

UDK: 631.23

## UTICAJ POKRIVNOG MATERIJALA NA POTROŠNJU ENERGIJE U OBJEKTIMA ZAŠTIĆENOG PROSTORA TUNEL TIPa

Milan Đević, Aleksandra Dimitrijević

*Poljoprivredni fakultet - Beograd*

**Sadržaj:** Proizvodnja u zaštićenom prostoru se, u Srbiji, dominantno odvija u objektima tunel tipa pokrivenim jednostrukom ili dvostrukom folijom. Razlog tome je samo tržište pokrivnih materijala i konstrukcije koje nudi gotova tehnička rešenja poluvisokih i visokih tunela, sada već ustaljenih dimenzija. Proizvođači ulaze u ovaj sistem sofisticirane biljne proizvodnje sa nedovoljno informacija o energetske efikasnosti a samim tim i ekonomskoj opravdanosti ulaganja u određeni tip objekta. Najveći problem kod proizvodnje u zaštićenom prostoru je proizvodnja izvan sezone tj. u zimskom periodu. Tada karakteristike materijala i konstrukcije pokazuju sve svoje prednosti i nedostatke.

Cilj istraživanja je utvrđivanje energetske efikasnosti proizvodnje zelene salate u zaštićenom prostoru preko energetske inputa varijanti tehnološko-tehničkih proizvodnih sistema za objekte tunel tipa pokriveno jednostrukom i dvostrukom folijom. Rezultati ukazuju da najvišu specifičnu potrošnju energije imaju objekti tunel tipa pokriveni jednostrukom folijom sa najmanjom proizvodnom površinom a da viši stepen iskorišćenja energije imaju tuneli veće specifične zapremine po jedinici dužine, pokriveni dvostrukom folijom.

**Ključne reči:** *energija, zaštićen prostor, tuneli, energetske inputi, energetske output, stepen iskorišćenja energije.*

### UVOD

Proizvodnja u zaštićenom prostoru predstavlja jednu od grana poljoprivrede kojoj se posvećuje sve veća pažnja. Većina postavljenih pitanja i nedoumica oko ovog tehnološko-tehničkog sistema biljne proizvodnje svodi se na intenzivnost i to u smislu potrošnje energije (kako je smanjiti) i u smislu proizvodnje (kako povećati prinos i kvalitet proizvoda). Da bi se odgovorilo na ovo i na mnogobrojna druga pitanja potrebna je detaljna analiza ovog tehnološko-tehničkog sistema proizvodnje koji je po svim svojim karakteristikama veoma specifičan u poređenju sa tehnološko-tehničkim

sistemom proizvodnje na otvorenom polju. Kao rezultat stalnih poboljšanja dobija se visokointenzivna proizvodnja moguća tokom cele godine. Sa druge strane stalna poboljšanja rezultuju proizvodnjom sa sve većim utroškom energije i sve slabijom energetsom efikasnošću.

Za adekvatnu analizu date problematike potrebno je krenuti od prvobitne ideje o proizvodnji u zaštićenom prostoru, definisati cilj ovakvog načina proizvodnje i analizirati posledice njegove primene.

Cilj ovog rada je analiza potrošnje energije u objektima tunel tipa u zimskoj proizvodnji salate, za klimatske uslove Srbije.

## MATERIJAL I METOD

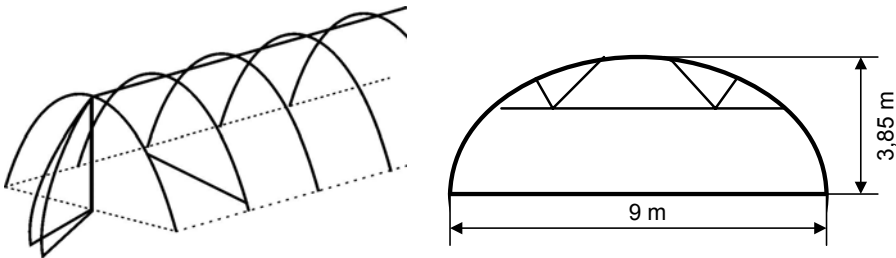
Istraživanje je obuhvatilo utvrđivanje energetske parametara varijanti tehnološko-tehničkih sistema proizvodnje salate u dva modela konstrukcije objekta, sa različitim varijantama pokrivnog materijala i sa nastiranjem zemljišta malč folijom.

Ispitivanje je obavljeno na privatnom imanju u Gospodincima kod Novog Sada. Proizvodnja salate na ovom imanju se u sezoni 2003–2004. godine odvijala u objektima pokrivenim plastikom i to pojedinačnim i blok. Za ispitivanje su odabrana dva objekta tunel tipa različitih dimenzija pokrivena jednostrukom i dvostrukom PE folijom (sl. 1 i 2). Proizvodnja salate je praćena od sadnje salate na stalno mesto u objektima do ubiranja u periodu od 29.10.2003. god. do 24.02.2004. godine. Radi određivanja energetske efikasnosti navedene proizvodnje utvrđene su:

- temperatura unutar i izvan objekta,
- energija sunčevog zračenja,
- energetske inputi u proizvodnji salate (direktni, indirektni) i
- energetske output (prinos).

U postupku energetske analize korišćena je metodologija [3, 12] koja predviđa određivanje energetske inputa i energetske outputa, bazirano na izmerenim vrednostima utrošenog materijala i ostvarenog prinosa i datim energetske ekvivalentima.

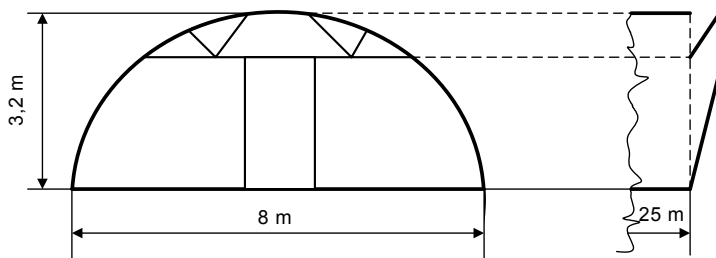
Objekat S1 predstavlja visoki tunel dimenzija 9 x 58 m prekriven jednostrukom troslojnom PE folijom debljine 180  $\mu\text{m}$ . Folija je sa dodatkom UV stabilizatora i IC blokirajućih elemenata. Opterećenje koje može da izdrži iznosi 20  $\text{kg/m}^2$  i brzinu vetra od 150  $\text{km/h}$ . Konstrukciju objekta čine metalne cevi prečnika 50 mm. Visina objekta iznosi 3,85 m. Tokom proizvodnje salate korišćena je belo/crna malč folija debljine 25  $\mu\text{m}$ .



Sl. 1. Oblik konstrukcije visokih tunela S1 i S2

Objekat S2 predstavlja visoki tunel dimenzija 9 x 58 m prekriven dvostrukom troslojnom PE folijom debljine 180  $\mu\text{m}$ . Širina folije iznosi 13 m. Folija je sa dodatkom UV stabilizatora i IC blokirajućih elemenata. Opterećenje koje folija može da izdrži iznosi 20  $\text{kg/m}^2$  i brzinu vetra od 150  $\text{km/h}$ . Konstrukciju objekta čine metalne cevi prečnika 50 mm. Visina objekta takođe iznosi 3,85 m. Tokom proizvodnje salate korišćena je belo/crna malč folija debljine 25  $\mu\text{m}$ .

Objekat S3 predstavlja visoki tunel dimenzija 8 x 25 m prekriven jednostrukom PE folijom debljine 180  $\mu\text{m}$  sa dodatkom UV stabilizatora i IC blokirajućih elemenata.



Sl. 2. Konstrukcija objekata tunel tipa S3 i S4

Opterećenje koje folija može da izdrži iznosi 20  $\text{kg/m}^2$  i brzinu vetra od 150  $\text{km/h}$ . Konstrukciju objekta čine metalne cevi prečnika 50 mm. Visina objekta iznosi 3,20 m. U objektu je postavljena belo/crna malč folija debljine 25  $\mu\text{m}$ .

Objekat S4 predstavlja visoki tunel istih dimenzija kao objekat S3 ali pokriven dvostrukom folijom istih karakteristika kao kod objekta S3.

Za pravilnu analizu definisani su određeni mikroklimatski parametri tokom proizvodnog ciklusa salate. U tu svrhu izmerene su temperature izvan objekata i energija sunčevog zračenja. Od opreme su korišćeni datalogeri WatchDog 450 u kombinaciji sa dva piranometra, WatchDog150 i WatchDog110 [17].

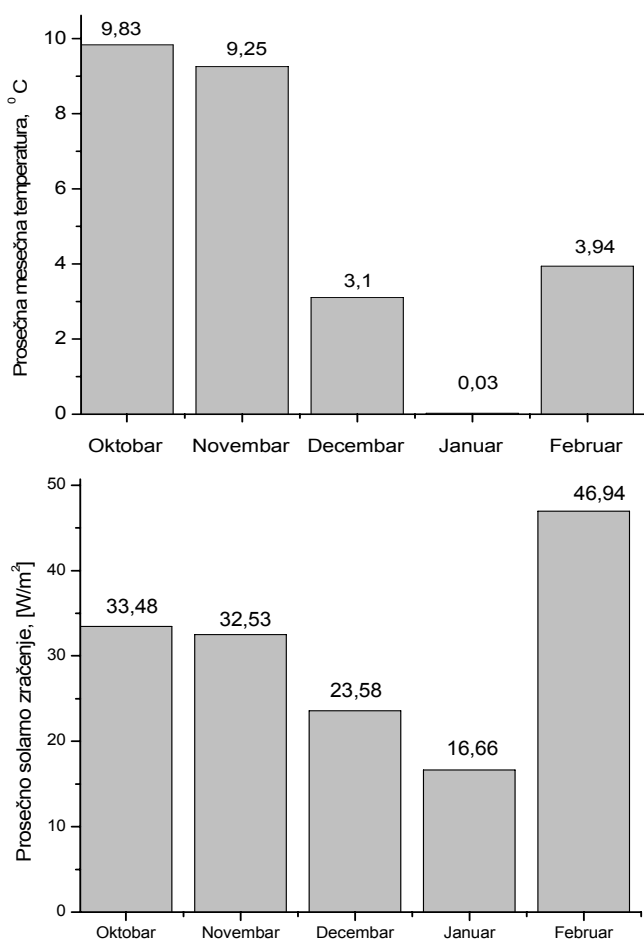
## REZULTATI I DISKUSIJA

Zelena salate je u svim objektima gajena na belo/crnoj malč foliji debljine 25  $\mu\text{m}$  širine 2 m sa već formiranim otvorima za ulaganje rasada. Sadnja je obavljena ručno. Gustina useva je iznosila 20 biljaka po  $\text{m}^2$ . Proizvodna tehnologija obuhvata predsetvenu pripremu, startnu aplikaciju hraniva, postavljanje malč folije, navodnjavanje, hemijsku zaštitu bilja i ubiranje. Za svaku operaciju praćeno je angažovanje tehničkih sistema, utrošak materijala, hemijskih sredstava i ljudskog rada.

### Rezultati merenja klimatskih parametara

Za potrebe istraživanja merene su temperatura vazduha i zemljišta i solarno zračenje izvan objekta. Temperatura vazduha i solarno zračenje mereni su na visini od 2 m.

Srednje dnevne i mesečne temperature pokazuju visoke vrednosti i velika variranja. Srednja mesečna temperatura za novembar mesec bila je značajno viša od višegodišnjeg proseka za taj period (+3<sup>0</sup> C). Temperature u decembru, januaru i februaru mesecu se mogu okarakterisati kao uobičajene za ovo doba godine i u skladu su sa višegodišnjim prosekom [13].



Sl. 3. Srednje mesečne temperature i solarno zračenje

Prosečno mesečno solarno zračenje ukazuje da je januar mesec bio sa najmanjom prosečnom osunčanošću dok je februar mesec sa najvećom prosečnom osunčanošću.

### Rezultati merenja direktnih i indirektnih energetskih inputa

Od direktnih energetskih inputa praćena je energija utrošena za zagrevanje objekata i energija koja je utrošena za pogon pojedinih mašina i tehničkih sistema.

Tab. 1. Direktni energetski inputi za objekte tunel tipa

Input	Utrošak energije [MJ]			
	Tunel S1	Tunel S2	Tunel S3	Tunel S4
Zagrevanje objekta	5511,95	3338,82	1806,51	1117,32
Gorivo za pogon tehničkih sistema	165,75	165,75	55,56	55,56
<b>Ukupno [MJ]</b>	<b>5677,70</b>	<b>3504,57</b>	<b>1862,07</b>	<b>1172,88</b>
<b>Ukupno [MJ/m<sup>2</sup>]</b>	<b>10,88</b>	<b>6,71</b>	<b>9,31</b>	<b>5,86</b>

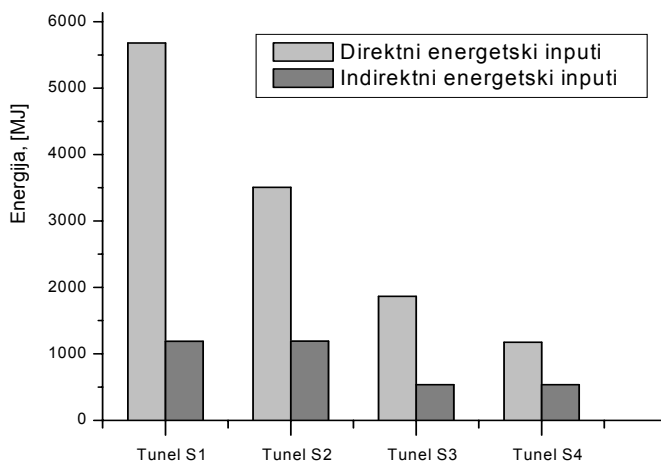
Od indirektnih energetskekih inputa praćeno je ćasovno angaŹovanje tehnićkih sistema, utrošak hemijskih sredstava, vode, ljudskog rada i ambalaŹe za pakovanje salate.

Tab. 2. Indirektni energetskeki inputi za objekte tunel tipa

Input	Tunel S1		Tunel S2		Tunel S3		Tunel S4	
	Utrošak energije [MJ]	Ućešće %	Utrošak energije [MJ]	Ućešće %	Utrošak energije [MJ]	Ućešće %	Utrošak energije [MJ]	Ućešće %
Hraniva								
N	195,25	16,42	195,25	16,41	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	87,17	7,33	87,17	7,33	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	103,02	8,66	103,02	8,66	-	-	-	-
Zaštitna sredstva								
Sumilex	8,40	0,71	8,40	0,71	1,68	0,31	1,68	0,31
Quadris	6,72	0,56	6,72	0,56	1,68	0,31	1,68	0,31
Tehnićki sistemi								
Jednoosovinski traktor	4,04	0,34	4,04	0,34	4,04	0,75	4,04	0,75
Voda	268,53	22,58	268,53	22,56	115,08	21,46	115,08	21,44
Gajbice	141,00	11,86	141,9	11,92	38,7	7,22	39,30	7,32
Ljudski rad	375,00	31,54	375,00	31,51	375,00	69,94	375,00	69,86
Ukupno, [MJ]	1189,13	100	1190,03	100	536,18	100	536,78	100
Ukupno, [MJ/m <sup>2</sup> ]	2,28		2,30		2,68	0,31	2,68	0,31

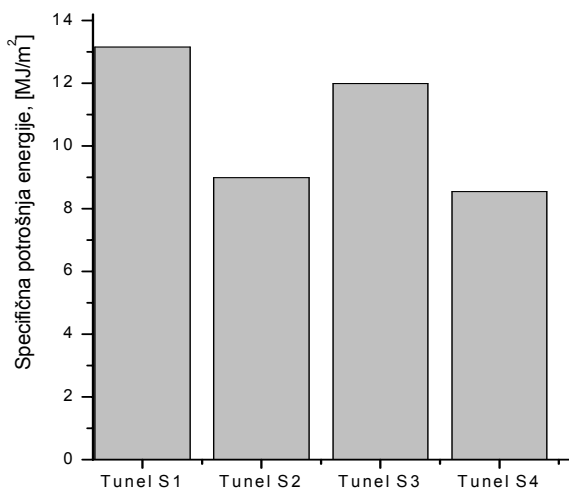
Ukoliko se posmatra struktura indirektno utrošene energije najveće ućešće ima energija utrošena putem ljudskog rada (preko 30%), zatim putem aplikacije đubriva (preko 30%) i putem pakovanja salate u gajbice (do 15%). Ućešće energije utrošene putem tehnićkih sistema je relativno nisko, što se moglo predvideti na osnovu tehnološke šeme proizvodnje i dimenzija objekata.

Na slici 4. prikazan je odnos direktnih i indirektnih inputa za navedene proizvodne objekte. Uoćava se da je kod objekata pokrivenih dvostrukom folijom odnos direktnih i indirektnih energetskekih inputa ravnomerniji u odnosu na objekte pokriveno jednostrukom folijom gde u ukupnoj strukturi utrošene energije 2/3 ćine direktni energetskeki inputi.



Sl. 4. Direktni i indirektni utrošak energije po pojedinim objektima

Ukoliko se uporede objekti identične konstrukcije ali pokriveni jednostrukom i dvostrukom folijom, veći je direktni utrošak energije kod objekata sa jednostrukom folijom (tuneli S1 i S3) u odnosu na tunele pokriveno dvostrukom folijom. Da bi se utvrdile stvarne razlike u potrošnji energije za analizu je korišćena specifična potrošnja energije.



Sl. 5. Specifična potrošnja energije

Najnižu specifičnu potrošnju imali su tuneli sa dvostrukom folijom S4 (8,54 MJ/m<sup>2</sup>) i S2 (8,99 MJ/m<sup>2</sup>). Najveću specifičnu potrošnju energije imaju objekti sa jednostrukom folijom i to S3 sa 11,99 MJ/m<sup>2</sup> i S1 sa 13,5 MJ/m<sup>2</sup>.

### Rezultati merenja energetskog outputa

Energetski output se definiše preko ostvarenog prinosa i toplotne vrednosti proizvoda. Za navedene objekte, na osnovu utvrđenog prinosa i toplotne vrednosti salate od 0,46 MJ/kg, izračunat energetski output (tabela 3).

Tab. 3. Prinos salate i energetski output u objektima

	Prinos [kg]	Energetski output [MJ]	Energetski output [MJ/m <sup>2</sup> ]
Tunel S1	2790,20	1283,49	2,46
Tunel S2	2753,60	1266,66	2,43
Tunel S3	800,30	368,14	1,84
Tunel S4	808,00	371,68	1,86

### Energetska analiza

Na osnovu utvrđenih energetskih inputa i energetskog outputa izvršena je energetska analiza proizvodnje salate u datim objektima.

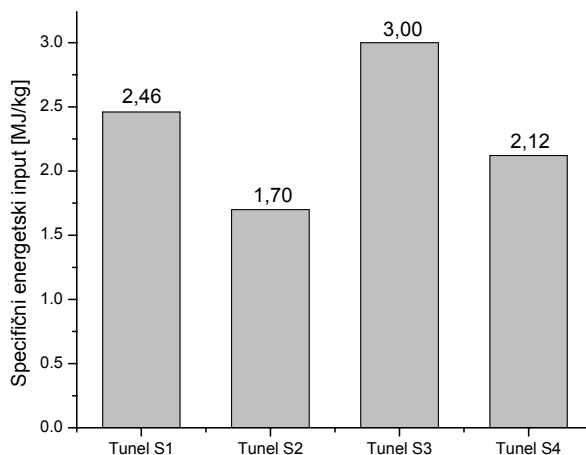
Tab. 4. Energetski bilans proizvodnje salate u objektima

	Tunel S1	Tunel S2	Tunel S3	Tunel S4
Direktni energetski inputi [MJ]	5677,70	3504,57	1862,07	1172,88
Indirektni energetski inputi [MJ]	1189,13	1190,03	536,18	536,78
Energetski input [MJ]	6866,83	4694,60	2398,25	1709,66
Energetski input [MJ/m <sup>2</sup> ]	13,15	8,99	11,99	8,55
Prinos salate [kg]	2790,20	2753,60	800,3	808,00
Energetski output [MJ]	1283,49	1266,66	368,14	371,68
Energetski output [MJ/m <sup>2</sup> ]	2,46	2,43	1,84	1,86

Tab. 5. Energetska analiza proizvodnje salate u objektima

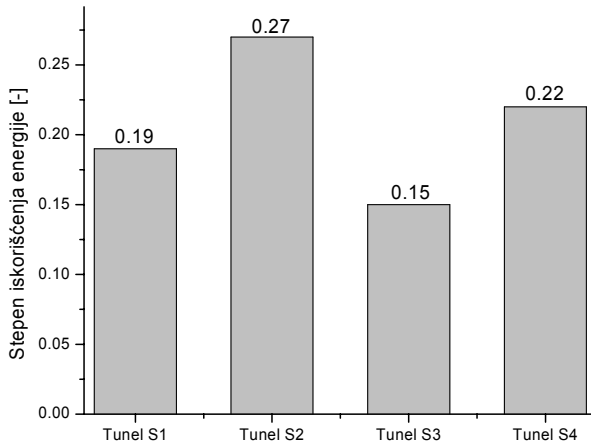
Energetski parametar	Tunel S1	Tunel S2	Tunel S3	Tunel S4
EI [MJ/kg]	2,46	1,70	3,00	2,21
ER	0,19	0,27	0,15	0,22
EP [kg/MJ]	0,41	0,59	0,33	0,47

Najvišu vrednost EI imaju tunel objekti S1 i S3 pokriveni jednostrukom folijom dok nižu vrednost imaju tunel objekti S2 i S4 pokriveni dvostrukom folijom. Ukoliko se posmatra konstrukcija tj. dimenzije objekta, niža vrednost specifičnog energetskog inputa zabeležena je kod tunela većih proizvodnih površina i veće specifične zapremine po metru dužine.



Sl. 6. Specifični energetski input za objekte tunel tipa

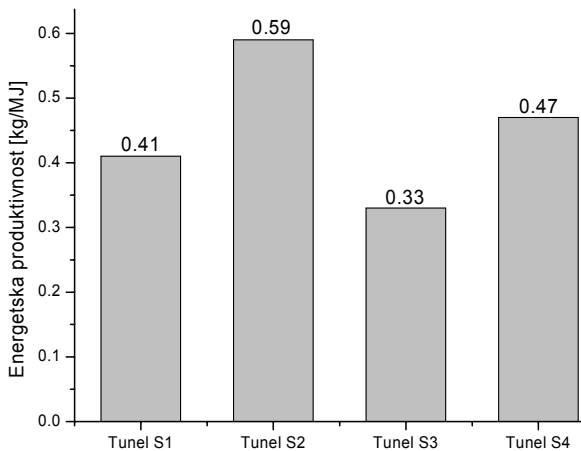
Ukoliko se posmatra stepen iskorišćenja energije, najvišu vrednost ima tunel objekat S2 pokriven dvostrukom folijom dok najnižu vrednost ima tunel objekat S3 pokriven jednostrukom folijom. Ako se pogleda konstrukcija objekata tj. specifična zapremina objekti tunel tipa S1 i S2 veće specifične zapremine imaju viši stepen iskorišćenja energije. Za objekte tunel tipa S1 i S2 je karakterističan viši ostvareni energetski output što doprinosi povećanju stepena iskorišćenja energije.



Sl. 7. Stepen iskorišćenja energije za objekte tunel tipa

Prilikom analize energetske produktivnosti utvrđena je najviša vrednost kod tunela S2 pokrivenog dvostrukom folijom dok je najniža vrednost utvrđena kod tunela S3 pokrivenog jednostrukom folijom. Ukoliko se energetska produktivnost posmatra sa aspekta konstrukcije objekata može se zaključiti da su energetska produktivniji objekti veće specifične zapremine. Razlog je ostvareni viši energetska output, ravnomerniji mikroklimatski uslovi u objektima i manji gubici energije preko površine pokrivenog materijala.

Dobijeni rezultati ukazuju da kombinacija dvostruke folije i objekata veće specifične zapremine daje bolje rezultate u energetska analizi. Ovi objekti su energetska efikasniji i imaju manji specifični energetska input.



Sl. 8. Energetska produktivnost za objekte tunel tipa

Kod analize stepena iskorišćenja energije može se konstatovati da tuneli pokriveni dvostrukom folijom imaju bolje iskorišćenje energije i da se stepen iskorišćenosti povećava sa povećanjem veličine objekta. Ipak se mora voditi računa o limitirajućim



faktorima kod objekata tunel tipa a koji se odnose na ventilaciju i opterećenje materijala i konstrukcije. Limitirajući faktor kod izbora tunela može biti i visina objekta. U slučaju salate proizvodna površina je maksimalno iskorišćena dok bi u slučaju paradajza i krastavca visina tunela mogla predstavljati problem čija je posledica nedovoljno iskorišćenje prostora.

## ZAKLJUČAK

Kada se posmatraju pojedinačni objekti tunel tipa, koji su dominantno zastupljeni na teritoriji Srbije, objekti pokriveni dvostrukom folijom imaju 30% niži input energije. Vrednost direktno utrošene energije za zagrevanje ima i do 40% višu vrednost kod objekata pokrivenih jednostrukom folijom u odnosu na objekte sa dvostrukom folijom. Specifični input energije je adekvatniji parametar opisa tehnološko tehničkog sistema. Kod objekata manje specifične zapremine (S4) vrednost ovog parametra je 20% viša u odnosu na objekte veće specifične zapremine (S2). Stepem iskorišćenja energije je kod objekata sa dvostrukom folijom nešto veći kod objekata veće specifične zapremine (S4 i S2).

U daljem istraživanju treba više obratiti pažnju na pokrivne materijale i njihov uticaj na energetski bilans u objektima. U istraživanje bi bilo potrebno uključiti i više kultura sa različitim tehnologijama proizvodnje. Ovo iz razloga sve češće upotrebe hemijski inertnih supstrata i sve višeg nivoa automatizovanosti procesa.

Rezultati istraživanja pokazuju da proizvodnja u zaštićenom prostoru predstavlja granu poljoprivredne proizvodnje sa najnižim stepenom iskorišćenja energije koji, u slučaju proizvodnje salate u zimskom periodu, varira od 0,15 do 0,41. Dobijene vrednosti su više od onih navedenih u literaturi [4] što ukazuje na mogućnost intenziviranja proizvodnje u zaštićenom prostoru u regionu Srbije i Crne Gore.

## LITERATURA

- [1] Damjanović, M., Zdravković Jasmina, Zdravković, M., Marković, Ž., Zečević, B., Đorđević, R. (2005): Rana i kasna proizvodnja povrća u plastenicima sa dopunskim dogrevanjem, Revija agronomska saznanja, XV (3).
- [2] Đević, M., Blažin, S., Dimitrijević Aleksandra (2005): Klimatski uslovi u objektima zaštićenog prostora i mogućnosti njihove kontrole, Poljoprivredna tehnika, XXX (4), 79-86.
- [3] Đević, M., Dimitrijević Aleksandra (2004): Greenhouse energy consumption and energy efficiency, Energy efficiency and agricultural engineering 2005, International conference, Russe, Bulgaria.
- [4] Enoch, H.Z. (1978): A theory for optimalization of primary production in protected cultivation, I Influence of aerial environment upon primary plant production, Symposium on More Profitable use of Energy in Protected Cultivation, Sweden.
- [5] Giacomelli A. Gene, Roberts J. William (1993): Greenhouse covering systems, Original manuscript provided to ASHS HortTechnology Journal.
- [6] Hanan, J.J. (1998): Greenhouses. Advanced Technology for Protected Cultivation, CRC Press.
- [7] Lazić Branka, Marković V., Đurovka, M., Ilin, Ž. (2001): Povrće iz plastenika, Beograd.
- [8] Lazić Branka (2002): Jesenja proizvodnja povrća u plastenicima, Savremeni povrtar, Naučno-stručni časopis, I (2).
- [9] Momirović, N. (2002): Korišćenje polietilenskih folija u poljoprivredi, Povrtarski glasnik, br. 4.

- [10] Momirović, N. (2003): Škola gajenja povrća, Specijalno Izdanje, Poljoprivredni list
- [11] Nelson, P. (2003): Greenhouse Operation and Management, 6<sup>th</sup> edition.
- [12] Ortiz-Cañavate, J., Hernanz, J.L. (1999): Energy Analysis and Saving, Energy for Biological Systems, CIGR Handbook.
- [13] Republički hidrometeorološki zavod (2004): Agrometeorološki uslovi u proizvodnoj 2003./2004. godini na teritoriji Republike Srbije
- [14] Starck, H. (1977): Towards an Economic of Energy in Horticulture, Symposium on More Profitable use of Energy in Protected Cultivation, Sweden.
- [15] Teitel, M., Segal, I., Shklyar, A., Barak, M. (1999): A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses, Journal of Agricultural Engineering Research, 72, 259-273.
- [16] Zabeltitz, von Chr. (1989): Energy substitution, Energy Savings in Protected Cultivation, Acta Horticulturae, 245.
- [17] [www.specmeter.com](http://www.specmeter.com)
- [18] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Rezultati istraživačkog rada nastali su zahvaljujući finansiranju Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj, Republike Srbije, Projekat "Optimalna tehnološko tehnička rešenja za tržišno orijentisanu biljnu proizvodnju", evidencionog broja TP 6918.A, od 1.04.2005.

## INFLUENCE OF GREENHOUSE COVERING MATERIAL ON ENERGY CONSUPTION

**Milan Đević, Aleksandra Dimitrijević**  
*Faculty of Agriculture - Belgrade*

**Abstract:** Greenhouse production in Serbia region is, in most cases, carried out in tunnel structures covered with single or double PE folia. Reason for this is greenhouse coverings and structures market which is pretty much uniform with tunnel structures offers to the growers. Growers enter this sophisticated plant production system with lack of information about energy efficiency as well as economical aspect of purchasing specific structure. Main problem with greenhouse production comes with winter production, when heating is needed. In this period coverings and structures show their quality.

Aim of this paper is analysis of lettuce winter greenhouse production in tunnel structures using direct/indirect energy input analysis. Result show that tunnel structures covered with single PE folia and with smaller specific volume per meter of length.

**Key words:** energy, greenhouse, tunnels, energy input, energy output, energy efficiency.