

**Bibliid:** 0350-2953 (2011)37, 1: 45-54  
**UDK:** 338.312

Originalni naučni rad  
Original scientific paper

**ENERGETSKA PRODUKTIVNOST PROIZVODNJE SALATE NA OTVORENOM  
POLJU I U OBJEKTIMA ZAŠTIĆENOG PROSTORA RAZLIČITE  
KONSTRUKCIJE  
ENERGY EFFICIENCY OF THE LETTUCE OPEN FILED AND  
GREENHOUSE PRODUCTION**

Aleksandra Dimitrijević, **Milan Đević**, Rajko Miodragović, Zoran Mileusić<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Poljoprivredni fakultet, Beograd, Nemanjina 6, Republika Srbija.  
E-mail: [saskad@agrif.bg.ac.rs](mailto:saskad@agrif.bg.ac.rs)

**SAŽETAK**

Biljna proizvodnja u zaštićenom prostoru predstavlja granu poljoprivrede sa najvećom potrošnjom energije. Proizvođači su suočeni sa visokim troškovima pojedinih proizvodnih procesa, što predstavlja jedan od razloga potrebe pronalaženja optimalne kombinacije energetske inputa koja bi ovu proizvodnju učinila energetski efikasnijom. U ovom radu analiziran je energetski bilans proizvodnje salate na otvorenom polju i u objektima zaštićenog prostora različite konstrukcije. Utrošak energije praćen je u proizvodnji na otvorenom i u četiri tipa objekata zaštićenog prostora. Na bazi direktnih i indirektnih energetske inputa i energetske outputa određeni su specifični energetski input, energetski odnos i energetska produktivnost. Rezultati pokazuju da je najniža potrošnja energije po jedinici površine ostvarena u blok objektu sa dva bloka, 3,11 MJ/m<sup>2</sup>, dok je najviša vrednost utrošene energije zabeležena u proizvodnji na otvorenom polju, 7,99 MJ/m<sup>2</sup>. Najniži prinos ostvaren je u proizvodnji salate na otvorenom polju, 1,89 kg/m<sup>2</sup>, dok je najviši prinos ostvaren u blok objektu GH4, od 6,08 kg/m<sup>2</sup>. Najviši energetski odnos ostvaren je u blok objektu sa trinaest blokova, 0,85 a najniži u proizvodnji na otvorenom polju, 0,11. Jednačine regresije su ukazale na prirodu zavisnosti energetske bilansa sistema od izabrane konstrukcije objekta zaštićenog prostora.

**Ključne reči:** salata, otvoreno polje, tunel, blok objekti, energetska produktivnost.

**1. UVOD**

Tehnološko-tehnički sistem proizvodnje u zaštićenom prostoru predstavlja najintenzivniji oblik biljne poljoprivredne proizvodnje. U regionu Srbije, potrošnja energije u proizvodnji u zaštićenom prostoru je 15–20% viša u poređenju sa zemljama sa toplijom klimom. Razlog većeg utroška energije se može tražiti ne samo u klimatskim uslovima regiona, koje u poslednje dve godine karakterišu jako niske temperature tokom zimskog perioda i visok intenzitet sunčevog zračenja tokom letnjih meseci, već i u izboru gajene biljke, gde i dalje dominiraju proizvodnja salate, paradajza, paprike i krastavaca, zatim tipa konstrukcije objekta zaštićenog prostora, pokrivenog materijala, tehnologije gajenja, sezone gajenja i u, za sada još uvek niskom nivou znanja potencijalnih proizvođača o celokupnom

tehnološko–tehničkom sistemu proizvodnje u kontrolisanim uslovima. Visoka potrošnja energije je posebno izražena danas, kada se ovaj sistem proizvodnje zasniva u blok objektima čija proizvodna površina može obuhvatiti i više hektara i gde proizvodna tehnologija obuhvata gajenje biljaka u inertnim supstratima.

Cilj ovog rada je bilo utvrđivanje energetskog bilansa zimske proizvodnje salate na otvorenom polju i u objektima zaštićenog prostora različite konstrukcije kako bi se utvrdilo da li i kako tehnologija gajenja i konstrukcija objekta zaštićenog prostora utiču na energetsku efikasnost proizvodnog sistema.

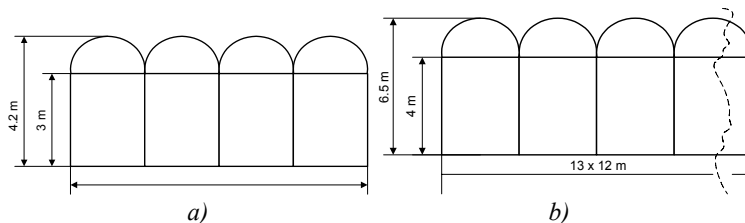
## 2. MATERIAL I METOD

Uticao tipa konstrukcije i tehnologije gajenja na energetsku efikasnost zimske proizvodnje salate praćeni su u proizvodnji na otvorenom polju i u četiri tipa objekta zaštićenog prostora koji su podrazumevali tunel, blok objekat sa dva bloka, blok objekat sa četiri bloka i blok objekat sa trinaest blokova, dimenzija 13 x 12 m x 67,5 m.

Objekat GH1 predstavlja visoki tunel dimenzija 5,5 x 24 m prekriven jednostrukom PE folijom debljine 180  $\mu\text{m}$  sa dodatkom UV stabilizatora i IC blokirajućih elemenata. Visina objekta iznosi 3,20 m. Proizvodna površina iznosi 132  $\text{m}^2$  dok je odnos površine pokrivenog materijala i proizvodne površine 1,91. Specifična zapremina objekta iznosi 12,56  $\text{m}^3/\text{m}$ .

Objekat sa dva bloka, GH2, pokriven je dvostrukom PE folijom. Debljina unutrašnje folije iznosi 50  $\mu\text{m}$  a spoljašnje 180  $\mu\text{m}$ . Širina objekta je 2 x 10,5 m a dužina 250 m. Visina objekta do oluka je 3,40 m a ukupna 4,8 m. Proizvodna površina objekta iznosi 5250  $\text{m}^2$  dok je odnos površine pokrivenog materijala i proizvodne površine 1,62. Specifična zapremina objekta iznosi 37,92  $\text{m}^3/\text{m}$ .

Objekat sa četiri bloka, GH3, pokriven je dvostrukom PE UV AF folijom (sl. 1.a). Debljina unutrašnje folije je 20  $\mu\text{m}$  a spoljašnje 180  $\mu\text{m}$ . Širina objekta je 4 x 8 m a dužina 51 m. Proizvodna površina objekta iznosi 1632  $\text{m}^2$  dok je odnos površine pokrivenog materijala i proizvodne površine 1,44. Specifična zapremina objekta iznosi 126,14  $\text{m}^3/\text{m}$ .



b)Sl. 1. Blok objekti sa četiri i trinaest blokova, GH3 i GH4

Fig. 1. Multi-span greenhouses with four and thirteen bays, GH3 and GH4.

Objekat sa trinaest blokova, GH4, pokriven je dvostrukom PE UV AF folijom (sl. 1.b). Debljina unutrašnje folije je 20  $\mu\text{m}$  a spoljašnje 180  $\mu\text{m}$ . Širina objekta iznosi 13 x 12 m, dok je dužina objekta 67,5 m. Proizvodna površina objekta iznosi 10530  $\text{m}^2$  a odnos površine pokrivenog materijala i proizvodne površine iznosi 1,3. Specifična zapremina objekta iznosi 930,15  $\text{m}^3/\text{m}$ .

Ispitivanja su izvedena na imanju Srednje Poljoprivredne škole „Josif Pančić“ u Pančevu i na porodičnim imanjima Kovačević Slaviše u Kočinom Selu, Đukić Lazara u Gospođincima i Žužulj Koste u Pančevu. Proizvodnja salate praćena je u sezoni 2008/09.

U postupku energetske analize korišćena je metodologija data od strane Ortiz–Cañavate–a and Hernanz–a, (1999) a koja predviđa određivanje eneretskog inputa i eneretskog outputa, bazirano na izmerenim vrednostima utrošenog materijala i ostvarenog prinosa i datim energetskim ekvivalentima tj. konverzionim faktorima. Na osnovu dobijenih vrednosti određeni su specifični energetski input, energetski odnos i energetska produktivnost.

Salata je na otvorenom polju i u svim objektima gajena na belo/crnoj malč foliji debljine 25  $\mu\text{m}$  širine 2 m sa već formiranim otvorima za ulaganje rasada. Sadjna je obavljena ručno. Gustina useva je iznosila 20 biljaka po  $\text{m}^2$ . Za ispitivanje uticaja tipa konstrukcije na energetski bilans proizvodnje korišćeni su metodi korelaciono–regresione analize.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Jedan od parametara koji može poslužiti za upoređenje ovih proizvodnih tehnologija je specifična potrošnja energije po jedinici proizvodne površine. Ovaj parametar je pokazao različite vrednosti za različite tipove konstrukcija objekata zaštićenog prostora i za različite tehnologije gajenja.

Tab. 1. Potrošnja energije u zimskoj proizvodnji salate na otvorenom polju i u tunelu  
Tab. 1. Energy consumption in lettuce open filed and tunnel production

	Otvoreno polje-Open filed		Tunel-Tunnel structure, GH1	
	Količina-Quantity	Energija-Energy	Količina-Quantity	Energija-Energy
Dizel-Diesel (l)	1,80	86,04	1,40	66,92
Benzin-Fuel, (l)	9,00	416,70		
El. Energija-Electricity (kWh)	173,86	2086,32	15,30	55,08
Azot-Nitrogen (kg)	0,01	0,79	0,13	10,23
Fosfor-Phosphorus (kg)			0,13	2,26
Kalijum-Potassium (kg)	0,01	0,14	0,26	3,56
Pesticidi-Pesticides (kg)			0,002	0,39
Fungicidi-Fungicides (kg)	75,00	6900,00	1,50	138,00
Insekticidi-Insecticides (kg)	0,03	5,37		
Voda-Water ( $\text{m}^3$ )	150,00	1350,00	2,01	18,09
Tehnički sistemi-Technical systems (h)	1,47	19,20	0,50	6,53
Gajbice, komada-Wooden boxes (pcs)			60,00	18,00
Ljudski rad-Labor (h)	575,00	1127,00	52,17	102,25
Ukupno- Total (MJ)		11991,56		421,33
Ukupno-Total ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )		7,99		3,19

U proizvodnji na otvorenom polju zabeležena je značajno viša potrošnja energije koja je iznosila 7,99 MJ/m<sup>2</sup>. Najniži utrošak energije zabeležen je za dvobrodni plastenik i iznosio je 3,11 MJ/m<sup>2</sup>. U ostalim objektima, vrednost utrošene energije je bila 1,3 -6,1% viša. Kada se pogleda struktura utrošene energije u proizvodnji salate (tab. 2), može se reći da fungicidi imaju najviše učešće u ukupnom energetsom bilansu u proizvodnji na otvorenom polju (57,54%) i u objektu tunel tipa (32,9%), dok je u blok objektu sa dva bloka najviše zatupljena električna energija sa 27,5%.

Tab. 2. Potrošnja energije u zimskoj proizvodnji salate u blok objektima

Tab. 2. Energy consumption in greenhouse lettuce production

	Blok objekat-Gutter-connected structure, GH2		Blok objekat-Multi-span structure, GH3		Blok objekat-Multi-span structure, GH4	
	Količina-Quantity	Energija-Energy	Količina-Quantity	Energija-Energy	Količina-Quantity	Energija-Energy
Dizel-Diesel (l)	70,00	3346,00	10,61	507,16	48,58	2322,12
Benzin-Fuel (l)						
El. Energija-Electricity (kWh)	1246,04	4485,74	387,34	1394,42	2499,19	8997,08
Azot-Nitrogen (kg)	12,38	974,31	7,77	611,50	50,53	3976,71
Fosfor-Phosphorus (kg)	3,75	65,25	15,66	272,48	101,07	1758,62
Kalijum-Potassium (kg)	24,38	334,01	27,65	378,81	178,63	2447,23
Pesticidi-Pesticides (kg)	8,35	1661,65				
Fungicidi-Fungicides (kg)	2,00	184,00	0,24	22,08	1,55	142,60
Insekticidi-Insecticides, (kg)						
Voda-Water (m <sup>3</sup> )	90,00	810,00	5,38	48,42	34,71	312,39
Tehnički sistemi-Technical systems (h)	3,87	50,54	3,38	44,14	21,55	281,44
Gajbice, komada-Wooden boxes (pcs)	3934,00	1180,20	1402,00	420,60	9755,00	2926,50
Ljudski rad-Labor (h)	1643,87	3221,99	736,00	1442,56	5888,00	11540,48
Ukupno-Total (MJ)		16313,68		5142,17		34705,18
Ukupno-Total (MJ/m <sup>2</sup> )		3,11		3,15		3,30

U blok objektima GH3 i GH4 najviši udeo u energetsom bilansu ima ljudski rad (28,1% i 33,25%). Visoko učešće fungicida u proizvodnji na otvorenom polju i u objektu tunel tipa se može povezati sa njihovom energetsom intenzivnošću (92 MJ/kg) kao i sa visokom relativnom vlažnošću vazduha u objektu tunel tipa koja nije regulisana na adekvatan način provetranjem radi održavanja optimalne temperature u objektu, te je stvorila uslove pogodne za razvoj truleži i povećanu potrebu za hemijskim zaštitnim sredstvima.

Tab. 3. Udeo pojedinih energetske inputa u energetske bilansu proizvodnje na otvorenom polju i u tunelu

Tab. 3. The share of energy input in total energy consumption in the open filed and in tunnel

Učešće % Share %	Otvoreno polje-Open field	Tunel GH1-Tunnel structure
Dizel-Diesel	0,72	15,90
Benzin-Fuel	3,47	
Električna energija-Electricity	17,40	13,10
Slama-Straw		
Azot-Nitrogen	0,01	2,43
Fosfor-Phosphorus		0,54
Kalijum-Potassium	0,01	0,85
Pesticidi-Pesticides		0,09
Fungicidi-Fungicides	57,54	32,80
Insekticidi-Insecticides	0,03	
Voda-Water	11,26	4,29
Tehnički sistemi-Technical systems	0,16	1,55
Gajbice-Wooden boxes		4,27
Ljudski rad-Labor	9,40	24,30
Ukupno-Total	100	100

U blok objektu GH2 najveći udeo u ukupnom energetske bilansu ima električna energija. Ovo se može povezati sa izbalansiranim ishranom koja je snizila učešće hraniva u ukupnom energetske bilansu te su, tako, električna energija i dizel gorivo ostali sa najvećim učešćem u ukupnom energetske bilansu. U blok objektima GH3 i GH4 prilično je ujednačeno učešće ljudskog rada, električne energije i hraniva, tako da ove tri komponente zajedno čine 79,77% (GH3) i 82,75% (GH4) u ukupnom energetske bilansu proizvodnje salate.

Tab. 4. Udeo pojedinih energetske inputa u energetske bilansu proizvodnje u blok objektima

Tab. 4. The share of energy input in total greenhouse energy consumption

Učešće-Share (%)	Blok GH2-Gutter- connected structure	Blok GH3-Multi- span greenhouse	Blok GH4- Multi-span greenhouse
Dizel-Diesel	20,51	9,86	6,69
Električna energija-Electricity	27,50	27,10	25,92
Azot-Nitrogen	5,97	11,90	11,46
Fosfor-Phosphorus	0,40	5,30	5,07
Kalijum-Potassium	2,04	7,37	7,05
Pesticidi-Pesticides	10,19		
Fungicidi-Fungicides	1,12	0,43	0,41
Voda-Water	4,97	0,94	0,90
Tehnički sistemi-Technical systems	0,31	0,86	0,81
Gajbice-Wooden boxes	7,24	8,18	8,43
Ljudski rad-Labor	19,75	28,10	33,25
Ukupno-Total	100	100	100

Ako se posmatra proizvodnja salate (tab. 5) može se zaključiti da je najniži prinos ostvaren u proizvodnji na otvorenom polju, 1,89 kg/m<sup>2</sup>, dok je najviši prinos ostvaren u blok objektu GH4, od 6,08 kg/m<sup>2</sup>. Ako se uporedi proizvodnja salate u objektima zaštićenog prostora može se reći da je u tunelu ostvaren najniži energetska input koji je 45,71% niži u poređenju sa blok objektom GH4 gde je zabeležen energetska output od 2,8 MJ/m<sup>2</sup>. Ako se uporede samo blok objekti razlike su bile nešto manje. Blok objekat GH2 je imao 18,93% dok blok objekat GH3 imao 10,71% niži energetska output u poređenju sa blok objektom GH4.

Tab. 5 Prinos salate i energetska output  
Tab. 5. Yield and energy output of the lettuce production

	Prinos- Yield (kg)	Prinos- Yield (kg/m <sup>2</sup> )	Energetska output- Energy output (MJ)	Energetska output- Energy output (MJ/m <sup>2</sup> )
Otvoreno polje- Open filed	2832,00	1,89	1302,72	0,87
Tunel, Tunnel structure (GH1)	435,00	3,30	200,10	1,52
Blok objekat, Gutter-connected structure (GH2)	25920,00	4,94	11923,20	2,27
Blok objekat- Multi-span structure (GH3)	8874,00	5,44	4082,00	2,50
Blok objekat- Multi-span structure (GH4)	64041,83	6,08	29459,24	2,80

Na osnovu energetska inputa i outputa utvrđeni su osnovni parametri za energetska analizu (tab. 6). Može se videti da dobijene vrednosti energetska parametara imaju različite vrednosti za različite tehnologije gajenja i različite tipove konstrukcije objekata zaštićenog prostora.

Vrednosti energetska parametara u proizvodnji salate i paradajza na otvorenom polju i u objektima zaštićenog prostora pokazale su da postoje izvesne razlike. Ako se pogledaju vrednosti energetska inputa (tab. 6) može da se vidi da je najviša vrednost zabeležena u proizvodnji salate na otvorenom polju, 4,23 MJ/kg dok je najniža vrednost zabeležena takođe u proizvodnji salate ali u blok objektu GH4, 0,54 MJ/kg.

Ako se posmatraju vrednosti specifičnog energetska inputa samo u objektima zaštićenog prostora može se videti je najviše energije po kilogramu proizvoda utrošeno u objektu tunel tipa (0,97 MJ/kg) dok je najmanja količina energije utrošena u blok objektu GH4 (0,54 MJ/kg). Može se zaključiti da je u blok objektima potrošnja energije po kilogramu proizvoda bila 35,05 – 44,33% niža u poređenju sa objektom tunel tipa.

Vrednost energetska odnosa je, takođe, pokazala različite vrednosti za različite tehnologije gajenja i različite proizvodne objekte. Tokom proizvodnje salate, najviša vrednost ovog parametra zabeležena je tokom proizvodnje u blok objektu GH4, 0,85, dok je najniža vrednost zabeležena tokom proizvodnje u proizvodnji na otvorenom polju, 0,11.

Tab. 6. Parametri za statističku analizu  
Tab. 6. Parameters for the energy analysis

Tehnologija gajenja i tip objekta, Production technology and construction	Površina pokrivenog materijala / proizvodna površina, Covering material production surface ratio	Specifični energetski input, Specific energy input, MJ/kg	Energetski odnos, Energy ratio	Energetska produktivnost, Energy productivity kg/MJ
Otvoreno polje, Open field		4,23	0,11	0,24
Tunel, Tunnel structure, GH1	1,91	0,97	0,47	1,03
Blok objekat, Gutter-connected structure, GH2	1,62	0,63	0,73	1,59
Blok objekat, Multi-span structure, GH3	1,44	0,58	0,79	1,73
Blok objekat, Multi-span structure, GH4	1,30	0,54	0,85	1,85

Ako se posmatraju samo objekti zaštićenog prostora može se zaključiti da se u objektima blok tipa i višebrodnim plastenicima može ostvariti 55,32 – 80,85% viši energetski odnos u poređenju sa objektom tunel tipa.

Ostvarena energetska produktivnost je bila različita za različite tehnologije gajenja i različite tipove konstrukcije objekata zaštićenog prostora. Najviša vrednost ovog parametra ostvarena u proizvodnji salate u objektu GH4 (1,85 MJ/kg) dok je najniža vrednost ostvarena u proizvodnji salate ali na otvorenom polju (0,24 MJ/kg). Ukoliko se uporede samo objekti zaštićenog prostora najniža vrednost energetske produktivnosti zabeležena je nakon proizvodnje u objektu tunel tipa (1,03 kg/MJ) dok je najviša vrednost zabeležena u blok objektu GH4 (1,85 kg/MJ). U proseku, energetska produktivnost u blok objektima je bila za 54,37 – 79,61% viša u poređenju sa objektom tunel tipa. Ovo navodi na zaključak da je region Srbije pogodan za zimsku proizvodnju salate obzirom da je vrednost energetskog odnosa u severnoj Evropi 0,002 (Enoch, 1978).

Detaljnija analiza uticaj oblika konstrukcije data je preko odnosa površine pokrivenog materijala i proizvodne površine jer se u literaturi (Nelson, 2003, Tantau i Rath, 2010, Hanan, 1998) navodi da se kod objekata sa nižom vrednošću ovog odnosa može očekivati niža potrošnja energije za zagrevanje i, samim tim viša energetska efikasnost. Statistička, korelaciono-regresiona analiza pokazala je da između specifičnog energetskog inputa u proizvodnji salate i tipa konstrukcije objekta zaštićenog prostora postoji jaka zavisnost (92,4%) koja se može prikazati regresionom jednačinom 1:

$$y = -0,35 + 0,65 x \quad (1)$$

Jednačina upućuje na zaključak da se sa povećanjem odnosa površine pokrivenog materijala i proizvodne površine povećava i energetski input po jedinici proizvodnje. Obzirom da je koeficijent b označen kao "značajan", rezultati ukazuju da je povećanje specifičnog energetskog inputa, u proizvodnji salate, od 0,65 MJ/kg, nastalo usled promene tipa konstrukcije, statistički značajno.

Korelaciono-regresiona analiza uticaja tipa konstrukcije na energetske odnos tokom proizvodnje salate, pokazala je da između ova dva parametra postoji jaka zavisnost (97%) dok je značajnost koeficijenta korelacije ukazala da je regresioni model značajan i da se može iskazati sledećom jednačinom:

$$y = 1,67 - 0,57x \quad (2)$$

Na osnovu jednačine se može potvrditi prethodno zapažanje da se vrednost energetskog odnosa povećava sa smanjenjem odnosa površine pokrivnog materijala i proizvodne površine.

Primena korelaciono-regresione analize za utvrđivanje zavisnosti energetske produktivnosti, u proizvodnji salate, od tipa konstrukcije objekta zaštićenog prostora pokazala je da između ova dva parametra postoji jaka zavisnost (97%) što potvrđuje i koeficijent korelacije koji je označen kao značajan. Jednačina regresije (3) potvrđuje ranije uočenu tendenciju smanjenja energetske produktivnosti sa povećanjem odnosa površine pokrivnog materijala i proizvodne površine.

$$y = 3,5 - 1,23x \quad (3)$$

Obzirom na date rezultate, može se potvrditi pretpostavka da energetske bilans proizvodnog sistema salate zavisi od tehnologije gajenja i tipa konstrukcije objekta zaštićenog prostora. Rezultati takođe ukazuju da se korišćenjem blok objekata može smanjiti potrošnja energije po jedinici proizvodnje, ostvariti viši prinosi, samim tim poboljšati energetske odnos i povećati energetska produktivnost.

#### 4. ZAKLJUČAK

U proizvodnji salate na otvorenom polju uloženo je više energije nego u proizvodnju u zaštićenom prostoru. Na otvorenom polju je potrošnja energije po jedinici proizvodne površine iznosila 7,99 MJ/m<sup>2</sup> dok je u objektima zaštićenog prostora bila ujednačena i, u proseku, iznosila 3,19 MJ/m<sup>2</sup>. Najniži prinos ostvaren je u proizvodnji salate na otvorenom polju, 1,89 kg/m<sup>2</sup>, dok je najviši prinos ostvaren u blok objektu GH4, od 6,08 kg/m<sup>2</sup>.

Analiza uticaja tipa konstrukcije objekata zaštićenog prostora na energetske bilans sistema, pokazala je da se izborom tipa objekta zaštićenog prostora može uticati na specifični energetske input, energetske odnos i energetske produktivnost kako u proizvodnji salate tako i u proizvodnji paradajza. Dobijene jednačine regresije ukazuju na modele zavisnosti energetske parametara od izabranog tipa konstrukcije koji je predstavljen odnosom površine pokrivnog materijala i proizvodne površine. Obzirom na prethodne konstatacije, može se potvrditi pretpostavka da energetske bilans proizvodnog sistema salate zavisi od tipa konstrukcije objekta zaštićenog prostora. Rezultati takođe ukazuju da se korišćenjem blok objekata može smanjiti potrošnja energije po jedinici proizvodnje, ostvariti viši prinosi, samim tim poboljšati energetske odnos i povećati energetske produktivnost.

#### 5. LITERATURA

- [1] Aggarwal G. C. (1995) Fertilizer and irrigation management for energy conservation in crop production. *Energy*, 20: 771-776.
- [2] Babić, M. i Babić Ljiljana. (2003) Proizvodnja u zaštićenom prostoru na bazi biomase kao energenta, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 29 (3): 97-105.



- [3] Badger P. C. (1999) Solid Fuels, CIGR Handbook, 3: 248-288.
- [4] Brkić, M. i Škrbić, N. (1999) Zagrevanje plastenika i staklenika, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 25 (3): 102-111.
- [5] Canakci, M., Akinci, I. (2006) Energy use pattern analysis of greenhouse vegetable production, *Energy*, 31: 1243-1256.
- [6] Damjanović, M., Zdravković J, Zdravković, M., Marković, Ž., Zečević, B., Dorđević, R. (2005) Rana i kasna proizvodnja povrća u plastenicima sa dopunskim dogrevanjem, *Revija agronomiska saznanja*, 15 (3): 51-55.
- [7] Dimitrijević, Aleksandra i Đević, M. (2007) Potrošnja energije u objektima zaštićenog prostora, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 33 (3-4): 179-186.
- [8] Dimitrijević M., Đević M., Boretos M., Miodragović R. (1999) Design and Control Systems in Greenhouses, *Technique Towards the 3<sup>rd</sup> Milenium*; Haifa, Israel.
- [9] Djevic, M., Dimitrijevic, A. (2009) Energy consumption for different greenhouse construction. *Energy*, 34 (9): 1325-1331.
- [10] Djević M., Dimitrijevic A. (2004) Greenhouse energy consumption and energy efficiency, *Energy efficiency and agricultural engineering*, International conference, Russe, Bulgaria (<http://www.ru.acad.bg/baer/BugGHRad.pdf>).
- [11] Enoch H.Z. (1978) A theory for optimalization of primary production in protected cultivation, I, Influence of aerial environment upon primary plant production, *Acta Hort.*, 76:31-44.
- [12] Hanan J.J. (1998) Greenhouses. *Advanced Technology for Protected Cultivation*, CRC Press.
- [13] Hatirli S. A., Ozkan B., Fert C. (2006) Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production, *Renewable Energy*, 31: 427-438.
- [14] Ilin, Ž., Marković, V., Mišković, A., Vujasinović, V. (2003) Proizvodnja rasada paradajza, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 29 (3):69-75.
- [15] Janić, T. Brkić, M., Bajkin, A. (2005) Proračun potrebne količine toplotne energije za zagrevanje plastenika od 0,5 ha u realnim uslovima. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 31 (4):181-196.
- [16] Khan M. A., Singh G.(1996) Energy inputs and crop production in Western Pakistan. *Energy* 21: 45-53.
- [17] Lazić Branka i Ilin, Ž. (1999) Stanje i pravci razvoja proizvodnje u zaštićenom prostoru, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 25 (3):91-101.
- [18] Mani I., Kmar P., Panwar J. S., Kant K. (2007) Variation in energy consumption in production of wheat-maize with varying altitudes in hilly region of Himachal Pradesh, India. *Energy*, 32: 2336-2339.
- [19] Momirović, N. (2003) Škola gajenja povrća, *Specijalno Izdanje, Poljoprivredni list*, 50-53.
- [20] Nelson, P. (2003) *Greenhouse Operation and Management*, 6<sup>th</sup> edition.
- [21] Ortiz-Cañavate J., Hernanz J.L. (1999) Energy Analysis and Saving in Energy for Biological Systems, CIGR Handbook, 3: 13-37.
- [22] Ozkan B., Fert C., Karadeniz F. (2007) Energy and cost analysis for greenhouse and open-filed grape production, *Energy*, 32: 1500-1504.
- [23] Sanders D.C. Lettuce Production, NC State University - Horticulture Information Leaflets.
- [24] Sethi V. P., Sharma S. K. (2007) Greenhouse heating and cooling using aquifer water. *Energy* 32:1414-1421.
- [25] Singh H., Singh A. K., Kushwaha H. L. (2007) Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy* 32:1848-1854.
- [26] Stevens A. B., Stevens S. A., Albrecht M. L., Karen I. B. (1994) Starting a Greenhouse Bussines. Cooperative Extension Service, Kansas State University Manhattan, Kansas.
- [27] Storck, H. (1978) Towards an Economic of Energy in Horticulture, *Acta Hort.* 76:15-30.

- [28] Tabatabaefar A., Emamzadeh H., Ghasemi Varnamkhasti M., Rahimizadeh R., Karimi M. (2009) Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy* 34: 41–45.

### ENERGY EFFICIENCY OF THE LETTUCE OPEN FILED AND GREENHOUSE PRODUCTION

Aleksandra Dimitrijević, *Milan Đević*, Rajko Miodragović, Zoran Mileusnić  
Faculty of Agriculture, Belgrade, Nemanjina 6, Republic of Serbia  
E-mail: saskad@agrif.bg.ac.rs

#### SUMMARY

Greenhouse production is still among the most energy-consuming branches of agriculture. Producers are faced with high cost of the operations involved in greenhouse production processes (climate control, fertilizing, irrigation). This is the reason why an optimal combination of energy inputs that will make this production more energy efficient, needs to be found. In this paper the influence of the production technology and greenhouse construction on energy efficiency in winter lettuce production was estimated for different double plastic covered greenhouses in Serbia region. In order to see whether the greenhouse structure influences energy consumption, energy inputs were estimated for lettuce production in the open filed and in four different greenhouse structures (a tunnel and gutter connected structure and two multi-span greenhouses). On the basis of lettuce production output and the energy input, specific energy input, energy output-input ratio and energy productivity were estimated. Results show that the lowest energy consumption was obtained for gutter connected greenhouse with two bays, 3.11 MJ/m<sup>2</sup>. The highest energy consumption was measured for the open filed lettuce production, 7.99 MJ/m<sup>2</sup>. The lowest lettuce yield was measured in the open filed production (1.89 kg/m<sup>2</sup>) and the highest in the multi-span greenhouse, GH4, (6.08 kg/m<sup>2</sup>). The highest value for output-input ratio was calculated for the multi-span greenhouse with thirteen bays, 0.85 and the lowest for the open filed production, 0.11. Regression equations show the nature of the greenhouse structure influence on these parameters.

**Key words:** lettuce, open filed, tunnel structure, multi-span greenhouses, energy productivity.

Rezultati istraživačkog rada nastali su zahvaljujući finansiranju Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, Projekat "Unapređenje i očuvanje poljoprivrednih resursa u funkciji racionalnog korišćenja energije i kvaliteta poljoprivredne proizvodnje".

Primljeno: 28. 12. 2010.

Prihvaćeno: 09. 02. 2011.