa u svijetu. Svi oblici izvora i načini korištenja energije značajni su čimbenici određivanja brzine razvoja i ekonomske održivosti određenog makro ili mikro područja. Iz biomase u svijetu se dobiva oko 15 % ukupno potrošene energije, a njen udio je znatno veći

u zemljama u razvoju nego u industrijski razvijenim zemljama [1, 2]. Koristeći obnovljivu biomasu i/ili geotermalnu energiju kao pogonsko gorivo za toplifikaciju plastenika doprinosi se ekonomičnosti cjelogodišnje proizvodnje povrća i smanjenju ovisnosti o konvencionalnim vrstama goriva.

Od 2.636,67 km² (4,7 % površine Republike Hrvatske) poljoprivrednim tlima pripada oko 51,2 %, a šumama oko 36,2 % ukupne površine Bjelovarsko-bilogorske županije, što je dobar prirodni potencijal za gospodarski razvoj ekstenzivnog i intenzivnog uzgoja povrća, prerađivačke industrije i procesnoenergetskih sustava. Ukupan broj stanovnika Bjelovarsko-bilogorske županije (133.084) čini oko 3 % stanovništva Republike Hrvatske. Gospodarski učinak izražen bruto domaćim proizvodom zaostaje oko 30 % od prosjeka Republike Hrvatske, a od nekih županija i za više od 100 %. Takvom odnosu i negativnom trendu doprinosi relativno mali udjel zaposlenosti u poljoprivredi (oko 16 %) i prerađivačkoj industriji (oko 21 – 24 %), iako sirovinski i ljudski potencijali čine solidnu osnovu bržeg proizvodnog razvoja. U seoskim naseljima živi oko 21 %, a u prijelaznim područjima oko 32,5 % stanovništva na oko 1.650 km² ili oko 62 % površine Županije [3, 4, 5, 6].

Neadekvatnim strateškim planiranjem bez kvantificirane razrade smjerova razvoja proizvodnih djelatnosti povezanih u dislocirane sustave: energija – proizvod (prerada) – ekonomičnost – održivost, ubrzava se depopulacija ruralnih krajeva, radno sposobni ljudi teže zasićenim tercijarnim djelatnostima, povećava se nezaposlenost i pada bruto domaći proizvod grada i županije. Zbog relativno slabe razvojne aktivnosti i dijelom marginaliziranih stručnih kadrova, nedovoljno su iskorišteni veliki poljoprivredni i šumski potencijali, a često se prihvaćaju skupa jednokratna investicijska rješenja koja ne doprinose zapaženom razvoju, već suprotno, povoljnom korištenju obnovljivih resursa i odljevu dobiti iz Bjelovarsko-bilogorske županije.

Bjelovarsko-bilogorska županija raspolaže s oko 0,72 ha šuma/stanovniku i oko 1,014 ha poljoprivrednog tla/stanovniku što je značajno više od razvijenih zemalja i regija (poljoprivredna tla, primjeri: Danska ≈ 0,50 ha/stanovniku, Mađarska ≈ 0,51 ha/stanovniku, Nizozemska ≈ 0,06 ha/stanovniku, Njemačka ≈ 0,19 ha/stanovniku, Srbija ≈ 0,7 ha/stanovniku,...), a istovremeno ima višestruko manju energetska učinkovitost i proizvodnu aktivnost po stanovniku.

Iako se Bjelovarsko-bilogorska županija nalazi u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske, klimatski uvjeti su razmjerno povoljni za intenzivnu proizvodnju povrća u plastenicima s kontroliranim mikroklimatskim i tehnološkim uvjetima. Srednja godišnja temperatura zraka iznosi + 10°C, srednja temperatura najhladnijeg mjeseca – 3°C, a najtoplijeg nije veća od + 22°C. Uz srednju godišnju relativnu vlagu zraka oko 74 % i visinu padalina oko 850 – 980 mm više od 120 dana u godini ima temperaturu zraka veću od + 15°C. Prosječna godišnja brzina vjetra iznosi oko 1,8 m/s [7].

Skromna je cjelogodišnja intenzivna proizvodnja povrća u plastenicima i/ili staklenicima s kontroliranim uvjetima, često neadekvatnih tehničkih rješenja s velikom potrošnjom i visokim troškovima energije. Proizvodni ciklus se ograničava na topliji dio godine kada su troškovi energije manji što značajno smanjuje ekonomičnost, prinos po jedinici površine, konkurentnost i dugoročni opstanak proizvođača na tržištu [8, 9, 10]. Raspoloživost obnovljivih resursa, racionalni odnos i ekonomična pretvorba u korisne oblike energije izravno mogu potaknuti bržu izgradnju klima-ta – plastenika s racionalnim toplifikacijskim sustavima za cjelogodišnji intenzivni uzgoj povrća.

2. Cilj istraživanja

Provedena su istraživanja raspoloživosti šumske i biljne biomase te drvnih ostataka u drvoprerađivačkim pogonima Bjelovarsko-bilogorske županije. Također su prikupljeni dostupni podaci o raspoloživom geotermalnom potencijalu u navedenoj Županiji. Analizirana je najpovoljnija iskoristivost u energetskejskoj opskrbi klimata – plastenika s kontroliranim tehnološkim i mikroklimatskim uvjetima pri uzgoju povrća, te održivi ekonomični polumjer prikupljanja, pripreme i dobave obnovljive biomase.

Uspoređena i analizirana je ekonomičnost i potrošnja toplinske energije iz različitih vrsta konvencionalnih pogonskih goriva i iz obnovljivih izvora energije. Kvantificiranim vrijednostima prikazana je komplementarnost raspoloživih obnovljivih izvora energije s razvojem cjelogodišnje održive intenzivne proizvodnje povrća u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji.

3. Obnovljivi resursi, intenzivna proizvodnja i metoda istraživanja

3.1. Obnovljivi resursi

Biomasa je tradicionalni energent i najsloženiji oblik obnovljivih izvora energije. Najvećim dijelom obuhvaća šumsku i poljoprivrednu (kukuruzovina, balirana slama...) biomasu, otpad i ostatke iz drvne i srodnih industrija, a ponegdje i selekcionirani gradski i komunalni otpad. Oko 95.455 ha Bjelovarsko-bilogorske županije je pod šumom u kojoj dominiraju hrast (oko 43 %) i bukva (48 %), a ostale vrste listača i četinjača zastupljene su oko 9 % od ukupnog šumskog potencijala [3]. Prema prikupljenim podacima za 2011. godinu u devet (DI1–DI9) većih i srednjih, te sumarno u 8 malih (DI10) drvnih industrija i pogona na području Županije prerađeno je oko 57.500 m³ šumske drvne mase (trupaca) tvrdog drva hrasta i bukve i manjim dijelom ostalih listača i četinjača.

Ukupni potencijal geotermalne energije (količina energije koja se može iskoristiti iz dostupnog geotermalnog oblika energije) u Republici Hrvatskoj se procjenjuje na

oko 50 MW proizvedene električne i oko 800 MW toplinske energije [11]. U Bjelovarsko-bilogorskoj županiji dostupni potencijal geotermalne energije je oko 5 MW proizvedene električne i oko 23 MW toplinske energije [11]. Obzirom na različite temperaturne vrijednosti geotermalnih izvora (I. izvorište: $J_I \approx 170^\circ\text{C}$, II. izvorište: $J_{II} \approx 70^\circ\text{C}$, III. izvorište – djelomično se koristi: $J_{III} \approx 47^\circ\text{C}$) prihvatljivo je da se toplinska energija izravno i stupnjevito koristi ako je temperatura medija izvora ispod 125°C , a tek za temperature medija izvora iznad 125°C pretvorba toplinske u električnu i sekundarno obvezno stupnjevito korištenje toplinske energije [11, 12].

Nedovoljno razvijena organizacija prikupljanja, pripreme i dopreme šumske i poljoprivredne biomase može biti potencijalna prijetnja brzini izgradnje i korištenju energetske kapaciteta.

3.2. Intenzivna proizvodnja

U Bjelovarsko-bilogorskoj županiji dominira vanjska ekstenzivna, ruralna proizvodnja povrća i samo dijelom usitnjena (pojedinačno organizirana) intenzivna proizvodnja ograničena na topliji dio godine, što smanjuje ekonomičnost i ponudu na tržištu. Izražene su tehničko-tehnološke i energetske slabosti što umanjuje očekivani prinos i prihod proizvodnje. Kod više individualnih proizvođača (IP1 – IP8) različiti oblici hidroponskog uzgoja provode se na ukupno oko 3,8 ha površine, pretežno koristeći konvencionalna pogonska goriva za toplifikaciju plastenika, često neadekvatno izvedenih sustava grijanja i adijabatskog ovlaživanja (ubrizgavanjem raspršenih kapljica vode u zračni prostor provodi se adijabatsko hlađenje na račun osjetne topline zraka potrebne u procesu ishlapljivanja vode) u svrhu kondicioniranja prostora uzgoja biljaka. Uz skraćeni godišnji interval uzgoja prinos povrća po m^2 uzgojne površine plastenika se kreće u granicama: za rajčicu: 27 – 32 kg/m^2 , papriku: 10 – 23 kg/m^2 , krastavce: 28 – 35 kg/m^2 i salatu do 23 kg/m^2 .

3.3. Metoda istraživanja

Istraživanje međusobne povezanosti i mogućeg doprinosa obnovljivih izvora biomase i geotermalne energije razvoju intenzivne proizvodnje povrća provedeno je:

- kvantifikacijom ukupnog i neiskorištenog obnovljivog energetskeg potencijala,
- razvojem tehnološki naprednog hidroponskog uzgoja povrća,
- usporednom analizom i vrjednovanjem energetske učinkovitosti i
- simulacijom prinosa, ekonomičnosti, održivosti i zapošljivosti ljudi.

Za osam individualnih proizvođača intenzivnog uzgoja povrća (IP1–IP8) prikupljeni su podaci o godišnjem intervalu, vrsti kultura uzgoja i prinosu po jedinici površine, pogonskom gorivu grijanja i njegovom troškovima u ukupnom prihodu.

Prema dostupnim podacima analizirana je količina obnovljive šumske [13] i poljoprivredne biomase u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji te količina drvnog ostatka

i otpada u drvnjoj industriji i pogonima (DI1 – DI10) na osnovu prerađene sirovine (pretežno bukva i hrast) u 2011. godini. Iskazani su raspoloživi toplinski kapaciteti za različite gustoće obnovljive biomase pri faktoru prikupljanja $f = 0,7$ i očekivane vlažnosti između 20 % i 40 %. Srednja vrijednost količine obnovljive šumske biomase utvrđena je prema trenutnim količinama i projekciji u narednih deset godina uvažavajući njeno djelomično korištenje za individualne objekte malih kapaciteta. Ovisno o nasipnoj gustoći (ρ_{bm}) njena masa je utvrđena prema izrazu $m_{bm} = V_{bm} \cdot \rho_{bm} \cdot f$, a raspoloživi toplinski kapacitet prema relaciji $Q = m_{bm} \cdot H_d \cdot \eta_{postr} \cdot (H_d - \text{donja ogrjevna vrijednost, W/kg})$ [2, 14].

Analizirano je toplinsko opterećenje klimata – plastenika površine 1 ha za intenzivni uzgoj pri kontroliranim tehnološkim i mikroklimatskim uvjetima te realno očekivani prinos po jedinici površine tijekom cjelogodišnje proizvodnje raznih vrsta povrća. Prema provedenim istraživanjima autora korištena je modificirana empirijska jednadžba (1) za određivanje potrošnje toplinske energije za sumu vremenskih intervalima t pri različitim vanjskim temperaturama zraka J_v tijekom sezone grijanja [8, 9, 10, 15]:

$$Q = (Y_{\vartheta_v} \cdot A + 40) \cdot \left(\frac{w_1}{w_o} \right)^n \cdot \left(\frac{\vartheta_u - \vartheta_v}{\vartheta_{u1}} \right)^n, \quad \text{kW}$$

(1)

pri čemu su:

A – unutarnja površina plastenika za intenzivni (hidroponski) uzgoj biljaka, m^2

w_o – brzina vjetra ≤ 2 m/s

w_1 – prosječna brzina naleta vjetra na vanjske stijenke plastenika, od 2 do 10 m/s

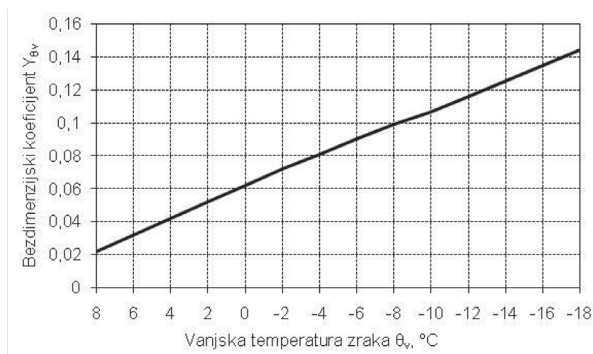
n – eksponent = 0,20

Y_{ϑ_v} – bezdimenzijski koeficijent ovisan o vanjskoj temperaturi zraka ϑ_v (slika 1)

ϑ_u – prosječna unutarnja temperatura zraka u zoni uzgoja biljaka $\geq +12^\circ\text{C}$

ϑ_{u1} – zadana unutarnja temperatura zraka u zoni uzgoja biljaka (najčešće $+21^\circ\text{C}$)

ϑ_v – vanjska temperatura zraka pri brzini vjetra ≤ 2 m/s.



Slika 1. Bezdimenzijski koeficijent Y

Prikazan je raspoloživi geotermalni energetski potencijal za tri lokacije na području Bjelovarsko-bilogorske županije pri stupnju iskorištenja pretvorbe oko 14 % u električnu i oko 80 % u toplinsku energiju.

Analizirane su moguće izvedbene površine klimata – plastenika za učinkoviti intenzivni uzgoj povrća uz izravno korištenje toplinske energije iz obnovljive biomase i geotermalne energije ili kontinuiranim korištenjem obnovljivog energetskog potencijala za djelomičnu proizvodnju električne i stupnjevito korištenje toplinske energije. Istaknuti su ekonomski učinci, povećanje zaposlenosti i doprinos racionalnom korištenju obnovljivih energetskih resursa u cjelogodišnjem uzgoju povrća u plastenicima s kontroliranim mikroklimatskim i tehnološkim uvjetima.

4. Rezultati istraživanja i sistematizacija podataka

U tablici 1 prikazani su sistematizirani podaci postojeće intenzivne proizvodnje povrća kod osam gospodarskih subjekata u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji. Tijekom skraćene sezone uzgoja (kraj veljače – listopad) postiže se manji prinos po jedinici površine, a ekonomičnost u tom vremenskom intervalu izrazito ovisi o velikoj ponudi na tržištu. Iako se pogonsko gorivo koristi za grijanje i dogrijavanje u kraćim vremenskim intervalima, njegov je veliki udjel u troškovima proizvodnje i smanjuje konkurentnost proizvođača povrća na tržištu.

Tablica 1. Intenzivni uzgoj povrća – individualni gospodarski subjekti u BBŽ-u

Intenzivna proizvodnja – površina, m ²	Kultura uzgoja	Prinos kg/m ² , god.	Pogonsko gorivo za grijanje	Prosječni udio troškova pogonskog goriva u prihodu, %	Trajanje uzgoja, komentar
IP1 – 6000	Rajčica	32	Prirodni plin	≈ 18	Skrraćena sezona uzgoja u zatvorenom prostoru (veljača – listopad); smanjeni prinos, visoki troškovi energije, labila održivost na tržištu, ...
IP2 – 7000	Paprika, krastavci	15 28	Drvo i loživo ulje	≈ 14	
IP3 – 3500	Paprika, krastavci	17 30	Prirodni plin	≈ 19	
IP4 – 4000	Rajčica, krastavci	30 35	Loživo ulje	≈ 22	
IP5 – 4000	Krastavci	23	Drvo	≈ 11	
IP6 – 2000	Paprika, salata	10 23	UNP	≈ 21	
IP7 – 6000	Paprika, ostalo	23 31	Prirodni plin	≈ 23	
IP8 – 4500	Rajčica, ostalo	27 16	Loživo ulje	≈ 26	

Godišnja prerada sirovine te količina drvnog ostatka i otpada nakon piljenja i prerade za više drvoprerađivačkih pogona (DI1 – DI10) u 2011. u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Godišnja prerada sirovine i otpadna drvena masa u BBŽ-u

Drvena industrija i pogoni		Sirovina – trupci $V_s, m^3/\text{god.}$	Srednji faktor iskoristivosti sirovine f_s	Drvni ostaci i otpad u preradi $V_o, m^3/\text{god.}$
Industrija te veći i srednji pogoni	DI1	13000	0,36	8320
	DI2	14000	0,35	9100
	DI3	6000	0,51	2940
	DI4	4000	0,61	1960
	DI5	3500	0,68	1120
	DI6	3000	0,65	1050
	DI7	3700	0,65	1295
	DI8	2800	0,60	1120
	DI9	2300	0,63	851
Mali pogoni $\Sigma 1...8, DI10$		5200	0,58	2184
Ukupno:		57500	----	29940
$\rho_{\text{bm,o}} \approx 650 \text{ kg/m}^3, m_{\text{bm,o}} = V_o \cdot \rho_{\text{bm,o}} \approx 19461 \text{ t/god.}$				

Količina, energetska i ekonomska vrijednost drvnog otpada i ostatka ovisila je o srednjem faktoru iskoristivosti sirovine f_s koji se kretao u granicama od 0,35 do 0,68. Manje vrijednosti faktora f_s karakteristične su za pogone s finalnim proizvodom i većim udjelom drvnog ostatka i otpada koji je tretiran tehnološkim postupkom, što umanjuje ekonomičnost drvoprerađivačkog pogona. Manje količine drvnog ostatka i otpada ostvarili su pogoni primarne prerade drva s malom dodanom vrijednosti izlaznog proizvoda.

Vrijednosti energetskeg potencijala poljoprivrednog ostatka (kukuruzovina, balirana slama...) i drvene biomase te količina obnovljive šumske biomase za različite odnose udjela pojedinog drvnog ostatka prikazani su u tablici 3. Također je iskazan raspoloživi geotermalni potencijal sa tri lokacije u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji.

Spaljivanjem dostupne i raspoložive količine biljne i drvene obnovljive biomase prosječne gustoće ($\rho_{\text{bm}} = 380 - 450 \text{ kg/m}^3$) i ogrjevne vrijednosti ($H_d = 2.700 - 3.200 \text{ W/kg}$) [2], te geotermalne energije moguće je proizvesti oko 68,3 do 80,3 MWh kombinirane energije. Ovisno o namjeni, izvedbenom tipu i ekonomičnosti energetskeg postrojenja moguće je proizvesti oko trećinu električne, odnosno oko dvije trećine toplinske od ukupne količine energije. Za kogeneracijsko postrojenje snage 1 MW i godišnji rad oko 7.500 sati potrebno je između 2.800 do 3.600 tona obnovljive biomase prosječne gustoće $\rho_{\text{bm}} \approx 450 \text{ kg/m}^3$, udjela vlage $u = 20 - 35 \%$ i donje ogrjevne vrijednosti $H_d = 2.700 - 3.200 \text{ W/kg}$ (1 MW električne energije $\approx 10.000 - 12.000 \text{ t/god.}$ biomase) [2, 14].

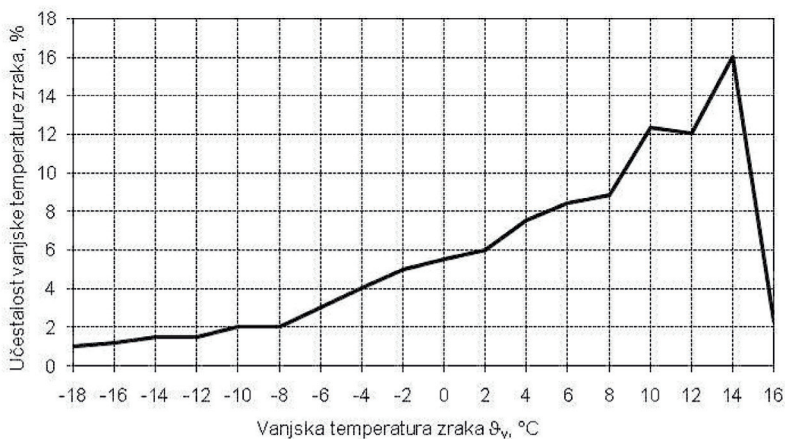
Za proizvodnju samo toplinske energije iz raspoloživog obnovljivog energetskog potencijala u BBŽ-u moguće je proizvesti oko 168 MWh pri godišnjem radu oko 3.600 sati, odnosno ukupnu sezonu grijanja pri nepovoljnim vanjskim mikroklimatskim uvjetima.

Tablica 3. Procijenjene vrijednosti energetskog potencijala obnovljive biljne mase i geotermalne energije u BBŽ-u

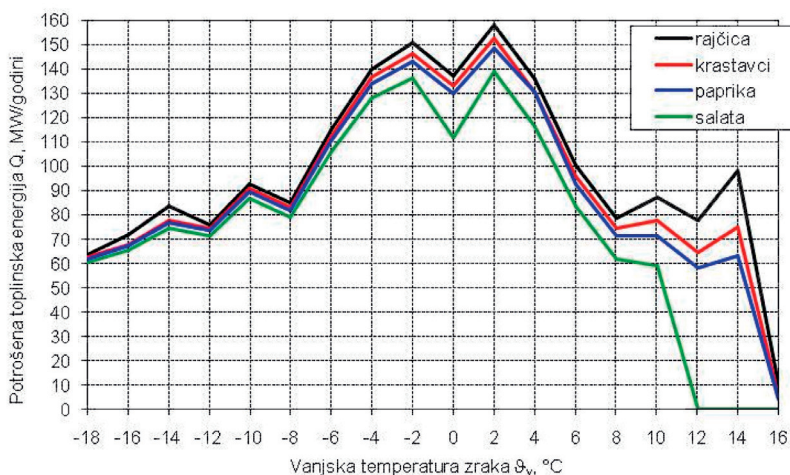
Procijenjena srednja količina biomase u BBŽ: $V_{bm} \approx 374\ 000\ m^3/god.$, faktor prikupljanja obnovljive šumske i poljoprivredne biomase $f = 0,7$, vlažnost biomase $u \approx 20 - 40\ %$, rad energetskog postrojenja $t \approx 7500\ h/god.$								
Energet. parametri	ρ_{bm} kg/m ³	H_d W/kg	$\eta_{postrojenja}$	m_{bm} t/god.	Q MW/god.	ΣQ (E+TO) MW	Q (E) MW	Q(TO) MW
Obnovljiva šumska biomasa	600	≈ 4000	0,75 – 0,87	$\approx 1,57 \cdot 10^5$	$\approx 0,51 \cdot 10^6$	≈ 68	≈ 20	≈ 48
	550	≈ 3700	0,75 – 0,87	$\approx 1,44 \cdot 10^5$	$\approx 0,43 \cdot 10^6$	≈ 57	≈ 17	≈ 40
	450	≈ 3200	0,75 – 0,87	$\approx 1,18 \cdot 10^5$	$\approx 0,31 \cdot 10^6$	≈ 41	≈ 12	≈ 29
	380	≈ 2700	0,75 – 0,87	$\approx 0,99 \cdot 10^5$	$\approx 0,22 \cdot 10^6$	≈ 29	$\approx 8,5$	$\approx 20,5$
Drvena i srodna industrija	650	≈ 4200	0,80 – 0,87	$\approx 0,195 \cdot 10^5$	$\approx 0,663 \cdot 10^5$	$\approx 8,5$	≈ 2	$\approx 6,5$
Poljopriv. ostatak	270	≈ 2300	0,70 – 0,75	$\approx 0,13 \cdot 10^5$	$\approx 0,21 \cdot 10^5$	$\approx 2,8$	$\approx 0,7$	$\approx 2,1$
Geoterm. energija	----	----	0,14e 0,80t	----	$\approx 0,21 \cdot 10^6$	≈ 28	≈ 5	≈ 23
Mogućnosti proizvodnje energije iz obnovljive drvene i biljne biomase te geotermalnih potencijala						$\approx 80,3 - 68,3$	$\approx 19,7 - 16,2$	$\approx 60,6 - 52,1$

Ekonomični polumjer održive dobave je najudaljenija lokacija na opsegu prikupljanja obnovljive biomase od energetskog postrojenja, kojoj su kontinuirano ukupni jedinični troškovi ekvivalenta mase prosječne ogrjevne vrijednosti ekonomski usporedivi s jediničnim troškovima ogrjevne vrijednosti ekološki najprihvatljivijeg konvencionalnog pogonskog goriva (npr. prirodni plin). Uvažavajući zemljopisnu popunjenost biomasom u BBŽ-u, ekonomičan polumjer prikupljanja, pripreme i dobave obnovljive biljne i drvene mase od energetskog postrojenja toplinskog učinka oko 4 MW iznosi oko 25 – 35 km.

Prosječna učestalost vanjske temperature zraka od $-18^{\circ}C$ do $+16^{\circ}C$ tijekom sezone grijanja u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji dijagramski je prikazana na slici 2.



Slika 2. Prosječna učestalost vanjske temperature zraka J_v u BBŽ



Slika 3. Potrošena toplinska energija $Q = f(J_v)$; $P = 10.000 \text{ m}^2$

Uz promjenjiv faktor oblačnosti i dnevne insolacije učestalost niskih temperatura ispod 0°C kreće se oko 20 % – 23 % sezone grijanja. Trajanje grijanja tijekom cjelogodišnjeg uzgoja povrća traje oko 160 dana ovisno o mikrolokaciji postavljanja klimata – plastenika. Ovisno o vrsti kulture uzgoja (povrća) postavljanja objekta površine 1ha i učestalosti vanjske temperature te primjenom zonskog toplovodnog grijanja, dijagramski je na slici 3 prikazana ukupno potrošena toplinska energija za postizanje i održavanje regulirane temperature unutarnjeg zraka danju i noću u zonama grijanja i intenzivnog uzgoja biljaka. Prosječna unutarnja temperatura u zoni uzgoja biljaka kretala bi se između $+12^\circ\text{C}$ do $+23^\circ\text{C}$ [8, 9, 10, 15, 16, 17].

5. Analiza rezultata

Pri cjelogodišnjem hidroponskom uzgoju povrća (rajčica, paprika, krastavci, salata...) u klimatu – plasteniku površine 1ha potroši se oko 138 kW/m² do 176,2 kW/m² toplinske energije na ravničarskim lokacijama u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji. Godišnja potrošnja prikupljene i pripremljene biomase srednje vlažnosti ($u = 20 - 35 \%$) i ogrjevne vrijednosti ($H_d \approx 3000 \text{ W/kg}$) kreće se oko 65 – 85 kg/m² uzgojne površine plastenika, odnosno u ekvivalentnoj vrijednosti geotermalne energije pri temperaturi tople vode 80/60°C.

Tablica 4. Tehničko-ekonomski pokazatelji; $P = 10.000 \text{ m}^2$ (cjelogodišnji intenzivni uzgoj povrća)

Kultura	Prinos kg/m ² , god.	Prihod kn/m ² , god.	Prosječni udio troškova pogonskog goriva u prihodu po 1 m ² uzgojne površine, %				Potrošnja toplinske energije kW/m ² .god.
			Biomasa	Geoterm. energija	Prirodni plin	Loživo ulje	
Rajčica	55	357,5	≈ 6	≈ 6	≈ 20	≈ 33	176,2
Paprika	35	525	≈ 4	≈ 4	≈ 13	≈ 23	166,2
Krastavci	60	330	≈ 6	≈ 6	≈ 20	≈ 33	160,9
Salata	150	525	≈ 3,5	≈ 3,5	≈ 11	≈ 18	138
Varijabilni parametri (prosječne godišnje otkupne cijene kultura: 2011.god.); rajčica: $C_r \approx 6,5 \text{ kn/kg}$, paprika: $C_p \approx 15 \text{ kn/kg}$, krastavci: $C_k \approx 5,5 \text{ kn/kg}$, salata $C_s \approx 3,5 \text{ kn/kg}$. Energenti (trenutne cijene); biomasa: $C_{bm} \approx 270 \text{ kn/t}$, prirodni plin $C_{pp} \approx 3,5 \text{ kn/m}^3_N$, loživo ulje lako: $C_{ul} \approx 7,0 \text{ kn/l}$. 1€ ≈ 7,5 kn							

Tehničko-ekonomski pokazatelji cjelogodišnjeg hidroponskog uzgoja različitih vrsta povrća u klimatu – plasteniku površine 1ha pri kontroliranim tehnološkim i mikroklimatskim uvjetima prikazani su u tablici 4. Izrazita je prednost korištenja obnovljivih izvora energije za toplifikaciju klimata - plastenika u odnosu na konvencionalna goriva, što doprinosi ekonomičnosti i održivosti proizvodnje kod promjenjivih uvjeta na tržištu. Korištenjem oko 70 % obnovljivog energetskeg potencijala Bjelovarsko-bilogorske županije u obliku toplinske energije za racionalno zonsko toplovodno grijanje, moguće je izgraditi oko 60 ha klimata - plastenika. Kombiniranom proizvodnjom energije iz manjih kogeneracijskih postrojenja moguće je ostvariti oko 16 – 19 MWh električne i oko 52 – 61 MWh toplinske energije. U tom se slučaju toplinska energija može koristiti za toplifikacijske sustave oko 38 ha plastenika s očekivanim prinosom raznih vrsta povrća (tablica 4) i prihodom oko 21.000.000 €/ godišnje.

Prema europskim preporukama i empirijskim podacima u proizvodnji 1 MWh toplinske energije iz obnovljive biomase sudjeluje prosječno šest ljudi, a za cjelogodišnji hidroponski uzgoj povrća u klimatu – plasteniku površine 1 ha oko sedam do

deset djelatnika različitih struka i stečenih vještina. Povećanjem zaposlenosti za oko 700 djelatnika s godišnjim prihodom oko 30.000 €/djelatniku značajno bi se doprinijelo razvoju BBŽ-a i širenju prerađivačke djelatnosti u regiji.

Zaključak

Potrošnja i troškovi toplinske energije značajno utječu na prinos i ekonomičnost intenzivnog uzgoja povrća u plastenicima. Istaknuta je komplementarnost raspoloživih obnovljivih izvora energije s razvojem cjelogodišnje intenzivne proizvodnje povrća u plastenicima s kontroliranim mikroklimatskim i tehnološkim uvjetima. Korištenjem obnovljivih energetskeg potencijala (biomasa i/ili geotermalna energija) za toplifikaciju plastenika pri intenzivnom uzgoju povrća, troškovi energije su 3 – 5 puta manji u odnosu na konvencionalna goriva i smanjuje se emisija štetnih plinova u okolinu. Temeljem raspoloživog obnovljivog potencijala biomase i geotermalne energije u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji, uz proizvodnju električne moguće je korištenje toplinske energije za grijanje do oko 38 ha klimata – plastenika pri cjelogodišnjem uzgoju povrća. Potrebno je primijeniti racionalne zonske sustave grijanja plastenika s malim konvekcijskim učinkom izmjene topline i udjelom troškova pogonskog goriva u prihodu po 1 m² uzgojne površine ($\leq 10\%$). Predlažu se dodatna istraživanja izbora optimalne površine klimata – plastenika u odnosu na energetskeg učinkovitost, kakvoću biomase u ekonomičnom polumjeru dobave, odnosno pretvorbu toplinske energije iz geotermalnog izvora.

Literatura

- [1] Christersson, L.; Sennerby-Forsse, L.; Zsuffa, L. (1993), The role and Significants of Woody Biomass Plantations in Swedish Agriculture. *The Forestry Chronicle*, Vol. 69, No. 6, Švedska.
- [2] *Obnovljivi izvori energije* (2002). Skupina autora. Zagreb: Energetika marketing.
- [3] *Razvojna strategija Bjelovarsko-bilogorske županije 2011. - 2013.* (2010). Bjelovar: Bjelovarsko-bilogorska županija.
- [4] *Strategija gospodarskog razvoja grada Bjelovara 2011. - 2015.* (2010). Bjelovar: Grad Bjelovar.
- [5] *Statistički ljetopis* (2001, 2005, 2007). Zagreb: Državni zavod za statistiku.
- [6] *Zemljopisni školski atlas* (2000). Zagreb: Naklada Ljevak.
- [7] Penzar, B. i sur. (1996), *Meteorologija za korisnike*. Zagreb: HMD; Školska knjiga.
- [8] Čikić, A. (2008.), Dinamička stabilnost i ekonomičnost zonskog grijanja niskoakumulativnih agrotehnoških objekata. *21. međunarodni kongres o procesnoj industriji, Procesing 08*, Subotica 4. - 6. lipanj 2008.
- [9] Čikić, A. (2008), **Stabilnost grijanja niskoakumulativnih agrotehnoških objekata**, I. dio. *Ege*, 1(2008), str. 50 - 52.

- [10] Čikić, A. (2008), **Stabilnost grijanja niskoakumulativnih agrotehnoških objekata**, II. dio. *Ege*, 2(2008), str. 52 - 56.
- [11] <http://www.eihp.hr>
- [12] [http://www.sciencedirect.com\\geothermal heating](http://www.sciencedirect.com\\geothermal%20heating)
- [13] Dundović, J. (2008), *Iskorištavanje šumske biomase u Hrvatskoj - stanje i perspektive*. Međunarodno stručno savjetovanje Obnovljive energije u okviru projekta "Mittelstandsbüro Balkan", Hrvatske šume, Hrvatsko šumarsko društvo (HŠD), sekcija Hrvatska udruga za biomasu, HGK ŽK Varaždin, 25. - 27. veljača 2008.
- [14] Radaković, M. (2010), *Obnovljivi izvori energije i njihova ekonomska ocjena*. Beograd: AGM knjiga.
- [15] [http://www.sciencedirect.com\\greenhouse heating](http://www.sciencedirect.com\\greenhouse%20heating)
- [16] *Computerized Environmental Control in Greenhouse* (2005). London, 2005., 264 pages.
- [17] Nelson, P. V. (2006), *Greenhouse Operation and Management*, 6th Edition, New York, 2006., 692 pages.

Renewable Energy Sources Serving the Intensive Production of Green Food

Summary

The perennial intensive production of green food (fruit and vegetables), realised indoors, under controlled conditions, often with inadequate thermo-technical solutions, considerable consumption and high energy costs, is rather modest. The production cycle is limited to the warmer period when energy costs are lower, which reduces to major extent cost-effectiveness, yield quality, competitiveness and long-term presence on the market. The Bjelovar-Bilogora County and its neighbouring counties have at their disposal a major potential of renewable energy sources (biomass, geothermal energy), which are not directed towards the enhancement of production-related activities, in particular the intensive production of green food. The lack of exact research and the use of general assessments are often the cause of insufficient practical valuation of biomass and geothermal energy, as well as the possible contribution to cost-effective intensive production of green food. Research has been carried out regarding the availability of forest and plant biomass, wood residue in wood processing plants and geothermal potential in the Bjelovar-Bilogora County, usable for supplying the centralised and/or decentralised facilities (polythene greenhouses) for the intensive production of fruit and vegetables with energy. The sustainable cost-effective diameter of collecting, preparing and providing renewable biomass was analysed. The consumption and cost-effectiveness of thermal energy from diverse types of propellants, comparable to directly applicable renewable energy sources, were presented and analysed. By the means of presenting quantified values, the complementariness between the available energy sources and the development of the perennial intensive production of green food and other activities in the Bjelovar-Bilogora County was pointed out.

Keywords: Bjelovar-Bilogora County; biomass; geothermal energy; intensive cropping; green food; cost-effectiveness.

Doc. dr. sc. Ante Čikić
Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
acikic@vtsbj.hr

