

Institut za primenu nauke u poljoprivredi

Bulevar despota Stefana 68b, Beograd



www.psss.rs

office@ipn.bg.ac.rs

+381 11 275 16 22

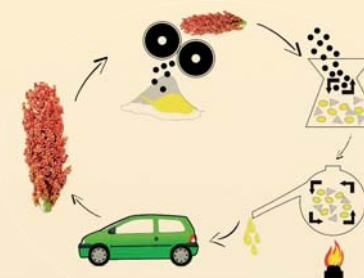
+381 11 275 03 86

ISBN 978-86-81689-35-6

ENERGETSKI USEVI

Tehnologija proizvodnje i prerade

Institut za primenu nauke u poljoprivredi



Snežana Janković, Đorđe Glamočlija, Slaven Prodanović

ENERGETSKI USEVI

Tehnologija proizvodnje i prerade

Monografija

Beograd, 2017.

Institut za primenu nauke u poljoprivredi, Beograd

Snežana Janković • Đorđe Glamočlija
Slaven Prodanović

ENERGETSKI USEVI

Tehnologija proizvodnje i prerade

Monografija

Beograd, 2017. godine

Energetski usevi
Tehnologija proizvodnje i prerade

Autori:

Prof. dr Snežana Janković
Institut za primenu nauke u poljoprivredi, Beograd
Prof. dr Đorđe Glamočlija
Društvo selekcionara i semenara Republike Srbije, Beograd
Prof. dr Slaven Prodanović
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd

Recenzenti:

Prof. dr Tomislav Živanović, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu
Dr Srboljub Maksimović, naučni savetnik
Institut za zemljište, Beograd
Prof. dr Rade Protić, redovni profesor
Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Novi Sad

Izdavač:

Institut za primenu nauke u poljoprivredi, Beograd

Lektura i korektura:

Ivana Stanimirović

Prevod:

Ivana Stanimirović

Štampa:

„SD press“, Smederevo

Tiraž:

400 primeraka

ISBN: 987-86-81689-35-6

ZAHVALNICA

Koristimo ovu priliku da zahvalimo recenzentima prof. dr Tomislavu Živanoviću, redovnom profesoru sa Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu, dr Srboljubu Maksimoviću, naučnom savetniku iz Instituta za zemljište i prof. dr Radetu Protiću, redovnom profesoru sa Fakulteta za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu, na korisnim savetima.

Monografija je rezultat projekta „Savremeno oplemenjivanje strnih žita za sadašnje i buduće potrebe“ (TR 31066).

Delovi ove monografije koji se odnose na oplemenjivanje biljaka rezultat su naučnog rada na projektima vlade Kraljevine Norveške pod nazivom *Research, education and knowledge transfer promoting entrepreneurship in sustainable use of pastureland/grazing* (332160UÅ) i *Agricultural Adaptation to Climate Change – Networking, Education, Research and Extension in the West Balkans* (332160 UØ) u okviru programa HERD (*Programme for Higher Education, Research and Development*). Sa ovih projekata nisu korišćena sredstva za štampanje Monografije.

Izdavanje ove monografije sufinansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

S a d r Ź a j

PREDGOVOR	7
U V O D	9
A B S T R A C T	11
OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	13
KLIMA I ZEMLJIŠTA SRBIJE	19
PODELA ENERGETSKIH USEVA	39
TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE	41
Miskantus	42
Španska trska	50
Obična trska	55
Trstika	59
Prerijsko proso	63
Visoka pirevina	74
Slonova trava	79
Sudanska trava	83
Sirak šećerac	88
Kukuruz	99
Lupine	111
Beli kokotac	117
Dolihos	122
Soja	128
Čičoka	139
Šafranjika	147
Cinara (kardun)	154
Uljana repica	159
Lanik	172
Ricinus	177
Jatrofa	187
Konoplja	193
Kenafa	201
Abutilon	207
Slez (sida)	212
TEHNOLOGIJA PRERADE	217
LITERATURA	227
P R I L O G	249
IZVODI IZ RECENZIJA	263

PREDGOVOR

U monografiji *Energetski usevi: tehnologija proizvodnje i prerade* autora Snežane Janković, Đorđa Glamočlije i Slavena Prodanovića obrađena su pitanja u vezi sa privrednim značajem, poreklom, biološkim osobinama, odnosu prema uslovima uspevanja i agrotehnikom 25 biljnih vrsta koje se mogu gajiti i koristiti za dobijanje čvrstih, tečnih i gasovitih bio-goriva.

Agroekološki i zemljišni uslovi Republike Srbije pružaju mogućnost gajenja svih opisanih vrsta i predstavljaju veliku šansu za poljoprivredne proizvođače koji poseduju zemljišta manje povoljnih fizičkih i hemijskih osobina. Većina ovih biljaka može se gajiti i na marginalnim zemljištima, manje podesnim za ratarsko-povrtarsku i voćarsko-vinogradarsku proizvodnju. Uvođenjem u proizvodnju ovih pretežno višegodišnjih biljaka, uz nešto veća ulaganja u godini zasnivanja a značajno manja u godinama korišćenja, mogla bi se iskoristiti neobrađena poljoprivredna zemljišta, ali i privesti nameni većina nepoljoprivrednih površina i deposola. Korišćenjem proizvedene biomase značajno bi se smanjila potrošnja fosilnih goriva kojih naša zemlja ima u ograničenim količinama.

Potencijalne vrste koje bi se mogle gajiti kao energetski usevi opisane su u monografiji pojedinačno. Poređenjem njihovog odnosa prema agroekološkim i zemljišnim uslovima sa klimatskim osobinama naših poljoprivrednih predela mogla bi se izvršiti rejonizacija na teritoriji Republike, od ravničarskih do brdsko-planinskih područja. Za svaku vrstu prikazana je tehnologija proizvodnje, a u poslednjem poglavlju i osnove tehnologije prerade. Sirovine, dobijene gajenjem energetskih useva, prerađuju se u bio-goriva u velikim industrijskim pogonima, ali se ona mogu proizvesti i na farmi uz manja ulaganja u dodatnu opremu. Tako bi svaki farmer, pored toga što bi snabdevao sirovinom velika industrijska postrojenja, mogao dobiti bio-gorivo i za potrebe sopstvenog domaćinstva.

Monografija je napisana lakim stilom, odnosno jezikom koji mogu razumeti ne samo poljoprivredni stručnjaci već i studenti i svi oni koji se bave ratarskom proizvodnjom, tako da im ona im može poslužiti kao dobar izvor korisnih informacija.

U Beogradu, 29. septembra 2016. godine

Autori

U V O D

Grupi energetskih useva pripada veliki broj samoniklih i gajenih jednogodišnjih i višegodišnjih vrsta čiji se generativni i vegetativni (nadzemni ili podzemni) organi koriste za proizvodnju gasovitih, tečnih ili čvrstih bio-goriva. Prema botaničkoj pripadnosti i načinu gajenja, energetski usevi mogu biti ratarski i šumski. Polazeći od činjenice da se za dobijanje bio-goriva mogu koristiti mnoge biljne vrste pa i ratarske biljke, koje imaju najznačajniju ulogu u podmirenju svetskih potreba za hranom, u knjizi su monografski opisane samo one vrste, odnosno genotipovi ratarskih biljaka, koji nemaju veći značaj u ishrani ljudi. Treba istaći da većina ovih vrsta ima dugu tradiciju proizvodnje i korišćenja, dok su neke dobijene oplemenjivanjem samoniklih biljaka iz spontane flore. Većina biljaka koje su definisane kao energetski usevi mogu se koristiti u ishrani ljudi i domaćih životinja, ali njihovo gajenje i korišćenje za proizvodnju bioenergije nema veći uticaj na smanjenje ukupne proizvodnje hrane, kako za ljude tako i za domaće životinje.

Prema botaničkoj pripadnosti energetski usevi u monografiji su podeljeni u sledeće grupe:

1. trave (fam. *Poaceae*) – miskantus (kineski šaš), gigantska (španska) trska, obična trska, trstika, prerijsko proso, visoka pirevina, slonova trava, sirak šećerac, sudanska trava i neki hibridi kukuruza;
2. leptirnjače (fam. *Fabaceae*) – lupine (vučaci), dolihos, beli kokotac (bela ždraljika), i neke sorte soje;
3. glavočike (fam. *Asteraceae*) – čičoka, šafranjika i cinara (kardun);
4. kupusnjače (fam. *Brassicaceae*) – uljane repice i lanik;
5. mlečike (fam. *Euphorbiaceae*) – ricinus i jatrofa;
6. konoplje (fam. *Cannabaceae*) – obična konoplja;
7. slezovi (fam. *Malvaceae*) – kenafa, abutilon i sida (pensilvanijski ili virdžinijski slez).

Za svaku biljnu vrstu monografski su obrađena sledeća poglavlja: privredni značaj i način korišćenja, kako u energetske svrhe tako i na ostale načine, zatim poreklo i rasprostranjenost u svetu, botanička pripadnost, biološke i morfološke osobine, uslovi uspevanja (koji su poređeni sa našim agroekološkim i zemljišnim uslovima), celokupna tehnologija proizvodnje i osnove prerade u bio-goriva.

Pored energetskih useva kao izvora bio-goriva, u monografiji su opisani i sekundarni proizvodi (žetveni ostaci i ostaci posle prerade glavnih proizvoda ratarskih biljaka) kao važan izvor bioenergije. Posle berbe ratarskih useva koji se gaje radi zrna, na poljima ostaju velike količine žetvenih ostataka čija je biomasa bogata ugljenim hidratima podesnim za dobijanje toplotne energije, a u složenom postupku prerade i za proizvodnju tehničkog alkohola – bio-etanola. Žetveni ostaci se mogu koristiti za proizvodnju bio-goriva i na posredan način – tako što se upotrebe kao prostirka u objektima za boravak domaćih životinja a dobijeni stajnjak iskoristi za izdvajanje bio-gasa.

U poslednjem poglavlju monografije opisane su osnove tehnologije dobijanja bio-goriva iz produktivnih organa energetskih useva i sekundarnih proizvoda ratarskih biljaka.

A B S T R A C T

Biofuels can be produced from many field crops, especially such crops that have a key role in ensuring global food security. To prevent using these crops for biofuel production, this monograph describes species/genotypes with little use in human diet. Energy crops can be defined as a group of both wild and cultivated, annual or perennial plants, whose generative and vegetative (above- and below-ground) organs are used for production of biogas, bioethanol, biodiesel and solid biofuels (briquettes and pellets). By botanical classification and cropping practices, energy crops can be cultivated or wild. Most energy crops have a long tradition of growing for different purposes, but some of them were cultivated from wild species from spontaneous flora.

Most energy crops can be used in diet of both humans and animals, but their growing and use in energy production would not affect global production of food and feed to a greater extent.

In this monograph energy crops are divided into the following groups, by their botanical classification:

1. Grass family (fam. *Poaceae*) – miscanthus (Chinese silver grass), giant (Spanish) reed, common reed, reed canary grass, switchgrass, tall wheatgrass, elephant grass, sweet sorghum, Sudan grass and some hybrids of maize;
2. Legume family (fam. *Fabaceae*) – lupin, lablab bean, Bokhara clover (sweet clover), and some soybean cultivars;
3. Aster family (fam. *Asteraceae*) – Jerusalem artichoke, safflower and Spanish thistle artichoke (cardoon);
4. Cabbage family (fam. *Brassicaceae*) – rapeseed and linseed dodder;
5. Spurge family (fam. *Euphorbiaceae*) – castor oil plant and jatropha;
6. Hemp family (fam. *Cannabaceae*) – common hemp;

7. Mallow family (fam. *Malvaceae*) – kenaf, abutilon (velvetleaf) and mallow (Pennsylvania or Virginia mallow).

Each species is described monographically, in the chapters covering economic importance and use (as a source of bioenergy or in other purposes), origin and global distribution, botanical classification, biological and morphological properties, growing conditions compared to agro-ecological and soil conditions in Serbia, production technology and basics of their processing into biofuels.

Apart from energy crops, the monograph also describes secondary products (harvest residues and by-products from primary processing of agricultural crops) as an important source of bioenergy. After harvest of grain crops, fields are covered with large quantities of residues whose biomass is rich in carbon hydrates suitable for production of heat and, in more complex procedures, for production of bioethanol. Post-harvest residues can be also indirectly used for bio fuel production. Once used as livestock bedding, such manure can be used for biogas production.

The last chapter of the monograph describes the basics of biogas production from energy crops and crop secondary products.

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije predstavljaju energetske resurse koji se dobijaju iz prirode i koriste za proizvodnju električne i drugih oblika energije, a čije se rezerve neprekidno obnavljaju i zato se sve više se koriste. Druga prednost im je što značajno manje ili uopšte ne utiču na zdravstvenu bezbednost životne sredine. Naziv obnovljivi (trajni) ukazuje na činjenicu da se energija proizvodi u srazmeri sa brzinom obnavljanja u prirodi.

Sva energija na našoj planeti dolazi iz tri osnovna izvora, i to od: zračenja Sunca, raspada izotopa teških metala (nuklearna fisija) i kretanja planeta (gravitaciona energija), koje se ispoljava u snazi vodenih masa pokrenutih plimom i osekom.

Energija Sunca ili solarna energija je obnovljiv izvor koji se na Zemlji manifestuje na više načina, kao

- hidroenergija (energija vodotokova, morskih struja, glečera),
- eolska energija (kinetička energija vazdušnih masa),
- toplotna energija atmosfere i hidrosfere i
- energija biosfere (biološka energija nastala procesom fotosinteze u biljkama koja predstavlja organsku biomasu za dobijanje bio-goriva).

Treba istaći da je energija Sunca akumulirana i u fosilnim gorivima – uglju, tresetu, škriljcima, nafti i prirodnom gasu. Ovi energenti su stvarani milionima godina i njihovo obnavljanje teče sporije od potrošnje. Prema procenama stručnjaka, ove će se rezerve potrošiti za nekoliko desetina do nekoliko stotina godina. Stoga se i nazivaju neobnovljivim izvorima energije.

Da bi obezbedile sigurnost u snabdevanju neophodnim energentima, većina zemalja u svetu usmerava svoja istraživanja u pravcu iznalaženja najracionalnijeg načina korišćenja obnovljivih

izvora energije. Prema nekim procenama, danas se u svetu iz ovih resursa dobija oko 13% primarne energije.

Različiti vidovi korišćenja obnovljivih izvora energije (solarna, snaga vetrova, snaga vode i hemijska energija dobijena fotosintezom) za proizvodnju električne energije za većinu zemalja imaju veliki značaj i sa stanovišta očuvanja zdrave životne sredine. Ovo je posebno značajno za visokorazvijene i gusto naseljene države Evrope i Azije.

Solarna energija predstavlja direktnu energiju Sunčeve svetlosti. Ona se može upotrebiti na više načina – za proizvodnju električne struje postavljanjem fotovoltinih solarnih ćelija ili zagrejanim vazduhom koji okreće turbine u solarnom tornju termoelektrane, za zagrevanje stambenih i drugih objekata, izdvajanje vodonika foto-elektrohemijskim ćelijama, zagrevanje vode za kućne potrebe, spremanje hrane i slično.

Snaga vetra, odnosno kinetička energija vazdušnih strujanja, može se iskoristiti za pokretanje vetroturbina. Danas se u svetu proizvodi više tipova ovih turbina koje u zavisnosti od jačine i brzine strujanja vazduha mogu biti snage 600 kW do 5 MW. Za uspešnu komercijalnu proizvodnju električne energije potrebno je odrediti područja u kojima su učestala snažna strujanja vazduha. Ta područja se nazivaju vetroparkovi. Ukoliko su strujanja vazduha snažnija i učestalija tokom godine, broj radnih časova generatora vetroturbina biće veći. Stepenn iskorišćenosti generatora, odnosno faktor kapaciteta vetroturbine, može se odrediti množenjem sa brojem radnih časova. Na osnovu poznavanja prosečnih vrednosti faktora kapaciteta vetroparka (prosečne vrednosti su 20–40%) može se izračunati ukupna količina proizvedene struje. Ukoliko se postavi vetroturbina snage 1 MW u području gde je faktor kapaciteta vetra 30%, ona će godišnje proizvesti 2.628 MWh struje ($0,3\% \times 24 \text{ časa} \times 365 \text{ dana} = 2.628 \text{ MWh}$).

Prema procenama stručnjaka, snaga vetrova je 40 puta veća od ukupne svetske potražnje za električnom energijom. Međutim, broj potencijalnih vetroparkova sa većim faktorom kapaciteta je ograničen

i nalazi se uglavnom u priobalnim područjima i u predelima sa većom nadmorskom visinom, posebno na pravcima duvanja vetrova. Iako povećanje broja vetroturbina uslovljava isključivanje velikih površina zemljišta za druge vidove korišćenja, treba istaći da je proizvedena električna energija ekološki potpuno čista i ne povećava efekat staklenika kao ona dobijena u termoelektranama.

Snaga vode ogleda se velikoj kinetičkoj energiji vodotokova i temperaturnim razlikama (isparavanjem se oslobađa upotrebljiva energija). Za iskorišćavanje kinetičke energije vode koja je i do 800 puta gušća od vazduha mogu se koristiti i usporeni vodeni tokovi. Snaga vode se najčešće koristi za pokretanje turbina hidroelektrana. Da bi se povećala energetska vrednost vode, na vodotokovima se gradnjom brana stvaraju akumulacije koje omogućavaju postavljanje turbina većeg kapaciteta. Kinetička energija vode može se na velikim morskim površinama prevesti u električnu energiju korišćenjem plime i oseke, talasa i morskih struja. Za iskorišćavanje temperaturne razlike između toplije vode površine okeana i hladnih dubina postavljaju se ciklični generatori toplote. Ovaj način dobijanja energije još uvek je u fazi eksperimentalnih istraživanja.

Bioenergija je energija dobijena sagorevanjem biološkog materijala. U biološki materijal ubrajamo gasovita, tečna i čvrsta fosilna goriva, zatim biomasu ratarskih i šumskih biljnih vrsta, žetvene ostatke i ostatke posle prerade biljaka, kao i poljoprivredni i komunalni otpad.

Za razliku od fosilnih goriva, ostali navedeni izvori energije imaju niz prednosti koje se ogledaju kroz godišnji ciklus stvaranja, kao rezultat godišnje biljne i stočarske proizvodnje ili industrijske prerade, i nazivaju se obnovljivi resursi. Kako se ovakav oblik energije dobija iz obnovljivih izvora, ove sirovine predstavljaju stalni izvor energije, za razliku od fosilnih goriva čije su rezerve u zemlji ograničene. Sa stanovišta energetske vrednosti i sagorljivosti, bio-goriva mogu biti kvalitetnija jer pored ugljovodonika sadrže i kiseonik koji pozitivno

utiče na sagorevanje. Ekološki su prihvatljivija jer ispuštaju manje štetnih gasova u atmosferu, što ima značaja i za očuvanje zdravije životne sredine. Strategija većine evropskih zemalja za 2020. godinu sve se više okreće bioekonomiji kao ključnom elementu održivog razvoja. Ovaj plan obuhvata održivu proizvodnju obnovljivih bioloških izvora i njihovu konverziju u hranu, bioenergiju i različite bio-proizvode. Strategijom EU i Konferencijom Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama „Pariz 2015“ obuhvaćeni su proizvodnja hrane, šumarstvo, deo hemijske, biotehnološke i industrije energije. Snažan inovacioni potencijal ovim oblastima daje veliki broj naučnika iz oblasti prirodnih nauka (agronomija, ekologija i prehrambena tehnologija) ali i iz socioloških naučnih oblasti.

Ekonomska opravdanost upotrebe bio-goriva dobijenih iz obnovljivih bioloških materijala ogleda se u činjenici da se smanjuje izdvajanje sredstava za uvoz neophodnih fosilnih goriva.

Dobijanje energije korišćenjem biološkog materijala u razvijenim zemljama ima dugu tradiciju tako da su se postupci prerade i izbor sirovine menjali tokom niza godina. Danas većina istraživača ističe da se u proizvodnji mogu izdvojiti tri generacije bio-goriva (*Tomović, 2002*).

Prvu generaciju predstavljaju bio-goriva dobijena konvencionalnom preradom ugljenih hidrata i biljnih ulja iz zrna ratarskih useva i životinjskih masnoća u bio-etanol i bio-dizel.

Druga generacija bio-goriva dobija se iz takozvanih održivih biljnih sirovina, kao što su žetveni ostaci, ostaci pri preradi drveta, ostaci plodova voća (koštice, kora i slično), biomasa energetskih useva i drugi biološki otpad koji ostaje posle industrijske prerade njivskih biljaka. Iz ovog biološkog materijala odgovarajućim tehnološkim postupcima mogu se dobiti bio-gas, bio-metanol, bio-etanol, bio-dizel, ali i čvrsta bio-goriva. Za proizvodnju navedenih bio-goriva napodesnije su biljne vrste koje tokom godine obrazuju velike prinose vegetativne mase i zrna, a koje se retko ili uopšte ne koriste

u ishrani ljudi i domaćih životinja. U stručnoj literaturi nazivaju se energetske usevi. Oni predstavljaju grupu samoniklih i gajenih biljaka čiji se produktivni organi koriste za proizvodnju bio-goriva. U poređenju sa fosilnim, ova goriva imaju niz prednosti – dobijaju se iz obnovljivih sirovina, a ove biljke se mogu gajiti kako na velikim tako i na malim površinama, kao i na zemljištima manje podesnim za druge oblike biljne proizvodnje. Emisija štetnih gasova u atmosferu je manja nego posle sagorevanja fosilnih goriva. Gajenjem energetskih useva pomaže se razvoj ruralnih područja (proizvodnja sirovine), ali i industrijske proizvodnje, što pruža mogućnost većeg zapošljavanja u primarnoj biljnoj proizvodnji i u proizvodnji bio-goriva.

Treća generacija bio-goriva dobija se iz algi. Prema rezultatima dosadašnjih ispitivanja, alge mogu proizvesti i do trideset puta više energije po hektaru zemljišta od ratarskih biljaka. Prednosti ovog bio-goriva je u tome što je biorazgradljivo, pa je relativno bezopasno za okolinu. Uz porast cena fosilnih goriva, gajenje algi za potrebe obezbeđenja energentima postaje ekonomski isplativo, a prema procenama stručnjaka alge će zameniti sva naftna goriva.

Problemi u proizvodnji i upotrebi bio-goriva mogu biti socijalni, ekonomski, ekološki i tehnički. Na proizvodnju ovih goriva veliki uticaj imaju cene nafte i naftnih derivata, zatim pitanje „hrana ili gorivo“ (što može povećati ili smanjiti stepen siromaštva), nivo emisije CO₂, održivi razvoj u proizvodnji bio-goriva, pojačana seča šuma, erozija zemljišta, smanjenje biodiverziteta, uticaj na izvore pitke vode, kao i na efikasnost i balans u korišćenju energije. Nemaju sva bio-goriva isti uticaj na klimu, sigurnost obezbeđenja energije i ekosisteme. Stoga bi uticaj na društvo i ekosistem trebalo analizirati na duži period. Komisija UN je u julu 2007. godine upozorila da korišćenje poljoprivrednog zemljišta i obezbeđenje hranom i vodom ne smeju biti ugroženi proizvodnjom energetskih useva jer to može biti direktna pretnja nerazvijenim zemljama. Zato bi proizvodnju energetskih useva trebalo uskladiti sa proizvodnjom hrane i usaglasiti sa svetskim potrebama. Ovo podrazumeva da se ratarski

proizvodi koji su najvažniji snabdevači hrane isključivo iz upotrebe za proizvodnju bio-goriva. Prednost treba dati višegodišnjim biljkama čiji produktivni organi imaju mali značaj u ishrani ljudi. Ove vrste, zahvaljujući višegodišnjem životnom ciklusu i snažnim korenovima, bolje koriste biljne asimilative iz zemljišta i usvajaju velike količine ugljen-dioksida iz vazduha. Istovremeno, one sprečavaju eroziju zemljišta, predstavljaju stanište plemenitoj divljači i daju veliku biomasu za preradu u bio-goriva.