



Република Србија  
АП Војводина  
Секретаријат за  
енергетику и минералне  
сировине



Факултет техничких наука  
Департман за  
инжењерство заштите  
животне средине и  
заштите на раду



## Студија убирања, складиштења и прераде кукурузовине за коришћење као енергента и сировине за биогорива на територији АП Војводине

Нови Сад, 2016.



Republika Srbija  
AP Vojvodina  
Sekretarijat za energetiku i  
mineralne sirovine



Fakultet tehničkih nauka  
Departman za inženjerstvo  
zaštite životne sredine i  
zaštitu na radu



**Studija ubiranja, skladištenja i prerade  
kukuruzovine za korišćenje kao energenta i  
sirovine za biogoriva na teritoriji  
AP Vojvodine**

Novi Sad, 2016.



**Izradu Studije finansirao je**

**Sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine  
Autonomne Pokrajine Vojvodine**

**Studiju je realizovao tim Fakulteta tehničkih nauka,  
Novi Sad, u sastavu:**

**Prof. dr Milan Martinov, editor  
MSc Marko Golub  
MSc Miodrag Višković  
Doc. dr Đorđe Đatkov  
Jovan Krstić, dipl. inž.**



## SADRŽAJ

<b>LISTA SLIKA</b>	<b>1</b>
<b>LISTA TABELA</b>	<b>3</b>
<b>REZIME</b>	<b>4</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b>	<b>6</b>
<b>1. UVOD</b>	<b>8</b>
<b>2. KUKURUZOVINA KAO ENERAGENT I SIROVINA</b>	<b>12</b>
2.1 Karakteristike kukuruzovine kao energenta	12
2.2 Korišćenje sagorevanjem	15
2.3 Supstrat za proizvodnju biogasa	18
2.4 Sirovina za proizvodnju lignoceluloznog etanola	20
<b>3. POTENCIJALI KUKURUZOVINE U AP VOJVODINI</b>	<b>24</b>
3.1 Potencijali	25
3.2 Vlastita merenja	27
3.3 Sakupljena i na parceli preostala masa	32
<b>4. POSTUPCI SPREMANJA KUKURUZOVINE</b>	<b>35</b>
4.1 Postupci sakupljanja za korisnike velikih količina	36
4.2 Skladištenje	50
4.3 Lanci snabdevanja	55
<b>5. ASPEKTI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE</b>	<b>58</b>
5.1 Očuvanje plodnosti zemljišta	58
5.2 Zaštita od eolske erozije	60
5.3 Održivost korišćenja agrarne biomase	62
<b>6. TROŠKOVI NABAVKE KUKURUZOVINE</b>	<b>70</b>
6.1 Cena kukuruzovine	70
6.2 Troškovi logistike	73
<b>7. SPROVEDENI EKSPERIMENTI</b>	<b>75</b>
7.1 Sakupljanje	75
7.2 Skladištenje	78
<b>8. ZAKLJUČCI</b>	<b>81</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>86</b>

## LISTA SLIKA

Sl. 1 Procena potencijala OIE u Srbiji (Anonim, 2013a)	8
Sl. 2 Delovi biljke kukuruza	9
Sl. 3 Promena donje toplotne moći kukuruzovine u zavisnosti od sadržaja vlage	13
Sl. 4 Čeoni pogled na sušaru klipova semenskog kukuruza koja kao gorivo koristi oklasak	15
Sl. 5 Skladište goriva, oklasak i kukuruzovina, levo, jednostavno ložište za oklasak, desno	16
Sl. 6 Uređaj za drobljenje oklaska (opisano i prikazani rezultati efektata rada u Martinov <i>i dr</i> , 2011b), levo i kotao kojim se ostvaruje automatsko loženje drobljenog oklaska (doziranje pužem odozdo, takozvano ložište krtica), desno	16
Sl. 7 Šema elektrane u Kini koja kao gorivo koristi kukuruzovinu (prema podacima firme <i>DP Clean Tech</i> , <a href="http://dpcleantech.com">dpcleantech.com</a> )	17
Sl. 8 Kogenerativno postrojenje Czesnica, koja za kosagorevanje sa drvenom sečkom koristi vlažnu kukuruzovinu	18
Sl. 9 Primer biogas postrojenja koje kao kosupstrat koristi kukuruzovinu	20
Sl. 10 Postrojenje za proizvodnju lignoceluloznog bioetanol –LCB u mestu Crescentino, Italija	21
Sl. 11 Regioni AP Vojvodine i Beograda (PKB) iz kojih bi se kukuruzovinom snabdevalo LCB postrojenje u Novom Sadu, kao i potencijalne količine iz uvoza	22
Sl. 12 Gustina proizvodnje kukuruza po opštinama u Srbiji (Ilić <i>i dr</i> , 2003; Martinov i Tešić, 2008)	25
Sl. 13 Gustina proizvodnje kukuruza u AP Vojvodini	26
Sl. 14 Udeo većih parcela, $\geq 5$ ha, pogodnih za sakupljanje žetvenih ostataka presama za velike bale, u opštinama Vojvodine	27
Sl. 15 Nadzemni delovi biljke kukuruza	28
Sl. 16 Relativni prinosi delova kukuruzovine	31
Sl. 17 Presovanje kukuruzovine u formi konvencionalnih četvrtastih bala	36
Sl. 18 Postupak sakupljanja u više prohoda (konvencionalni): a) branje zrna i usitnjavanje kukuruzovine, b1) formiranje zboja grabljama „sunce“, b2) trakastim grabljama, b3) trakastim grabljama sa pikap uređajem ( <i>continuous belt merger</i> ), c1) baliranje presom za velike četvrtaste bale, c2) presom za valjkaste bale	39
Sl. 19 Hederi za sečenje kukuruzovine i formiranje zboja u jednom prohodu, a) i b) <i>New Holland</i> , c) <i>Geringhoff</i>	41
Sl. 20 Sakupljanje kukuruzovine sa odsecanjem stabljike na visini, <i>High Cut</i> , levo, uspravna stabljika koja preostaje na parceli, desno	42
Sl. 21 Postupci sakupljanja u jednom prohodu: a) paralelno sakupljanje stabljika+lišća i oklasaka i komušine, b) sakupljanje cele stabljike	43
Sl. 22 Prikolica za prihvatanja oklaska i komušine sa visokim pretovarom	44
Sl. 23 Patentirano rešenje za sakupljanje oklaska (bez komušine) tokom berbe zrna	45
Sl. 24 Sakupljanje kukuruzovine iz zboja i seckanje silažnim kombajnom	46
Sl. 25 Sitnilica kukuruzovine koja formira bočni zboj <i>Biochipper</i>	47
Sl. 26 Uređaj <i>Strohmax 5000</i> , koji se koristi kao heder silažnog kombajna	47
Sl. 27 Podešavanje rastojanja pickup prstiju od tla a), obarači stabljike u obliku „sanki“ b) i valjaka c)	49
Sl. 28 Raspodela sadržaja vlage u delovima kukuruzovine u vreme berbe, a) stabljika+list, b) oklasak, c) komušina	51

Sl. 29 Skladištenje velikih četvrtastih bala pokrivenih ceradom na otvorenom	52
Sl. 30 Primer raspodele sadržaja kukuruzovine pre i posle skladištenja, prikazano stubićima narandžastom i zelenom bojom, respektivno (Schon <i>i dr</i> , 2013)	52
Sl. 31 Jednoredno i skladištenje valjkastih bala u piramidalne kamare sa dve bale u osnovi (vezivo je četvorostruka namotana mrežica)	53
Sl. 32 Gubici suve materije zavisno od a) tipa slaganja bala u kamari, b) tipa podloge	54
Sl. 33 Raspored bala kukuruzovine na transportna sredstva, a) tegljači sa poluprikolicama, b) kamioni sa prikolicama	55
Sl. 34 Specijalne poljoprivredne traktorske prikolicice namenjene prevozu bala	56
Sl. 35 Najčešći tipovi transportnih plovila u regionu	57
Sl. 36 Dijagram za izračunavanje SGe za žetvene ostatke kukuruza (Hickman i Schoenberger, 1989)	61
Sl. 37 Poređenje i međusobne relacije između faza u životnom ciklusu biogoriva definisanih RED, standardom CEN/TS 16214-4: 2014 i sopstvenog istraživanja	66
Sl. 38 Vrednosti emisija u kg CO <sub>2ekv</sub> za fazu kultivacije i ekstrakcije sirovina	67
Sl. 39 Vrednost emisija GHG tokom transporta kukuruzovine	68
Sl. 40 Udeo pojedinih stavki u troškovima ubiranja (Thompson i Tyner, 2011)	71
Sl. 41 Udeo troškova za pojedine operacije u trošku nabavke za kukuruzovinu i slamu soje sadržaja vlage 15 % (Thompson i Tyner, 2011, delimično prerađeno)	73
Sl. 42 Postupak sakupljanja kukuruzovine, a) zvezdaste grablje „sunce“, b) grablje sa širokozahvatnim pikap uređajem i trakama za formiranje zboja, c) presa za valjkaste bale	76
Sl. 43 Deo parcele na kojoj je sproveden eksperiment sakupljanja i referentne tačke	77
Sl. 44 Kamare bala kukuruzovine	78
Sl. 45 <i>Claas</i> -ov merač sadržaja vlage u balama	78
Sl. 46 Prosečni sadržaji vlage u balama po kamarama; brojevi merenja odnose se na: 1– početak novembra, 2– sredina novembra, 3– početak decembra, 4– sredina decembra, 5– početak januara a) pokrivena kamara – „sunce“; b) nepokrivena kamara – „sunce“; c) pokrivena kamara – ROC; b) nepokrivena kamara – ROC	80

## LISTA TABELA

Tab. 1 Donja toplotna moć kukuruzovine i oklaska izražena u MJ/kg / kWh/kg, u zavisnosti od sadržaja vlage	13
Tab. 2 Prinosi biogasa i odgovarajući sadržaj metana	19
Tab. 3 Procenjeni potencijal kukuruzovine u Vojvodini, sadržaj vlage oko 14 %, K–kukuruzovina, O– oklasci (Martinov <i>i dr</i> , 2011a)	26
Tab. 4 Prosečni podaci za prinos zrna i relativni prinosi ukupne mase nadzemnih ostataka	29
Tab. 5 Masa koja može da se sakupi i masa koja ostaje na parceli za izabrane postupke sakupljanja	33
Tab. 6 Karakteristike plovila i moguće opterećenje	57
Tab. 7 Uticaj sakupljanja žetvenih ostataka tri biljne vrste na tri lokacije na promenu SOC u zemljištu (Blum <i>i dr</i> , 2010)	60
Tab. 8 Troškovi ubiranja i skladištenja kukuruzovine, sadržaj vlage 25 % i za suhu materiju	72
Tab. 9 Klasifikovanje kukuruzovine na osnovu kvaliteta pri otkupu (Thompson i Tyner, 2011)	73

## REZIME

Kukuruz predstavlja najznačajniju biljnu vrstu u Srbiji i AP Vojvodini, a kukuruzovina najznačajniji obnovljivi izvor energije u grupi agrarne biomase. Iz tog razloga je Sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine AP Vojvodine pokrenuo izradu ove studije i definisao radne zadatke. Nacionalnim akcionim planom za obnovljive izvore energije predviđeno je značajno povećanje korišćenja biomase do 2020. godine. Pri tome se najviše računa na agrarnu biomasu, a u toj grupi najveće rezerve ima kukuruzovina.

Na potencijal kukuruzovine utiče način branja zrna. U Srbiji i AP Vojvodini, prevladavaju mala i srednja gazdinstva, na kojima se za branje zrna pretežno koriste berači-komušači. Ubrani klipovi se prirodno suše, a nakon krunjenja, preostaju osušeni oklasci čiji je prinos oko 18 % u poređenju sa zrnom istog sadržaja vlage. Pri proceni potencijala kukuruzovine uvedeni su pojmovi održiv i energetski. Održiv potencijal se odnosi na količinu sakupljene kukuruzovine koja ne utiče na smanjenje plodnosti zemljišta, a energetski se dobija ukoliko se od tog potencijala oduzmu količine za druge upotrebe. Procenjeno je da je potencijal kukuruzovine u AP Vojvodini bio 2011. godine oko 1,7 miliona tona, a poslednjih godina, zbog povećanja površina pod kukuruzom povećan je za oko 10 %. Kao nedostaci za korišćenje kukuruzovine navedeno je da je sadržaj vlage u vreme branja zrna vrlo različit, kreće se u dijapazonu od oko 12 do preko 50 %, te to što prilikom uobičajenog načina sakupljanja dolazi do zaprljanja zemljom, što ometa sve postupke konverzije.

Na osnovu petogodišnjeg eksperimenta, koji je sproveden za više najzastupljenijih hibrida, došlo se do podataka o prinosima pojedinih delova biljke kukuruza. Dobijeni podaci poslužili su za izračunavanje mase kukuruzovine koja može da se sakupi, kao i količine koja preostaje na parceli. Za slučaj sakupljanja mase koja napušta kombajn (oklasak i komušina) sakupljena količina, suve materije, bila bi 1,9 do 3,5 t/ha, pri čemu podaci za godinu sa ekstremnom sušom u vegetacionom periodu (2012) nisu uzeti u obzir. Relativni sakupljeni prinos, u odnosu na zrno, iznosio bi 24 do 30 %. Pri korišćenju postupka sakupljanja sa više prohoda – konvencionalni, sakupljene količine bile bi 5,2 do 6,1 t/ha suve materije. U odnosu na zrno to bi bilo 42 do 59 %, a u odnosu na ukupnu nadzemnu masu između 45 i 62 %. Ukoliko bi se, sa stanovišta održivosti, postavio zahtev da udeo sakupljene kukuruzovine u ukupnoj nadzemnoj masi bude niži od ovih vrednosti, to bi moglo da se koriguje uspostavljanjem plodoreda sa biljnom vrstom čiji se žetveni ostaci ne sakupljaju, ili odustajanjem od sakupljanja kukuruzovine svake treće godine.

Razmotreni su različiti postupci sakupljanja kukuruzovine, te ocenjeni na osnovu zahteva koje bi trebalo da ispune. Za najznačajnije su definisane granične vrednosti: produktivnost branja zrna ne sme da se smanji više od 10 %, dodatni gubitak zrna sme da bude do 1 %, a zaprljanje zemljom do 5 %. Konstatovano je da bi najpovoljniji bio postupak sakupljanja u dva prohoda, na primer, primenom hedera sa sečkom i formiračem zboja. Rešenje takvog uređaja još nije primenjivano u Evropi i Vojvodini. Najpovoljnija forma kukuruzovine su bale, a u posebnim slučajevima, na primer, za korišćenje kao kosupstrata za proizvodnju biogasa, može da se koristi iseckani materijal.

Uvedeni su sledeći pojmovi: cena kukuruzovine, koja predstavlja nabavnu vrednost na primarnom skladištu, i troškovi logistike, a njihov zbir je trošak nabavke. Pri određivanju cene kukuruzovine u obzir je uzeta njena vrednost na parceli, kao i vrednost biljnih hraniva koja sadrži. Pri nabavci velikih količina logistički troškovi su oko 30 % od troškova nabavke.



U pogledu energetske primene razlikuju se mogućnosti za korisnike malih i velikih količina. Male količine se koriste uglavnom za grejanje stambenih objekata. Danas se za te potrebe koristi uglavnom oklasak. Značajan problem je taj što se koriste jednostavni generatori toplote sa niskim stepenom korisnosti i visokom emisijom zagađujućih materija. Jedna od mera poboljšanja u ovoj oblasti bila bi proizvodnja i korišćenje peleta i briketa, što je još u razvoju. Kukuruzovina je pogodno gorivo i za daljinsko grejanje, dok je za kogeneraciju i električne centrale primenljiva za kosagorevanje, pri čemu bi udeo u mešavini sa drvnom biomasom bio do 30 %. Obećavajuće je korišćenje kukuruzovine kao kosupstrata za proizvodnju biogasa, te kao sirovine za lignocelulozni bioetanol –LCB.

Razmotreno je sakupljanje kukuruzovine sa aspekta zaštite životne sredine. Utvrđeno je da posebna pažnja treba da se posveti očuvanju plodnosti zemljišta. To treba imati u vidu pri planiranju eksploatacije kukuruzovine, a podršku treba da daju stručna lica i službe. U pogledu zaštite od eolske erozije, utvrđeno je da masa koja preostaje na parceli pruža adekvatnu zaštitu, uz primenu obrade zemljišta bez prevrtanja. Kako kukuruzovina predstavlja potencijalnu sirovinu za biogoriva druge generacije, razmotrena je održivost u pogledu ušteda u emisijama GHG. Ustanovljeno je, na osnovu dostupnih podataka, da bi proizvodnja biogoriva iz kukuruzovine zadovoljavala postavljeni kriterijum održivosti, te da ima nulti potencijal za indirektnu promenu namene zemljišta.

Sprovedeni eksperiment sakupljanja i skladištenja valjkastih bala kukuruzovine pokazao je da se primenom pikap-formirača zboja smanjuje zaprljanje zemljom. Ukupni pepeo bio je 8,9 %, a za formiranje zboja grabljama „sunce“, 17,2 %. Praćena je promena sadržaja vlage kamarisanih bala, sa i bez pokrivanja folijom i postavljanja na uzdignutu podlogu. Nakon 2,5 meseca sadržaj vlage opao je sa prosečnih 23, na nešto manje od 20 %. Nisu uočene signifikantne razlike između pokrivena i nepokrivena kamare, što se tumači kao posledica povoljnih vremenskih prilika.

Navedeni su brojni istraživačko-razvojni zadaci za unapređenje sakupljanja i korišćenja kukuruzovine kao energenta i sirovine za biogorivo u budućnosti.

## EXECUTIVE SUMMARY

### **Study of harvest, storage and processing of corn stover for its use as a fuel and feedstock for biofuels in Autonomous Province Vojvodina**

Corn is the most important agricultural crop in Serbia and AP Vojvodina, and corn stover most important renewable energy source among crop residues. This is why the Provincial Secretariat for Energy and Mineral Resources of Vojvodina initiated development of this Study. The National Renewable Energy Action Plan has set the goals for significant increase of the biomass utilization by 2020. The agricultural biomass is foreseen as a major source and corn stover has the highest potential.

The corn stover potential is influenced by a grain harvesting procedure. In Serbia and AP Vojvodina, the most common types of farms are small and medium-sized, where grain is usually harvested by picker-huskers. Harvested ears are naturally dried, and after threshing remain dried corn cobs whose yield is about 18 % compared with grains' yield of same moisture content. Big farms apply combine harvester with header equipped with ear snappers. In order to assess the potential of corn stover, the terms sustainable and energy potentials are introduced. The sustainable potential refers to the amount of collected stover that does not affect the soil fertility and the energy potential is obtained if from sustainable potential are subtracted amounts used for other purposes. It is estimated that the corn stover potential in Vojvodina was about 1.7 million tons in 2011, and in recent years, due to increase of corn acreage, this is approximately 10 % higher. It is stated that deficiencies of corn stover utilization are variable moisture content that can have values between approximately 12 and 50 % and high level of soiling due to application of conventional collection procedures.

Based on a five-year experiment, which was carried on for the most frequently used corn hybrids, data on yields of certain plant parts (fractions) are obtained. These data are used to calculate the mass of stover that can be collected, and the amount of on field remained mass. In the case when only harvester output (MOG– material other than grain, cobs and husk) is collected, harvested quantity of dry matter would be 1.9 to 3.5 t/ha (data for season 2012 with extreme drought during the vegetation period were excluded). The collected yields, relative to grain, would be between 24 and 30 %. If conventional multi-pass collection method is applied, collected quantities would be 5.2 to 6.1 t/ha. Relative to the grain, that would be 42 to 59 %, and in relation to the total above-ground crop residues between 45 and 62 %. If, because of the sustainability issues, there is a demand that lower quantity of stover have to be collected (in relation to total above-ground), this could be obtained by applying proper crop rotation, or by avoiding stover collection every third season.

The different stover collection procedures are assessed and evaluated in accordance to defined demands. For most important limit values are: the harvest productivity must not be reduced more than 10 %, the additional grain losses must be less than 1%, and soiling up to 5 %. It is stated that the most appropriate procedure of collection would be two-pass procedure, for example, by using harvester's header equipped with a stover chopper and windrow forming device –cornrower. The cornrower has not yet been applied in Europe and Vojvodina. The most preferred form of stover are bales, and in special circumstances, for example, when stover is intended to be used as a biogas substrate, grinded stover could be used.

Related to the costs, the following terms are introduced: the price of stover (costs of corn stover at primary storage) and the costs of logistic. Their sum makes the supply costs. The price, nearby common costs, includes also value of with stover removed nutrients and some revenue for stover owner. When purchasing large quantities of stover, it should be taken into account that the costs of logistic are about 30 % of total supply costs, in average.

Related to the use of corn stover as the energy source, there are different options for users of small and large quantities. Small quantities are mainly used for heating of residential buildings. Nowadays, for this purpose are used mainly cobs. As a significant problem is identified that simple heat generators, used now, have extremely low efficiency and high emission of pollutants. One of the measures of its improvement would be the production and use of pellets and briquettes, which is still in development. Corn stover is a suitable fuel for district heating, while its usage for cogeneration and power stations is suitable only for co-firing with wooden biomass while the share of corn stover may be up to 30 %. It is also promising use of corn stover as a substrate for biogas production and as a feedstock for production of lignocellulosic bioethanol –LCB.

Appraisal of environmental impacts of corn stover collection and use for energy has been performed. It is found out that special attention should be paid to preservation of soil fertility. This should be considered during stover utilization planning and support should be given by professionals and agricultural services -creation of sustainable corn stover–soil management. It is concluded that on filed remained mass can ensure protection of wind erosion, if conservation tillage is applied. Since stover represents potential feedstock for second generation biofuels, sustainability in terms of GHG emission savings is assessed. It is stated, based on available data, that production of corn stover based biofuels will be in accordance to the sustainability criterion. It is also stated that stover represents low ILUC risk feedstock.

Experimental collection of corn stover was performed, whereby two different windrowing procedures have been applied: conventional finger wheel rake and continuous belt merger with pickup device. Total ash content was for racking 17.2 %, and by using pickup windrower 8.9 %.

The second experiment was related to the round bales storage. It were formed two open air pyramidal stacks, uncovered and covered by foil and protected of ground moistening. After 2.5 months the average moisture content of baled corn stover decreased from initial 23 % to less than 20 %. Significant differences between covered and uncovered stacks were not observed, which can be interpreted as the consequence of a favourable weather conditions.

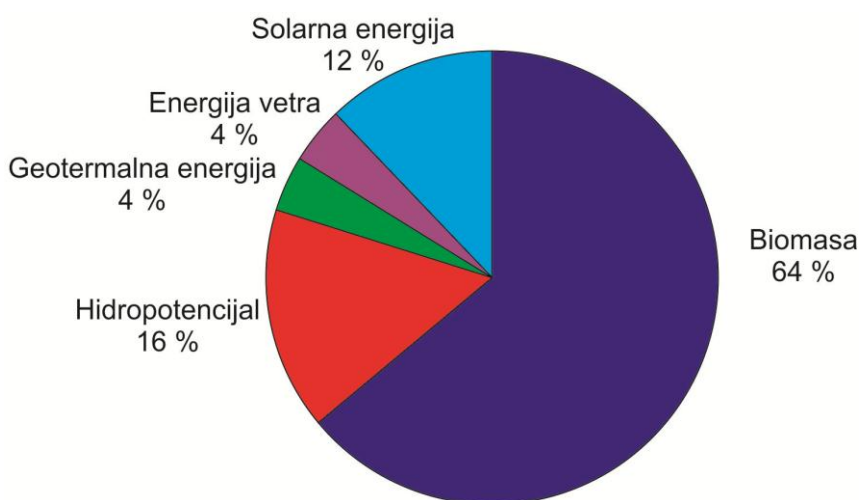
Listed are numerous research and development tasks aimed to obtain advancements of the collection and use of corn stover as energy source and feedstock for biofuels in the future.

## 1. UVOD

Korišćenje obnovljivih izvora energije ima, u savremenom svetu, dva primarna značaja: da se smanji korišćenje fosilnih goriva, koje za posledicu ima povećanje sadržaja ugljendioksida u atmosferi, te globalno zagrevanje, i da se zamene energetske izvorima sa ograničenim resursima.

Republika Srbija je, kao član Energetske zajednice, prihvatila da sledi energetske politiku Evropske unije (Anonim, 2007), što podrazumeva i korišćenje obnovljivih izvora energije u obimu koji je definisan u takozvanoj RED (*Renewable Energy Directive*), Direktivi 2009/28/EC (Anonim, 2009).

Prema Nacionalnom planu za obnovljive izvore energije Republike Srbije (Anonim, 2013a), biomasa predstavlja najznačajniji potencijal obnovljivih izvora energije, sl. 1.



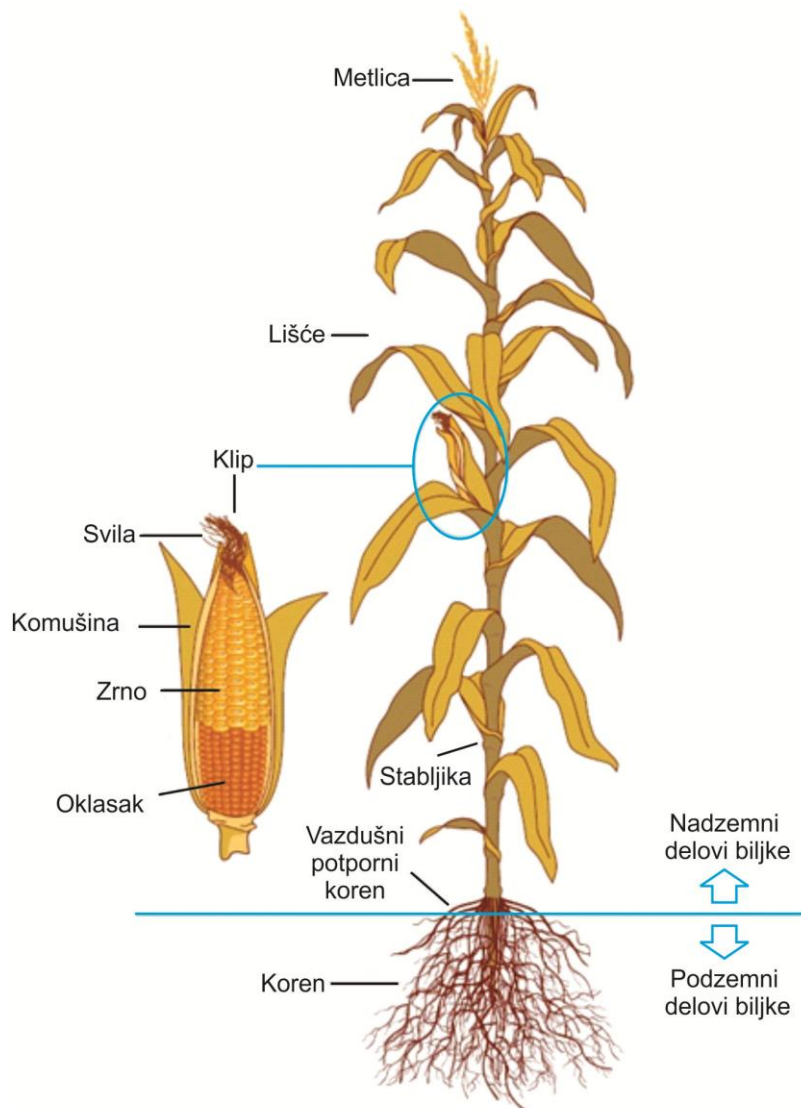
Sl. 1 Procena potencijala OIE u Srbiji (Anonim, 2013a)

U AP Vojvodini agrarna biomasa predstavlja najveći potencijal obnovljivih izvora energije –OIE. Ovim pojmom obuhvaćeno je više materija, a najznačajniji su žetveni ostaci. Oni su tradicionalno korišćeni kao energetske izvor, a u novim uslovima, ponovo je njihova primena aktuelizovana.

Srbija, odnosno njen panonski deo, AP Vojvodina, deo su evropskog *corn belt* (kukuruznog pojasa). Zahvaljujući agroekološkim uslovima, kukuruz je najzastupljenija ratarska biljna vrsta. Već dugo zauzima oko 40 % površina pod ratarskim biljnim vrstama, a u poslednje vreme taj udeo je čak i porastao. Žetveni ostatak, kukuruzovina, predstavlja najveći potencijal agrarne biomase u AP Vojvodini, pa i celoj Srbiji.

Pod pojmom kukuruzovina, podrazumevaju se svi nadzemni žetveni ostaci biljke, mada, u zavisnosti od načina sakupljanja, može da uključuje različite delove. Na sl. 2 prikazana je biljka kukuruza. Nadzemni deo sastoji se, pored zrna, od stabljike, lišća, oklaska, komušine, ostatka muške cvasti –metlice, ženske cvasti –svile, a kao poseban deo može da se posmatra i donji deo stabljike sa vazдушnim korenom. Sa stanovišta primene, za bilo koju svrhu, vazdušno potporni koren nije pogodan, te se, pri svim razmatranjima taj deo, 15 do 20 cm visine od površine zemlje, ne uzima u obzir.

Deo koji može da se koristi zavisi od načina branja zrna. Načelno postoje berači, kojima se bere klip, berači-komušači, kojima se otkida klip i uklanja komušina, te berači-krunjači, koji ubiru samo zrno kukuruza.



Sl. 2 Delovi biljke kukuruza

Berače koriste neki od proizvođača semenskog kukuruza, koji pored toga koriste i berače-komušače. Primena ovakvog postupka branja je za semenski kukuruz imperativ, jer se na taj način smanjuju oštećenja zrna. Krunjenje se obavlja tek nakon sušenja, a tada je zrno mnogo manje osetljivo na mehanička naprezanja.

Berači-komušači najšire se primenjuju na manjim i srednjim, uglavnom porodičnim, gazdinstvima<sup>1</sup>, odnosno parcelama, te se nakon toga sprovodi, uglavnom, prirodno sušenje. Prednost ovakvog branja je u tome što se za sušenje ne troši gorivo, a tradicionalne sušare za prirodno sušenje (koševi, kotobanje, kotarke...), ujedno su i skladišta. Nedostaci su: više rada za utovar i istovar, potreban velik prostor na provetrenim položajima, opasnost od kvarenja usled nepovoljnih vremenskih prilika, potencijalni gubici od štetočina (glodara), te kasno dospevanje zrna za prodaju. Sa stanovišta energetske

<sup>1</sup> U Studiji se koristi pojam gazdinstvo za sve površine koje poljoprivrednik, zadruga ili preduzeće obrađuje, njima gazduje. Dakle, ne samo ono što je u vlasništvu, već i u najmu ili se uslužno obrađuje, ukoliko to obuhvata i ubiranje kukuruzovine.

primene žetvenih ostataka povoljno je to što je, nakon krunjenja, celokupna količina suvog oklaska na raspolaganju u ekonomskom dvorištu.

Berači-krunjači su zapravo univerzalni žitni kombajni sa hederom (adapterom) sa otkidačima klipa, te vršidbenim aparatom podešenim za berbu kukuruza. Ubrano zrno se nakon branja suši i skladišti.

Postupci zbrinjavanja žetvenih ostataka obrađeni su u posebnom poglavlju.

Tradicionalno korišćenje kukuruzovine bilo je isključivo sagorevanje stabljike, lista i komušine, koji su preostajali nakon ručnog branja klipa, te oklaska nakon krunjenja. Danas je ručno branje izuzetak, pa i takvo korišćenje kukuruzovine. Tipična je primena oklasaka za grejanje stambenih objekata na malim gazdinstvima, a za sušenje klipova pri proizvodnji semenske robe na velikim.

Poslednjih godina otvaraju se nove mogućnosti, korišćenje kukuruzovine kao goriva za kogenerativna postrojenja (kombinovano generisanje električne i toplotne energije), kao supstrata za proizvodnju biogasa, a najnovije je primena kukuruzovine kao sirovine za proizvodnju bioetanol (etanol na bazi ligno-celuloznog materijala, *Ligno-Cellulosic Bioethanol* –LCB). U trećem slučaju radi se o proizvodnji biogoriva, u čemu Srbija značajno zaostaje u odnosu na ciljeve definisane u RED. Takođe, proizvodnja biogasa može da rezultira takozvanim biometanom, koji je po sastavu sličan ili identičan prirodnom gasu, te može da se koristi u specijalnim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem namenjenim za ovo gorivo (CNG – *Compressed Natural Gas*). Na taj način ponovo se dobija biogorivo, u ovom slučaju na bazi nusproizvoda, žetvenih ostataka, što je i sa stanovišta zaštite životne sredine vrlo povoljno. Ovo gorivo posebno je pogodno, zbog znatno nižih emisija zagađujućih materija, za urbani transport (Martinov *i dr*, 2012). Oba biogoriva ubrajaju se u takozvanu drugu generaciju (2G), jer se za njihovu proizvodnju ne koristi hrana (poređenje: zrno kukuruza koristi se za proizvodnju etanola, a to je hrana).

Ima više problema za korišćenje kukuruzovine kao energenta. Za razliku od slame strnina i soje, kod kojih je u vreme sakupljanja sadržaj vlage na nivou ravnotežnog, a najčešće i niži, kod kukuruzovine se kreće u širokom rasponu. Sakupljanje ranostasnih hibrida započinje u drugoj polovini septembra (u nekim slučajevima i ranije), te je sadržaj vlage u najvećem broju slučajeva sličan onom kod slame, od 12 do 16 %. To se značajno menja pri sakupljanju srednjestasnih i kasnostasnih hibrida, kada dostiže i preko 50 %. Visok sadržaj vlage ima uticaja na mogućnost skladištenja, i gubitke usled mikrobiološke razgradnje koji pri tome nastaju, ali i na primenljivost za neke namene, tipično za sagorevanje. Pored toga, pri uobičajenim postupcima sakupljanja, dolazi do značajne kontaminacije zemljom, te sadržaj pepela može da poraste sa osnovnih oko 5 % (sadržaj mineralnih materija u kukuruzovini + talog prašine), na preko 20 %. Ovako visoko prisustvo pepela, zemlje, otežava, ili onemogućava primenu kukuruzovine.

Na osnovu iznetog postavljen je cilj ove Studije da se definišu potencijali i mogućnosti korišćenja kukuruzovine kao energenta i sirovine za biogoriva, te su formirani sledeći radni zadaci:

1. Dati realnu procenu potencijala kukuruzovine u AP Vojvodini kao izvora energije, potencijal za energetske svrhe i potencijal za biogoriva. Pri tome proceniti potencijale za različite primene: sagorevanje u malim generatorima toplote, za sagorevanje u velikim generatorima toplote, eventualno za kogeneraciju, za proizvodnju biogoriva, za korišćenje kao kosupstrata za proizvodnju biogasa i sirovine za ostale postupke konverzije. Navesti moguće uticaje ubiranja kukuruzovine na životnu sredinu i očuvanje plodnosti zemljišta, kao i mere za prevazilaženje negativnih uticaja. Završni iskaz je održivi potencijal za energetske korišćenje.

2. Dati pregled mogućnosti ubiranja i skladištenja kukuruzovine sa ocenom primenljivosti u AP Vojvodini, kao i ocenu mogućnosti unapređenja.
3. Definisati moguće lance snabdevanja, sa posebnim naglaskom na veće korisnike, sa ocenom pogodnosti i poteškoća. Proceniti i mogućnost korišćenja vodenog transporta.
4. Oceniti troškove ubiranja i logistike za snabdevanje velikih korisnika, te mogućnost snabdevanja i sigurnost snabdevanja po kategorijama korisnika.
5. Definisati LCA za lanac snabdevanja kukuruzovinom, emisije gasova sa efektom staklene bašte za dva primera ubiranja i dva do tri transportna rastojanja. Poseban osvrt treba dati na emisije gasova sa efektom staklene bašte za postupak ubiranja i spremanja kukuruzovine, vezano za RED članove 17 do 21, kao i Direktive 2009/30/EC.
6. Oceniti ubiranje i korišćenje kukuruzovine sa stanovišta ILUC (*Indirect Land Use Change*) za proizvodnju biogoriva.
7. Sprovesti na jednom ili više imanja probno ubiranje i formiranje skladišta za jednu formu ubiranja kukuruzovine, na primer, valjkaste bale.

## 2. KUKURUZOVINA KAO ENERAGENT I SIROVINA

Postoji više načina energetskog korišćenja biomase, pa time i kukuruzovine. Hemijska energija kukuruzovine može da se sagorevanjem konvertuje u toplotnu, a to je samo jedan od postupaka. Slični su gasifikacija i piroliza, pri čemu je rezultat gasovito pa i tečno gorivo. Veliki istraživački naponi uloženi su u realizaciju postupka BtL – *Biomass-to-Liquid*, kojim se dobija takozvani singas. Postupkom poznatim kao *Fischer-Tropsch* proces, biomasa se prevodi u tečno gorivo sastava sličnog mineralnim, nafti. Ovaj postupak ima punu tehnološku zrelost, ali ne i primenljivost u praksi, pre svega zbog visokih troškova. To se odnosi i na termo-hemijsku konverziju, koja je u fazi pilot postrojenja.

Značajan napredak ostvaren je u biohemijskoj konverziji, a pre svega proizvodnji biogasa. Ova tehnologija je u fazi rane komercijalne zrelosti. Poslednjih godina usavršena je i hemijska konverzija, proizvodnja bioetanol od lignoceluloznih materijala –LCB. Ona je takođe u fazi rane komercijalne zrelosti. Za oba postupka su zbog visokih investicionih troškova isplativa samo postrojenja velikog kapaciteta, a to se posebno odnosi na LCB.

U Srbiji investitor ne može da očekuje značajne subvencije za ulaganja, a posebno ne od izvora van zemlje. Stoga su primenljive samo one tehnologije koje su na nivou pune komercijalne zrelosti, sa u praksi proverenim pozitivnim efektima. Nadalje su prikazane karakteristike kukuruzovine kao goriva, te sagorevanje, proizvodnja biogasa i korišćenje kukuruzovine kao sirovine za biogorivo, odnosno lignocelulozni bioetanol.

### 2.1 Karakteristike kukuruzovine kao energenta

Ovde su obrađene najznačajnije karakteristike za korišćenje kukuruzovine kao energenta. Kukuruzovina, kao i drugi žetveni ostaci, u poređenju sa drvnom biomasom ima viši sadržaj azota, što pri visokim temperaturama u parnim kotlovima rezultira povećanim sadržajem NO<sub>x</sub>, povišenim sadržajem kalijuma, što za posledicu ima sniženje temperature topljenja pepela i visokotemperaturnu koroziju, te viši sadržaj hlora, sa više negativnih efekata.

#### **Donja toplotna moć**

Najznačajnija karakteristika goriva je **donja toplotna moć**, koja predstavlja primarnu energiju koja je na raspolaganju u materiji. Ona zavisi od jedinjenja od kojih je materija građena, a za biomasu može da se, aproksimativno, odredi i na osnovu elementarnog sastava. Kukuruzovina ima sastav sličan drugim žetvenim ostacima pa je i vrednost donje toplotne moći slična. Ovde će se posmatrati kukuruzovina u užem smislu, koja se sastoji od stabljike, lista, komušine, metlice, pa i svile, te oklasak, koji je na raspolaganju odvojeno, pri pojedinim postupcima berbe.

Donja toplotna moć definiše se za suhu materiju, a kasnije obračunava za datu vrednost sadržaja vlage. Ona se menja u zavisnosti od hibrida, agroekoloških uslova na nekom području, vremenskih prilika neke godine i drugih uticaja. Na osnovu brojnih podataka može se reći da je donja toplotna moć kukuruzovine u granicama 16,8 do 17,4 MJ/kg, srednja vrednost oko 17,2, a oklaska 17,4 do 17,8 MJ/kg, srednja vrednost 17,6. Za praktičnu primenu koristi se i izražavanje donje toplotne moći u kWh/kg, što se dobija deljenjem prethodnih vrednosti sa 3,6.



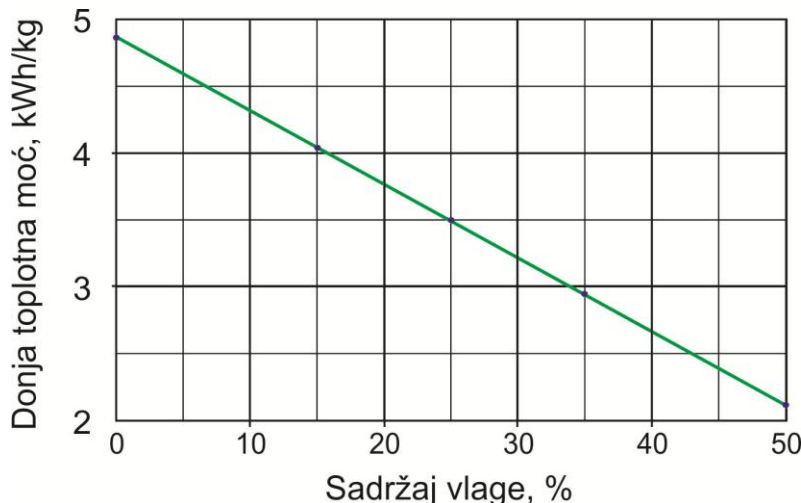
## Sadržaj vlage

U praksi se ne sreće suva materija, već materijal sa određenim sadržajem vlage. On se kod kukuruzovine javlja u širokim granicama, 12 % za presušenu kukuruzovinu pri sakupljanju ranostasnih hibrida u povoljnim vremenskim uslovima, pa i do preko 50 % za kasnostasne hibride i sakupljanje u nepovoljnim vremenskim uslovima (kiša pa i sneg). Usled prisutne vlage – vode, deo materijala je negoriv, a pored toga potrebna je i energija za isparavanje vode. Stoga se donja toplotna moć sa povećanjem sadržaja vlage smanjuje, što je prikazano u tab. 1. Ovde je računica sprovedena za ravnotežni sadržaj vlage (pri kojem je intenzitet sorpcije i desorpcije izjednačen), što je oko 15 %. Nadalje je uzeto 25 %, što može da se smatra gornjom granicom sadržaja vlage za korišćenje sagorevanjem u uobičajenim generatorima toplote, 35 % i 50 % kao manje povoljni slučajevi, a u primeni za druge postupke konverzije.

Tab. 1 Donja toplotna moć kukuruzovine i oklasak izražena u MJ/kg / kWh/kg, u zavisnosti od sadržaja vlage

Materijal	Sadržaj vlage, %				
	0	15	25	35	50
Kukuruzovina	17,2/4,8	14,3/4,0	12,3/3,4	10,3/2,9	7,4/2,1
Oklasak	17,6/4,9	14,6/4,1	12,6/3,5	10,6/2,9	7,6/2,1

Rezultati iz tab. 1, kao srednje vrednosti za kukuruzovinu i oklasak, prikazani su i na sl. 3, ovde u kWh/kg. Vidi se da je donja toplotna moć za sadržaj vlage 50 % gotovo dvostruko niža od one za sadržaj vlage 15 %.



Sl. 3 Promena donje toplotne moći kukuruzovine u zavisnosti od sadržaja vlage

Sadržaj vlage, dakle, ima značajan uticaj na primenljivost kukuruzovine kao energenta. To se posebno odnosi na primenu sagorevanjem. Za proizvodnju biogasa i bioetanola sadržaj vlage nema uticaja, ili je on znatno manji, jer se radi o „vlažnim“ postupcima konverzije. Ukoliko se planira briketiranje ili peletiranje kukuruzovine uticaj sadržaja vlage je velik. On mora da bude u uskom dijapazonu, obično 13 do 16 %, jer bi u suprotnom bilo neizvodljivo usitnjavanje i presovanje.

Pored navedenog, sadržaj vlage ima uticaja i na degradaciju kukuruzovine tokom skladištenja. Visok sadržaj vlage doprinosi intenzivnijoj mikrobiološkoj razgradnji organske materije, truljenje, što utiče na smanjenje potencijala, pa i dovođenje u stanje u kojem je

kukuruzovina neupotrebljiva za skoro sve postupke konverzije. Sadržaj vlage, kao što je navedeno, zavisi od vremena sakupljanja i vremenskih prilika. Delimično ili potpuno može da se kontroliše i smanji ispravnim skladištenjem, što je opisano u poglavlju 4.2. Dovođenje sadržaja vlage u prihvatljive okvire važan je preduslov za uspešno korišćenje kukuruzovine kao energenta.

### **Sadržaj i osobine pepela**

Pepeo predstavlja negorive mineralne materije. Što je više pepela, niža je donja toplotna moć. To nije jedina posledica, ukoliko je više pepela potrebno je da se on tokom procesa uklanja, na primer, kod sagorevanja. Kukuruzovina ima 5,0 do 5,5 % pepela, a oklasak 1,5 do 2,0 %. Radi poređenja, sadržaj pepela drveta je 0,4 do 0,6 %.

Pored višeg sadržaja pepela značajno je i to što su temperature omekšavanja i topljenja niže nego drvene biomase. Posledica može da bude, pri sagorevanju, posebno na višim temperaturama, stvaranje šljake, eventualno zatvaranje dovoda vazduha, pa i prekid sagorevanja.

Ovde su navedeni sadržaji pepela čistog materijala. Pri sakupljanju kukuruzovine (ne važi za oklasak), posebno ukoliko se koriste grablje za formiranje zboja, dolazi do zaprljanja zemljom. To su mineralne negorive materije, te sadržaj pepela raste, u najnepovoljnijim slučajevima i na preko 20 % (15 % i više zemlje). Povišen sadržaj pepela negativno utiče na sve postupke konverzije, a posebno ukoliko se kukuruzovina koristi za proizvodnju biogasa. Pri tome dolazi do taloženja mineralne materije u fermentoru, pa se aktivna zapremina smanjuje, te proces mora da se, nakon formiranja visokog sloja, obustavi i fermentor čisti. Za svaki proces mogla bi da se definiše gornja granica sadržaja pepela, na primer, 8 do 10 %. Zaprljanje zemljom može da se smanji, pored rada u povoljnim vremenskim uslovima (bez padavina i blata), primenom odgovarajućeg postupka sakupljanja, što je opisano u poglavlju 4.1.

### **Forma kukuruzovine**

Forme u kojima se nalazi kukuruzovina su rinfuza (rasuta forma), bale i otpresci. U rasutom stanju su uglavnom oklasci. Samo u posebnim slučajevima, kada su parcele vrlo blizu mestu korišćenja/skladištenja, na primer, biogas postrojenja, može da se koristi iseckana kukuruzovina. Gustina oklasaka zavisi od usitnjenosti. Obično je oko  $150 \text{ kg/m}^3$ , za ravnotežni sadržaj vlage. Usitnjavanjem oklasaka dostiže se gustina i do  $230 \text{ kg/m}^3$ .

Najčešće je kukuruzovina u formi bala, konvencionalnih ili velikih – valjkastih ili četvrtastih. Ova forma omogućava jevtiniju manipulaciju, transport i skladištenje. Za većinu procesa konverzije bale kukuruzovine se dezintegrišu, a za pojedine potrebe masa usitnjava. Gustina balirane kukuruzovine je, svedeno na ravnotežni sadržaj vlage, 80 do  $130 \text{ kg/m}^3$ .

Proizvodnja otpresaka kukuruzovine i oklasaka, briketa i peleta, je u fazi razvoja. Poseban problem predstavlja sušenje kukuruzovine, čiji je sadržaj vlage, za razliku od slame, najčešće iznad prihvatljive vrednosti. Ova forma ima gustinu 600 do  $800 \text{ kg/m}^3$ . Povoljna je za transport, skladištenje i sagorevanje, a najviše se koristi u pećima i kotlovima za grejanje stambenog prostora.

Sadržaj volatila, lako isparljivih materija, je u žetvenim ostacima visok. Kod kukuruzovine je oko 70, a oklaska oko 80 %. To otežava sagorevanje u nekim generatorima toplote, jer se gorivi gasovi lako izdvajaju, a posle toga ostaje mala količina fiksnog ugljenika. Kako se narodski kaže, nema žara. To je uzrok niskog stepena korisnosti u generatorima toplote koji nisu podešeni za ova goriva. Sa tog stanovišta, ukoliko se koriste

obične peći i kotlovi, najpovoljniji su otpresci. Zbog njihove visoke gustine izdvajanje volatila je usporeno, slično kao kod cepanica drveta, te su efekti sagorevanja povoljniji.

Proizvodnja otpresaka od kukuruzovine nije široko rasprostranjena. Problem je, kao što je navedeno, dovođenje kukuruzovine do poželjnog sadržaja vlage, zatim usitnjavanje pojedinih delova, oklaska, te ostvarenje peleta zadovoljavajuće postojanosti. Koliko je autorima studije poznato, pelete na bazi kukuruzovine proizvodi jedna firma u Vojvodini. Na Tehničkom univerzitetu Hamburg u toku su ispitivanja koja za cilj imaju unapređenje postupka peletiranja kukuruzovine, a koristi se sirovina iz Vojvodine. Ukoliko bi se postigli zadovoljavajući rezultati, potpomoglo bi se širem korišćenju kukuruzovine sagorevanjem.

## 2.2 Korišćenje sagorevanjem

Korišćenje kukuruzovine kao goriva ima dugu tradiciju. U prošlosti, kada je kukuruz bran ručno, stabljike sa listom i komušinom su se takođe ručno odsecale i formirali snopovi. Snopovi su se, na parcelama ili ekonomskom dvorištu, postavljali u kupe i tako sušili. Danas je ovakvo korišćenje raretetno.

Korišćenje kukuruzovine sagorevanjem manje je zastupljeno od sagorevanja slame pšenice i soje. Razlog je jednostavan, često visok sadržaj vlage.

Za razliku od kukuruzovine (mešavine nadzemnih ostataka, bez ili sa oklaskom), sagorevanje oklaska, koji preostaje nakon sušenja i krunjenja klipova ubranih beračekomušačem, je vrlo rašireno. Ukoliko se radi o proizvodnji semenskog kukuruza, korišćenje oklaska kao goriva nameće se kao jedina racionalna opcija za sušenje klipova. Postupak primene oklaska za sušenje široko je zastupljen, a praćen pozitivnim ekonomskim efektima. Jedan od brojnih primera sušara prikazan je na sl. 4.



Sl. 4 Čeoni pogled na sušaru klipova semenskog kukuruza koja kao gorivo koristi oklasak

Raspoloživa energija u oklascima dovoljna je za sušenje, a u zavisnosti od sadržaja vlage klipova, na raspolaganju je i višak, koji se često koristi za grejanje poslovnog prostora, ili se prodaje drugim korisnicima.

Što se tiče oklasa na malim i srednjim porodičnim gazdinstvima, može se reći da se skoro u potpunosti iskoristi. Sadržaj vlage je obično ravnotežni, a tako i ostaje ukoliko je uskladišteni oklasak zaštićen od padavina. Najveći problem predstavlja to što se za sagorevanje koriste jednostavni i neodgovarajući generatori toplote, peći i kotlovi, sa niskim stepenom korisnosti i visokom emisijom zagađujućih materija (Martinov *i dr*, 2006).



Sl. 5 Skladište goriva, oklasak i kukuruzovina, levo, jednostavno ložište za oklasak, desno

U težnji da se oklasak prilagodi sagorevanju u kotlovima sa automatskim loženjem razvijen je uređaj za drobljenje, kojim je postignuta povoljna granulacija, sl 6.

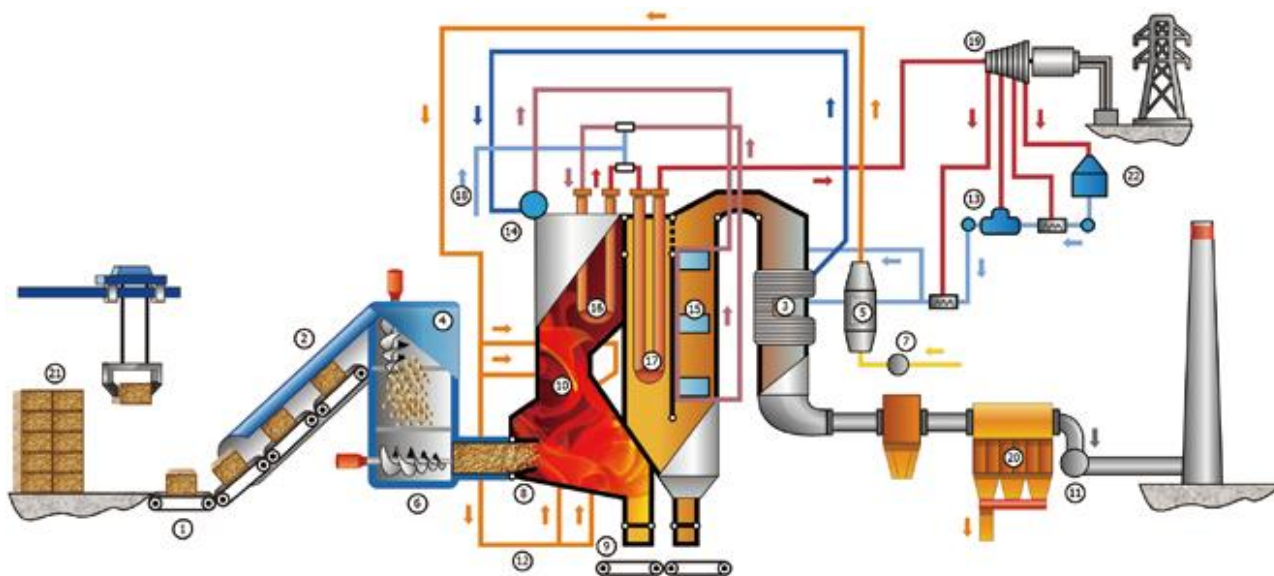


Sl. 6 Uređaj za drobljenje oklasa (opisano i prikazani rezultati efekata rada u Martinov *i dr*, 2011b), levo i kotao kojim se ostvaruje automatsko loženje drobljenog oklasa (doziranje pužem odozdo, takozvano ložište krtica), desno

## Velika postrojenja za sagorevanje kukuruzovine

Posebna kategorija su veliki kotlovi za procesnu toplotu, daljinsko grejanje, pa i parni kotlovi za kogenerativna postrojenja i elektrane. Za sada se kukuruzovina ne koristi kao gorivo za daljinsko grejanje, mada bi, kao jedino gorivo, ili u kombinaciji sa drugim vrstama biomase, njeno korišćenje bilo moguće i povoljno. Očekuje se da bi u skorijoj budućnosti moglo da se očekuje da započne gradnja postrojenja za daljinsko grejanje koje bi koristilo žetvene ostatke, pa i kukuruzovinu.

Za kogenerativna postrojenja i/ili elektrane sa parnim turbinama, potrebno je da se generiše para visokog pritiska i temperature. Samo mali broj proizvođača ima znanja i iskustva da ponudi kotlove pogodne za sagorevanje žetvenih ostataka, a posebno kukuruzovine. Primer elektrane je postrojenje u mestu Liaoyuan u Kini, nazivne električne snage 30 MW, koje je izvela danska kompanija. Za 7.800 sati rada godišnje koristi oko 200.000 t kukuruzovine, svedeno na suhu materiju.



Sl. 7 Šema elektrane u Kini koja kao gorivo koristi kukuruzovinu (prema podacima firme DP Clean Tech, [dpcleantech.com](http://dpcleantech.com))

1– lančasti transporter, 2– nepropusna vrata, 3– ekonomajzer, 4– pužni grebač-usitnjivač, 5– predgrejač vazduha, 6– puž za loženje, 7– ventilator, 8– vibraciona rešetka, 9– transporter grubog pepela, 10– ložište, 11– ventilator 2, 12– predgrejan sekundarni vazduh, 13– deaerator, 14– parni bubanj, 15– super grejač 1, 16– super grejač 2, 17– super grejač 3, 18– grejač vode, 19– turbina, 20– vrećasti filter, 21– skladište bala, 22– kondenzator

Drugi primer je kogenerativno postrojenje u mestu Czechnica u blizini Vroclava u Poljskoj. Za kosagorevanje, sa sečkom drveta, koristi se iseckana vlažna kukuruzovina (sadržaj vlage i do 50 %). Godišnja količina je oko 48.000 t, a kukuruzovina u generisanoj električnoj energiji učestvuje sa 20 %, sl. 8.

Bojić (2013) razmatra korišćenje kukuruzovine, u kombinaciji sa drugim žetvenim ostacima, pa i drvenom biomasom, za generisanje električne energije, elektrane, na području AP Vojvodine. Utvrđeno je da potencijali za takva rešenja postoje, ali da ulaganje, zbog nedovoljno visoke *feed-in* tarife, ne bi bilo profitabilno. Ocenjeno je da je primena kogeneracije teško izvodljiva, jer na područjima sa potencijalima žetvenih ostataka nema značajnih potencijalnih korisnika toplotne energije, pa ni plasmana.

Sa tehničkog stanovišta, kao što je navedeno, tehnologiju generisanja pare uz primenu žetvenih ostataka kao goriva, savladao je manji broj proizvođača, pa su i cene

takvih kotlova visoke. Ne očekuje se da će u narednih tri do pet godina doći do značajnijeg unapređenja u pogledu tehnologije i u pogledu sniženja investicionih troškova.



Sl. 8 Kogenerativno postrojenje Czesnica, koja za kosagorevanje sa drvenom sečkom koristi vlažnu kukuruzovinu

### 2.3 Supstrat za proizvodnju biogasa

Sa stanovišta zaštite životne sredine, pa i ekonomskih efekata, najpovoljnije je da se kao sirovina, supstrat, za generisanje biogasa koristi otpad. Posebno je povoljna primena stajnjaka, jer se na taj način sprečava emisija metana tokom njegovog skladištenja. Na žalost, obično je količina stajnjaka nedovoljna za biogas postrojenje prihvatljivog kapaciteta. Na primer, govedarska farma od 1.000 uslovnih grla (goveda mase 500 kg), produkuje stajnjak kojim može da se, u zavisnosti od više činilaca, a najpre da li se radi o čvrstom (korišćenje prostirke) ili tečnom stajnjaku, ostvari nazivna električna snaga kogenerativnog postrojenja 120 do 150 kW<sub>e</sub>. Specifična vrednost investicije značajno opada sa porastom nominalne električne snage preko te vrednosti, pa je želja svakog investitora da postigne što veći kapacitet. Zbog toga se koriste drugi kosupstrati, a najčešće, sa najvećim efektom po hektaru, silaža kukuruza. Dakle, za generisanje energije koristi se hrana-krmivo, što je nepovoljno. Novim predlogom *feed-in* tarife za povlašćene proizvođače, one su za biogas povećane, ali je i postavljen uslov da se najviše 40 % električne energije dobija od silaže kukuruza.

Najznačajniji potencijal za generisanje biogasa su žetveni ostaci, a među njima kukuruzovina. Pri ovoj primeni promenljiv i visok sadržaj vlage nema uticaja, te je taj nedostatak kukuruzovine bez značaja. Kukuruzovina, sa visokim sadržajem suve materije, pogodna je za mešanje sa visokovlažnim supstratima, kao što je osoka goveda, a posebno svinja (udeo čvrste materije 2 do 6 %).

Vlažnost kukuruzovine nije ograničavajući faktor za njeno korišćenje kao supstrata za generisanje biogasa. Bitno je samo to da se, u zavisnosti od primenjenog postupka, uobičajena „vlažna“ ili manje primenljiva „suva“ destilacija, pri mešanju sa drugim supstratima ostvari da sadržaj suve materije bude u potrebnim granicama. Za prvi bi to bilo do 12 %, a za drugi preko 25 %. Pored navedenog, dodavanjem kukuruzovine može odnos C:N (ugljenika prema azotu), da se dovede do poželjne vrednosti.

Potencijal kukuruzovine za generisanje biogasa je visok, a meren je i u Laboratoriji za inženjerstvo biosistema Fakulteta tehničkih nauka. U nastavku su prikazani primeri dobijenih rezultata merenja prinosa za kukuruzovinu i komušinu.

IZVEŠTAJ:  
EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE PRINOSA I SASTAVA  
BIOGASA

Naručilac: GIZ  
Period sprovođenja eksperimenta: 24.09.2015. – 22.10.2015  
Inokulum: Mirotin Energo, Vrbas

Rezultati:

1. Kukuruzovina

Parametar	Vrednost	St. devijacija
SM, %	90.34	0.24
OSM, %	78.97	2.91
OSM, % SM	87.41	3.09
Prinos biogasa, mL/g SvM	400.42	19.69
Prinos biogasa, mL/g SM	443.41	21.80
Prinos biogasa, mL/g OSM	503.38	24.75
Prinos metana, mL/g SvM	216.25	7.69
Prinos metana, mL/g SM	239.47	8.51
Prinos metana, mL/g OSM	271.86	9.67
Udeo metana, %	54.03	0.92

SvM: sveža materija, SM: suva materija, OSM: organska suva materija.

Sadržaj suve materije i organske suve materije određen u skladu sa SRPS EN 15934:2013 i SRPS EN 15935:2013.

Određivanje prinosa i sastava biogasa u skladu sa pravilima definisanim u VDI 4630: Fermentation of organic materials, characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests.

U vidu pozitivne kontrole određivan prinos i sastav biogasa mikrokristalne celuloze.

IZVEŠTAJ:  
EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE PRINOSA I SASTAVA  
BIOGASA

Naručilac: GIZ  
Period sprovođenja eksperimenta: 24.09.2015. – 22.10.2015  
Inokulum: Mirotin Energo, Vrbas

Rezultati:

1. Komušina

Parametar	Vrednost	St. devijacija
SM, %	90.12	0.53
OSM, %	88.97	0.53
OSM, % SM	98.73	1.15
Prinos biogasa, mL/g SvM	487.48	16.82
Prinos biogasa, mL/g SM	540.63	18.65
Prinos biogasa, mL/g OSM	547.84	18.90
Prinos metana, mL/g SvM	246.06	8.67
Prinos metana, mL/g SM	272.88	9.61
Prinos metana, mL/g OSM	276.52	9.74
Udeo metana, %	50.47	0.07

SvM: sveža materija, SM: suva materija, OSM: organska suva materija.

Sadržaj suve materije i organske suve materije određen u skladu sa SRPS EN 15934:2013 i SRPS EN 15935:2013.

Određivanje prinosa i sastava biogasa u skladu sa pravilima definisanim u VDI 4630: Fermentation of organic materials, characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests.

U vidu pozitivne kontrole određivan prinos i sastav biogasa mikrokristalne celuloze.

U tab. 2 prikazani su rezultati dobijeni za kukuruzovinu raznih hibrida koji se proizvode u Vojvodini. Navedena je i specifična snaga SEP. Množenjem ove vrednosti sa godišnje raspoloživom količinom supstrata u tonama dobija se nazivna električna snaga koja može da se time postigne za kontinualni rad kogenerativno postrojenja u trajanju od 8.000 sati.

Navedene vrednosti važe za kukuruzovinu sa prosečnim sadržajem vlage 10 %. Za druge sadržaje vrednost se dobija preračunavanjem. Na primer, za sadržaj vlage 20 %, množi se sa 0,89.

Tab. 2 Prinosi biogasa i odgovarajući sadržaj metana

Naziv hibrida/FAO grupa	Prinos biogasa		Prinos metana		Sadržaj metana		SEP
	Nm <sup>3</sup> /t <sub>SM</sub>	SD	Nm <sup>3</sup> /t <sub>SM</sub>	SD	%(v/v)	SD	kWe/t <sub>SM</sub>
Pako/490	440,6	0,99	208,72	1,5019	47,4	0,23	0,098845
Luce/550	421,2	5,74	227,10	5,6509	53,9	0,72	0,107549
Korimbos/600	529,8	34,75	285,86	19,775	54,9	0,43	0,135376
NS 6010/600	516,3	18,90	278,62	11,396	53,9	0,38	0,131947
Grecale/700	374,6	81,05	201,07	46,776	53,5	1,20	0,095222

SEP –specifična električna snaga

Prosečna vrednost SEP je oko 0,110, a za sadržaj vlage 20 % bila bi oko 0,098. Ukoliko bi se godišnje koristilo 1.000 tona kukuruzovine, tog prosečnog sadržaja vlage, nominalna električna snaga bila bi oko 98 kW<sub>e</sub>. Treba da se naznači da je prinos definisan u laboratoriji teoretski, a u praksi može da se očekuje, usled mnogih uticaja, nešto niži.

Na osnovu prethodnog, za postrojenje nazivne snage 500 kW, kod kojeg se kukuruzovinom pokriva polovina generisane električne energije, godišnje bi bilo potrebno oko 2.800 tona kukuruzovine prosečnog sadržaja vlage 20 %.

Ipak, treba da se naznači, da je za uspešnu fermentaciju kukuruzovine, to se odnosi na brzinu procesa, potrebno da se obavi prethodna prerada, sa ciljem da se razbije ligninska struktura, te da put do celuloze i hemiceluloze bude „otvoren“. Pored usitnjavanja kukuruzovine, što se podrazumeva, postoji više postupaka tretmana. Na osnovu dostupnih podataka, čini se da je najbliži komercijalnoj zrelosti takozvani *steam explosion* postupak. On podrazumeva zagrevanje kukuruzovine parom, te brzo dovođenje na atmosferske uslove, što prouzrokuje „eksploziju“, pucanje, ligninske strukture. Očekuje se da će ovaj postupak, koji je do sada više puta isproban na pilot i demonstracionim postrojenjima, naredne godine biti u fazi pune komercijalne zrelosti.



Sl. 9 Primer biogas postrojenja koje kao kosupstrat koristi kukuruzovinu

Nedavno je dovršena studija koja je za cilj imala da razmotri mogućnost korišćenja stajnjaka peradi i osoke svinja u kombinaciji sa žetvenim ostacima, na malim i srednjim postrojenjima za proizvodnju biogasa (Martinov i Đatkov, 2015). Pokazano je da je, uz primenu novih *feed-in* tarifa, čije se usvajanje uskoro očekuje, ulaganje isplativo i za postrojenje nazivne električne snage 150 kW<sub>e</sub>, ukoliko 70 % učešća u količini energije daje kukuruzovina, a 30 % osoka svinja. Taj rezultat ukazuje na mogućnost da se biogas proizvodi na svinjogojskim pa i peradarskim farmama srednje veličine.

Od generisanog biogasa doradom bi mogao da se dobije biometan, koji je po sastavu isti kao prirodni gas. Njegovim korišćenjem za vozila sa CNG (*Copressed Natural Gas*) motorima (takve autobuse ima GSP Novi Sad), moglo bi da se doprinese obavezi proizvodnje biogoriva. Korišćenjem kukuruzovine kao sirovine, supstrata, postižu se pozitivni efekti u pogledu zaštite životne sredine, u skladu sa RED, Denvir *i dr.* (2015) i nove direktive vezane za ovu oblast i ILUC (Anonim, 2015).

## 2.4 Sirovina za proizvodnju lignoceluloznog etanola

Proizvodnja lignoceluloznog etanola –LCB, kao što je navedeno, ima prednosti u odnosu na korišćenje sirovina kao što su zrno kukuruza i šećerna trska. Proizvodnja LCB je poznata tehnologija, a poslednjih godina rađeno je na njenom unapređenju. Postoji više postupaka, a najviše izgleda ima biohemijski, uz primenu enzima za generisanje šećera i alkohola. 2013. i 2014. godine u pogon su puštena tri industrijska postrojenja koja za proizvodnju bioetanola koriste žetvene ostatke, a pre svega kukuruzovinu. Od toga su dva u SAD, a jedno u Italiji, sl. 10. 2015. godine, u SAD je u pogon pušteno još jedno



postrojenje koje kao sirovinu koristi kukuruzovinu. Na osnovu toga može da se zaključi da je ova tehnologija u fazi rane komercijalne zrelosti. Treba napomenuti da su postrojenja za proizvodnju bioetanola velikog kapaciteta, a kao donja granica za isplativo ulaganje smatra se godišnja proizvodnja od 40.000 tona.

Pored navedenog, u Evropi na postupku pripreme žetvenih ostataka uz korišćenje enzima radi i švajcarska kompanija *Clariant*, sa pilot pogonom u Nemačkoj, Straubing. Ova kompanija nije orijentisana ka gradnji postrojenja, već prodaji *know-how*, licence, te enzima.



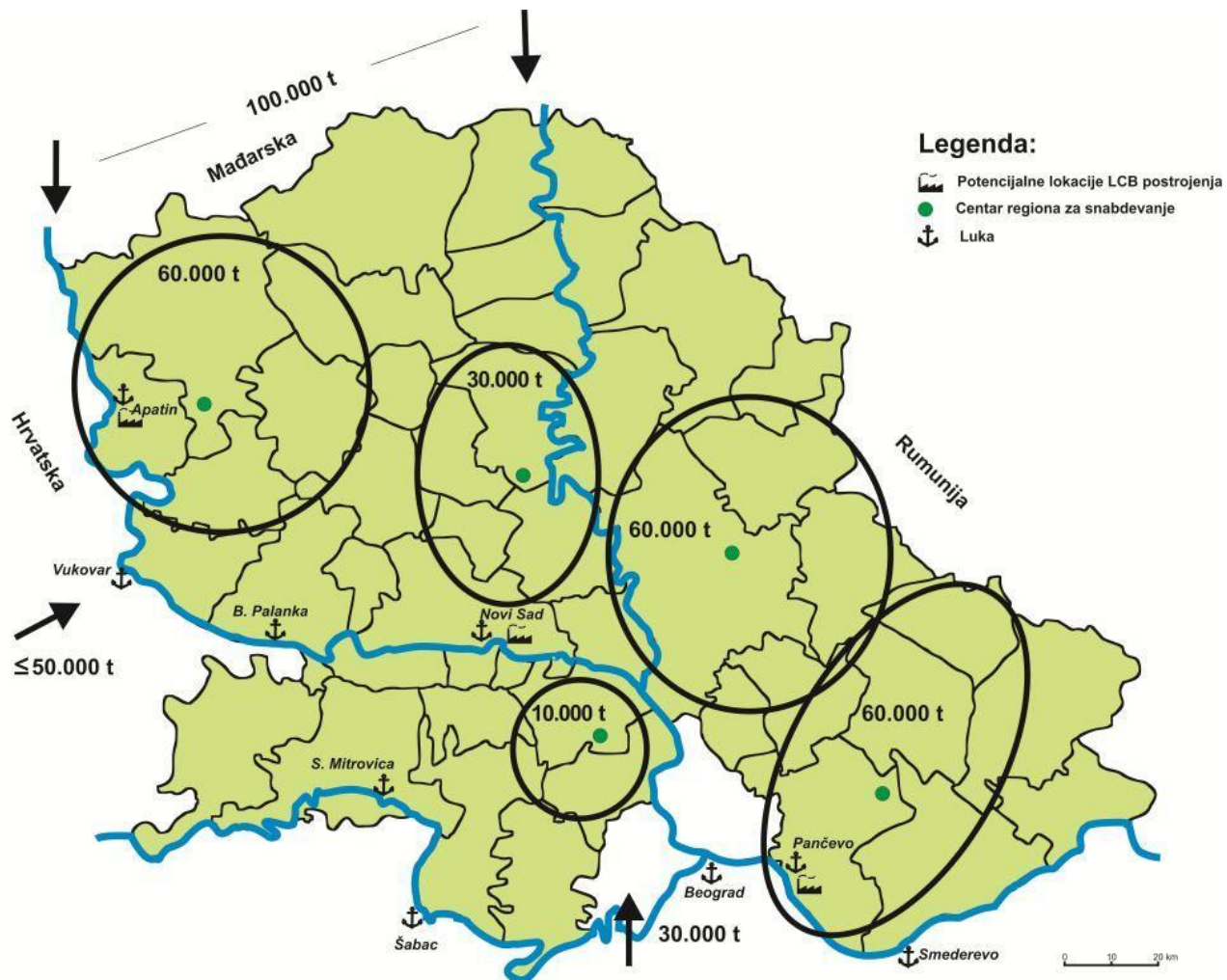
Sl. 10 Postrojenje za proizvodnju lignoceluloznog bioetanola –LCB –PROESA, u mestu Crescentino, Italija

Uz podešavanje parametara procesa, te korišćenje odgovarajućih enzima, postrojenja za bioetanol mogu da koriste različite vrste biomase i žetvenih ostataka. Pošto se radi o „vlažnom“ postupku, promenljiv sadržaj vlage u kukuruzovini ne predstavlja nedostatak-smetnju, kao što je to pri konverziji sagorevanjem.

U 2015. godini izrađena je, u okviru FP7 projekat Evropske unije (S2BIOM) studija slučaja za eventualnu gradnju postrojenja za proizvodnju bioetanola na bazi korišćenja žetvenih ostataka, a pre svega kukuruzovine, kao sirovine u Vojvodini. Treba naglasiti da postoji investitor koji je potencijalno zainteresovan za gradnju LCB postrojenja u Srbiji.

Zacrtano je da kapacitet postrojenja bude 40.000 t bioetanola godišnje. Za tu proizvodnju potrebno je oko 200.000 tona suve materije kukuruzovine. Utvrđeno je da je pribavljanje te količine izvodljivo, definisani su logistički lanci, te cene materijala. Sprovedena je prethodna studija izvodljivosti. Utvrđeno je da bi isplativost ulaganja mogla da se ostvari tek ukoliko bi godišnja proizvodnja LCB bila 50.000 t, cena bioetanola oko 700 €/t, i subvencije, koje su uobičajene za lignocelulozni bioetanol, oko 150 €/t. Cena bioetanola trenutno je na berzama u padu, što je posledica pada cene sirove nafte i fosilnih goriva. Ocena je da bi u skorijoj budućnosti moglo da dođe do promena, koje bi investiciju činile isplativom.

Pri analizi moguće lokacije u obzir su uzeta tri mesta sa lukama, Apatin, Novi Sad i Pančevo. Najbolji pokazatelji ostvareni su za Novi Sad, mada razlike u odnosu na druge dve lokacije nisu značajne. Takođe je u obzir uzet potencijalni uvoz kukuruzovine, vodenim prevozom, iz Hrvatske i Mađarske. Mogućnost snabdevanja prikazana je na sl. 11.



Sl. 11 Regioni AP Vojvodine i Beograda (PKB) iz kojih bi se kukuruzovinom snabdevalo LCB postrojenje u Novom Sadu, kao i potencijalne količine iz uvoza

## Komentari

Energetske karakteristike kukuruzovine slične su onima koje imaju i drugi žetveni ostaci. Donja toplotna moć suve mase je preko 17 MJ/kg, a nedostaci su, u odnosu na drvo: visok sadržaj pepela, azota, kalijuma i hlora, kao i niža temperatura topljenja pepela. Pri sakupljanju kukuruzovine sadržaj pepela dodatno raste, usled zaprljanja zemljom. Sadržaj vlage je u širokom dijapazonu, od oko 12 %, za presušenu, do preko 50 %, što ima značaja za korišćenje, posebno sagorevanje.

Već sada se oklasak kukuruza, za tehnologije u kojima se primenjuje krunjenje nakon sušenja, koristi kao energent u velikoj meri (verovatno više od 80 % raspoloživih količina). Tipično je sušenje klipova semenskog kukuruza i grejanje domaćinstava. Nedostatak korišćenja oklasaka za grejanje domaćinstava je u tome što su generatori toplote po pravilu jednostavni i tehnički zastareli, te je stepen korisnosti nizak, a emisije zagađujućih materija visoke.

Očekuje se da će biti prevaziđeni problemi vezani za briketiranje i peletiranje kukuruzovine, pre svega dovođenje sadržaja vlage i pepela na poželjni nivo, te će biti proširena primena kao goriva za grejanje, uz postizanje boljih karakteristika i smanjenje nepoželjnih emisija.

Korišćenje kukuruzovine kao goriva za daljinsko grejanje nije zastupljeno, mada za to postoje mogućnosti, posebno u kombinaciji sa slamom i drvetom.

Primena kukuruzovine kao goriva za kogenerativna postrojenja i elektrane je teže izvodljiva, jer treba da se postignu visoke temperature, što otežava proces sagorevanja uz navedene nedostatke i smetnje. Verovatno bi bila izvodljiva i prihvatljivija primena kosagorevanja, pri čemu bi udeo kukuruzovine u kombinaciji sa drvnom sečkom bio do 50 %.

Vrlo je perspektivno korišćenje kukuruzovine kao kosupstrata za generisanje biogasa, pri čemu povišen sadržaj vlage nema značajnog uticaja, ali je povišen sadržaj pepela nepoželjan. Kombinovanjem sa kukuruzovinom bi bilo omogućeno korišćenje osoke svinja i stajnjaka peradi na biogas postrojenjima malog (150 kW<sub>e</sub>) i srednjeg (500 kW<sub>e</sub>) kapaciteta, što bi omogućilo primenu i na farmama srednje veličine.

Jedna od mogućnosti je i da se doradom biogasa dobija biometan i utiskuje u mrežu prirodnog gasa, ili direktno koristi za transportna sredstva. Primena kukuruzovine rezultira pozitivnim efektima na životnu sredinu.

Za uspešno korišćenje kukuruzovine kao supstrata za generisanje biogasa potrebno je da se sprovede prethodna prerada, eliminisanje ligninskih struktura. Taj postupak još nije u fazi pune komercijalne zrelosti, a očekuje se da će je dostići naredne godine.

Obećavajuće je i korišćenje kukuruzovine kao sirovine za proizvodnju lignoceluloznog etanola –LCB, sa mnogim pozitivnim efektima, a posebno u pogledu emisije gasova sa efektom staklene bašte i *Land Use* zahteva. Tada bi se radilo o velikom postrojenju, sa godišnjim potrebama od oko 250.000 tona suve materije. Deo sirovine mogao bi da se podmiri i iz susednih zemalja, sa uključivanjem vodenog transporta. Jedan domaći investitor je zainteresovan za ovo rešenje.

### 3. POTENCIJALI KUKURUZOVINE U AP VOJVODINI

Definisanje potencijala žetvenih ostataka važan je i nimalo lak zadatak. Oni su temelj za dalje razmatranje i osnova za donošenja odluka. Treba voditi računa o prinosu nadzemnog dela biljaka, mogućnosti sakupljanja, te o uticajima na životnu sredinu, odnosno, pre svega, očuvanje plodnosti zemljišta. „Kancelarijska“ procena, često zasnovana samo na žetvenom indeksu (udelu zrna u ukupnoj nadzemnoj masi), nije ni pouzdana ni primenljiva za bilo koje ocenjivanje i donošenje odluka. To često dovodi do maksimiranja podataka o potencijalu, sa mnogim negativnim posledicama. Kao pokušaj da se takav pristup prevaziđe uvedena je sledeća klasifikacija potencijala:

1. Teoretski potencijal.
2. Tehnički potencijal.
3. Održivi potencijal.
4. Energetski potencijal.

#### ***Teoretski potencijal***

Podrazumeva sve nadzemne žetvene ostatke. Za potrebe realnog potencijala ima samo orijentacioni značaj, ali je potrebno da se utvrdi da bi se pokazalo koliko žetvenih ostataka ostaje na parceli nakon sakupljanja onoga što je tehnički moguće.

#### ***Tehnički potencijal***

Predstavlja količinu žetvenih ostataka, koja može da se sakupi, primenom uobičajenog, ili posebnog postupka. U većini slučajeva je u opsegu između 22 i 65 % teorijskog potencijala, zavisno od biljne vrste.

#### ***Održivi potencijal***

Odnosi se na količinu žetvenih ostataka koja može da se sakupi, bez negativnog uticaja na plodnost zemljišta. Utvrđivanje ovog potencijala je kompleksno, jer ima više uticaja. Osim biljne vrste utiču agropedološke i agroklimatske karakteristike, primenjivana agrotehnika, plodored i drugo. Treba da se razmotre potrebe zemljišta, u sistemu gajenja, za organskom materijom i zemljišnim organskim ugljenikom, zaštita od erozije, uticaj biljnih bolesti i štetočina.

#### ***Energetski potencijal***

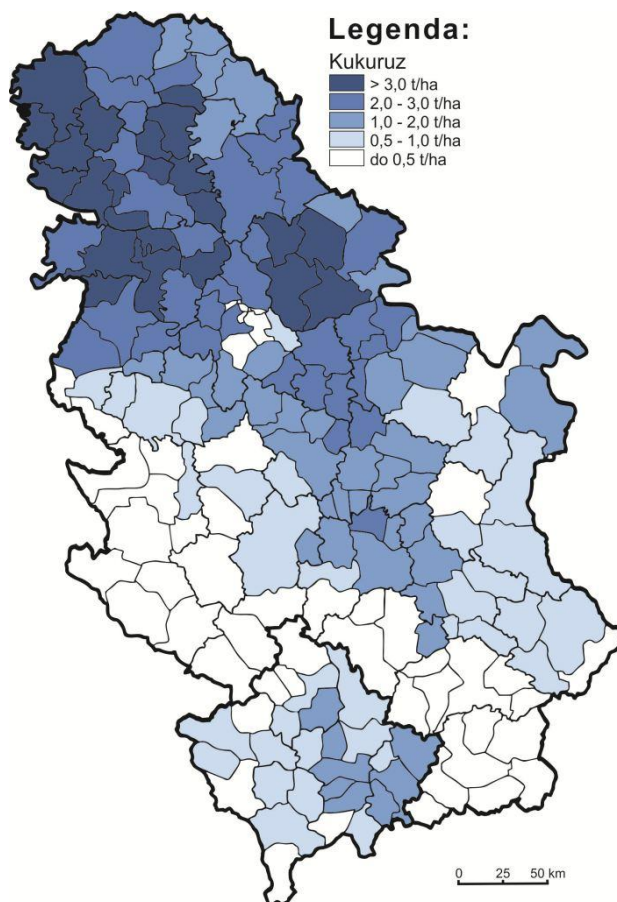
Dobija se tako što se od održivog potencijala oduzimaju količine kukuruzovine koja se koristiti u druge svrhe, na primer, upotreba kao prostirke za stoku, ili kao sirovine za neke proizvode. Ova količina kukuruzovine može da se koristi kao izvor energije ili kao sirovina za energente.

#### **Komentar**

Zemljište je neobnovljivi resurs, te je neophodno da se njegova plodnost očuva. Na plodnost utiče i sakupljanje žetvenih ostataka svih biljnih vrsta, pa i kukuruza. Pri planiranju, posebno dugoročnom, sakupljanja kukuruzovine, mora da se vodi računa i o uticaju na plodnost zemljišta. Stoga je razmatranje održivog potencijala od bitnog značaja.

### 3.1 Potencijali

Kukuruz je najznačajnija i najzastupljenija biljna vrsta u Srbiji i Vojvodini. Zahvaljujući specifičnim agropedološkim i agroklimatskim uslovima daje visoke prinose i prihode. Udeo površina pod kukuruzom je u AP Vojvodini preko 40 % od ukupnih pod ratarskim biljnim vrstama, a poslednjih godina je porastao. Zbog toga i žetveni ostaci kukuruza imaju najveći potencijal. Na sl. 12 prikazana je gustina proizvodnje kukuruza u Srbiji. Ona je izračunata na bazi godišnje proizvodnje zrna i svedena po hektaru u okviru površina opština.



Sl. 12 Gustina proizvodnje kukuruza po opštinama u Srbiji (Ilić *i dr*, 2003; Martinov i Tešić, 2008)

Najveća gustina i potencijali su u AP Vojvodini, gde se postižu i najbolji prinosi. U tab. 3 prikazani su potencijali kukuruzovine u Vojvodini. Posebno su razmatrana velika, te mala i srednja gazdinstva –M/S, jer se razlikuje način branja zrna. Na velikim gazdinstvima primenjuje se branje beračima-krunjačima, univerzalnim kombajnima, osim za semenski kukuruz, a na M/S berači-komušači. To je uzeto u obzir pri definisanju potencijala.

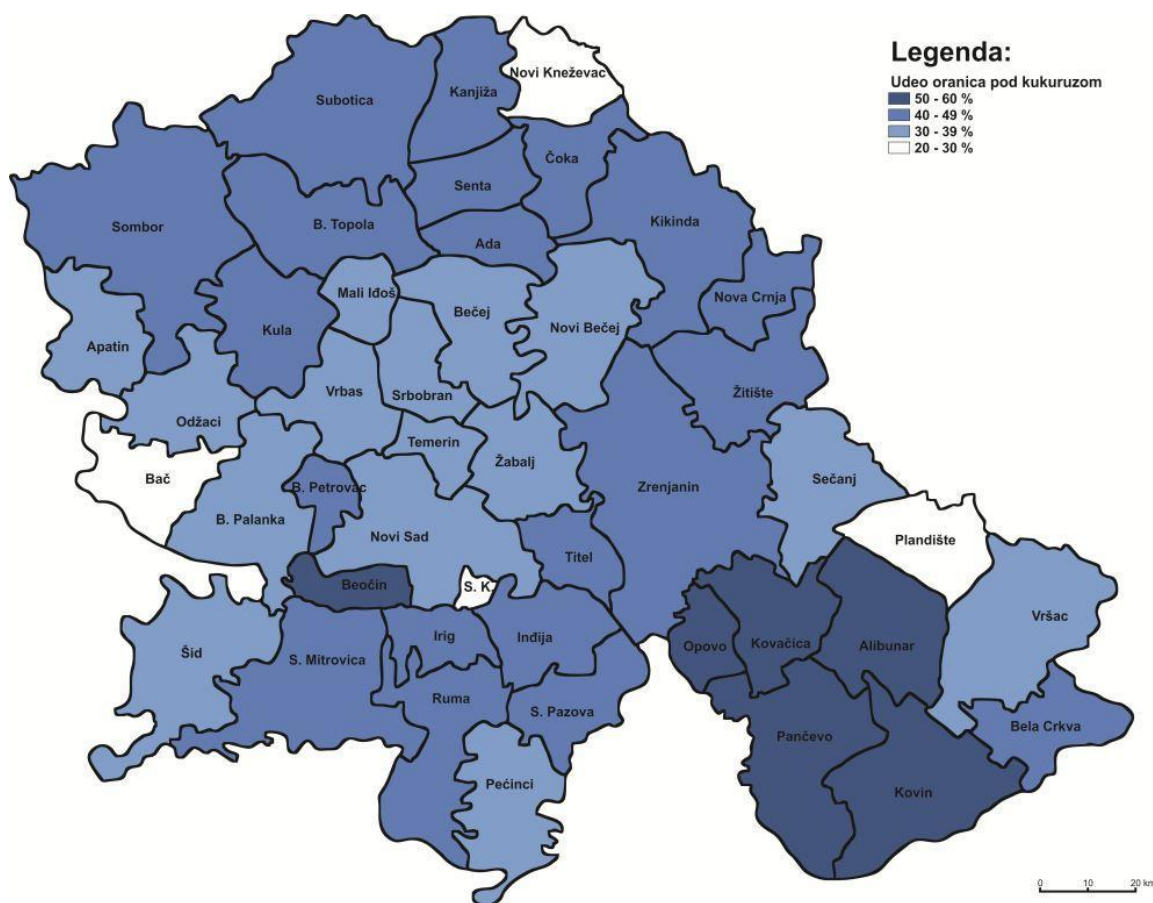
Tab. 3 Procenjeni potencijal kukuruzovine u Vojvodini, sadržaj vlage oko 14 %, K–  
 kukuruzovina, O– oklasci (Martinov *i dr*, 2011a)

Površina, 1.000 ha	Ukupna masa zrna, 1.000 t	Održivi potencijal, 1.000 t		Energetski potencijal, 1.000 t	
		Velika gazdinstva	M/S gazdinstva	Velika gazdinstva	M/S gazdinstva
637	3288	K 114	K 310	<b>K 110</b>	<b>K 280</b>
		O 10	O 360	<b>O 10</b>	<b>O 330</b>

Održivi i energetski potencijal kukuruzovine iznose oko 794.000 i 730.000 t, respektivno. Pri definisanju potencijala u obzir je uzeto i to da se na jednom delu parcela primenjuje konzervacijska obrada, kao i drugi uticaji na održivi potencijal.

Prema najnovijim podacima pod kukuruzom je u Vojvodini preko 700.000 ha, te bi ovi potencijali bili za oko 10 % veći. Takođe, poslednjih godina se povećava primena berača-komušača, što takođe za posledicu ima povećanje potencijala kukuruzovine.

Na sl. 13 prikazana je „gustina“ površina pod kukuruzom u AP Vojvodini. U samo četiri opštine udeo površina pod kukuruzom je manji od 30 %, a u šest veći od 50 %. Za ovaj prikaz korišćeni su podaci iz 2012. godine (Anonim, 2013b), a danas bi, usled povećanja površina pod kukuruzom, prikaz bio delimično izmenjen.

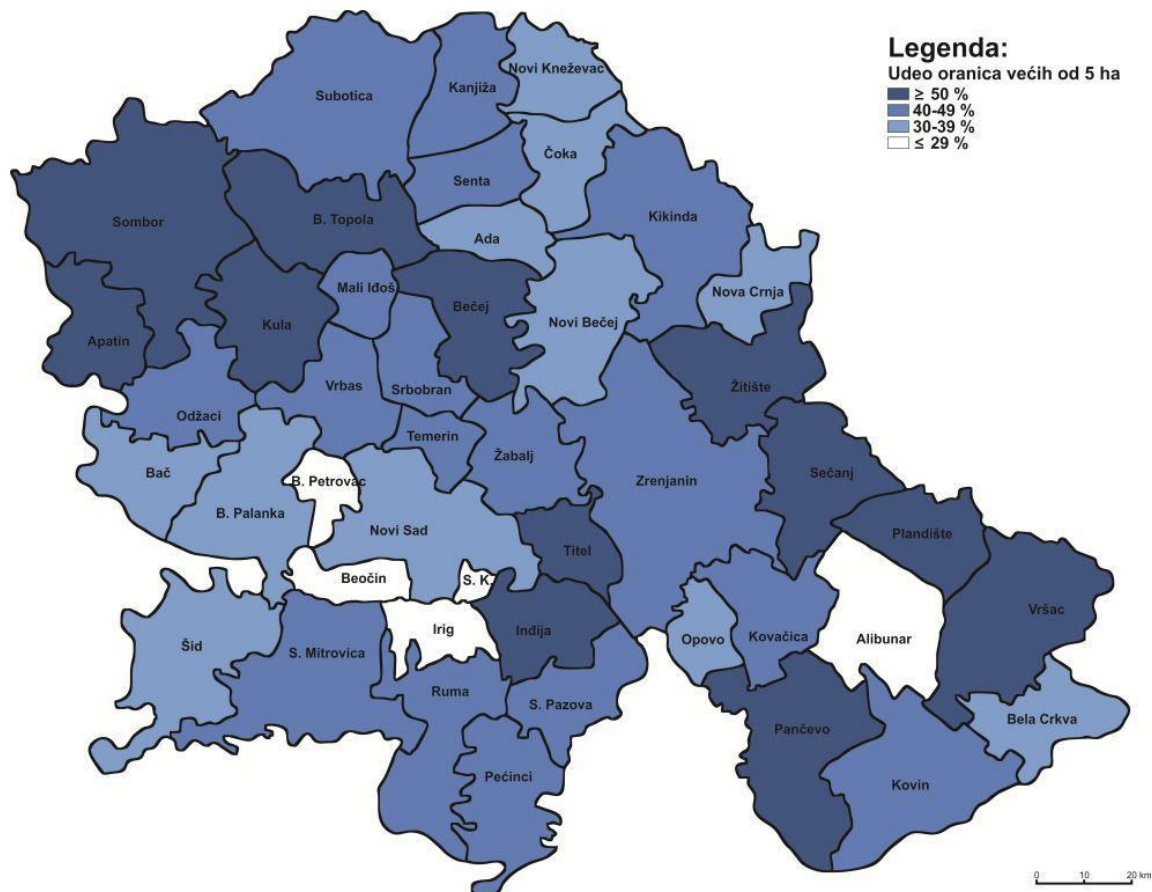


Sl. 13 Gustina proizvodnje kukuruza u AP Vojvodini

Sa stanovišta primene kukuruzovine za veće korisnike treba računati samo na formu velikih valjkastih i četvrtastih bala. Prese za te bale imaju visoku produktivnost, ali i cenu, pa je njihovo korišćenje isplativo samo na većim parcelama. Za valjkaste bale parcele bi

trebalo da su  $\geq 3$  ha, a za velike četvrtaste  $\geq 5$  ha. Uz konsultacije sa stručnjacima, a posebno Poljoprivredne savetodavne službe Vojvodine, došlo se do procene udela većih parcela po opštinama, što je prikazano na sl. 14.

Prikazane gustine potencijala mogu da posluže kao podloga za donošenje odluka o korišćenju kukuruzovine, posebno za veće potrošače. Na primer, podaci na sl. 14 korišćeni su za definisanje izvora kukuruzovine za proizvodnju bioetanola, prikazano na sl. 11 u poglavlju 2.4.



Sl. 14 Udeo većih parcela,  $\geq 5$ ha, pogodnih za sakupljanje žetvenih ostataka presama za velike bale, u opštinama Vojvodine

### 3.2 Vlastita merenja

Vlastita merenja količine žetvenih ostataka kukuruza sprovedena su u poslednjih pet godina, 2011. do 2015. Cilj je bio da se definišu podloge za:

1. određivanje količina/udela nadzemnih žetvenih ostataka biljke kukuruza,
2. ocenu tehničkog potencijala kukuruzovine u zavisnosti od postupka sakupljanja,
3. ocenjivanje količine žetvenih ostataka koje ostaju na parceli, odnosno predstavljaju osnove za procene održivog potencijala,
4. uticaj vremenskih prilika na fluktuaciju prinosa, odnosno podloga za ocenu sigurnosti snabdevanja.

Dakle, treba da se definiše količina nadzemne mase, po delovima biljke, te ona koja može da se sakupi. Razlika ukupne nadzemne mase i one koja se sakupi – iznese, predstavlja masu koja ostaje na parceli. Na osnovu količine preostale mase može da se

oceni raspoloživost organske materije i potencijalnog organskog ugljenika u zemljištu. Takođe, na osnovu količine preostale mase, može da se proveriti da li preostali žetveni ostaci mogu, ukoliko se primene adekvatni postupci obrade zemljišta, da osiguraju zaštitu od erozije. Na kraju, promena količina žetvenih ostataka, koja se menja usled promene vremenskih uslova, treba da bude osnova za definisanje kolebanja-fluktuacije prinosa i podloga za procenu sigurnosti snabdevanja.

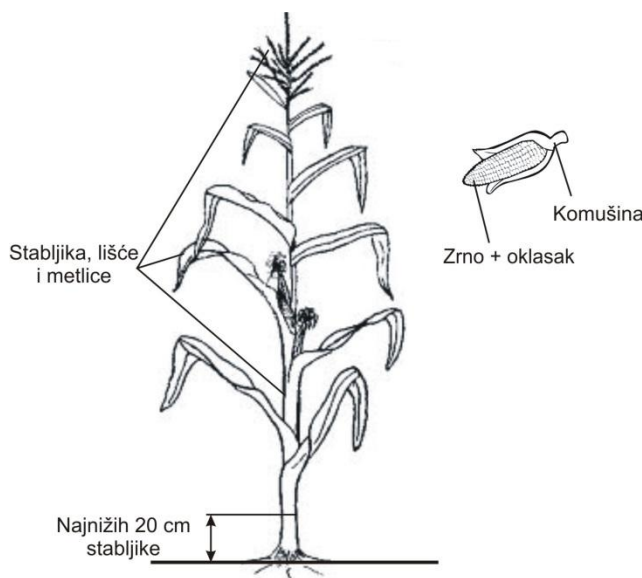
### **Materijal i metod**

Prikupljeni su uzorci osam hibrida kukuruza, najčešće gajenih u Vojvodini, na tri lokacije, tokom žetve 2011. do 2015. godine. Setvena gustina iznosila je između 60.000 i 70.000 biljaka po ha. Na svim parcelama primenjena je uobičajena agrotehnika.

Za svaki hibrid i lokaciju, uzeto je sa parcela pet nasumice izabranih uzoraka. Površina po uzorku bila je 1,4 m<sup>2</sup>. Biljke su sečene do zemlje, pakovane i transportovane do Laboratorije za inženjerstvo biosistema, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

Pojedinačne biljke razdvajane su na sledeće delove: najnižih 20 cm (ovaj deo stabljike i vazdušnog korena posmatran je kao, za energetske svrhe, neupotrebljiv), stabljika, lišće i metlica, zrno, oklasak i komušina sa svilom, sl. 15.

U sezoni 2013, zbog razmatranja novog načina sakupljanja pod nazivom *High Cut*, visina sečenja stabljike iznosila je 70 cm, odnosno samo gornji deo se razmatra za sakupljanje. U sezonama 2014. i 2015. razmatrana su oba prethodna slučaja.



Sl. 15 Nadzemni delovi biljke kukuruza

Masa svakog dela merena je laboratorijskom vagom, tačnosti 0,1 g. Određivanje sadržaja vlage zrna sprovedeno je u skladu sa postupkom definisanim u ASAE S352.2 (Anonim, 2008), a kukuruzovine u ASAE S358.3 (Anonim, 2012).

Na osnovu dobijenih podataka, za zrno, oklasak, komušinu, najnižih 20 cm, stabljike+lišće (preko 20 cm visine)+metlice (u daljem tekstu stabljika+lišće) u sezonama 2011. i 2012, izračunati su prinosi i relativni prinosi (u odnosu na zrno). U sezoni 2013, najnižih 70 cm stabljika+lišća je tretirano kao jedan deo, a ostatak isto kao i prethodnih godina. Izmereni sadržaji vlage delova poslužili su za izračunavanje njihove suve materije. Za sve uzorke računat je žetveni index –ŽI.



Na osnovu izmerenih udela delova i podataka o efikasnosti žetve, računate su količine kukuruzovine koje mogu da se sakupe, te masa koja ostaje na parceli, svedeno na jedan hektar.

Relativni prinosi preostalih delova izračunati su deljenjem izmerenih vrednosti sa prinosom zrna, a sve vrednosti su računate u odnosu na suhu materiju. Izračunate su srednje vrednosti za svaki hibrid i lokaciju, kao i proseki za sve hibride. Svi nadzemni ostaci kukuruza čine *ukupnu masu*. Prvih 20 cm stabljike se smatra neupotrebljivim za energetske upotrebu i druge svrhe, a teško se sakuplja. *Upotrebljiva masa* je definisana kada se masa prvih 20 cm stabljika oduzme od ukupne mase, kod prve dve i kod poslednje dve sezone.

Niži deo stabljike, ispod klipa, kao što je ranije spomenuto, sadrži više hranljivih materija i veći je sadržaj vlage. Zato je poželjno da ovaj deo kukuruzovine u nekim slučajevima ostane na parceli. To je razlog zašto je u sezonama 2013, 2014 i 2015 razmatran tzv. *High Cut*, i masa prvih 70 cm stabljika oduzimana od ukupne mase.

Preostala masa koja je namenjena za sakupljanje, zavisno od postupka sakupljanja, nazvana je *masa koja može da se sakupi*. *Masa koja ostaje na parceli* izračunava se oduzimanjem mase koja se može da se sakupi od ukupne mase.

## Rezultati i diskusija

Prosečni podaci izmerenih karakteristika useva prikazani su u tab. 4.

Tab. 4 Prosečni podaci za prinos zrna i relativni prinosi ukupne mase nadzemnih ostataka

	Zrno		Masa nadzemnih ostataka			
	P, t/ha	ŽI	Ukupna		Upotrebljiva	
			P, t/ha	RP, %	P, t/ha	RP, %
<b>2011</b>						
Prosek	10,8	0,51	10,3	96,1	9,2	85,4
<b>2012</b>						
Prosek	5,3	0,42	7,2	150,1	6,3	131,5
<b>2013*</b>						
Prosek	6,4	0,44	8,3	130,9	5,5	87,1
<b>2014</b>						
Prosek	12,4	0,52	12,6	102,2	11,6	95,4
<b>2015</b>						
Prosek	10,2	0,52	9,6	95,4	8,7	90,2

P– prosek, RP– relativni prinos, ŽI– žetveni indeks,

\*– *High cut* sakupljanje

Žetveni indeksi u sezonama sa uobičajenim vremenskim uslovima iznosili su preko 0,5, a znatno manje u sezonama sa nepovoljnim vremenskim prilikama, 2012. i 2013.

U 2012. godini je prinos zrna bio je niži od polovine prinosa 2011. godine, dok ukupna masa nadzemnih ostataka bila 40 % niža. Slično je i u sezoni 2013. prinos zrna je 40 % niži, u poređenju sa 2011, dok je ukupna masa nadzemnih ostataka bila 20 % niža. Dakle, pri smanjenju prinosa zrna, usled nepovoljnih vremenskih prilika, umanjeње prinosa nadzemnog dela kukuruzovine je manje.

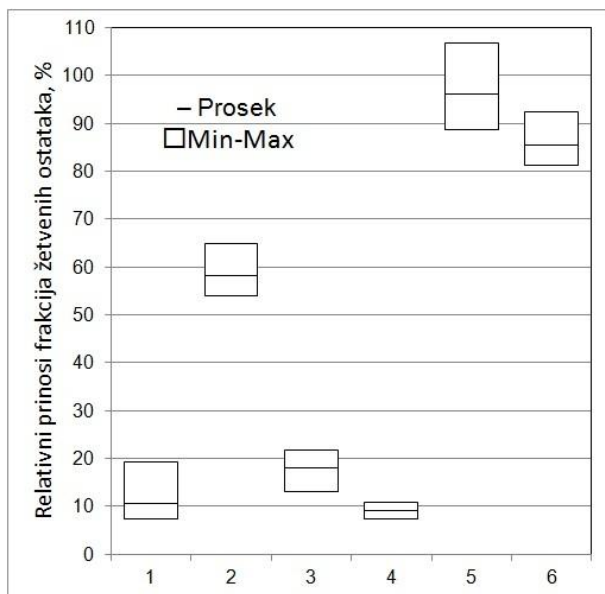
Smanjenje prinosa zrna i kukuruzovine utiče na sigurnost snabdevanja, pa je posebno obrađeno.

### **Uticaj vremenskih prilika na fluktuaciju prinosa**

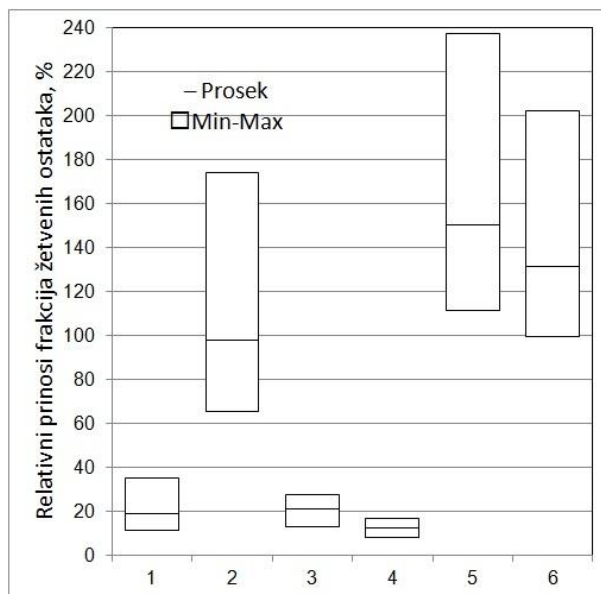
Hidrometeorološki zavod Srbije je ocenio agro klimatske uslove u 2011. godini kao veoma suve, što je uobičajeno u poslednjoj deceniji. Sezona 2012 je proglašena kao ekstremno suva sa stanovišta poljoprivredne proizvodnje (zapravo je količina ukupnih padavina u 2012. bila viša u poređenju sa 2011, ali znatno niža u vegetacionom periodu, što se odrazilo na prinose). Ovo je praćeno značajnim smanjenjem prinosa za sve useve, a posebno kukuruz. Slične vremenske prilike ponovile su se u sezoni 2013, koja je takođe, prema istom izvoru, bila, na nekim lokacijama, veoma do ekstremno sušna. Sezone 2014. i 2015. su bile, po vremenskim prilikama, slične sezoni 2011, pa time i po prinosima.

Uticaj vremenskih uslova, ekstremne suše može se najbolje videti na sl. 16, pri čemu su u obzir uzeta sva sprovedena merenja. Uočava se da relativni prinos ukupne i upotrebljive nadzemne mase značajno raste u nepovoljnim vremenskim uslovima. Tako je, na primer, relativni prinos upotrebljive nadzemne biomase obično oko 85 %, a 2012. bio je oko 125 %. Ipak, uzimajući u obzir prinos zrna, tab. 4, raspoloživa količina kukuruzovine je manja. Primetno je značajno povećanje i rasipanje izmerenih vrednosti relativnog prinosa delova nadzemne mase za sezone 2012. i 2013. u poređenju sa sezonama 2011, 2014. i 2015.

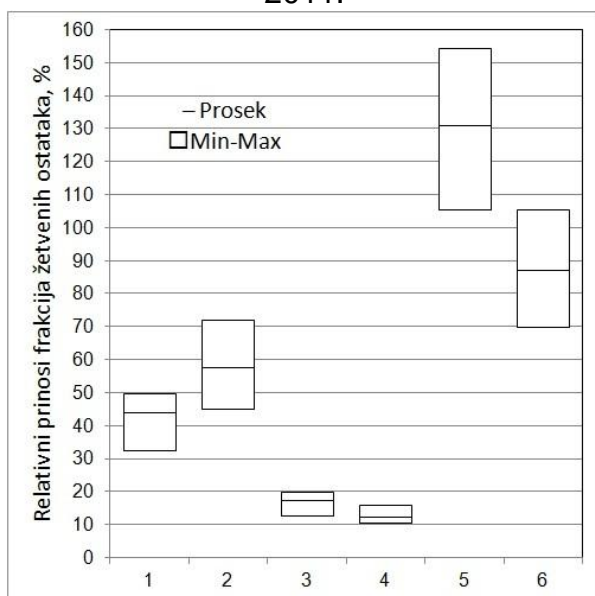
Sve navedeno dovodi do zaključka da prinos kukuruzovine, kao i zrna, zavisi od vremenskih prilika u periodu vegetacije, što ima značajan uticaj na raspoložive količine. Dakle, potencijalni korisnici, posebno većih količina, treba da vode računa o sigurnosti snabdevanja, te da pre svake naredne sezone raspolažu rezervnim količinama.



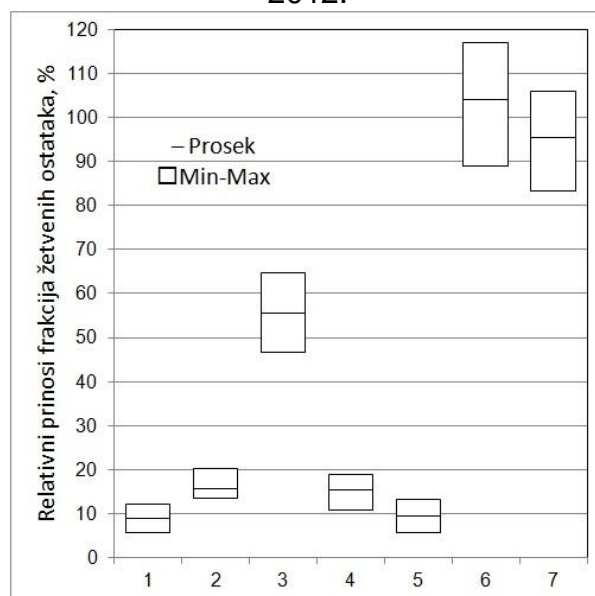
2011.



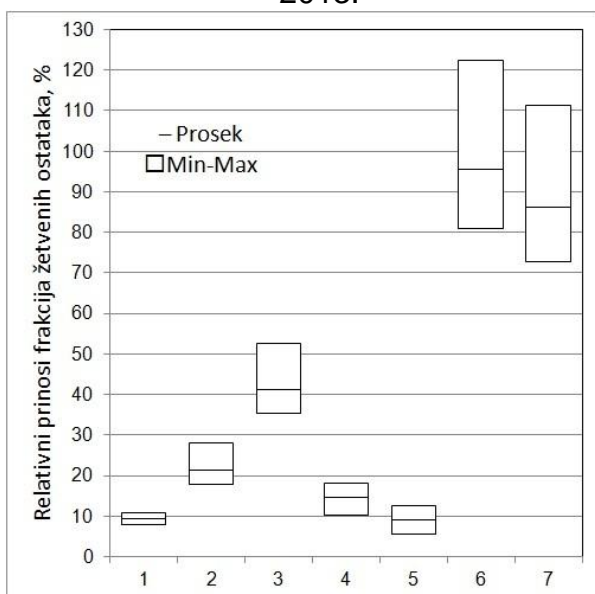
2012.



2013.



2014.



2015.

Sl. 16 Relativni prinosi delova kukuruzovine

1–prvih 20 cm stabljike, 2–stabljika+lišće,  
 3–oklasak, 4–kumušina, 5– ukupna  
 nadzemna masa, 6– upotrebljiva masa (za  
 sezone 2011. i 2012.)

1–prvih 70 cm stabljike, 2–stabljika+lišće,  
 3–oklasak, 4–kumušina, 5– ukupna  
 nadzemna masa, 6– upotrebljiva masa (za  
 sezonu 2013.)

1–prvih 20 cm stabljike, 2–drugih 50 cm  
 stabljike i lišća, 3–stabljika+lišće, 4–oklasak,  
 5–kumušina, 6– ukupna nadzemna masa,  
 7– upotrebljiva masa (za sezone 2014. i  
 2015.)

### 3.3 Sakupljena i na parceli preostala masa

Količina žetvenih ostataka koja će biti sakupljena i ona koja će da preostane na parceli, zavisi, pored količine upotrebljivog prinosa, od postupka sakupljanja. Ukoliko se od mase ukupnog nadzemnog prinosa oduzme sakupljena masa, dobija se ona koja preostaje na parceli.

Za razliku od strnina, na primer pšenice, kod kojih se primenjuje, u skoro svim slučajevima, isti postupak baliranja mase iz zboja, te sakupljeni prinos zavisi od količine nadzemne mase, visine reza kosionog aparata (visine strnjike) i gubitaka pikap uređaja prese, pri sakupljanju kukuruzovine primenjuju se različiti postupci, opisani u poglavlju 4. Pri izboru postupka sakupljanja vodi se računa o očuvanju plodnosti zemljišta, nameni sakupljene kukuruzovine, broju prohoda, smanjenju količine pepela i troškovima ubiranja.

Ovde odabrani postupci sakupljanja se zasnivaju na onima definisanim u Golub *i dr.* (2012), Keene *i dr.* (2013), Straeter (2011), Shinnars *i dr.* (2012). Proračun mase koja može da se sakupi se zasniva na udelu sakupljenih delova kukuruzovine i gubitaka pri sakupljanju. Prva tri postupka se u Srbiji i AP Vojvodini još ne primenjuju, a treći naveden je u eksperimentalnoj fazi. Postupci su:

#### 1. Sakupljanje oklasaka i komušine u jednom prohodu

Branje se sprovodi beračem-krunjačem, uz korišćenje hedera za otkidanje klipova. Prihvata se materijal koji izlazi iz separatora-slamotresa, te dovodi do hidrostatski pogonjenju vučene prese za valjkaste bale, opisano u Keene *i dr.* (2013). Kod predloženog postupka izbegnut je kontakt sa zemljištem mase koja se sakuplja, odnosno nema zaprljanja. Sakuplja se celokupna količina oklasaka i komušine, a uz to i deo lisne mase koju je zahvatio otkidač klipova.

#### 2. Sakupljanje kukuruzovine u dva prohoda – *windrower*

Branje se sprovodi sa adapterom za otkidanje klipova, kao u prethodnom slučaju, sa tom razlikom što je na njega dograđena sitnilica kukuruzovine i formirač zboja, opisano u Shinnars *i dr.* (2012) i Straeter (2011), te prikazano na sl. 18 a) i sl. 19 a) u poglavlju 4. Kukuruzovinu iz zboja prihvata presa za velike bale. Visina odsecanja stabljike je 20 cm. Udeli sakupljenog materijala po delovima iznose 70, 90 i 90 %, za stabljiku+lišće, oklasak i komušinu, respektivno.

#### 3. Sakupljanje u dva prohoda – *high cut*

Koristi se adapter koji odseca biljku kukuruza ispod najnižeg klipa, oko 70 cm od zemlje, te uvlači u kombajn. Deo ispod te visine se, sečkom ugrađenom na adapter, usitnjava i raspodeljuje po širini zahvata. Gornji deo prolazi kroz vršidbeni aparat kombajna, separator i uređaj za čišćenje, kao što je prikazano kod Shinnars *i dr.* (2012) za postupak sakupljanja u jednom prohodu. Masa koja ispadne iz kombajna formira zboj. Nakon toga sledi drugi prohod, prihvatanje mase iz zboja i formiranje velikih bala. Sakupljeni udeli iznose: 80 % od gornjeg dela (iznad 70 cm) stabljika+lišće i 90 % za oklaske i komušinu.

#### 4. Sakupljanje u više prohoda – konvencionalno

Nakon branja zrna, ako heder nije opremljen sečkom za kukuruzovinu, potrebno je sitnilicom žetvenih ostataka da se kukuruzovina isecka. U drugom/trećem prohodu se grabljama „sunce“ formira zboj. U poslednjem prohodu se presom za velike bale podiže i balira masa iz zboja. Računato je sa sledećim udelima u sakupljenoj masi: 90, 25 i 60 %, za stabljike+lišće, oklasak i komušinu, respektivno.

## 5. Sakupljanje u više prohoda – modifikovano konvencionalno

Ovaj postupak razlikuje se po tome što se umesto grablji „sunce“, za formiranje zboja koriste trakaste grablje sa pikap uređajem, prikazane na sl. 17 u poglavlju 4, sa ciljem da se smanji zaprljanje zemljom. Udeli delova u sakupljenoj masi iznose 85, 30 i 65 % za stabljike+lišće, oklasak i komušinu, respektivno.

Dodatno je za postupke 2. do 5. računato sa 10 % gubitaka na pikap uređaju presa.

Masa koja može da se sakupi i ona koja ostaje na parceli izračunate su na osnovu prinosa prikazanih u tab. 4 i karakteristika postupaka sakupljanja. Rezultati proračuna su prikazani u tab. 5.

Tab. 5 Masa koja može da se sakupi i masa koja ostaje na parceli za izabrane postupke sakupljanja

Sezona	Postupak sakupljanja	Masa koja može da se sakupi			Masa koja ostaje na parceli
		M, t <sub>SM</sub> /ha	RP, %	UNM, %	M, t <sub>SM</sub> /ha
2011.	1	2,9	27	28	7,4
	2	6,3	59	61	4,0
	3	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
	4	6,1	56	59	4,3
	5	5,9	54	57	4,5
2012.	1	1,8	34	25	5,4
	2	4,3	82	60	2,9
	3	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
	4	4,3	81	60	2,9
	5	4,1	78	58	3,0
2013.	1	1,9	30	23	6,4
	2	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
	3	4,6	73	55	3,7
	4	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
	5	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
2014.	1	3,5	28	30	8,1
	2	8,4	68	72	3,2
	3	8,0	64	69	3,6
	4	5,2	42	45	6,4
	5	4,9	39	42	6,7
2015.	1	2,4	24	25	7,3
	2	6,0	59	62	3,7
	3	5,5	54	57	4,2
	4	6,0	59	62	3,7
	5	5,8	57	60	3,9

M– masa izračunata na osnovu postupka i prinosa delova kukuruzovine; RP – relativni prinos u odnosu na zno; UNM– udeo u ukupnoj nadzemnoj masi; N.M.– nije mereno

Udeo mase koja može da se sakupi, u odnosu na ukupnu, je između 23 i 87 %. Prema podacima sačinjenim na osnovu pregleda literature navedenog u Radhakrishna *i dr.* (2012), udeo kukuruzovine koja može da se sakupi, bez uticaja na plodnost zemljišta, je između 33 i 58 %. Za postupak sakupljanja 2, ta vrednost je za svih pet godina merenja veća od gornje navedene granične vrednosti. Ukoliko se primenjuje

postupak sa visokim intenzitetom sakupljanja kukuruzovine, do poželjnog nivoa sakupljanja žetvenih ostataka može da se dođe primenom odgovarajućeg plodoreda, ili odustajanjem od sakupljanja kukuruzovine, na primer, svake treće godine.

Primetno je znatno variranje mase koja može da se sakupi. Kod postupka 2 ta vrednost je u rasponu između 4,3 i 8,4 t/ha suve materije. Najniži prinos je gotovo upola niži od najvišeg. Slično je kod prvog postupka, ali sa manjim rasponom zbog sakupljanja oklasaka i komušine, od 1,8 do 3,5 t/ha suve materije. Jasno je da uticaj vremenskih prilika i izbor postupka sakupljanja veoma utiču na masu koja može da se sakupi, a posledično i na masu koja ostaje na parceli.

#### **Komentari**

U zavisnosti od primenjenog postupka, sakupljaju se različiti delovi kukuruzovine i njihove količine. Dobijeni podaci mogu da posluže za sprovođenje upravljanja postupkom sakupljanja sa stanovišta očuvanja plodnosti zemljišta. Svaki poljoprivrednik, zadruga ili preduzeće, koji se opredeli za sakupljanje kukuruzovine, trebalo bi da razmotri i aspekt očuvanja plodnosti zemljišta.

Merenjem je utvrđeno da postoji značajna fluktuacija prinosa, pre svega u zavisnosti od vremenskih prilika, odnosno količine padavina tokom vegetacionog perioda.

## 4. POSTUPCI SPREMANJA KUKURUZOVINE

Pojam spremanje podrazumeva sve operacije koje se sprovode počevši od polja do mesta korišćenja, uključujući skladištenje i transport. Postupci se ocenjuju sa više stanovišta, a pre svega: troškova, kvaliteta kukuruzovine (sadržaj pepela i vlage, pogodnosti forme za korišćenje), uticaja na životnu sredinu, a posebno plodnost zemljišta. Spremanje obuhvata sledeće:

1. Sakupljanje na parceli (uključuje sve operacije, zaključno sa, najčešće, formiranjem bala – presovanje).
2. Utovar na transportno sredstvo.
3. Transport do primarnog skladišta.
4. Istovar i uskladištenje, formiranje kamara.
5. Skladištenje na primarnom skladištu, sa merama zaštite od padavina i zemljišne vlage, zaštite od požara i mere za podsticanje sušenja.
6. Utovar na transportno sredstvo za dovoženje do korisnika.
7. Transport do mesta korišćenja.
8. Istovar i uskladištenje na mestu korišćenja, odnosno prerade.

Sve navedene aktivnosti mogu da se razvrstaju u dve grupe:

**Ubiranje**, koje obuhvata tačke 1-5, odnosno sve operacije do skladištenja na primarnom skladištu.

**Logistika, ili lanac snabdevanja**, što obuhvata tačke 6-8. Logistika, odnosno lanci snabdevanja zavise od količina koje se koriste, udaljenosti i lokalno specifičnih uslova, te u ovom poglavlju neće biti obuhvaćeni.

Ovakav prikaz je opšti, a trebalo bi da se pravi razlika između korisnika malih količina, nekoliko tona do više desetina tona, te velikih količina, od nekoliko stotina do više stotina hiljada tona godišnje. Za korisnike malih količina sprovodi se samo prva grupa aktivnosti. Vlasnik, ili onaj sa kojim je ubiranje kukuruzovine dogovoreno, obavlja prvih pet aktivnosti, te kukuruzovinu odlaže u ekonomsko dvorište ili skladište vlasnika, odnosno, kupca u okviru naselja ili njegove neposredne blizine.

Korisnici velikih količina obično kukuruzovinu dobavljaju od više vlasnika, odnosno, čak i ukoliko je samo jedan, sa više međuskladišta. Tada se organizuje logistika, odnosno lanac snabdevanja, koji bi trebalo da rezultira najnižim troškovima i najmanjim uticajem na životnu sredinu.

U oba slučaja od značaja je sadržaj vlage i zaprljanje kukuruzovine zemljom, odnosno sadržaj pepela. Povišen sadržaj vlage, pored toga što je nepoželjan za pojedine procese konverzije, na primer, sagorevanje, ima uticaja i na gubitak organske materije usled mikrobiološke razgradnje. To delimično može da se eliminiše povoljnim skladištenjem, a zaštita od padavina i zemljišne vlage je u svakom slučaju poželjna i potrebna.

Forma kukuruzovine za korisnike malih količina su, uglavnom, male četvrtaste bale i rinfuzni oklasak, koji preostaje nakon krunjenja klipova. Za korisnike velikih količina primenjuju se velike bale, valjkaste i četvrtaste, a u posebnim slučajevima, primer na sl. 8, te u budućnosti za korišćenje kao kosupstrata za generisanje biogasa, iseckana kukuruzovina. Ova studija posebno je orijentisana ka korisnicima velikih količina.

## **Postupak ubiranja za korisnike malih količina**

Tradicionalno ručno branje klipova kukuruza, te odsecanje kukuruzovine, formiranje snopova i kupa, danas je raritetno, te mu se ne posvećuje posebna pažnja.

Korisnici malih količina berbu uglavnom obavljaju jednorednim ili dvorednim beračima-komušačima, koji, samo izuzetno, imaju ugrađenu sečku za kukuruzovinu. Usitnjavanje se obično obavlja u posebnom prohodu, korišćenjem sitnilice biljnih ostataka. Nakon toga sledi formiranje zbojeva korišćenjem, najčešće, grablji „sunce“. Sledi presovanje u formi konvencionalnih četvrtastih bala, sl. 17, ručni utovar na prevozno sredstvo, traktorske prikolice, te ručno slaganje u kamare na mestu skladištenja. Ponekad se koristi i forma valjkastih bala, ali je tada potrebna i oprema za manipulisanje, prednji traktorski utovarivač sa odgovarajućim priključkom.



Sl. 17 Presovanje kukuruzovine u formi konvencionalnih četvrtastih bala

Oklasak koji preostaje nakon krunjenja prirodno osušenih klipova koristi se za vlastite potrebe, ili prodaje u okviru naselja.

### **4.1 Postupci sakupljanja za korisnike velikih količina**

Na velikim gazdinstvima primenjuje se, gotovo isključivo, branje zrna beračem-krunjačem, žitnim kombajnom sa kukuruznim hederom. Izuzetak je branje semenskog kukuruza, a za to se primenjuju namenski berači-komušači ili berači klipa sa komušinom.

Neki od kukuruznih hedera imaju ugrađene sečke za kukuruzovinu, najčešće sa vertikalnom osom rotacije, na kojima su klataći (leteći) noževi, te se operacija usitnjavanja kukuruzovine obavlja u istom prohodu kao i branje. Za ovu operaciju potrebna je dodatna snaga, te su hederi sa sitnilicama kukuruzovine primenljivi samo na kombajnama sa jačim motorima, a takvi su u ponudi svih renomiranih proizvođača. Usitnjena kukuruzovina tada ostaje raspoređena, približno ravnomerno, po površini parcele. Takođe su ugrađivane i sitnilice sa horizontalnom osom rotacije, ali je ovaj koncept napušten.

Za uspešno sakupljanje kukuruzovine postavljaju se sledeći zahtevi (brojčane vrednosti u zagradama su predlozi autora studije):

1. Produktivnost branja zrna ne bi smela da se smanjuje, ili bar ne značajno (maksimalno smanjenje produktivnosti, u ha/h, je 10 %), jer je zrno osnovni



proizvod. U ovo su uključeni i zastoji do kojih bi dolazilo usled kvara na uređajima koji su namenjeni za sakupljanje kukuruzovine, kao i gubici vremena pri manipulaciji i transportu.

2. Zaprljanje zemljom treba da bude što manje, što je izraženo sadržajem pepela. Ukoliko je ono oko 5 %, tada nema zaprljanja. Maksimalni sadržaj pepela, uključujući i onaj iz biljke, smeo bi da bude do 10 %, osim u slučaju kada to za proces konverzije nije od značaja.
3. Dodatni gubitak zrna, ukoliko do njega primenom nekog postupka sakupljanja kukuruzovine dolazi, treba da bude što manji (maksimalno 1 %).
4. Učinak sakupljanja kukuruzovine treba da je što viši i da se sprovodi sa što manje prohoda. Manje prohoda znači manje ljudskog rada i nižu potrošnju goriva. Ukoliko je sakupljanje baliranjem, što je najčešći slučaj, zbog treba da je što „bogatiji“, da bi se iskoristio kapacitet prese, smanjio broj prohoda i potrošnja goriva.
5. Poželjno je da se sakupi što veća količina raspoložive kukuruzovine, a posebno oklasaka i komušine.
6. Treba težiti tome da kukuruzovina u toku sakupljanja ima što niži sadržaj vlage. To pogoduje transportu i smanjuje gubitke pri skladištenju. Za sagorevanje u uobičajenim generatorima toplote pogodna je samo kukuruzovina koja ima sadržaj vlage do 25 %.
7. Za uslove u Vojvodini i Srbiji prihvatljiva su samo komercijalno zrela rešenja, proverena više godina u praksi, pri radu u istim ili sličnim uslovima.

#### **Komentari**

Da bi neki postupak mogao da bude primenljiv u Vojvodini, za branje zrna treba da se koristi žitni kombajn, a ne namenski, samo za kukuruz.

Prerade na kombajnu treba da su što nižeg nivoa, a svakako ne takve koje bi onemogućile primenu u žetvi drugih biljnih vrsta. Takođe, troškovi prerade ili dopunske opreme, treba da su što niži, odnosno prihvatljivi za praksu.

Troškovi prerade kombajna treba da su što niži i da analiza pokaže isplativost ulaganja u njihovu nabavku i primenu. To se odnosi i na druge mašine i uređaje namenjene za pojedine operacije spremanja.

U ovoj oblasti sprovode se brojni naučni i razvojni naponi, a posebno u Sjedinjenim Američkim Državama, koje su najveći proizvođač kukuruza na svetu. Ipak, još uvek ne može da se govori o postupku ili postupcima koji su najpovoljniji. Prema saznanju autora, trenutno se u nekoliko fabrika radi na iznalaženju novih rešenja.

Nadalje su prikazani i ocenjeni postupci koji se primenjuju, ili razvijaju.

#### **Postupak sakupljanja u AP Vojvodini**

Konvencionalni postupak sakupljanja kukuruzovine, koji se primenjuje i u Vojvodini, ima tri prohoda, a ukoliko kombajn nema sečku kukuruzovine četiri (drugi prohod je sečenje sitnilicom biljnih ostataka). Na sl. 18 prikazani su prohodi za slučaj sakupljanja sa kombajnom koji ima sečku za kukuruzovinu, a).

Nakon prolaska kombajna sledi formiranje zboja grabljama. Najčešće se koristi najjevtinije rešenje, grablje „sunce“, sl. 18 b1). Najveće zaprljanje zemljom nastaje pri ovoj operaciji, posebno ukoliko je viši sadržaj vlage kukuruzovine i zemljišta. Čigrastim (ovde

nisu prikazane) i trakastim grabljama, koje su skuplje, sl. 18 b2), može da se ostvari delimično smanjenje zaprijanja zemljom. Posebno su pogodne grablje sa širokozahvatnim pikap uređajem i trakama za formiranje zboja, takozvani *continuous belt merger*, sl. 18 b3), ali je to i najskuplje rešenje.

Tokom trećeg prohoda obavlja se baliranje, presama za velike četvrtaste, sl. 18 c1), ili valjkaste bale sl. 18 c2).

Ovakav postupak primenjuje se ne samo u Vojvodini, već u zemljama okruženja i brojnim drugim u svetu.

### Ocena postupka sakupljanja u više prohoda

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"><li>– Puni i neometan učinak branja zrna (delimično može da bude redukovan zbog zastoja na sečki za kukuruzovinu).</li><li>– Pri povoljnim vremenskim prilikama kukuruzovina može da se dosuši.</li><li>– Puna zrelost za primenu u praksi.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Velik broj prohoda.</li><li>– Visok sadržaj pepela, i preko 20 %.</li><li>– Nizak udeo ubranih oklasaka i komušine, manje od 50 %.</li><li>– Niska produktivnost, posebno u slučaju formiranja „siromašnih“ zbojeva.</li></ul>



a)



b1)



b2)



b3)



c1)



c2)

Sl. 18 Postupak sakupljanja u više prohoda (konvencionalni): a) branje zrna i usitnjavanje kukuruzovine, b1) formiranje zboja grabljama „sunce“, b2) trakastim grabljama, b3) trakastim grabljama sa pikap uređajem (*continuous belt merger*), c1) baliranje presom za velike četvrtaste bale, c2) presom za valjkaste bale

U nastavku poglavlja će biti opisani postupci u razvoju i razvijeni postupci koji još uvek nisu dostigli zrelost za primenu u praksi. Cilj je da se sakupljanje kukuruzovine unapredi, smanji broj prohoda i potrebna energija za sakupljanje, da se u što većoj meri spreči zaprljanje zemljom i drugo. Na razvoju i testiranju novih postupaka najviše je urađeno i radi se u Sjedinjenim Američkim Državama.

### **Postupci sakupljanja u dva prohoda (Two-pass)**

Postupci sakupljanja u dva prohoda sl. 19 a) do c), uglavnom se ostvaruju korišćenjem modifikovanih hedera kombajna. Ovim hederima kukuruzovina se usitnjava i formira zboj. Ispitani su u radu i pokazali su dobre rezultate (Shinners *i dr*, 2012; Straeter, 2011). Engleski naziv za zboj je *windrow*, pa se ovakvi hederi u SAD nazivaju i *cornrowers*. Pozitivan efekat, osim uštede prohoda, je i to da masa koja napušta kombajn pada na formiran zboj, što rezultira znatno nižim gubicima oklasaka i komušine, kao i smanjenjem zaprljanja zemljom. Nakon toga sledi baliranje. Pri povoljnim vremenskim uslovima masa u zboju može da se delimično osuši, pa se tako postiže da sadržaj vlage u sakupljenoj kukuruzovini bude niži.

Primena *cornrower*-a započela je u Sjedinjenim Američkim Državama. Za sada su poznati samo rezultati testiranja sprovedenih na fakultetima i institutima. To znači da postupak, iako ima komercijalnu primenu, još nije dugoročno proveren u praksi. Ovaj tip hedera još nije dostupan u Evropi. Za korišćenje ovog tipa hedera potreban je kombajn veće mase i snage motora.

### **Ocena postupka sakupljanja u dva prohoda**

<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Manji broj prohoda.</li><li>– Manje pepela.</li><li>– Učinak branja zrna faktički nesmanjen.</li><li>– Visok udeo oklasaka i komušine, više od 90 %.</li><li>– Ako vremenski uslovi dozvole moguće je sušenje mase u zboju na parceli.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Potreban je snažniji i masivniji kombajn.</li><li>– Povećana potrošnja goriva za rad kombajna.</li><li>– Visoka cena modifikovanog adaptera za formiranje zboja.</li><li>– Nije proveren u praksi i još nedostupan u Evropi.</li></ul>

Za proračun mase koja može da se sakupi, u poglavlju 3.3, razmatran je modifikovan postupak sakupljanja u dva prohoda –*High Cut*, koji, po saznanjima autora još nije testiran u praksi. Branje se sprovodi beračem-krunjačem, a umesto hedera sa otkidačkim valjcima koristi se heder koji biljke kukuruza odseca, kao na silažnom kombajnu, i uvlači u kombajn. *High Cut*, visoki rez, označava da se stabljike kukuruza odsecaju na povećanoj visini, najmanje 10 cm ispod najnižih klipova. To je u praksi oko 70 cm, sl. 20. Najbolje bi bilo da se na hederu nalazi i sečka za stabljike koje su ostale u uspravnom položaju. Poželjno je da se od stabljika u redovima između točkova kombajna formira podloga za kukuruzovinu koja napušta kombajn. U narednom prohodu se masa iz zboja balira.

Kao što je u poglavlju 5.1 naznačeno, udeo biljnih hraniva je veći u donjem delu stabljike i lišću u tom području. Dakle, na ovaj način sakuplja se samo gornji deo, uključujući oklasak i komušinu. Udeo sakupljenog oklasaka i komušine je velik, a zaprljanje zemljom smanjeno.

Nedostatak postupka je u tome što kroz radne organe kombajna, slično kao pri žetvi strnina, prolazi veća količina biljnih ostataka. To uzrokuje povećano opterećenje radnih

celina kombajna, pa može da se očekuje da gubici zrna budu povećani. Takođe se, što u publikacijama nije navedeno, očekuje smanjenje učinka branja zrna.

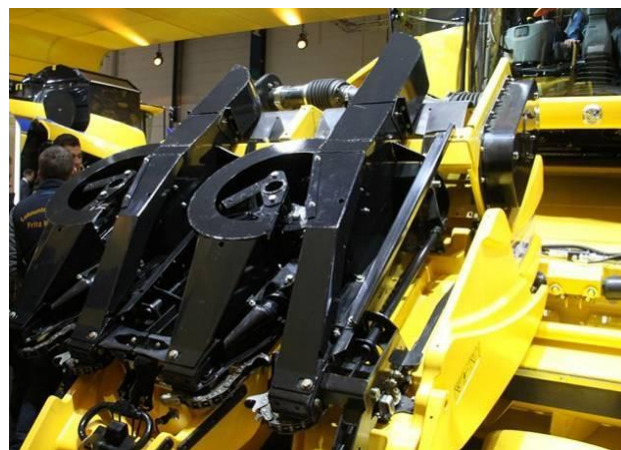
Za primenu ovog postupka potreban je kombajn veće mase i snage. Ocenjuje se da je postupak obećavajući, ali još uvek u demonstracionoj fazi zrelosti.

### Ocena postupka sakupljanja u dva prohoda –*High Cut*

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"><li>– Manji broj prohoda.</li><li>– Manje zaprljanje zemljom.</li><li>– Sakupljaju se delovi kukuruzovine sa manjim sadržajem vlage i manjom količinom biljnih hraniva.</li><li>– Ako vremenski uslovi dozvole moguće je sušenje mase u zboju na parceli.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Smanjenje učinka branja zrna.</li><li>– Potreban je snažniji i masivniji kombajn.</li><li>– Povećana potrošnja goriva za rad kombajna.</li><li>– Potrebna modifikacija adaptera zbog usitnjavanja stabljika.</li><li>– Nije proveren u praksi.</li></ul>



a)



b)



c)

Sl. 19 Hederi za sečenje kukuruzovine i formiranje zboja u jednom prohodu, a) i b) *New Holland*, c) *Geringhoff*



Sl. 20 Sakupljanje kukuruzovine sa odsecanjem stabljike na visini, *High Cut*, levo, uspravna stabljika koja preostaje na parceli, desno

### **Postupci sakupljanja u jednom prohodu (*Single-pass*)**

Težnja da se kukuruzovina sakupi u istom prohodu sa branjem zrna je stara, ali je još uvek u fazi istraživanja i razvoja. Načelno se razlikuju dva postupka; *dual stream*, sa dva toka materijala, i *single stream*, sa jednim tokom materijala.

Tipičan postupak sa dva toka materijala prikazan je na sl. 21 a), analiziran u nekoliko publikacija (Darr *i dr*, 2009; Hoskinson *i dr*, 2007; Shinnars *i dr*, 2006; Shinnars *i dr*, 2007; Shinnars *i dr*, 2009; Wold *i dr*, 2011). Ovde se koristi berač-krunjač sa specijalnim hederom. Heder otkida klipove i uvlači u kombajn, kao što je uobičajeno, ali dodatnim uređajem ustinja kukuruzovinu, te dovodi do bočno smeštenog bacača, kojim se ubacuje u prikolicu. Oklasak, kumušina i deo lista, koji prolaze kroz kombajn, drugim bacačem se dovode u prikolicu koju vuče kombajn.



a)



b)

Sl. 21 Postupci sakupljanja u jednom proходу: a) paralelno sakupljanje stabljika+lišća i oklasaka i komušine, b) sakupljanje cele stabljike

Drugi postupak, *single stream*, u pogledu koncepcije kombajna je isti kao i *High Cut*, sa tom razlikom što se stabljike odsecaju na visini oko 20 cm od zemlje, slično kao i pri sakupljanju cele biljke kukuruza za spremanje silaže, sl. 21 b). Celokupna ubrana masa prolazi kroz kombajn, a posebnim uređajem, na zadnjem delu kombajna, prihvata i ubacuje u vučenu prikolicu. Kada se prikolica napuni, zamenjuje se drugom. Kao i u prethodnom slučaju problem predstavlja transport mase male gusitine, pa i njeno skladištenje.

Za oba navedena postupka sakupljanja sl. 21, uočeno je značajno smanjenje produktivnosti branja zrna. To smanjenje je iznad definisane gornje granice 10 %, a u nekim slučajevima je čak i do 50 % (Shinners *i dr*, 2006, Shinners *i dr*, 2007, Shinners *i dr*, 2009). Na to, pored ostalog, utiče otežano manevrisanje na uvratini, zamena vučene prikolice, a u prvom slučaju potreba sinhronizovanog kretanja sa traktorom i prikolicom, koji se kreću paralelno,

Navedeni postupci su u prototipskoj fazi. Ocenjuje se da je mala verovatnoća da će ovakav pristup sakupljanju kukuruzovine daljnjim razvojem dovesti do za praksu prihvatljivih rešenja.

### Ocena postupka sakupljanja u jednom proходу

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Minimalan broj prohoda.</li> <li>– Sadržaj pepela oko 5 %, nema dodatnog zaprljanja zemljom.</li> <li>– Udeo ubranog oklasaka i komušine skoro 100 %.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Učinak branja zrna smanjen do 50 %.</li> <li>– Veći sadržaj vlage kukuruzovine, nema uslova za dosušivanje.</li> <li>– Složeno kretanje, posebno pri okretanju na uvratini.</li> <li>– Mala gustina materijala, te visoki troškovi transporta i skladištenja mase male nasipne gustine.</li> <li>– Step en zrelosti na nivou prototipa.</li> </ul>

## **Sakupljanje oklasaka i komušine ili samo oklasaka**

U slučaju da je namera da se sakupi mala količina kukuruzovine, najbolje je da to budu oklasak, komušina i deo lista. Ova masa izlazi iz separatora (slamotresa) i uređaja za čišćenje na kombajnu, beraču-krunjaču. Na tržištu se nudi više rešenja za ostvarenje ovakvog sakupljanja, u jednom proходу.

Jedna od mogućnosti je da se koristi kombajn prikazan na sl. 21 b), sa tom razlikom da se primeni uobičajeni heder za otkidanje klipova (Keene *i dr*, 2013). Prerada kombajna, dodavanjem uređaja za prihvatanje mase koja napušta kombajn je i za ovaj slučaj neophodna. U tom slučaju ostaje nedostatak male gustine, troškova transporta i skladištenja, te zamene vučene prikolice. Zamena vučene prikolice može da se eliminiše upotrebom namenske prikolice sa visokim pretovarom, kao što je prikazano na sl. 22. Na taj način se redukuje smanjenje produktivnosti branja zrna. Kod ovog rešenja je adaptacija kombajna pojednostavljena, jer nema bacača, već samo neka vrsta levka koja masu usmerava na prihvatnu traku prikolice. Prikolica ima svoj nezavisan pogon, sa motorom, kojim se obezbeđuje pokretanje trake i hidrauličkih cilindara za pretovar.

Činjeni su pokušaji da se masa koja izlazi iz kombajna balira presom za valjkaste bale, koju vuče kombajn. Presa je pogonjena sopstvenim motorom, ili hidrostatski od hidrauličkog agregata dograđenog na kombajn. Ovo rešenja nije obećavajuće zbog potrebne veće snage kombajna za pogon prese i poteškoća koje nastaju okretanjem na uvratinama.



Sl. 22 Prikolica za prihvatanja oklasaka i komušine sa visokim pretovarom

Nešto izmenjeno rešenje sakupljanja primenjuje se u Austriji, sl. 23, a bazirano je na jednom patentu. Specifičnost ovog rešenja je u tome što se odvajaju komušina i lišće, pa sakuplja samo oklasak, kao i to što je prihvatni koš sa samoistovarom dograđen na kombajn. Tako je omogućeno da se olakša manipulacija na uvratini. Jedini dodatni gubitak vremena, pa i smanjenje produktivnosti branja zrna, je pri istovaru oklasaka u prikolicu. Nedostatak je što je potrebno skinuti prihvatni koš da bi kombajn mogao da radi sa drugom vrstom useva. Oklasak se suši, usitnjava i proizvode peleti za sagorevanje, kao i



posebna vrsta prostirke. Uz mešanje sa drugim materijalima, pre svega senom lošijeg kvaliteta, peleti se koriste kao stočna hrana za preživare.



Sl. 23 Patentirano rešenje za sakupljanje oklasaka (bez komušine) tokom berbe zrna

Sa oba navedena postupka dobija se vlažan iseckani materijal male gustine suvog materijala, što je nepovoljno za transport i skladištenje. Rešenja su na nivou komercijalne zrelosti.

#### Ocena postupka sakupljanja oklasaka i komušine ili samo oklasaka

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"><li>– Obavljanje sakupljanja u jednom proходу.</li><li>– Jednostavn rad, nema zaprljanja zemljom.</li><li>– Nivo komercijalne zrelosti.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Primenljivost samo za posebne namene.</li><li>– Otežano manevrisanje na uvratini (za neka rešenja) i vreme za istovar.</li><li>– Visok sadržaj vlage sakupljenog materijala.</li><li>– Potrebna prerada kombajna.</li></ul>

#### Sakupljanje iseckane kukuruzovine

Za procese proizvodnje biogasa i bioetanola potrebno je da kukuruzovina bude maksimalno usitnjena, iseckana (pojam iseckana ovde označava intenzivno usitnjavanje, na primer, teoretska dužina ispod 20 mm). Ovakav materijal, ukoliko nije suv, može da se skladišti u anaerobnim uslovima, kao silaža, te da se na taj način smanje gubici organske materije.

Sakupljanje se obavlja korišćenjem silažnog kombajna sa pikap uređajem, sl. 24, iz zboja koji je formiran na neki način. Dakle, koji ostaje nakon primene *cornrower-a*, ili grabljanjem seckane kukuruzovine.

Iseckana kukuruzovina se primenjuje kao gorivo za velika postrojenja, primer sl. 8, što je jedini autorima poznat slučaj, ili kao kosupstrat za proizvodnju biogasa. Korišćenje

za proizvodnju biogasa ima veliku perspektivu, a radi se o količinama do oko 5.000 tona, svedeno na ravnotežni sadržaj vlage. Dopunsko usitnjavanje predstavlja fazu prerade, sa ciljem povećanja prinosa biogasa. Zbog niske gustine primenljivo je za rastojanja do 10 km.



Sl. 24 Sakupljanje kukuruzovine iz zboja i seckanje silažnim kombajnom

### **Razvijeni uređaji za sečenje kukuruzovine i formiranje zboja**

Poslednjih godina su intenzivirani istraživanje i razvoj na polju sakupljanja kukuruzovine u Evropi. Razlog kašnjenju u ovoj oblasti je to što je u zemljama sa najvećim inovacionim potencijalima proizvodnja kukuruza u zrnju manje zastupljena. Nadalje su prikazana dva rešenja uređaja koji u jednom proходу kukuruzovinu seku, kao sitnilice biljnih ostataka, i formiraju zboj, čime se eliminiše potreba proхода grabljama.

Na sl. 25 prikazan je jedan takav uređaj, razvijen u Austriji i nazvan *Biochipper*. Ima široki zahvat i nošen je traktorom. Seckana kukuruzovina se transportnim trakama sprovodi bočno, te formira zboj. Takođe, formirani zboj je izrazito velike visine, što otežava formiranje „ispravnih“ bala, posebno pri radu sa presama za valjkaste bale.

Do sada ne postoje podaci o rezultatima testiranja od strane neutralnih institucija. Posebno bi bilo važno da se utvrdi zaprljanje zemljom.



Sl. 25 Sitnilica kukuruzovine koja formira bočni zboj *Biochipper*

Na sl. 26 prikazana je sitnilica *Strohmax 5000* koja iseckani materijal pužnim transporterima dovodi do sredine. Prvenstveno je namenjena da radi kao priključni uređaj silažnih kombajna, a za to je potrebna adaptacija da se omogući priključivanje i povezivanje pogona. Specifičnost je u tome što je ugrađeno sito sa rotirajućim diskovima, koje masu prihvata na srednjem delu i dovodi do ulaza u silažni kombajn. To sito, ujedno i transporter, omogućava da se „proseje“ zemlja koja se nalazi na kukuruzovini, te smanji zaprljanje. Ovo rešenje je prikazano 2015. godine te nema podataka o merenjima i rezultatima.

Za oba rešenja je povoljno to što se za branje koristi uobičajena tehnologija, a heder je bez sečke za kukuruzovinu. Povoljno je i to što u povoljnim uslovima kukuruzovina može da se na parceli delimično osuši. Rešenja su na nivou zrelosti između prototipa i demonstracionog nivoa.



Sl. 26 Uređaj *Strohmax 5000*, koji se koristi kao heder silažnog kombajna

## **Postupak POET-DSM**

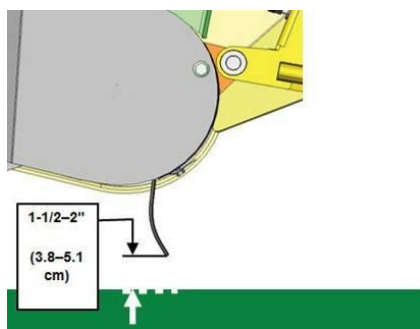
U Sjedinjenim Američkim Državama, Emmetsburg, Iowa, je fabrika za proizvodnju bioetanola **POET-DSM Advanced Biofuels LLC** u saradnji sa univerzitetom Iowa State i Ministarstvom za poljoprivredu razvijala postupak sakupljanja kukuruzovine, sa ciljem da se dobije sirovina pogodna za preradu. Formirano je uputstvo dobavljačima i izrađena publikacija pod nazivom **Biomass Program Overview**, dostupna na internetu. Definisan je postupak sakupljanja kukuruzovine pod nazivom *EZ Bale* sistem. To je postupak sakupljanja kukuruzovine u dva prohoda, pri čemu se sakuplja samo masa koja napušta kombajn, berač-krunjač. Dakle, masa se sastoji od oklasaka, komušine i lišća otkinutog sa gornjeg dela stabljike. kod koga se prvenstveno prikuplja materijal u neposrednoj blizini i iznad klipa. Delovi se sakupljaju u sledećim udelima: 33 % oklasaka; 43 % komušina/lišća; 16 % stabljike.

Korišćenjem ovog postupka može da se postigne da sadržaj pepela bude ograničen na 8 %, ili oko 3 % zaprljanja zemljom. Da bi se to postiglo propisan je i položaj prstiju pikap uređaja u odnosu na podlogu, (sl. 27 a). Količina zahvaćene zemlje ostvaruje se i time što se stabljike kukuruza, u delu na kojem nastaje zboj, obaraju na zemlju, te time formira „postelja“, podloga za materijal koji napušta kombajn. Jedno od rešenja je postavljanje obarača, „sanki“, kao na sl. 27 b), ili valjaka, kao na sl. 27 c). Dakle, potrebna je adaptacija uobičajenog hedera za otkidanje klipova (bez sečke za kukuruzovinu).

Zbog navedenog načina obaranja stabljike kukuruza, balirka mora da se kreće u istom smeru kao i kombajn, što utiče na smanjenje produktivnosti. Takođe, čak i kod najvećih kombajna, zboj koji se formira je „siromašan“, što utiče na produktivnost baliranja, te i na cenu sakupljene kukuruzovine.

Pri ovakvom postupku sakuplja se mali deo kukuruzovine, što za posledicu korisnika vrlo velikih količina utiče na radijus snabdevanja, te povećanje logističkih i ukupnih troškova nabavke. Kako se saznaje iz publikacija dostupnih na internetu **POET-DSM Advanced Biofuels LLC** razmatraju se i druge opcije sakupljanja, kao što je ona prikazana na sl. 22.

Iako se radi o postupku primenjenom u praksi, dakle, u fazi je komercijalne zrelosti, ocenjuje se da ne bi bio primenljiv u Vojvodini zbog, pre svega, malog udela sakupljene kukuruzovine. Procenjeno je da bi potrebne površine bile za oko 33 % veće, a to bi pratilo i povećanje cene sakupljene kukuruzovine. Važna pozitivna strana ovog postupka je to što je zaprljanje zemljom malo, niže od zacrtane granične vrednosti.



a)



b)



Sl. 27 Podešavanje rastojanja pickup prstiju od tla a), obarači stabljike u obliku „sanki“ b) i valjaka c)

Na navedenom primeru se vidi da je razvoj postupaka za sakupljanje kukuruzovine još uvek intenzivan, te da, do sada, nije ostvareno rešenje koje bi moglo da se označi kao optimalno.

### **Ocena perspektivnosti postupaka**

Kao što je navedeno, čini se da je najbolje rešen postupak dobijanja suvog oklasa nakon branja beračem-komušačem i prirodnog sušenja. Ipak, i kod ovog postupka ne postoji prihvatljivo rešenje za povećanje gustine, te sniženja troškova transporta i manipulacije. Takođe, primena berača-komušača se smanjuje, a taj trend će biti i nastavljen. Sakupljanje stabljike i lista, nakon branja klipova, neće se dalje unapređivati, tako da se u oblasti korisnika malih količina ne očekuju promene, sa izuzetkom iznalaženja rešenja za presovanje oklasaka.

U Vojvodini je, osim izuzetaka, za velika gazdinstva i korisnike velikih količina, trenutno primenljiv samo postupak sakupljanja sa više prohoda. On može da se unapredi primenom odgovarajućih grablji za formiranje zboja, sa ciljem da se smanji zaprljanje zemljom.

Očigledno je da su aktivnosti vezane za sakupljanje kukuruzovine vrlo intenzivne, a neka nova unapređenja su obećavajuća. Čini se da postupak sakupljanja u dva prolaza, uključujući formiranje zboja tokom branja zrna, može da ostvari dobre performanse,

zadovoljavajući kvalitet i povoljne troškove. Daljnja poboljšanja treba da budu orijentisana prema stvaranju podloga za njegov razvoj i primenu. Verovatno bi najbrže i najprihvatljivije rešenje bilo da se razvije neki tip *cornrower*-a, koji bi se proizvodio u zemlji.

Drugo rešenje, koje bi moglo da da dobre rezultate, je razvoj rešenja koje bi obezbedilo ostvarenje postupka *High Cut*. Naravno, trebalo bi da se provere performanse kombajna pri primeni takvog postupka, pa tek ukoliko rezultati budu primenljivi, da se odluči za primenu tog rešenja.

Ukoliko bi se razvio način korišćenja oklasaka i komušine, bio bi prihvatljiv i postupak sakupljanja samo ovih delova kukuruzovine.

Pretpostavlja se da će mnogi proizvođači biogasa biti zainteresovani za korišćenje kukuruzovine kao supstrata, te bi i postupak sakupljanja iseckane kukuruzovine bio dobro rešenje. Naravno, to bi bilo prihvatljivo ukoliko bi zaprljanje zemljom bilo nisko, a sigurno ispod definisane granične vrednosti.

### Komentari

Jedan od zadataka za unapređenje u budućnosti bilo bi iznalaženje mogućnosti sabijanja oklasaka, koji preostaju nakon krunjenja prirodno sušenih klipova, odnosno žetve beračem-komušačem.

Konvencionalni postupci sakupljanja sa tri ili više prohoda rezultiraju sa višim stepenom zaprljanja zemljom, naročito ako se koriste zvezdaste grablje „sunce“. Ovo može da se unapredi primenom drugačijeg formiranja zboja.

Sakupljanje u dva prohoda, primenom hedera za sečenje kukuruzovine i formiranje zboja je perspektivno, kao i tzv, *High Cut*, ukoliko se pokaže da produktivnost branja zrna, kao i gubici, nisu iznad definisanih graničnih vrednosti.

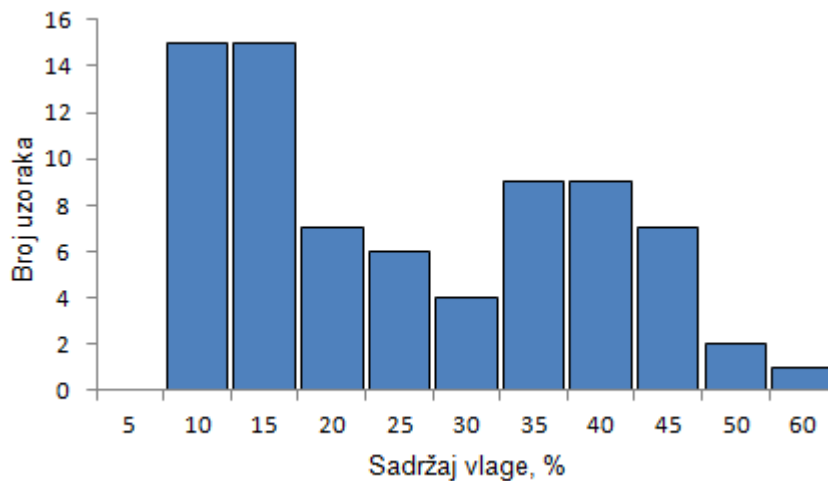
Postupak sakupljanja oklasaka i komušine u jednom proходу, mogao bi da ima primenu za namensku proizvodnju, a sakupljanje iseckane kukuruzovine za korišćenje kao supstrata za proizvodnju biogasa, uz uslov da zaprljanje zemljom bude minimalno.

## 4.2 Skladištenje

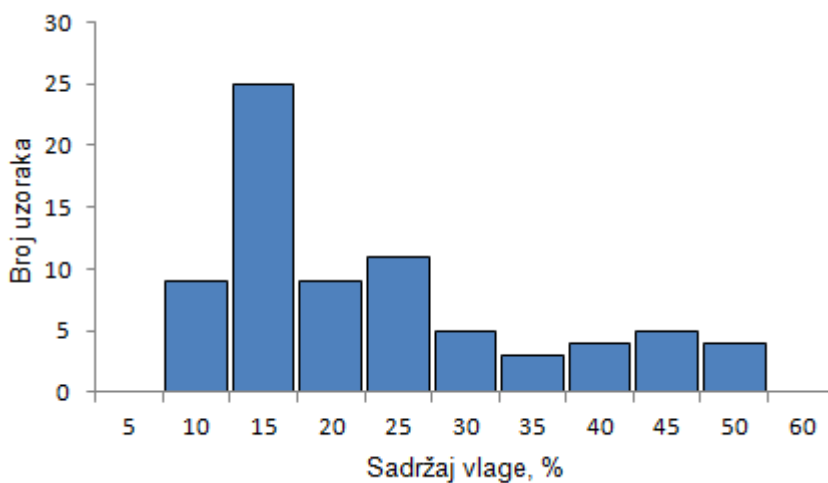
Sadržaj vlage kukuruzovine u toku žetve zrna varira u širokom rasponu. Sl. 28 prikazuje rezultate vlastitih merenja, sprovedene u okviru eksperimenata prikazanih u poglavlju 3.2, u toku pet godina i različitih agroklimatskih uslova. Kao što se može videti, sadržaj vlage delova kukuruzovine u vreme žetve je raspoređen u širokom dijapazonu, što može da predstavlja problem za skladištenje i daljnju obradu i primenu kukuruzovine. Tokom sezone žetve vremenski uslovi su retko pogodni za dodatno prosušivanje na parceli, ali treba računati i sa tom mogućnošću. Oplemenjivači bilja su takođe doprineli smanjenju sadržaja vlage, jer su razvijeni hibridi koji brže „otpuštaju“ vlagu nakon dostizanja pune zrelosti zrna.

Osnovni zahtev pri skladištenju kukuruzovine je da se očuva do trenutka korišćenja. Usled toga što je sadržaj vlage najčešće iznad ravnotežnog sl. 28 a), pogotovo za delove stabljike niže korenu, postoje uslovi za mikrobiološku razgradnju, gubitak organske materije. Sadržaj vlage povećava se ukoliko je kukuruzovina izložena atmosferskoj vlazi. Dakle, treba da se ostvari zaštita od atmosferske i zemljišne vlage (od podloge), te da se omogući sušenje.

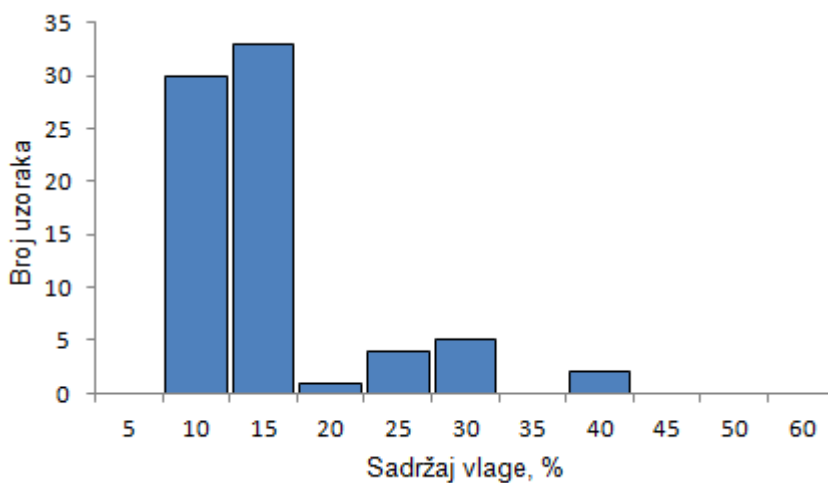
Poseban slučaj je skladištenje iseckane kukuruzovine (postupak sakupljanja prema sl. 24), koje se obavlja u anaerobnim uslovima. Nadalje će se razmatrati samo skladištenje u formi velikih bala.



a)



b)



c)

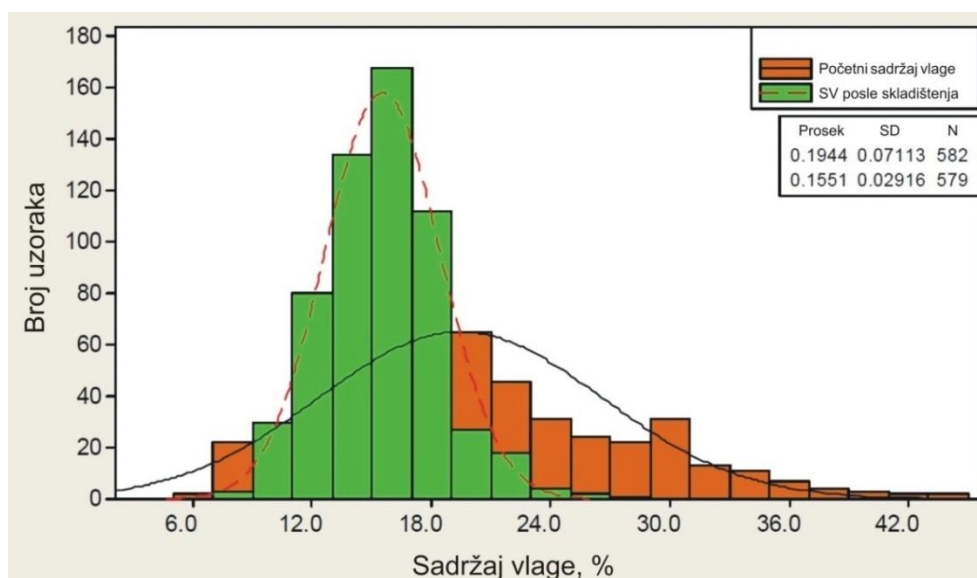
Sl. 28 Raspodela sadržaja vlage u delovima kukuruzovine u vreme berbe, a) stabljika+list, b) oklasak, c) komušina

Sprovedena su brojna istraživanja vezana za skladištenje kukuruzovine (Shah i Darr, 2014; Vadas i Digman, 2013; Shah *i dr.*, 2011; Cecava, 2010; itd.). Schon *i dr.* (2013) su u okviru projekta sprovedenog za *DuPont*, razradili mogućnosti za skladištenje velikih četvrtastih bala. Kriterijum za ocenu bio je intenzitet mikrobiološke razgradnje (gubitak organske materije) i promena sadržaja vlage. Poređeno je skladištenje pod nadstrešnicom, te na otvorenom prostoru, nepokriveno i pokriveno ceradom. U prvom slučaju pod skladišta je bio cementni, dok su u drugom slučaju kamare formirane bez prethodno pripremljene podloge. Kamare su formirane tako da u gornjem delu imaju kosine kako bi se, pri pokrivanju ceradom, omogućilo odvođenje vode pri padavinama, sl. 29.



Sl. 29 Skladištenje velikih četvrtastih bala pokrivenih ceradom na otvorenom

Kao što je očekivano najbolji rezultati su dobijeni za skladištenje pod nadstrešnicom, ali je takvo rešenje i najskuplje. Za skladištenje na otvorenom, pod folijom, ceradom, rezultati su značajno bolji nego za slučaj nepokrivenih bala. Gubici suve materije, od početka skladištenja do juna naredne godine, za bale skladištene pod nastrešnicom i na otvorenom iznosili su između 3,9 i 4,4 %, respektivno. Najveći intenzitet mikrobiološke razgradnje uočen je na balama, ili delovima bala, koji su bili izloženi padavinama. Zaključeno je da pravilnim skladištenjem, tokom dužeg perioda i uobičajenim vremenskim uslovima, dolazi do sušenja, sl. 30.



Sl. 30 Primer raspodele sadržaja vlage kukuruzovine, pre i posle skladištenja, prikazano stubićima narandžastom i zelenom bojom, respektivno (Schon *i dr.*, 2013),



### **POET-DSM postupak skladištenja**

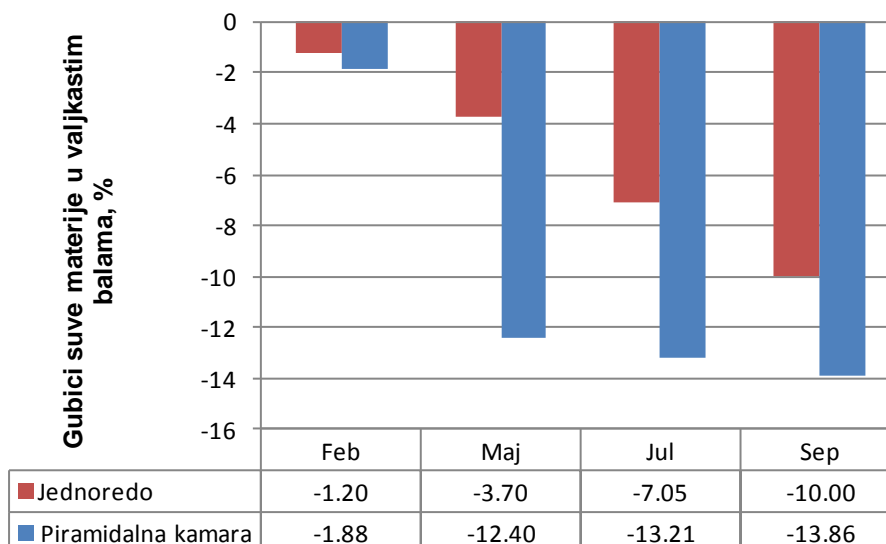
U prethodno pomenutom uputstvu za dobavljače **Biomass Program Overview** POET-DSM predloženi su i postupci za skladištenje. Za valjkaste bale je predloženo jednoreдно skladištenje, koje je upoređeno sa skladištenjem u piramidalne kamare sa dve bale u osnovi, sl. 31.



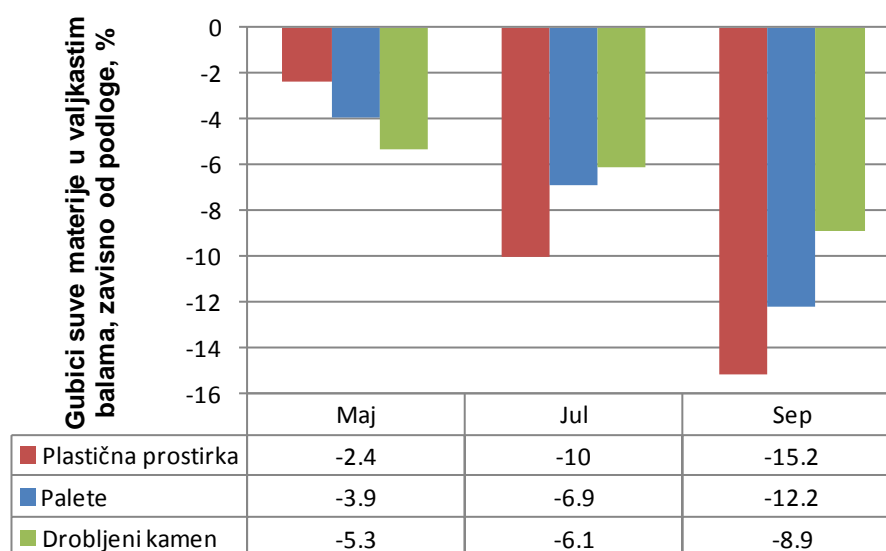
Sl. 31 Jednoreдно i skladištenje valjkastih bala u piramidalne kamare sa dve bale u osnovi (vezivo je četverostruka namotana mrežica)

Prednost za prvi slučaj je to da su gubici suve materije niži, dok je u drugom slučaju potrebna 31 % manja površina za skladištenje, ali su viši gubici suve materije, sl 32 a). Takođe je ispitan uticaj podloge na gubitak suve materije. Prva mogućnost je upotreba plastičnih/najlonskih prostirki radi eliminisanja upijanja vlage iz zemljišta. Ovo rešenje nije dobro zbog toga što, iako je sprečeno upijanje vlage, prostirka nije bila propusna i za padavine pa donje bale ostaju natopljene, a gubici suve materije se mogu videti na sl. 32 b). Druga mogućnost je upotreba drvenih paleta, koja je dala dobre rezultate, osim povećanja populacije glodara, koji su grizli mrežicu valjkastih bala. Posledica toga su veći fizički gubici mase i teža manipulacija raspadnutim balama, sl. 32 b). Treće rešenje, koje se pokazalo najbolje sa stanovišta očuvanja suve materije, je upotreba podloge od drobljenog kamena. Odvođenje vlage i mehaničko očuvanje bala bilo je dobro, ali je takvo rešenje skuplje, a skladište bi trebalo da bude trajno, jer je složeno prostiranje i uklanjanje ovakve podloge.

Ovakav postupak skladištenja ne može da se preporuči za Vojvodinu i region, zbog potrebne površine i ulaganja u podlogu.



a)



b)

Sl. 32 Gubici suve materije zavisno od a) tipa slaganja bala u kamari, b) tipa podloge

Za velike četvrtaste bale jedini zahtev je da budu prekrivene ceradom, čime se značajno smanjuju gubici suve materije tokom dugogodišnjeg skladištenja.

Skladištenje bala u kamarama na otvorenom, pokrivenim ceradom, dok se za podlogu koriste palete predstavlja najbolje rešenje. Sopstveni eksperiment započet je u sezoni 2015, a o prvim rezultatima referisano je u poglavlju 7.

### Komentari

Na osnovu rezultata višegodišnjih eksperimenata, sprovedenih, pre svega, u Sjedinjenim Američkim Državama, može da se zaključi da je skladištenje kukuruzovine u formi velikih bala rešivo i primenljivo u Vojvodini.

Uzimajući u obzir i troškove, bale treba da se skladište u kamarama, na uzdignutom terenu, uz formiranje zaštite od zemljišne vlage, te da se zaštite od padavina prekrivanjem ceradom, ili još bolje, specijalnom folijom koja omogućava „disanje“. Ukoliko je moguće, bilo bi poželjno da se među balama ostavljaju prolazi za ventilaciju, odvođenje vlage u uslovima pri kojima dolazi do sušenja.

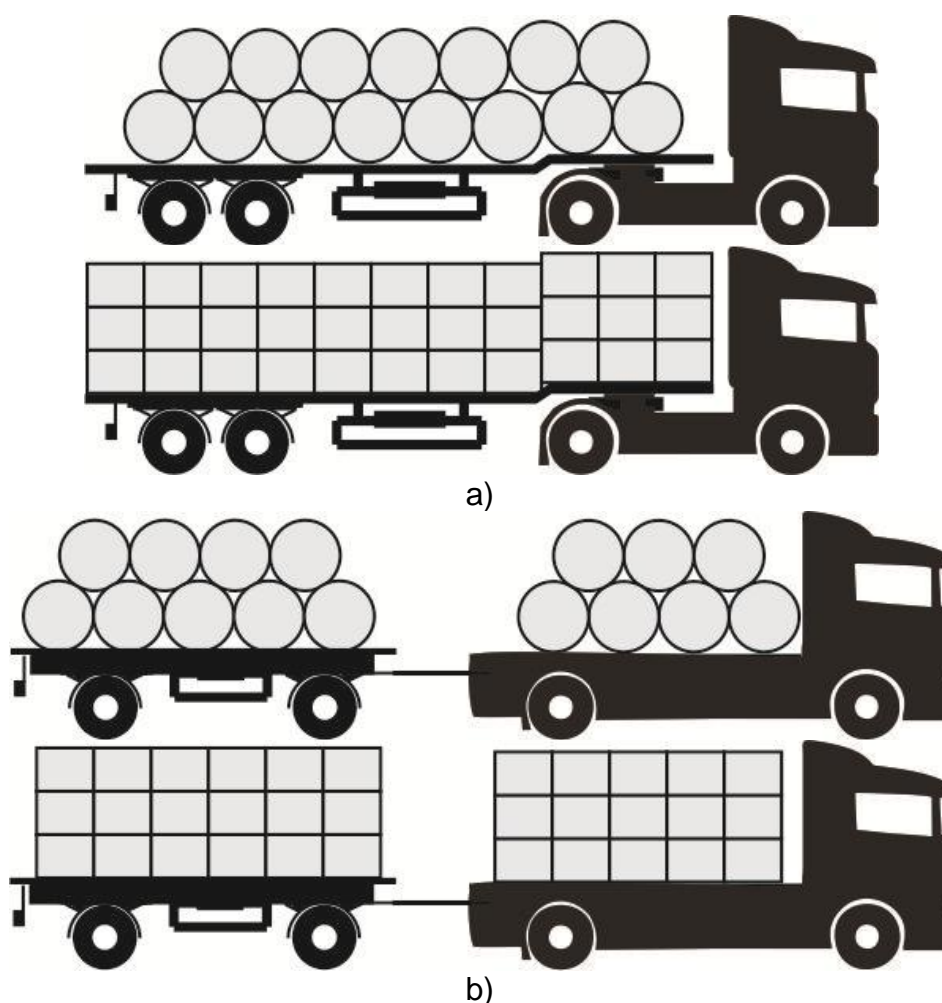
### 4.3 Lanci snabdevanja

Pravilna logistika treba da omogući pravovremeno snabdevanje korisnika, odnosno dovoljno kukuruzovine na skladištu pogona. Smanjenje logističkih troškova je važno, ali i redukcija emisije gasova sa efektom staklene bašte.

Troškovi logistike zavise od transportne udaljenosti, troškova prevoza po kilometru i tereta koji se prevozi. Železnička mreža u Srbiji je zastarela i upotrebljiva samo u izuzetnim okolnostima. Dominantan je drumski transport, ali vodeni transport može da se koristi sa mnogim pozitivnim efektima. Prema nacionalnom zakonodavstvu širina vozila u drumskom saobraćaju je ograničena na 2,55 m, i visinu do 4,0 m. Kao što je prethodno navedeno, samo su velike bale upotrebljive kod velikih korisnika, ali da bi se zadovoljili prethodno navedeni limiti, valjkaste bale bi trebalo da imaju dimenzije  $\phi$  1,5x1,2 m. Time bi bio moguć prevoz dva reda bala po širini sanduka kamiona.

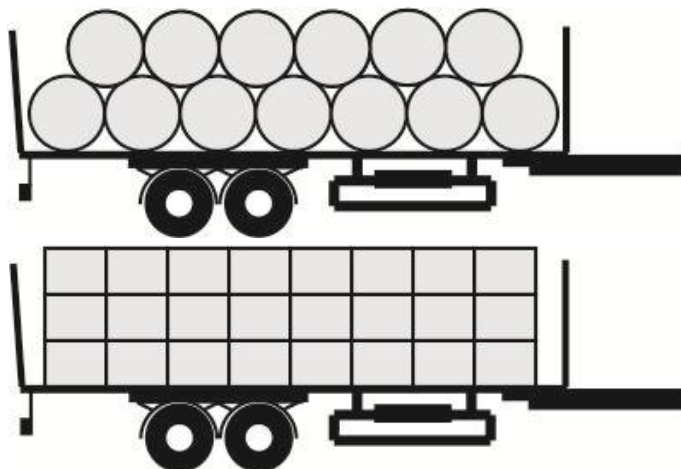
Postoje različite dimenzije velikih četvrtastih bala. Bale dimenzija 1,2x0,9x2,4 m (širina, visina, dužina), su najpogodnije za popunjavanje tovarnog prostora na uobičajenim transportnim vozilima.

Za drumski transport mogu da se koriste kamioni sa prikolicama, ili tegljači sa poluprikolicama. Dužina poluprikolice je 13,6 m, a za kamione sa prikolicom 6,2 + 8,2 m. Smeštaj valjkastih i velikih četvrtastih bala na tovarni prostor drumskih vozila prikazan je na sl. 33.



Sl. 33 Raspored bala kukuruzovine na transportna sredstva, a) tegljači sa poluprikolicama, b) kamioni sa prikolicama

Za kraća rastojanja do primarnih skladišta, do 40 km, mogu da se koriste i traktori sa prikolicama. U ovom slučaju, specijalne prikolice sa dužim platformama, oko 11 m, dostupne i u Srbiji, omogućiće isplativ prevoz, sl. 34.



Sl. 34 Specijalne poljoprivredne traktorske prikolice namenjene prevozu bala

### **Proračun opterećenja vozila – valjkaste bale**

Gustina bala  $90 \text{ kg/m}^3$  suve materije.

Dimenzije bala  $\phi 1,5 \times 1,2 \text{ m}$ , zapremina  $2,12 \text{ m}^3$ .

Masa bala:

SM 190 kg

Za sadržaj vlage 25 % 250 kg.

*Opterećenje tegljača sa poluprikolicom*

Ukupan broj bala 30, ukupno opterećenje 7,5 t.

*Opterećenje kamiona sa prikolicom*

Ukupan broj bala 32, ukupno opterećenje 8,0 t.

*Poljoprivredna prikolica*

Ukupan broj bala 26, ukupno opterećenje 6,5 t.

### **Proračun opterećenja vozila – velike četvrtaste bale**

Gustina bala  $110 \text{ kg/m}^3$  suve materije.

Dimenzije bala  $1,2 \times 0,9 \times 2,4 \text{ m}$ , zapremina  $2,59 \text{ m}^3$ .

Masa bala:

SM 285 kg

Za sadržaj vlage 25 % 380 kg.

*Opterećenje tegljača sa poluprikolicom*

Ukupan broj bala 33, ukupno opterećenje 12,5 t.

*Opterećenje kamiona sa prikolicom*

Ukupan broj bala 33, ukupno opterećenje 12,5 t.

*Poljoprivredna prikolica*

Ukupan broj bala 24, ukupno opterećenje 9,1 t.

## Proračun opterećenja plovila

Postoje različite vrste barži i brodova, na srpskom delu Dunava su najčešće barže *Europa II* i samohodne barže klase *Stajn*, sl. 35. Na osnovu karakteristika plovila, moguće je izračunati opterećenje, odnosno broj bala.



Sl. 35 Najčešći tipovi transportnih plovila u regionu

Tab. 6 Karakteristike plovila i moguće opterećenje

Karakteristike plovila	Barža <i>Europa II</i>	Samohodne barža klase <i>Stajn</i>
Dužina m	76,5	95
Širina m	11,4	11,4
Visina boka m	2,8	3,2
Balast t	1500	2000
Broj velikih četvrtastih bala/tona	576/219	732/278
Broj valjkastih bala /tona	609/152	771/192

Za utovar, istovar i slaganje mogu da se koriste različita sredstva, zavisno od dostupnosti i cene, Verovatno je najpovoljnije da se koristi univerzalni samohodni manipulator, telehandler, široko primenjivan u poljoprivredi,

Svaki korisnik velikih količina trebalo bi da izradi plan potreba i resursa, te na osnovu toga formira lanac snabdevanja, koji bi dao zadovoljavajuće tehničke performanse, uz najniže cene. Takođe bi trebalo da se razmotri i uticaj na životnu sredinu, kroz emisije gasova sa efektom staklene bašte.

## 5. ASPEKTI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Osnovna motivacija za podsticanje korišćenja obnovljivih izvora energije, pa tako i agrarne biomase poput kukuruzovine, je da se smanje emisije gasova sa efektom staklene bašte (na engleskom *Greenhouse Gases* –GHG), pa time i globalno zagrevanje. Među tim gasovima najveći uticaj ima ugljendioksid, zbog količine, a u poljoprivrednoj proizvodnji od značaja su emisije metana (23 puta intenzivniji uticaj od ugljendioksida) i azot-suboksida (296 puta intenzivniji). Pored toga što se korišćenjem fosilnih goriva generiše ugljendioksid, od značaja je i smanjenje rezervi koje su akumulirane milionima godina.

Iako se pri korišćenju agrarne biomase u energetske svrhe postižu pozitivni efekti u pogledu globalnog zagrevanja, od izuzetne važnosti je da se vodi računa o očuvanju plodnosti zemljišta kao neobnovljivog resursa.

U nastavku će se razmotriti uticaji sakupljanja i energetske korišćenja kukuruzovine na plodnost zemljišta, kao i širi aspekti ocenjivanja uticaja na globalno zagrevanje, odnosno uštede emisija sa efektom staklene bašte. Poslednjih godina se, sa opravdanjem, razmatra i upotreba poljoprivrednog zemljišta, koje bi, pre svega, trebalo obezbedi sigurno snabdevanje stanovnika planete hranom. I ovaj aspekt je obuhvaćen savremenim pristupima ocene primene obnovljivih izvora energije, pa tako i agrarne biomase i kukuruzovine.

### 5.1 Očuvanje plodnosti zemljišta

Kao što je navedeno, poljoprivredno zemljište smatra se neobnovljivim resursom, jer je za obnavljanje degradiranog zemljišta potrebno vreme duže od ljudskog veka. Stoga je briga o očuvanju plodnosti zemljišta veoma važna. Odnosnjem žetvenih ostataka, pa tako i kukuruzovine, ostvaruju se sledeći efekti:

- odnose se biljna hraniva, pre svega primarna makro, azot, fosfor i kalijum,
- odnosi se biljni materijal koji povećava organsku materiju u zemljištu –SOM (*Soil Organic Matter*) i daljnim procesima organski ugljenik u zemljištu –SOC (*Soil Organic Carbon*),
- odnosnjem biljnog materijala smanjuju se pozitivni uticaji na strukturu i teksturu zemljišta, vodni i vazdušni režim.

Pored toga što žetveni ostaci deluju ameliorativno, imaju i negativne uticaje. Na primer, ukoliko su na površini, postoji opasnost razvoja biljnih bolesti, kao i da budu staništa štetočina. Uneseni u zemljište mogu da formiraju makropore, koje ometaju nicanje i razvoj naredne biljne vrste, a u anaereobnim uslovima podstiču nastanak azot-suboksida, što je posebno fokusirano poslednjih godina.

U pogledu biljnih hraniva sprovedena su brojna istraživanja. Ona mogu da se nadoknade raspodelom mineralnih hraniva, ili stajnjaka, ali tada treba računati sa ekonomskom vrednošću i energetske bilansiranjem. Vrednost hraniva, pa i SOM, koji se uklanjaju sa polja, treba da se uzme u obzir, što je obrađeno u poglavlju 6.1. Na osnovu pregleda brojnih publikacija došlo se do podatka da su količine hraniva u opsegu od 0,5 do 3,2 kg za fosfor i od 5 do 16,5 kg za kalijum za svaku tonu suve materije kukuruzovine koja se ubere (Cook i Schinners, 2011; Hoskinson *i dr*, 2007; Karlen *i dr*, 2011). Neki od autora kvantifikuju i količinu azota, koja je između 5 i 9,1 kg/t suve materije kukuruzovine. Većina zaključuje da prateći usev zapravo zahteva manje azota usled visokog C:N odnosa

kukuruzovine (Avila-Segura *i dr.*, 2011; Cook i Shinnars, 2011; Coulter *i dr.*, 2008; Petrolia, 2008), kao i da je azot u formi koja nije dostupna narednoj biljnoj vrsti, bar ne u većem udelu.

Neka od istraživanja posvećena su definisanju količina biljnih hraniva po delovima, delovima kukuruzovine. Najniži sadržaj hraniva utvrđen je u oklasku (Avila-Segura *i dr.*, 2011). Temeljno merenje odnošenja hraniva u SAD sprovedi su Johnson *i dr.* (2010). Azot, fosfor, kalijum i ugljenik mereni su u različitim delovima stabljike – iznad klipa, ispod klipa i oklascima. Ukupan sadržaj hraniva bio je najviši u donjem delu stabljike, a najmanji u oklascima. Sa druge strane, sadržaj ugljenika bio je obrnut. Poznato je da više od polovine izvora SOC za zemljište je koncentrisano u korenu i rizosferi. Allmaras *i dr.* (2012) navode da je ta vrednost čak iznad 80 %. Upravo je to motivisalo autore da se kao jedan od postupaka sakupljanja kukuruzovine razmotri takozvani *High Cut*, kod kojeg se sakupljaju gornji delovi biljke, iako taj postupak nije razvijen do praktičnog nivoa.

Kako sagledati i oceniti uticaj odnošenja kukuruzovine na zemljište, i šta preduzeti da ne bude negativnih efekata? To je pitanje na koje se još uvek traži racionalan odgovor, u skladu sa savremenim uslovima i izazovima. Neki od istraživača su isključivi, ne odneti ni kilogram žetvenih ostataka! Takav pristup je nenaučni i jednostran. Mnogi u svojim razmatranjima ne uzimaju u obzir da se, u svim slučajevima, sakuplja samo deo nadzemnih žetvenih ostataka. Na primer, pri sakupljanju slame, to je oko 50 %, pa i manje, a kod kukuruzovine količina zavisi od postupka sakupljanja, što je prikazano u poglavlju 3.3. U njemu je posebno naglašeno koja količina ostaje na parceli nakon sakupljanja kukuruzovine, što bi trebalo da bude podloga za ozbiljno i sveobuhvatno proučavanje ovog problema

Wallace *i dr.* (2004) sačinili su sveobuhvatni pregled istraživanja uticaja odnošenja kukuruzovine na plodnost zemljišta. Jedan od navoda bio je da se pri sakupljanju kukuruzovine smanjuje prinos narednih godina. Zaključak je da treba sagledati sve uticaje, te u skladu sa specifičnim uslovima sačiniti predlog mera.

Powlson (2006) daje osnovne preporuke kada je u pitanju odnošenje žetvenih ostataka i njihov uticaj na SOM i SOC poput uspostavljanja odgovarajućeg upravljanja zemljištem u skladu sa klimatskim karakteristikama i plodoredom.

Sekulić *i dr.* (2010) analizirali su uticaj odnošenja žetvenih ostataka na zemljište u Vojvodini. Zaključili su da je uklanjanje žetvenih ostataka moguće sa zemljišta koja imaju visok sadržaj SOC. Njihov generalni zaključak je da konsultacije sa agropedolozima mogu da budu korisne i konstruktivne.

Wilhelm *i dr.* (2004) je dao detaljan pregled literature u vezi sa ovim problemima. Neka od istraživanja kao zaključak navode da uklanjanje žetvenih ostataka rezultuje smanjenjem prinosa zrna u narednim godinama. Neka od dugoročnih istraživanja ipak nisu potvrdila ove tvrdnje uz uvažavanje klimatskih uticaja, pedoloških uslova i plodoreda (Blum *i dr.*, 2010; Rampazzo *i dr.*, 2010). Generalni zaključak je da održivo upravljanje kukuruzovinom mora da bude obezbeđeno.

Nova istraživanja praktične primene, koja je sprovedo više univerziteta u SAD, pokazuju da se, naprotiv, prinos povećava (Coulter *i dr.*, 2008; Wienhold *i dr.*, 2013; Ertl, 2013). Taj efekat, koji je uočen u svim slučajevima, može da se objasni time što je smanjen potencijalan negativan uticaj krupnih žetvenih ostataka na klijanje i razvoj iskljanih biljaka, jer je fizički sprečen kontakt sa vodom i biljnim hranivima. Naravno, to može da bude i kratkotrajan efekat.

Očigledno je da jednoznačnog odgovora na ovo pitanje nema. Stoga autori studije žele da naznače potrebu da se na evropskom i nacionalnom nivou ova problematika šire

obradi. Uzor bi mogao da bude pristup naveden u Blum *i dr.* (2010), gde je razmotren uticaj biljne vrste, lokacije, odnosno agropedoloških karakteristika i klimatski uslova, kao i uključivanje uticaja i korekcionih efekata plodoreda. U tab. 7 prikazani su uticaji odnošenja žetvenih ostataka raznih biljnih vrsta na tri lokacije. Iz tabele se vidi veliki doprinos uljane repice, te bi ona tamo gde postoje uslovi, mogla da se koristi u plodoredu.

Tab. 7 Uticaj sakupljanja žetvenih ostataka tri biljne vrste na tri lokacije na promenu SOC u zemljištu (Blum *i dr.*, 2010)

SOC zalihe na dubini između 0 i 20 cm, t/ha										
	Početna vrednost	Pšenica			Ječam			Uljana repica		
		Krajnja vrednost nakon 40 god			Krajnja vrednost nakon 40 god			Krajnja vrednost nakon 40 god		
		100 % uklanjanje slame	50 % uklanjanje slame	Bez uklanjanja slame	100 % uklanjanje slame	50 % uklanjanje slame	Bez uklanjanja slame	100 % uklanjanje slame	50 % uklanjanje slame	Bez uklanjanja slame
Rothamsted	30,4	19,1	24,8	30,3	17,5	21,8	25,8	34,4	40,9	47,3
Ultuna	45,0	27,9	38,5	49,1	38,3	43,0	47,6	47,3	55,5	63,7
Fuchsenbigl	39,8	39,0	44,8	50,7	37,2	41,5	46,1	54,2	60,9	67,6

U nedostatku sveobuhvatnih i lokano specifičnih podloga za odlučivanje o tome koja količina žetvenih ostataka može da se ubere bez posledica na plodnost zemljišta, predlaže se da to bude jedna trećina.

## 5.2 Zaštita od eolske erozije

U Vojvodini je od značaja očuvanje poljoprivrednog zemljišta od eolske erozije. U Sjedinjenim Američkim Državama je usvojen kriterijum da je zemljište, do trenutka setve naredne biljne vrste, zaštićeno ukoliko je bar 30 % površine prekrivena biljnim ostacima, ASAE EP291.3 (Anonim, 2005). Ovakav kriterijum nije jednoznačno primenljiv u praksi, te je predložen postupak poređenja pokrivenosti sa u određenom stepenu razvijenim biljkama sitnosemenih biljnih vrsta. Za takve biljke i odgovarajuću fazu razvoja, količina suve materije (SM) 1.100 kg/ha. Ona će se razlikovati za žetvene ostatke pojedinih vrsta, a na to utiče i njihov položaj. Stoga je razvijen postupak (Hickman i Schoenberger, 1989) izračunavanja potrebne količine za ostvarenje adekvatne pokrivenosti kao i pomenutim biljkama –SGe (small grain equivalent). To je sprovedeno za najznačajnije biljne vrste, a primer za kukuruzovinu prikazan je na sl. 36. (Napomena: zbog primene u praksi ovde su date anglosaksonske mere za masu i površinu. 1.000 lbs/acre odgovara 1.100 kg/ha, dakle, vrednosti u dijagramu množe se sa 1,1). Odabrana vrednost SGe, u ovom slučaju 1.000 lbs/acre, očitava se na ordinati, povlači horizontala do odgovarajuće linije, te dobija vrednost na apscisi. Za SGe ona je ista kao i na ordinati. Da bi se dobila vrednost za kukuruzovinu, bira se linija koja odgovara opisu stanja, položaja, žetvenih ostataka.

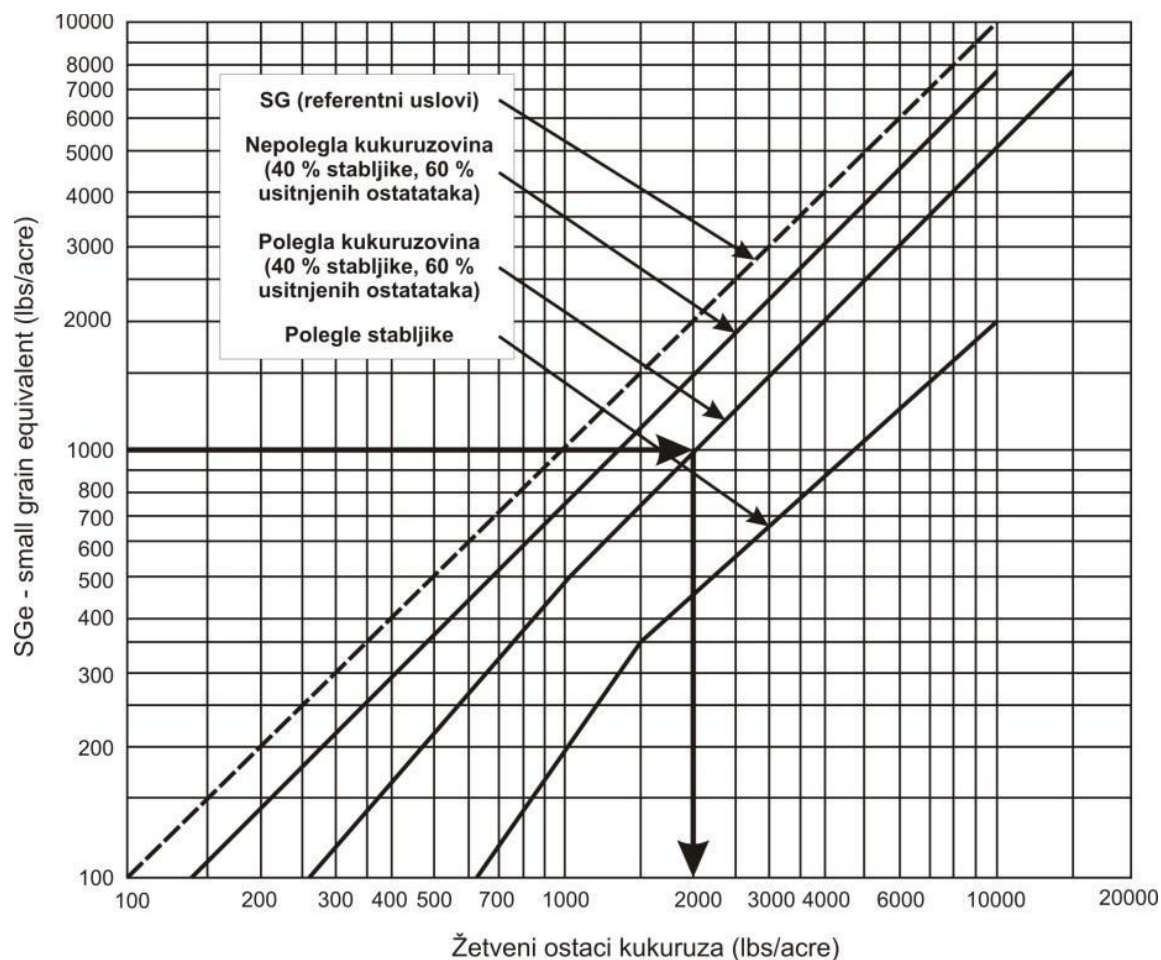
Primer je sproveden i prikazan za slučaj položenih žetvenih ostataka koji se sastoje od 60 % stabljika i 40 % sitnih delova. Dakle, ekvivalent takve strukture kukuruzovine je 2.000 lbs/acre, odnosno 2.200 kg/ha SM.

Nadalje treba u obzir da se uzme primenjen način obrade i uticaj vremenskih prilika od jeseni do proleća, vreme setve. Ove vrednosti za pojedine postupke definisane su u istom dokumentu (Hickman i Schoenberger, 1989). Tako, na primer, ukoliko se primeni oranje, nakon toga na površini ostaje svega 10 % žetvenih ostataka, pa zemljište ne bi bilo zaštićeno čak i ukoliko na njemu ostane celokupna kukuruzovina. Nadalje je razmotren slučaj jesenje obrade razrivanjem, pri čemu se količina žetvenih ostataka smanjuje za 25 %. Delovanjem vremenskih prilika, prema istom uputstvu, količina žetvenih ostataka na površini smanjuje se za dodatnih 10 %. Ukupno smanjenje je 32,5 %, odnosno, na površini



do trenutka setve ostaje 67,5 % žetvenih ostataka. Dakle, da bi bio ispunjen uslov za minimalnu količinu žetvenih ostataka potrebnu za ostvarenje zaštite od eolske erozije, masa suve materije kukuruzovine koja preostaje na parceli, uz navedene uslove, treba da je 3.260 kg/ha.

Prema podacima u tab. 5, poglavlje 3.3, na parceli preostala masa kukuruzovine, nakon sakupljanja raznim postupcima, je 2,9 i 8,1 t/ha. Dakle, u većini slučajeva zadovoljava količine potrebne da se obezbedi zaštita od eolske erozije u navedenim uslovima. Jedino je za neke postupke sakupljanja u 2012. godini, koja je bila ekstremno sušna, količina koja preostaje na parceli bila ispod navedene granične vrednosti, 3,26 t/ha SM.



Sl. 36 Dijagram za izračunavanje SGe za žetvene ostatke kukuruza (Hickman i Schoenberger, 1989)

#### Komentari

Pri sprovođenju sakupljanja kukuruzovine treba da se razmotre uticaji tog postupka na plodnost zemljišta. Sa kukuruzovinom se odnose biljna hraniva, kao i organska materija. Uticaj na plodnost zemljišta, kao i eliminacija tog uticaja, su kompleksni, te se još uvek istražuju. Za sada nema jednoznačnih preporuka kako da se plodnost zemljišta očuva, jer su uticaji na to brojni.

Preporučuje se, posebno za velike farme, da, uz pomoć stručnih lica ili institucija, ovaj problem razmotre i sačine plan održivog upravljanja zemljištem pri sakupljanju žetvenih ostataka, pa i kukuruzovine.

Odošenjem kukuruzovine sa polja preostaje dovoljna količina ostataka za zaštitu od eolske erozije, uz uslov da se primeni odgovarajuća obrada zemljišta bez prevrtanja.

### 5.3 Održivost korišćenja agrarne biomase

Korišćenjem biomase u vidu energenta za generisanje električne i toplotne energije, ili kao sirovine za proizvodnju biogoriva/biotečnosti, može da se doprinese ispunjenju obaveza Republike Srbije u pogledu OIE. Srbija se potpisivanjem i ratifikacijom *Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju* sa zemljama članicama EU, obavezala da će oblast proizvodnje i iskorišćenja OIE da uskladi sa tendencijama EU u ovoj oblasti, a da će saradnja sa članicama EU da bude u skladu sa *Ugovorom o osnivanju energetske zajednice* ratifikovanim odgovarajućim zakonom (Anonim, 2006).

Oblast proizvodnje i iskorišćenja obnovljivih izvora energije u EU je okvirno definisana sledećim direktivama:

- *Direktiva 2009/28/EC o promociji i korišćenju energije iz obnovljivih izvora energije (Renewable Energy Directive – RED).*
- *Direktiva 98/70/EC o kvalitetu benzina i dizel goriva (Fuel Quality Directive – FQD) uz amandmane uvedene Direktivom 2009/30/EC.*
- *Direktiva 2015/1513 koja uvodi amandmane za Direktivu 2009/28/EC i Direktivu 98/70/EC.*

Obavezni nacionalni ciljevi definisani pomenutim direktivama tiču se udela energije iz OIE u bruto finalnoj potrošnji energije, kao i njenog udela pri potrošnji energije u svim vidovima saobraćaja i to do 2020. godine. Cilj je da na nivou EU, najmanje 20 % bruto finalne potrošnje energije bude iz OIE. Što se tiče potrošnje energije u saobraćaju, prvobitno je svaka zemlja članica morala da obezbedi da najmanje 10 % energije u transportu bude obezbeđeno korišćenjem biogoriva. Amandmanima uvedenim Direktivom 2015/1513, cilj za korišćenje biogoriva je korigovan tako da je udeo konvencionalnih biogoriva, biogoriva prve generacije, ograničen na 7 %, dok se preostalih 3 % mogu obezbediti nizom alternativnih rešenja između ostalih i naprednim biogorivima odnosno biogorivima druge i treće generacije koja kao sirovinu koriste i lignocelulozne materijale poput žetvenih ostataka. Njihov minimalni udeo bi trebao da je 0,5 % (preporučena vrednost) uz omogućeno duplo obračunavanje ispunjenja nacionalnih ciljeva. U skladu sa RED i Odlukom ministarskog saveta energetske zajednice, Republika Srbija je obavezana da udeo OIE u bruto finalnoj potrošnji energije iznosi najmanje 27 %, a u sektoru saobraćaja najmanje 10 %, što je i potvrđeno *Nacionalnim akcionim planom za korišćenje obnovljivih izvora energije* (Anonim, 2013a).

Obračunavanje udela OIE u bruto finalnoj potrošnji sprovodi se tako da u bilans ulazi energija u vidu električne energije, energije za grejanje i hlađenje, kao i energija iz biogoriva/biotečnosti. Obračunavanje biogoriva/biotečnosti za postizanje nacionalnih ciljeva moguće je jedino ukoliko zadovoljavaju kriterijume održivosti. Za iskorišćenje OIE u vidu električne, grejne i rashladne energije, nisu definisani kriterijumi održivosti na nivou Evropske unije, već samo za biogoriva/biotečnosti. Međutim, *Izveštajem komisije savetu i evropskom parlamentu* iz februara 2010 (Anonim, 2010), koji je donesen na osnovu člana 17(9) RED predlaže se zemljama članicama da mogu same da definišu kriterijume održivosti i za druge oblasti primene. *Radni dokument komisije* (Anonim, 2014a), potvrđuje da neke od zemalja članica to i čine za čvrstu i gasovitu biomasu (Velika Britanija, Italija, Belgija), te sa opravdanjem može da se očekuje njihovo uvođenje za celu EU, a tada će važiti i za Srbiju.

Za biogoriva/biotečnosti, ispunjenje kriterijuma održivosti postavlja se i kao uslov da se primenjuju podsticajne mere, subvencije. Njihovo ispunjenje mora da proveriti i potvrdi odgovarajuće nacionalno verifikaciono telo. Što se tiče Srbije, obaveza ispunjenja

kriterijuma održivosti je *Zakonom o energetici* (Anonim, 2014b) načelno propisana samo za biogoriva. Nakon donošenja odgovarajućih uredbi, uspostavljanja verifikacionog tela za potvrdu ispunjenosti kriterijuma održivosti, izveštavanja i drugih elemenata od značaja za održivost biogoriva, u potpunosti će da se uredi ova oblast, što je i dokumentovano u (Denvir i dr, 2015). Važno je napomenuti da je akcionim planom za OIE predviđeno da početna godina za ispunjavanje ciljeva iskorišćenja biogoriva bude 2015, te pomenuti podzakonski akt/akti treba da se donesu u najskorijem roku.

Kriterijumima održivosti definišu se sledeći zahtevi:

- Ušteta u emisijama GHG nastalih pri korišćenju (tačnije, celokupnom životnom ciklusu biogoriva od ekstrakcije sirovina do njegovog iskorišćenja), treba da je minimum 60 % (u novim postrojenjima koja počinju sa radom od 5. 10. 2015.), u poređenju sa fosilnim komparatorom čija vrednost emisija iznosi 83,8 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ. Za biotečnosti, vrednost emisija fosilnog komparatora zavisi od sektora korišćenja biotečnosti i iznosi, 91, 77 i 85 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ respektivno u slučaju korišćenja za električnu energiju, toplotnu energiju i u kogeneraciji.
- Biogoriva/biotečnosti ne mogu da se proizvode iz sirovina uzgajanim na zemljištima sa visokom vrednošću biodiverziteta koja su taj status imala pre januara 2008. godine (na primer, primarne šume i pašnjaci sa visokim biodiverzitetom).
- Biogoriva/biotečnosti ne mogu da se proizvode iz sirovina uzgajanim na zemljištima sa visokim zalihama ugljenika koja su taj status imala pre januara 2008. godine (na primer, močvare).
- Biogoriva/biotečnosti ne mogu da se proizvode iz sirovina uzgajanim na tresetištima koja su taj status imala pre januara 2008. godine.
- Poljoprivredne sirovine uzgajane u evropskoj zajednici moraju da budu proizvedene u skladu sa dobrom poljoprivrednom praksom i drugim, sličnim propisanim zahtevima.

Što se tiče mogućih kriterijuma održivosti za iskorišćenje čvrste i gasovite biomase za električnu i termičku energiju, predloženo je samo da kriterijum održivosti u pogledu uštede emisije GHG bude identičan kao i za biogoriva/biotečnosti što bi omogućilo konzistentnost i sprečilo nepoželjno diskriminisanje određenih sirovina (Anonim, 2014a).

### **Ušteta u emisijama GHG za biogoriva proizvedena iz kukuruzovine**

Biogoriva koja kao sirovinu koriste kukuruzovinu moraju da budu proizvedena u skladu sa svim navedenim kriterijumima održivosti. S obzirom na karakteristike gajenja kukuruza u Srbiji/Vojvodini i to da Srbija nije članica Evropske unije, od interesa za eventualno iskorišćenje kukuruzovine najvažniji je kriterijum o uštedi u emisijama GHG.

Konkretno to znači da privredni subjekt koji na tržište stavlja ovakvo biogorivo, treba da na adekvatan način dokumentuje zadovoljenje pomenutog kriterijuma, a pri utvrđivanju uštede u emisijama GHG, obaveza mu je, takođe, da primenjuje metod masenog bilansa. Izveštavanje o vrednostima uštede u emisijama GHG za biogoriva moguće je korišćenjem *uobičajenih* vrednosti emisija GHG (na engleskom *Default values*). Postoji i mogućnost korišćenja priznatih dobrovoljnih šema ili bilateralnih i multilateralnih ugovora, kojima se garantuje da je proizvodnja biogoriva u skladu sa kriterijumom održivosti. Na ovaj način, omogućeno je lakše izveštavanje privrednih subjekata o karakterističnim vrednostima uštede u emisijama GHG. Korišćenje uobičajenih vrednosti je ograničeno samo na biogoriva koja se proizvode iz sirovina kultivisanih van teritorije evropske zajednice, u okviru teritorija klasifikovanih kao teritorije nivoa 2 prema nomenklaturi teritorijalnih jedinica

statistike i ukoliko su u pitanju otpadi osim poljoprivrednih otpada i otpada iz ribarstva. Sa druge strane, moguće je korišćenje *stvarnih* vrednosti uštede računatih u skladu sa metodom propisanim aneksom V RED, potvrđeno i za biotečnosti direktivom 30/2009/EC, a sam metod predmet je i odgovarajućeg standarda, CEN/TS 16214-4: 2014. Na kraju, postoji mogućnost korišćenja *razvrstanih* vrednosti emisija GHG za pojedine faze životnog ciklusa biogoriva (na engleskom *Disaggregated values*), da bi se utvrdila stvarna vrednost uštede u emisijama GHG (u kombinaciji sa stvarnim vrednostima emisija za pojedine faze u životnom ciklusu biogoriva). Kao što je ranije navedeno, principi utvrđivanja i verifikacije ispunjenja kriterijuma održivosti u Srbiji biće definisani odgovarajućim pravilnikom.

Proizvodnja nekih biogoriva druge generacije je prepoznata u okviru navedenih direktiva, te se u njihovim pratećim aneksima mogu pronaći uobičajene vrednosti uštede u emisijama GHG, kao i razvrstane vrednosti emisija GHG za pojedine faze u okviru njihovog životnog ciklusa. Tako, za bioetanol proizveden iz pšenične slame, uobičajena vrednost emisija GHG karakteristična za celokupan životni ciklus, iznosi 13 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ, odnosno uobičajena ušteta u pogledu emisija GHG iznosi 85 %. Uobičajena vrednost uštede u emisijama GHG, ili razvrstane vrednosti emisija GHG za pojedine faze biogoriva/biotečnosti proizvedenih iz kukuruzovine poput bioetanola i biometana nisu navedene.

Sušтина metoda propisanog RED se ogleda u tome da se ukupna vrednost emisije GHG utvrdi kao suma emisija sledećih faza:

- emisije iz ekstrakcije ili kultivacije sirovina  $e_{ec}$ ,
- emisije usled promene količine ugljenika nastale zbog promene korišćenja zemljišta  $e_l$ ,
- emisije iz procesiranja<sup>2</sup>  $e_p$ ,
- emisije iz transporta i distribucije  $e_{td}$ ,
- emisije iz korišćenja  $e_u$ ,
- uštede emisija nastale kroz akumulaciju ugljenika usled unapređenja poljoprivredne proizvodnje  $e_{sca}$ ,
- uštede emisija kroz zarobljavanje ugljenika i geološko skladištenje  $e_{ccs}$ ,
- uštede emisija kroz zarobljavanje ugljenika i zamenu  $e_{ccr}$ ,
- uštede emisija zbog dodatne električne energije usled kogeneracije  $e_{ee}$ .

Jednačina za izračunavanje ukupne emisije –E, glasi:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}$$

Ušteta u emisijama GHG, izražena u procentima, se zatim izračunava pomoću jednačine:

$$\text{ušteta} = (E_F - E_B) / E_F$$

gde je  $E_B$  ukupna emisija GHG biogoriva/biotečnosti, a  $E_F$  ukupna emisija GHG fosilnog komparatora, sve izraženo u g CO<sub>2ekv</sub>/MJ.

Posmatrajući jednačinu za ukupnu emisiju GHG, određeni broj članova jednačine, u slučaju iskorišćenja kukuruzovine kao sirovine za biogoriva, može da se smatra jednak nuli. Vrednost emisije usled promene količine ugljenika (organskog ugljenika u zemljištu i ugljenika sadržanog u biomasi), nastale zbog promene korišćenja zemljišta,  $e_l$ , obračunava se jedino ukoliko, na primer, dolazi do konverzije nepoljoprivrednog zemljišta

<sup>2</sup> Termin *procesiranje* može da se shvati i kao *prerada*, a odnosi se konkretno na samu proizvodnju biogoriva i sve operacije u okviru te proizvodnje. Zbog usaglašenosti sa evropskim propisima, u ovoj studiji će se koristiti termin *procesiranje*.

u poljoprivredno, što u Vojvodini nije slučaj. Na ovaj način se omogućava da direktna promena namene zemljišta (*Direct Land Use Change* –DLUC) bude uključena u obračun GHG emisija. O problemu indirektno promene korišćenja zemljišta, objašnjenje je dato u posebnom potpoglavlju. Sve uštede emisija,  $e_{sca}$ ,  $e_{ccs}$ ,  $e_{ccr}$ , osim zbog dodatne električne energije usled kogeneracije,  $e_{ee}$ , takođe imaju nultu vrednost. Dakle, od interesa su samo faze ekstrakcije ili kultivacije sirovina, procesiranja i transporta i distribucije.

Standard CEN/TS 16214-4: 2014, u određenoj meri, detaljnije definiše faze u okviru životnog ciklusa biogoriva/biotečnosti, ali definiše, nepotpuno, međusobnu korelaciju sa fazama definisanim u RED. Standard podrazumeva da je korišćenje zemljišta i promene korišćenja zemljišta u fazi ekstrakcije ili kultivacije sirovina iako prema RED metodu, te emisije treba da se posmatraju odvojeno. Nelogično je i to što prema RED metodu, svi oblici transporta (na primer biomase i gotovog proizvoda – biogoriva), treba da se objedine u fazu transporta i distribucije. Sa druge strane, striktnim tumačenjem standarda, a konkretno za slučaj kukuruzovine, transport tokom utovara i istovara, u okviru skladišnog prostora, pa i tokom manipulacije u okviru postrojenja se ne dodeljuje fazi transporta i distribucije nego drugim fazama.

Takođe je važno naglasiti da metod definisan u RED, kao i metod definisan standardom, ne predviđaju negativne emisije GHG, nastale usled odnošenja hraniva ubranom biomasom, u ovom slučaju kukuruzovine. Hraniva moraju da se nadoknade tokom sledeće godine raspodelom dodatnih količina, što je praćeno emisijama GHG. Ne razmatraju ni emisije koje su posledica odnošenja organske materije sadržane u žetvenim ostacima, iako to može negativno da se odrazi na umanjenje prinosa u narednim sezonama. Još jedna nelogičnost se ogleda u tome što pomenuti metodi isključuju emisije proistekle iz proizvodnje i održavanja mašina i objekata. Ako se princip analize životnog ciklusa –LCA posmatra striktno, a to bi trebalo da je u osnovi oba metoda, njihove karakteristične emisije GHG morale bi biti uključene u bilans.

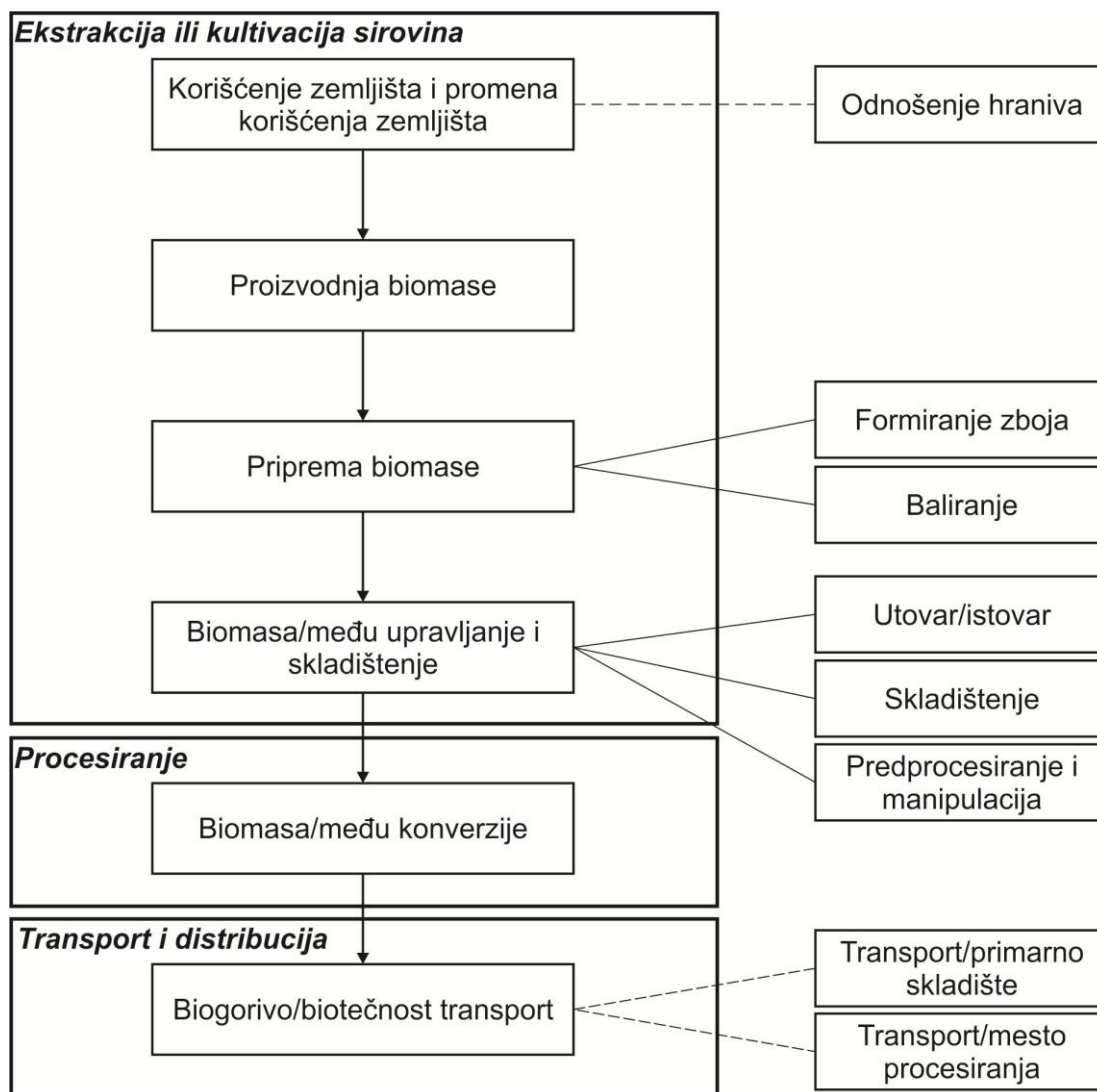
Uzimajući u obzir oba metoda za utvrđivanje vrednosti emisija GHG, principe LCA i dostupnost podataka, sprovedeno je utvrđivanje vrednosti uštede u emisijama GHG sa ciljem potvrđivanja hipoteze da biogoriva proizvedena iz kukuruzovine, bioetanol i biometan, zadovoljavaju kriterijum održivosti u pogledu uštede u emisijama GHG. Faza kultivacije i ekstrakcije sirovina je u potpunosti obrađena za oba biogoriva pošto se suštinski ne razlikuje. Dodatno je razmotreno i odnošenje hraniva sakupljanjem kukuruzovine. U slučaju faze procesiranja kukuruzovine za bioetanol, iskorišćena je razvrstana vrednost procesiranja pšenične slame navedena u RED, dok je za biometan iskorišćena razvrstana vrednost za biogas iz organskog otpada. Po istom principu, iskorišćena je i razvrstana vrednost u fazi transporta i distribucije za bioetanol iz pšenične slame, odnosno za organski otpad.

Pregled obrađenih faza u okviru logističkog lanca kukuruzovine i njihova usklađenost sa fazama definisanim RED i standardom, prikazan je na sl. 37.

Proizvodnja i korišćenje biogoriva na bazi kukuruzovine predstavlja složen proces i karakteriše se mnoštvom promenljivih faktora u okviru pojedinih faza, koji potencijalno mogu da utiču na nesigurnost u utvrđivanju stvarne vrednosti uštede GHG. Pri utvrđivanju vrednosti emisija i ušteda u emisijama GHG, u razmatranje su uzeti sledeći faktori:

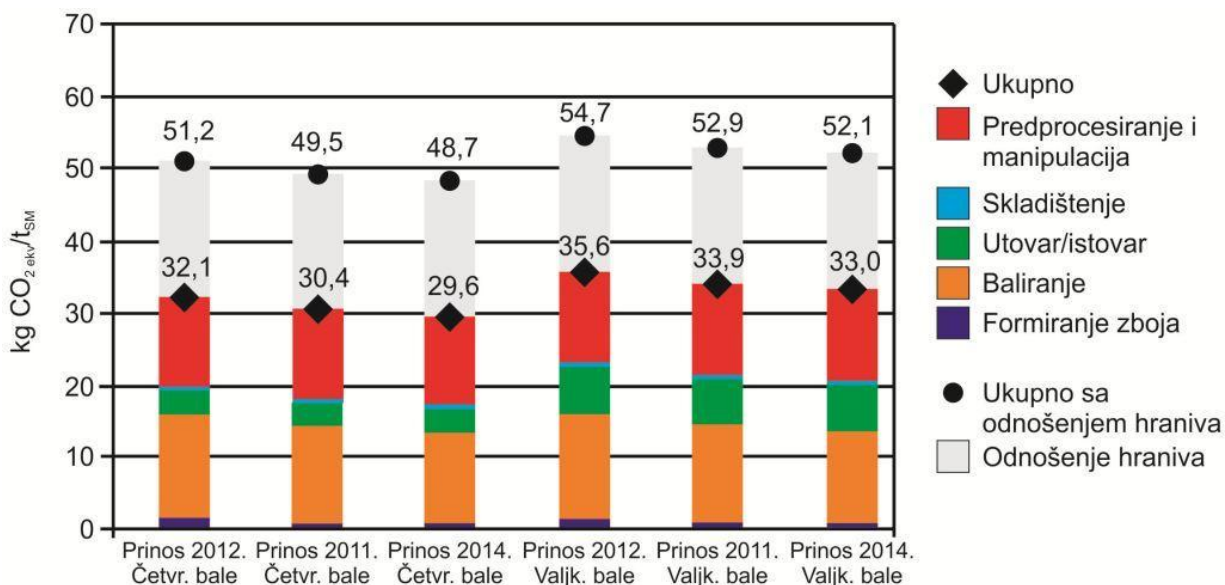
- Prinos kukuruzovine je manjan tako da oslika varijacije u očekivanom prinosu. Korišćene su vrednosti prinosa tokom 2011, 2012 i 2014. godine, poglavlje 3.
- U okviru odnošenja biljnih hraniva u obzir su uzeti fosfor i kalijum.
- Pretpostavljeno je da se sakupljanje kukuruzovine obavlja u dva prohoda kao na sl. 19, sa sitnjenjem kukuruzovine i formiranjem zboja u prvom i baliranjem u formi valjkastih ili velikih četvrtastih bala u drugom.

- Od jedne tone suve materije kukuruzovine proizvede se 200 L bioetanola donje toplotne moći 21 MJ/L, odnosno 239 Stm<sup>3</sup> metana (poglavlje 2.4), donje toplotne moći 35,9 MJ/Stm<sup>3</sup>.



Sl. 37 Poređenje i međusobne relacije između faza u životnom ciklusu biogoriva definisanih RED, standardom CEN/TS 16214-4: 2014 i sopstvenog istraživanja

Stvarna vrednost emisija za fazu kultivacije i ekstrakcije sirovina varira u zavisnosti od prinosa kukuruzovine i tehnike baliranja. Na sl. 38 prikazana je raspodela emisija GHG, izražena u kg CO<sub>2ekv</sub>/t suve materije kukuruzovine po odgovarajućim fazama razmatranih logističkih lanaca uz poseban naglasak na vrednost emisija ukoliko se i odošenje hraniva uključi u bilans emisija GHG. Uzimajući u obzir prinose bioetanola i biometana, kao i odgovarajući energetski sadržaj ova dva biogoriva, proizilazi da je stvarna vrednost emisije GHG za fazu kultivacije i ekstrakcije sirovina,  $e_{ec}$ , približno između 7 i 8,5 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ bioetanola, odnosno između 3,5 i 4,2 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ biometana. Uključujući emisije GHG koje nastaju kao posledica odošenja hraniva ubranom kukuruzovinom, vrednosti emisija su u intervalima 11,6 i 13 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ bioetanola i 5,7 i 6,4 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ biometana.



Sl. 38 Vrednosti emisija u  $\text{kg CO}_{2\text{ekv}}$  za fazu kultivacije i ekstrakcije sirovina

Vrednosti emisija za fazu procesiranja, za koju se uključuju i uštede emisija zbog dodatne električne energije sprovođenjem kogeneracije  $e_p - e_{ee}$  (na primer, pri proizvodnji bioetanol, lignin se javlja kao nusproizvod koji se sagoreva za potrebe generisanja električne energije), i fazu transporta i distribucije  $e_{td}$ , za bioetanol iz pšenične slame iznose respektivno 7 i 2  $\text{g CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$ . Na osnovu ove dve vrednosti i utvrđenih vrednosti emisija za fazu kultivacije i ekstrakcije kukuruzovine, dolazi se do ukupne vrednosti emisija GHG za životni ciklus bioetanol u opsegu od 16 i 17,5  $\text{g CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$ , odnosno vrednosti uštede u emisijama GHG od približno 80 %. Za biometan proizveden iz organskog otpada, vrednosti emisija za faze procesiranja i transporta i distribucije iznose 20 i 3  $\text{g CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$ . Ukupna vrednost emisija za biometan iz kukuruzovine je u opsegu od 26,5 do 27,2  $\text{g CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$ . Uštede u emisijama GHG u tom su slučaju oko 68 %. Ukoliko se i odnošenje hraniva uključi u bilans emisija GHG, vrednosti uštede u emisijama GHG iznose 75 % za bioetanol i 65 % za biometan.

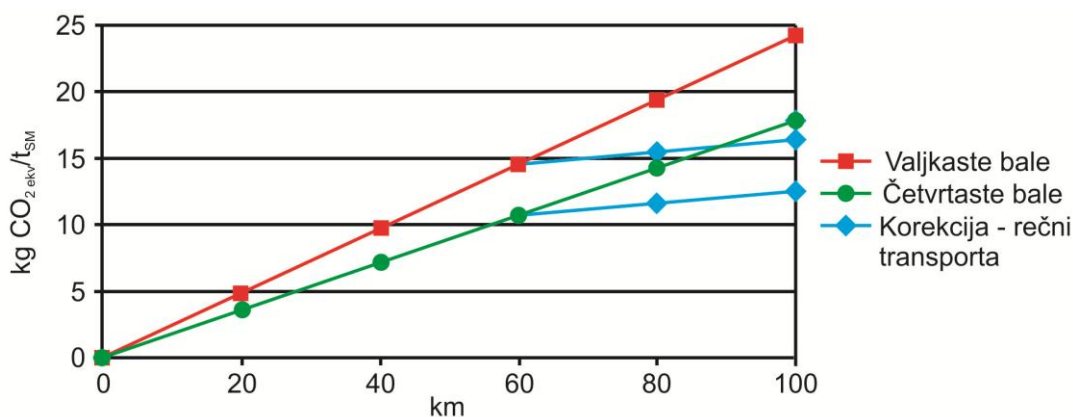
Ovako utvrđene vrednosti uštede u emisijama GHG biogoriva iz kukuruzovine zadovoljavaju kriterijum održivosti, odnosno ušteta je veća od graničnih 60 %. Svakako, treba imati u vidu da su razvrstane vrednosti preuzete iz RED karakteristične za slična biogoriva, te su dalja istraživanja i provere neophodni.

Iako proizvodnja ovih biogoriva dostiže fazu rane komercijalne zrelosti, nisu dostupni podaci koji bi omogućili utvrđivanje tačnih vrednosti emisija za fazu procesiranja. Sa druge strane, nepoznanica je to koliki udeo emisija u okviru razvrstanih vrednosti emisija za bioetanol iz pšenične slame i biometan iz organskog otpada je zapravo posledica transporta sirovina, a koliko distribucije proizvedenog biogoriva. Iz tog razloga je utvrđena vrednost emisija GHG koja je posledica transporta samo kukuruzovine pre procesiranja u okviru postrojenja.

Pretpostavljeno je da postoji primarno skladište na udaljenosti od 5 km, do kog se bale kukuruzovine transportuju traktorom, a da se od primarnog mesta skladištenja do mesta krajnjeg procesiranja koristi kamionski transport. Za transport između primarnog skladišta i mesta procesiranja razmotreno je transportno rastojanje do 100 km. Dopunski je za duža rastojanja, iznad 60 km, pri transportu razmotren i brodski transport.

Vrednosti emisija GHG pri transportu kukuruzovine prikazane su na sl. 39. Logično, vrednost emisija raste sa porastom transportnog rastojanja između primarnog skladišta i mesta procesiranja. Uticaj prinosa kukuruzovine nema značajniji uticaj na vrednost emisija

u ovoj fazi, a baliranje u formi velikih četvrtastih bala je efikasnije u pogledu emisija GHG. Pretpostavljajući da je maksimalno transportno rastojanje u slučaju kamionskog prevoza za kukuruzovinu 60 km, prinose bioetanola i biometana iz kukuruzovine, vid baliranja kukuruzovine i odgovarajući energetska sadržaj ova dva biogoriva, vrednost emisije GHG za bioetanol je do približno 4,2  $\text{CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$ , dok je za biometan ta vrednost do približno 2 g  $\text{CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$ . Sa sl. 37 je evidentno da u slučaju većih transportnih rastojanja, korišćenjem rečnog transporta može da se izbegne povećanje vrednosti emisija, odnosno da se emituje približno 0,01 g  $\text{CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$  po svakom pređenom kilometru.



Sl. 39 Vrednost emisija GHG tokom transporta kukuruzovine

Istraživanje o zadovoljenju navedenog kriterijuma održivosti biogoriva proizvedenih iz kukuruzovine su i dalje u toku i definitivna potvrda iznesenih tvrdnji, sa tačnim vrednostima uštede u emisijama GHG, biće moguće tek nakon okončanja tog istraživanja.

### **Ocena sa stanovišta indirektno promene korišćenja zemljišta**

Proizvodnja konvencionalnih biogoriva doprinela je ispunjenju prvobitnih ciljeva u pogledu udela biogoriva u sektoru saobraćaja. Međutim, gajenje sirovina za proizvodnju tih biogoriva negativno se odražava na prvobitnu namenu zemljišta tj. proizvodnju hrane. Ovaj fenomen koji podrazumeva da zemljište, koje se koristi za uzgajanje sirovina za biogoriva, utiče na to da se nepoljoprivredno zemljište na nekoj drugoj lokaciji kultiviše da bi se nadomestio manjak površina za proizvodnju hrane, naziva se indirektna promena namene zemljišta (*Indirect Land Use Change –ILUC*). Kultivisanjem nepoljoprivrednog zemljišta i pretvarajući ga u poljoprivredno, doprinosi se oslobađanju dodatne količine GHG u atmosferu prvobitno uskladištenim u biljnoj masi sa tog zemljišta. Usled toga, konvencionalna biogoriva najčešće ne mogu da zadovolje kriterijum održivosti u pogledu uštede u emisijama GHG. Problematika ILUC-a prepoznata je na zakonodavnom nivou Evropske unije, te su evropske direktive koje promovišu proizvodnju i korišćenje biogoriva, RED i FQD, amandmanima iz direktive 2015/1513 korigovane, tako da se i indirektna promena namena zemljišta uzima u razmatranje pri utvrđivanju zadovoljenja kriterijuma održivosti u pogledu uštede u emisijama GHG.

Suština amandmana je da se podstiču napredna biogoriva druge i treće generacije koja kao sirovinu koriste otpad ili nusproizvode, na primer, lignocelulozne žetvene ostatke. Podsticaj je obezbeđen ranije pomenutim ograničenjem doprinosa konvencionalnih biogoriva ispunjenju ciljeva za biogoriva u sektoru saobraćaja na 7 %, kao i mogućnošću da se napredna biogoriva pri obračunu doprinosa ispunjenju cilja obračunavaju sa dvostrukom vrednošću. Takođe, pri izveštavanju o ispunjenosti kriterijuma održivosti za



biogorivo, neophodno je da privredni subjekt navede i privremene srednje vrednosti procenjenih emisija u vezi sa indirektnom promenom namene zemljišta koje zatim odgovarajuća služba Evropske komisije koristi za formiranje namenskog izveštaja. Ove privremene srednje vrednosti definisane su, za sada, samo za biogoriva koja se proizvode iz sledećih sirovina: žitarica i ostalih useva bogatih skrobom, šećera i uljarica.

Napredna biogoriva imaju prednost u odnosu na konvencionalna u pogledu indirektnih promena namene zemljišta, pošto su njihove procenjene emisije jednake nuli. Razlog za to je pomenuto korišćenje otpadnih materija ili nusproizvoda, u koje se ubraja i kukuruzovina.

### **Komentari**

U budućnosti će od značaja biti proizvodnja i korišćenje naprednih biogoriva druge generacije. Kukuruzovina je pogodna sirovina za proizvodnju lignoceluloznog bioetanola i biometana. Prema evropskim propisima bi pri tome trebalo, nakon 2018. godine, da se emisija gasova sa efektom staklene bašte, CO<sub>2ekv</sub>, umanjuje za najmanje 60 % u poređenju sa fosilnim komparatorom, da bi se steklo pravo na subvencije bilo koje vrste i da bi se obračunavala za ispunjenje ciljeva za OIE.

Proizvodnjom i korišćenjem bioetanola i biometana korišćenjem kukuruzovine, na osnovu trenutnih saznanja, može da se ostvari ušteda od 80 i 68 % u emisijama GHG, respektivno, te bi se u oba slučaja ispunio postavljeni zahtev.

Kukuruzovina, u pogledu indirektnih promena namene zemljišta –ILUC, na osnovu propisa EU, ima nultu vrednost emisija.

## 6. TROŠKOVI NABAVKE KUKURUZOVINE

Trošak, količina novca, koja se daje za nabavku kukuruzovine, ima značajan uticaj na ocenu ekonomskih pokazatelja za bilo koju primenu. Pri tome mora da se ima u vidu kvalitet kukuruzovine, što takođe ima uticaja na količinu konačnog produkta koji se dobija konverzijom. Vlaga sadržana u materijalu nije korisna za konverziju, a njeno eliminisanje, u većini slučajeva, uzrokuje dodatne troškove. Pepeo iz goriva nije energetski upotrebljiv, a pri svakoj konverziji predstavlja smetnju, a može da uzrokuje dodatne troškove. Zbog često visokog sadržaja vlage, pri skladištenju, kao što je opisano u poglavlju 4.2, dolazi do mikrobiološke razgradnje dela organske materije, što predstavlja gubitak energije, pa i smetnju za neke procese konverzije. Sve navedeno ima uticaja na vrednost kukuruzovine koja se nabavlja, te treba da se uzme u obzir.

Prethodno navedeno je razlog da se troškovi nabavke izraze po količini suve materije. Ovakav pristup značajan je za ocenu potencijala, a u stvarnim uslovima rada troškovi mogu da se svedu na ravnotežni sadržaj vlage, koji je oko 15 %. Pošto je sadržaj vlage kukuruzovine u širokom dijapazonu, troškovi mogu da se svedu, posebno za nabavku većih količina, na prosečan sadržaj vlage nakon skladištenja, 20 ili 25 %.

Nadalje su za troškove primenjeni sledeći pojmovi:

1. **Cena kukuruzovine** – Obuhvata sve troškove koji pokrivaju vrednost materijala, postupke sakupljanja i skladištenja kukuruzovine na rubu njive ili drugde, primarno skladište. Tu su uključeni i troškovi primarnog skladištenja do trenutka prodaje.
2. **Troškovi logistike** – Obuhvaćen je utovar na transportno sredstvo, transport do mesta korišćenja, istovar i uskladištenje na toj lokaciji.
3. **Troškovi nabavke** – Predstavljaju zbir prethodne dve stavke.

Ovim nisu obuhvaćeni troškovi na samom mestu korišćenja, a to su izuzimanje sa skladišta i priprema za primenu. Priprema je dezintegracija bala, seckanje, pranje, sušenje i drugo, što zavisi od postupka korišćenja.

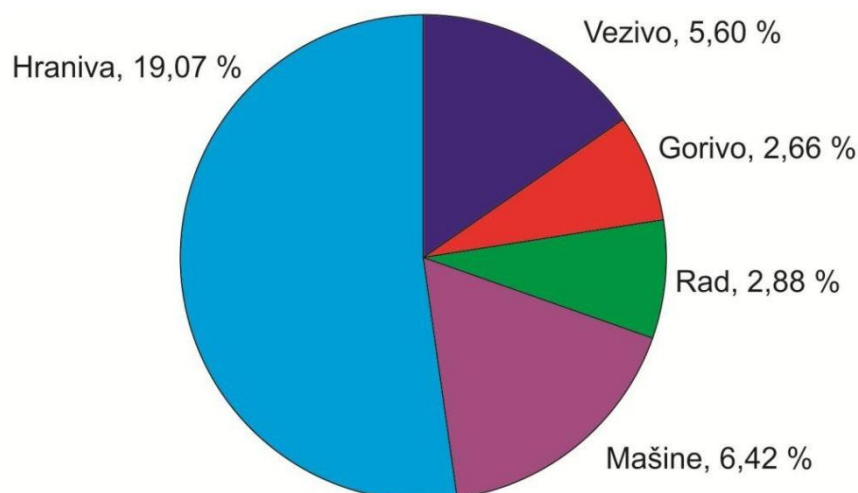
### 6.1 Cena kukuruzovine

Cena treba, u najmanju ruku, da pokrije sve troškove: mašinske radove, trošak za gorivo i materijal (vezivo), minimalnu zaradu za vlasnika, kao i vrednost odnešenih biljnih hraniva i organske materije. Primer udela troškova ubiranja prikazan je na sl. 40, bez troškova transporta i skladištenja.

Vrednost biljnih hraniva često se pri kalkulisanju troškova zaboravlja ili zanemaruje, a u, na slici navedenom primeru je, čak precenjena. U istom literaturnom izvoru navode se cene biljnih hraniva, aktivne materije. One su za N:P:K, oko 0,92:1,02:0,78 USD/kg, a to je na nivou cena u Srbiji (treba uzeti u obzir da se cene hraniva menjaju).

Na osnovu publikacija renomiranih autora (Coulter *i dr.*, 2008; Avila-Segura *i dr.*, 2011; Cook i Shinnars, 2011; Petrolia, 2008), azot se ne uzima u obzir, jer biljke ne mogu da ga koriste u obliku jedinjenja u kojima se nalazi. Čak suprotno, ukoliko se kukuruzovina unosi u zemljište, potrebno je da se azotna hraniva dodaju, da bi se podstakla razgradnja biljne mase. Coulter *i dr.* (2008) zaključuju: „On productive soils with adequate rainfall, removal of residue has the potential to raise yields and to lower N fertilizer requirements in the short term“ (na kvalitetnim zemljištima, uz odgovarajuće količine padavina, odnošenje žetvenih može da utiče na povećanje prinosa i smanjenje potreba za azotom, u kratkom

periodu). Ovaj efekat potvrđen je u praksi u SAD. Dakle, u pogledu nadoknade vrednosti odnešenih hraniva, u obzir treba da se uzmu fosfor i kalijum, a tada bi vrednost bila 12 to 15 USD/t<sub>SM</sub>, odnosno, za sadržaj vlage 25 %, 9 do 11 USD/t.



Sl. 40 Udeo pojedinih stavki u troškovima ubiranja (Thompson i Tyner, 2011)

U raspoloživoj literaturi samo je u jednoj publikaciji (Cook i Shinnars, 2011) navedena, u poređenju sa biljnim hranivima zanemarljiva, vrednost odnešene organske materije –SOM (*Soil Organic Matter*), 0,9 USD/t<sub>SM</sub>. Naime, doprinos same organske materije treba da se razmatra kompleksno, a često su sporedni efekti značajniji. Prevelika količina organske materije može da ugrozi narednu biljnu vrstu stvaranjem „čepova“ u zemljištu, da bude stanište štetoina i biljnih bolesti. Za plodnost ima značaja organski ugljenik –SOC (*Soil Organic Carbon*), a poznato je da se 60 do 80 % nalazi u korenu i rizosferi (Allmaras *i dr*, 2012), što je diskutovano u poglavlju 5. Sve navedeno je razlog da se vrednost organske materije ne obračunava.

U mnogim kalkulacijama zanemaruje se da bi poljoprivrednik trebalo da dobije neku nadoknadu za kukuruzovinu. Predlaže se da to bude 5 do 8 €/t<sub>SM</sub>, odnosno 4 do 6 €/t za kukuruzovinu sa sadržajem vlage 25 %.

Nadalje je prikazan proračun troškova ubiranja za dovoženje do skladišta na udaljenosti do 10 km. Za proračun je korišćen cenovnik usluga Zadružnog saveza Vojvodine (Anonim, 2014c), pri čemu su neke od cena smanjene s obzirom na to da se radi o ubiranju na većim površinama, visokoproduktivnim mašinama. Sve je sprovedeno za kukuruzovinu koja ima sadržaj vlage 25 %, tab. 8.

Ukoliko se dobijenom trošku doda vrednost nutrijenata (za sadržaj vlage 25 %) 9 €/t, i cena kukuruzovine na polju 5 €/t, cena kukuruzovine na primarnom skladištu je 33,0, odnosno 31,7 €/t za valjkaste i velike četvrtaste bale, respektivno. Te vrednosti svedene na suhu masu bile bi 44,0 i 42,3 €/t.

Pri sprovođenju ubiranja učinak se značajno smanjuje ukoliko su parcele male, mada je ovde računato sa minimalno 5 ha, zbog transporta, što je gubitak vremena, goriva. Za rad na velikim parcelama, i presovanje većih količina, na primer, 500 tona, ova cena bi mogla da bude niža. Na primer, prosečno 30 €/t vlažne, a oko 42 €/t suve materije.

Tab. 8 Troškovi ubiranja i skladištenja kukuruzovine, sadržaj vlage 25 % i za suhu materiju

Operacija	Trošak, €/t	
	Valjkaste bale	Velike četvrtaste
Troškovi usitnjavanja i formiranja zboja	1,5	1,5
Presovanje	10,8	10,3
Transport do 10 km	3,5	3,0
Utovar, istovar, formiranje kamara	2,2	2,0
Skladištenje	1,0	0,9
<b>Ukupno</b>	<b>19,0</b>	<b>17,7</b>
<b>Ukupno po suvoj materiji</b>	<b>25,3</b>	<b>23,6</b>

Ukoliko bi se baliralo u formi malih četvrtastih bala, cena bi, u odnosu na prethodno navedene, bila i za 20 % viša. Razlog bi bio rad na malim parcelama, veći utrošak veziva i povećani troškovi manipulacije (ručni utovar/istovar i kamarisanje).

Mada to ima mali uticaj, treba imati na umu da ubiranje obuhvata i seckanje kukuruzovine (ovde je računat dodatni trošak za rad hedera sa sečkom). Ukoliko se to ne sprovede, neophodan je jedan prohod sitnilicom biljnih ostataka, što je praćeno troškovima.

U toku 2015. godine je ova problematika razmotrena na jednoj velikoj farmi u Vojvodini. Cena kukuruzovine je procenjena na 25 €/t, ali nije specificiran sadržaj vlage, te da li je uključena vrednost biljnih hraniva. Ocenjuje se da je ova vrednost nerealno niska.

Bojić *i dr.* (2013), za cenu kukuruzovine usvajaju 30 i 26 €/t, za sadržaj vlage 20 i 30 %, respektivno. To je blisko ovde dobijenoj vrednosti. Archer *i dr.* (2014) navode da je cena kukuruzovine, specificirano po suvoj materiji, na jednoj lokaciji u Ajovi 26-42 USD/t, a na drugoj 54-73 USD/t. Dakle, razlike su značajne.

Thompson i Tyner (2011) predložili su plaćanje kukuruzovine na osnovu kvaliteta, sadržaj vlage i pepela (zaprljanja zemljom), što se utvrđuje pri otkupu, tab. 9. Formirane su četiri klase, pri čemu je za najvišu sadržaj vlage ispod 20 %, a pepela ispod 10 %. Kukuruzovina sa sadržajem vlage iznad 36 % i pepela iznad 15 % se ne otkupljuje. Klasifikacija se primenjuje pri otkupu velikih količina kukuruzovine kao sirovine za proizvodnju lignoceluloznog bioetanola. U praksi su utvrđeni i udeli pojedinih klasa. Prvoj klasi pripada najveći udeo, a onaj koja se ne prihvata manje od 10 %.

To je dobra ideja, koja bi, pri nabavci velikih količina, mogla da se primenjuje i u Vojvodini, a slično praksi pri prijemu i otkupu šećerne repe. Pri tome bi granične vrednosti klasa mogle da se prilagode postupku konverzije. Trebalo bi da se razmotri da se umesto malusa koristi bonus. Dakle, da se formira cena za najnižu prihvatljivu klasu, ovde 3, a da se viši kvalitet nagrađuje.

Naravno, posebno za korisnike malih količina agrarne biomase, cena se formira na bazi ponude i potražnje. Vlasnik biomase formira, na osnovu troškova, cenu koju je spreman da prihvati, a kupac, na osnovu svojih kalkulacija, cenu koju je spreman da plati. Stvarnu cenu će definisati tržište, u ovom slučaju lokalno. Poznato je da su cene baliranih žetvenih ostataka značajno različite u pojedinim delovima Vojvodine, zbog raznih uticaja i okolnosti.

Tab. 9 Klasifikovanje kukuruzovine na osnovu kvaliteta pri otkupu (Thompson i Tyner, 2011)

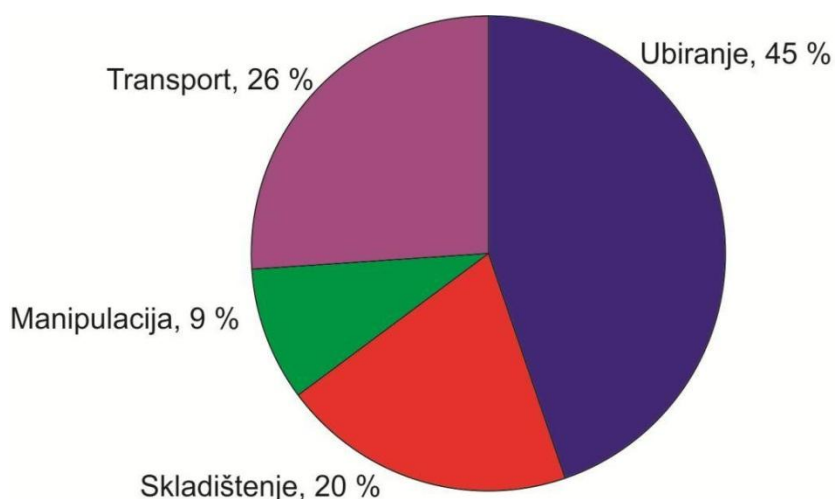
Klasa	Sadržaj vlage, %	Sadržaj pepela, %	Malus, USD/t	Očekivani udeo u ukupnoj masi, %
1	< 20	< 10	0	61
2	≥ 20 i < 28	< 15	8	29
3	≥ 28 i < 36	< 15	17	1
4	≥ 36	> 15	Ne prihvata se	9

Korisnici velikih količina unapred planiraju snabdevanje i dogovaraju, odnosno ugovaraju, sa isporučiocima. Poseban problem, za obezbeđenje sigurnosti snabdevanja, predstavljaju nepovoljne vremenske prilike. Tada je prinos, kao što je prikazano u poglavlju 3, znatno niži, što utiče i na cenu kukuruzovine. Takvi slučajevi treba posebno da se dogovore i problemi prevaziđu, na primer, formiranjem rezervi.

## 6.2 Troškovi logistike

Kao što je navedeno, to su troškovi koji se odnose na transport i manipulaciju od primarnog skladišta, do skladišta korisnika, odnosno postrojenja. Oni zavise od transportnog rastojanja, primenjenih logističkih lanaca (opisanih u poglavlju 4.3), te troškova pojedinih operacija. Za korisnike velikih količina obično iznose 15 do 35 % od troškova nabavke.

Jedan primer udela logističkih troškova u SAD prikazan je na sl. 41. Troškovi ubiranja i skladištenja bi predstavljali cenu kukuruzovine, a zajedno iznose oko 65 %. Naime, u prezentovanim troškovima razmatrane su radne operacije, te bi deo koji se odnosi na manipulaciju trebalo da je utrošen i za utovar, istovar i kamarisanje na primarnom skladištu. Ukoliko bi se to uzelo u obzir, cena kukuruzovine bila bi iznad 70 %, a troškovi logistike ispod 30 % od troškova nabavke.



Sl. 41 Udeo troškova za pojedine operacije u trošku nabavke za kukuruzovinu i slamu soje sadržaja vlage 15 % (Thompson i Tyner, 2011, delimično prerađeno)

Za korisnike velikih količina, koje se dopremaju i sa većih rastojanja, neophodno je da se izradi projekat snabdevanja, logistike. Pored definisanja regiona i lokacija, treba da

se razmotre i načini ostvarenja transporta, kao i dogovaranje cena usluga. Na primer, jedna od mogućnosti je korišćenje praznog hoda transportnih sredstava.

U okviru studije o mogućnosti proizvodnje lignoceluloznog bioetanola (Martinov i Đatkov, 2015), razmotrena je i logistika, pa i troškovi logistike. Godišnja količina kukuruzovine koja se koristi kao sirovina je 200.000 tona suve materije. Troškovi logistike su, srednja vrednost za sve lokacije, iznosili oko 15 €/t, za kukuruzovinu sadržaja vlage 25 %. To je oko 31 % od troškova nabavke, koji su 49 €/t. Svedeno na suhu materiju, trošak nabavke je oko 65 €/t, što je, na osnovu kursa u vreme sprovođenja kalkulacije, bilo za 5 do 10 % niže od vrednosti u SAD.

### **Komentari**

Troškovi nabavke su zbir cene kukuruzovine na primarnom skladištu i troškova logistike. Pri proračunu cene kukuruzovine treba u obzir da se uzme njena vrednost na njivi, kao i vrednost odnešenih biljnih hraniva. Orijentacioni proračun pokazao je da bi, za korisnike velikih količina i formu velikih bala, valjkastih i četvrtastih, cena bila u dijapazonu 30 do 35 €/t kukuruzovine sadržaja vlage 25 % u proseku.

Ukoliko se u obzir uzme da logistički troškovi predstavljaju oko 30 % od troškova nabavke, ovaj trošak bio bi 43 do 47 €/t za sadržaj vlage 25 %, odnosno 57 do 63 €/t svedeno na suhu materiju. Za korisnike najvećih količina, na primer, proizvodnja lignoceluloznog bioetanola, zbog većih transportnih materijala troškovi nabavke bili bi viši.

Za korisnike malih količina cena kukuruzovine sadržaja vlage 25 % bila bi viša, a iznosila bi 35 do 40 €/t.

## 7. SPROVEDENI EKSPERIMENTI

Sopstveni eksperimenti sprovedeni su sa ciljem da se ispita jedan od postupaka sakupljanja, u tri prohoda, i skladištenja balirane kukuruzovine na imanju u AP Vojvodini. Eksperimenti su sprovedeni od oktobra 2015, do januara 2016, na PP *Sava Kovačević*, Vrbas, dela kompanije *Mirotin Group*. Kukuruzovina je sakupljana i ranije, u slučajevima kada je procenjeno da nema dovoljno slame, te je korišćena kao prostirka na govedarskoj farmi. Za formiranje zbojeva korišćene su grablje „sunce“, ali je uočeno da je učinak mali, a sadržaj zemlje u kukuruzovini visok. Stajnjak, koji je sadržao i kukuruzovinu iz prostirke, je korišćen u biogas postrojenju firme *Mirotin–Energo* koja se graniči sa PP *Sava Kovačević*, a pripada istoj kompaniji, pa je visok sadržaj zemlje bio nepoželjan. To je bio razlog da se potraži drugo rešenje, a rezultat je nabavka širokozahvatnog pikap uređaja sa trakama za formiranje zboja, *ROC RT 1000*.

Prikupljanje kukuruzovine je za firmu zanimljivo, jer *Mirotin–Energo* razmatra mogućnost korišćenja kao kosupstrata u biogas postrojenju, za koje je planirano povećanje kapaciteta.

### 7.1 Sakupljanje

Agroklimatski uslovi, odnosno količina padavina, tokom oktobra, novembra i decembra 2015. godine bili su ekstremno kišni, normalni i veoma sušni za pomenute mesece respektivno. Oko 20. oktobra su prestale padavine, a eksperimenti započeti 22. oktobra.

Osnovni zadatak bio je da se kvantifikuje zaprljanje kukuruzovine zemljom, odnosno razlike koje se pojavljuju pri formiranju zboja u troprolaznom postupku sakupljanja primenom grablje „sunce“ i uređaja sa formiranjem zboja tipa *continuous belt merger* (pikap-formirač zboja). Kao što je u poglavlju 4.1 navedeno, očekivalo se da zaprljanje zemljom u drugom slučaju bude manje.

#### **Materijal i metod**

Branje kukuruza grupe zrenja FAO 430, u fazi pune zrelosti, sprovedeno je kombajnom *Claas 360* opremljenim adapterom *Conspeed 6-70* sa ugrađenom sitnilicom kukuruzovine.

U saradnji sa kolegama iz PP *Sava Kovačević* koncipirani su i sprovedeni sledeći eksperimenti sakupljanja:

1. Formiranje zboja grabljama „sunce“ *IMT 627.652* sa četiri radna organa, sl. 42 a), te baliranje presom za valjkaste bale sa konstantnom zapreminom komore *Lely Welger RP 235*, sl. 42 c).
2. Formiranje zboja pikap uređajem i trakama za formiranje zboja, *ROC RT 1000*, *continuous belt merger*, sl. 42 b), te baliranje kao i u prethodnom slučaju.

Eksperimenti su sprovedeni na parceli u blizini Bačkog Dobrog Polja, sl. 43.



a)



b)



c)

Sl. 42 Postupak sakupljanja kukuruzovine, a) zvezdaste grablje „sunce“, b) grablje sa širokozahvatnim pikap uređajem i trakama za formiranje zboja, c) presa za valjkaste bale

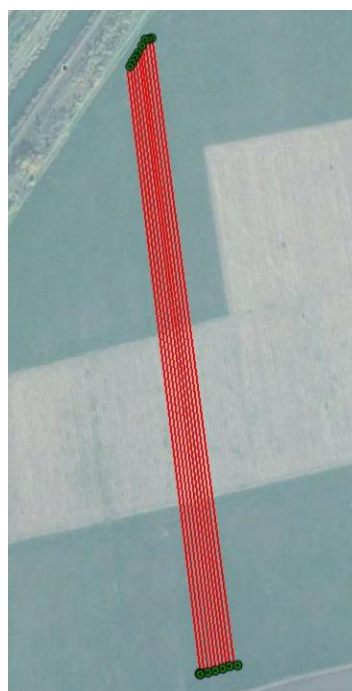


Nakon formiranja bala iz oba zboja, za svaki od zbojeva uzeto je po pet nasumičnih uzoraka. Masa svakog uzorka izmerena je laboratorijskom vagom, tačnosti 0,1 g. Određivanje sadržaja vlage sprovedeno je u skladu sa postupkom definisanim u ASAE S358.3 (Anonim, 2012), a pepela, odnosno organske materije, po SRPS EN 14775 (Anonim, 2011).

Iako to nije bila osnovna namera, meren je učinak kombajna i potrošnja goriva.

Zbog nepravilnog oblika parcele, sačuvane su koordinate početka i kraja svakog prohoda, pomoću ručnog GPS uređaja *Trimble GEO XT*. Na osnovu njih izračunata je dužina prohoda, a množenjem sa širinom zahvata obrađena površina. Deljenjem sa štopericom merenog vremena došlo se do učinka kombajna.

Potrošnja goriva kombajna merena je tako što je rezervoar kombajna dopunjavan na svaka dva prohoda, iz vučene cisterne, pa je utrošena količina deljena sa površinom sa koje je ubrano zrno.



Sl. 43 Deo parcele na kojoj je sproveden eksperiment sakupljanja i referentne tačke

### **Rezultati i diskusija**

Sadržaj vlage svih bala bio je u proseku oko 23 %, a dijapazon je bio 16 do 30 %. To su povoljne vrednosti, mada je dijapazon širok. Do razlika dolazi zbor prisustva različitih delova biljke u uzorku, ali i zbog toga što je masa na površini zboja suvlja.

Sadržaj pepela za bale koje su iz zboja formiranog grabljama „sunce“ bio je u proseku 17,2 %, a onih iz zboja formiranih grabljama ROC, 8,9 %. Ta vrednost je u okviru postavljenih granica. Dakle, pokazano je da formiranje zboja uređajem tipa *continuous belt merger*, rezultuje sa znatno nižim sadržajem pepela.

Prosečan površinski učinak kombajna je iznosio 1,9 ha/h, a prosečna potrošnja goriva 24,8 l/h, odnosno 13,0 l/ha.

## 7.2 Skladištenje

Cilj ovog eksperimenta bio je da se utvrdi promena sadržaja vlage u kamarisanim balama, nepokrivenim i pokrivenim.

### **Materijal i metod**

Formirane su dve piramidalne kamare od po devet valjkastih bala, sl. 44. Pre postavljanja u kamare telehandlerom sa mernom ćelijom izmerene su mase 12 bala, po šest za svaki postupak formiranja zboja. Jedna kamara bila je nepokrivena, a druga pokrivena folijom. Pokrivena kamara je postavljena na drvene palete da ne bude u kontaktu sa zemljom, te bale zaštićene od zemljišne vlage.



Sl. 44 Kamare bala kukuruzovine

Sadržaj vlage meren je namenskim uređajem *Stab Feuchtemesser* firme *Claas*, sl. 45, koji je namenjen za merenje sadržaja vlage sena, slame i drugih materijala, po dubini i površini bala. Pri merenju se šipka, na čijem je vrhu senzor, ubada do sredine bale, te povlači i meri sadržaj vlage po preseku. Daje se srednja vrednost merenja.

Merenja su započela početkom novembra, te ponavljana svakih 15 dana.



Sl. 45 *Claas*-ov merač sadržaja vlage u balama

## **Rezultati i diskusija**

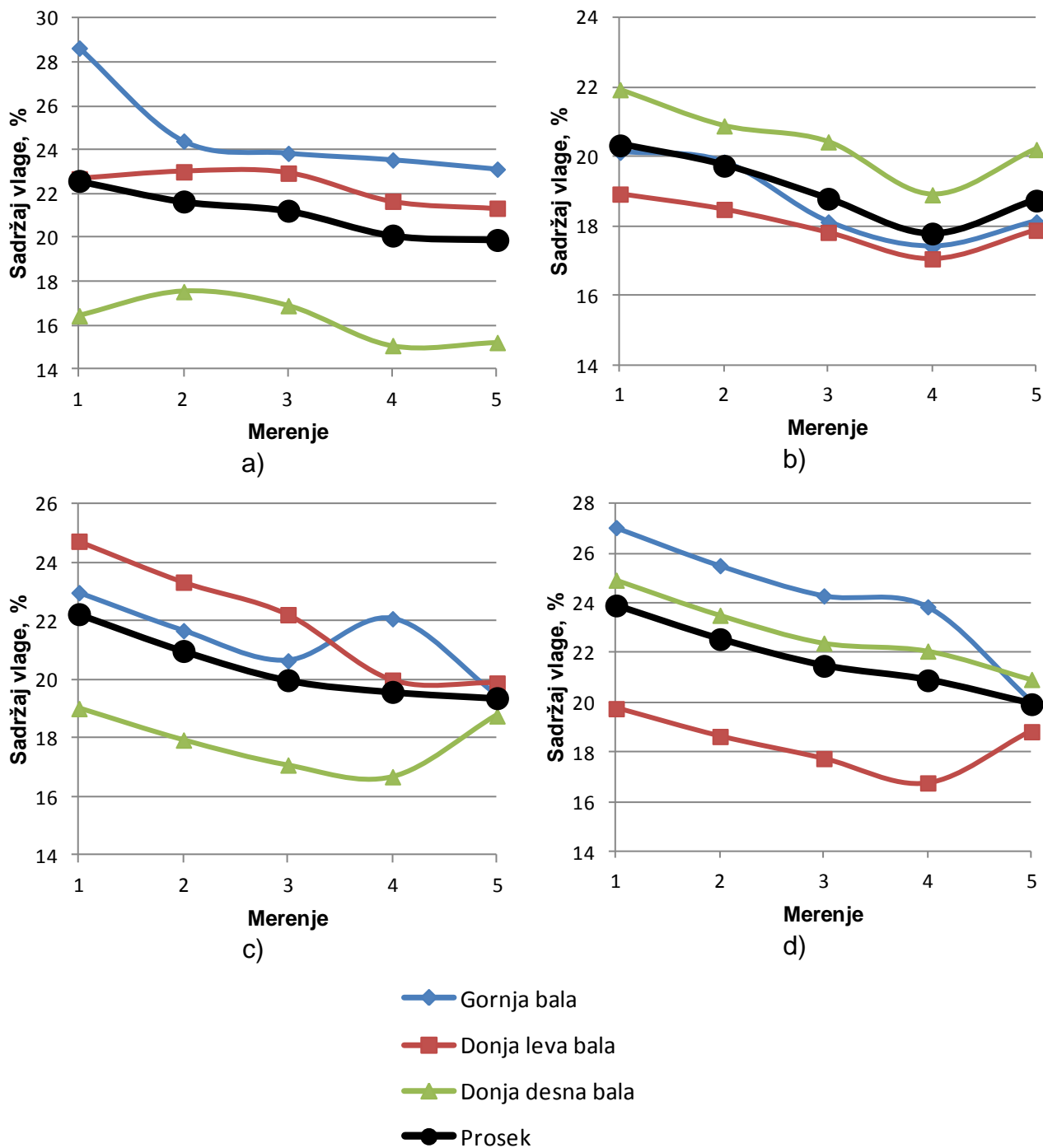
Na osnovu izmerene mase bala izračunate su prosečne gustine,  $175 \text{ kg/m}^3$  za bale iz zboja formiranim grabljama „sunce“ i  $166,7 \text{ kg/m}^3$  za bale iz zboja formiranog uređajem ROC.

Na sl. 46 prikazani su dijagrami promene sadržaja vlage u balama. Može da se uoči da je u početku sadržaj vlage brže opadao u balama iz nepokrivene kamare, sl. 46 b), d), jer je bilo sunčano i bez značajnijih padavina. Prosečni sadržaji vlage su se u vreme poslednjeg merenja izjednačili, a očekuje se da će u nepokrivenim pri padavinama rasti, a u pokrivenim opadati. Najverovatnije da je uzrok sporijeg otpuštanja vlage kod pokrivena kamare nepropusnost cirađe, tj. nije omogućeno „disanje“, odvođenje isparele vode.

Takođe se uočava porast sadržaja vlage i na pokrivenim balama, pa čak i gornjem redu, sl. 46 c). To je verovatno posledica uparavnja, jer, kao što se vidi, u narednom merenju (5) vrednost sadržaja vlage je značajno opala (niža od vrednosti za merenje 3).

Kao što je definisano u literaturi, čini se da je skladištenje bala kukuruzovine rešivo na otvorenom prostoru. Verovatno tokom dužeg perioda sadržaj vlage može da se dovede, čak i za onaj materijal koji je pri usladištenju bio visoko valažan, na ispod 20 %, a sa sigurnošću ispod 25 %. Tako brzo sušenje utiče i na smanjen gubitak organske materije.

Ovo je rezultat merenja samo jedne godine. Postupak skladištenja bi verovatno mogao da se unapredi, ali bi za ostvarenje toga bilo potrebno sprovođenje višegodišnjih eksperimenata. Na primer, poznato je da postoje namenske folije za pokrivanje kamarisanih folija koje omogućavaju „disanje“, tj. odvođenje vodene pare pri sušenju.



Sl. 46 Prosečni sadržaji vlage u balama po kamarama; brojevi merenja odnose se na: 1– početak novembra, 2– sredina novembra, 3– početak decembra, 4– sredina decembra, 5– početak januara

a) pokrivena kamara – „sunce“; b) nepokrivena kamara – „sunce“; c) pokrivena kamara – ROC; b) nepokrivena kamara – ROC

## 8. ZAKLJUČCI

Kukuruz je najzastupljenija ratarska biljna vrsta u Srbiji i AP Vojvodini. Žetveni ostaci, kukuruzovina, predstavljaju najveći potencijal biomase u Srbiji, koji je još uvek neiskorišćen. Prema Nacionalnom akcionom planu za obnovljive izvore energije (Anonim, 2013), potencijali biomase Srbije su oko 3,4 miliona toe (tona ekvivalentne nafte), a od toga više od polovine predstavljaju žetveni ostaci. Danas se koristi oko 1,1 milion toe, a rezerve za daljnje povećanje predstavljaju uglavnom žetveni ostaci. Danas se biomasa koristi gotovo isključivo za grejanje. Zacrtno je da se do 2020. godine korišćenje biomase poveća za 98 ktoe. Resursi drvene biomase već se koriste sa visokim udelom, te se pretpostavlja da bi agrarna biomasa dala najveći doprinos.

Takođe, predviđeno je da se biomasa koristi i za generisanje električne energije, ukupno nazivne električne snage 130 MW, od čega 30 MW treba da budu postrojenja za biogas. Za kogenerativna postrojenja i električne centrale značajno je povoljnije korišćenje drvene biomase, a agrarna bi mogla da se koristi za kosagovrevanje, pri čemu bi ona u odnosu na drvo predstavljala manji deo. Obećavajuća je primena agrarne biomase, a posebno kukuruzovine, kao kosupstrata za proizvodnju biogasa.

Najveći zaostatak je u sektoru goriva za transport. Ona bi trebalo da 2020. pokriju 9.2 % ukupnih potreba u sektoru saobraćaja, pri čemu bi oko 60 % bilo ostvareno uvozom. Nacionalnim planom nije predviđena proizvodnja i korišćenje biogoriva druge generacije, na bazi lignoceluloznog materijala. Kukuruzovina, pa i drugi žetveni ostaci, bili bi povoljne sirovine za proizvodnju lignoceluloznog bioetanola –LCB, te biometana, koji bi se dobijao preradom biogasa.

### **Potencijali**

Sa stanovišta definisanja potencijala kukuruzovine od značaja je način žetve zrna, koji se razlikuje na malim/srednjim i velikim gazdinstvima. Na malim/srednjim uglavnom se primenjuje žetva beračem-komušačem, ubrani klipovi se prirodno suše, a nakon krunjenja koje započinje najranije krajem februara, preostaje osušeni oklasak. Njegova količina je oko 18 % od količine zrna istog sadržaja vlage. Na parcelama preostala kukuruzovina takođe može da se sakuplja, što se ređe sprovodi. Na velikim gazdinstvima gotovo isključivo se primenjuje branje beračem-krunjačem. Stabljika i list ostaju na parceli, a nakon vršidbe, separacije i čišćenja kombajn napuštaju oklasci, komušina i deo lista sa gornjeg dela stabljike, koji je zajedno sa klipovima otkinut i uvučen u kombajn.

Kao nedostaci za korišćenje kukuruzovine navedeno je da je sadržaj vlage u vreme branja zrna vrlo različit, kreće se u dijapazonu od oko 12 do preko 50 %, te to što prilikom uobičajenog načina sakupljanja dolazi do zaprljanja zemljom, što ometa sve postupke konverzije.

U studiji je uveden pojam održivog i energetskog potencijala žetvenih ostataka, što podrazumeva vođenje računa o očuvanju plodnosti zemljišta, kao i o drugim primenama. Energetski potencijal može da se smatra realnim i na osnovu njega da se razmatraju mogućnosti primene u budućnosti.

Prema podacima o zasejanim površinama u 2011. godini, energetski potencijal kukuruzovine u AP Vojvodini bio je oko 750.000 tona. U međuvremenu je došlo do povećanja površina pod kukuruzom, te je i potencijal povećan za oko 10 %. Procenjuje se

da se preko 80 % raspoloživog oklasa iskoristi za energetske svrhe, a njegov energetski potencijal, je oko 350.000 tona.

Prikazani su rezultati sopstvenih merenja prinosa delova biljke kukuruza, tokom pet godina i za više najzastupljenijih hibrida. Dobijeni podaci dobra su osnova za definisanje količine kukuruzovine koja može da se ubere, a takođe i količine koja ostaje na parceli, te doprinosi sadržaju organske materije i očuvanju plodnosti zemljišta. Ubrana količina zavisi od postupka sakupljanja, pa su proračuni sprovedeni za pet odabranih.

Za slučaj sakupljanja mase koja napušta kombajn (oklasak i komušina) ubrana količina, suve materije, bila bi 1,9 do 3,5 t/ha, pri čemu podaci za godinu sa ekstremnom sušom u vegetacionom periodu (2012) nisu uzeti u obzir. Relativni ubrani prinos, u odnosu na zrno, iznosio bi 24 do 30 %. U praksi bi taj prinos bio viši, jer se otkidačkim uređajem skida i deo lista.

Pri korišćenju postupka sakupljanja sa više prohoda – konvencionalni, ubrane količine bile bi 5,2 do 6,1 t/ha suve materije. U odnosu na zrno to bi bilo 42 do 59 %, a u odnosu na ukupnu nadzemnu masu između 45 i 62 %. Ukoliko bi se, sa stanovišta održivosti, postavio zahtev da udeo sakupljene kukuruzovine u ukupnoj nadzemnoj masi bude niži od ovih vrednosti, to bi moglo da se koriguje uspostavljanjem plodoređa sa biljnom vrstom čiji se žetveni ostaci ne sakupljaju, ili odustajanjem od sakupljanja kukuruzovine svake treće godine.

Uočena je značajna fluktuacija prinosa u zavisnosti od vremenskih prilika u toku vegetacionog perioda. Prinos kukuruzovine niži je, u uslovima ekstremne suše, i za 40 %, mada je smanjenje manje nego prinosa zrna. To treba da se uzme u obzir pri planiranju i obezbeđenju sigurnosti snabdevanja.

### **Postupci sakupljanja, skladištenja i logistički lanci**

U Vojvodini se primenjuju uglavnom dva postupka sakupljanja kukuruzovine, jedan indirektni, sakupljanje klipova, te dobijanje oklasaka nakon sušenja i krunjenja, i sakupljanje u više prohoda, uz formiranje zboja grabljama i baliranje. Postavljeni su brojni zahtevi koje bi optimalni postupak sakupljanja kukuruzovine trebalo da ispuni, a najvažniji su:

- da se što manje smanji produktivnosti branja zrna, toleriše se do 10 %,
- da se ne povećava gubitak zrna, ili da bude u što manji, granica povećanja 1 %,
- da je zaprljanje zemljom što manje, poželjno ispod 5 %.

Uzimajući navedeno u obzir, najperspektivniji je postupak sakupljanja sa dva prolaza, primenom hedera sa sečkom i formiračem zboja, takozvani *Cornrower*. Na žalost, takvo rešenje još nije dostupno u Evropi i Vojvodini.

Analizom podataka o količina biljnih hraniva koja se u kukuruzovini nalaze utvrđeno je da su one manje u gornjim delovima stabljike+lista, oklasku i komušini. Sa tog stanovišta bilo bi poželjnije da se ti gornji delovi sakupljaju. To je razlog da je kao mogućnost sakupljanja razmotren dvofazni postupak sa „visokim“ odsecanjem biljke, ispod klipova, te uvlačenje celokupne mase u kombajn, takozvani *High Cut*. Malobrojna ispitivanja nisu dala podatke o karakteristikama ovog procesa, uticaja na produktivnost ubiranja zrna i povećanja gubitaka zrna, te bi u budućnosti trebalo da se proverí.

Najpovoljnija forma kukuruzovine su bale, a u posebnim slučajevima, na primer, za korišćenje kao kosupstrata za proizvodnju biogasa, može da se koristi iseckani materijal.

U pogledu baliranja, primena presa za konvencionalne bale je pogodna samo za mala gazdinstva. Za veće količine to su velike, valjkaste ili četvrtaste bale.

Sakupljanje kukuruzovine u AP Vojvodini nije još uvek rešeno na zadovoljavajući način. Najbolje bi bilo da se unapređena tehnologija bazira na mašinama i uređajima koji bi bili proizvedeni u zemlji.

Čini se, na osnovu rezultata ispitivanja sprovedenih u SAD, pa i sprovedenog eksperimenta, da je skladištenje kukuruzovine manje složeno nego što se pretpostavljalo. Kao dobro rešenje, kod kojeg se kombinuje očuvanje suve materije i dosušivanje, sa tehničkog, te troškovi, je skladištenje na otvorenom prostoru, u kamarama, pri čemu se one postavljaju na podlozi koja štiti od zemljišne vlage i prekrivaju folijama, koje štite od padavina.

Logistički lanci treba da se zasnivaju na transportnim sredstvima sa velikom zapreminom tovarnog prostora, da bi se što bolje iskoristila nosivost. Za veća rastojanja treba da se razmotri i mogućnost primene vodnog transporta.

### **Troškovi nabavke**

Uvedeni su sledeći pojmovi: cena kukuruzovine, koja predstavlja nabavnu vrednost na primarnom skladištu, i troškovi logistike. Zbir tih troškova čini troškove nabavke. Posebnost je i to što su troškovima nabavke obuhvaćena vrednost kukuruzovine na polju i vrednost biljnih hraniva koja sadrži.

Proračunom se došlo do minimalnih cena, koje zavise od postupka sakupljanja i količina, a kreću se, za najveće količine od 30 do 35 €/t za sadržaj vlage 25 %. Logistički troškovi zavise od transportnog rastojanja i primenjenog logističkog lanca, a za veće količine su, u proseku, 30 % od troška nabavke. Procenjeno je da bi za veće količine troškovi nabavke bili 43 do 47 €/t, za sadržaj vlage 25 %.

Za male količine i formu konvencionalnih bala cena kukuruzovine procenjena je, opet za sadržaj vlage 25 %, na 35 do 40 €/t.

Naravno, tržišna cena zavisi od ponude i potražnje, a uticaja ima i prinos kukuruzovine, koji zavisi od vremenskih prilika.

### **Korišćenje kukuruzovine kao izvora energije**

U pogledu upotrebe kukuruzovine kao energenta i sirovine, mogu da se razlikuju korisnici malih i velikih količina. Druga podela bila bi prema načinu konverzije. Korisnici malih količina isključivo koriste sagorevanje, a oni većih, pored toga i druge postupke, odnosno, kukuruzovina je sirovina za proizvodnju biogasa i biogoriva.

Korisnici malih količina, do nekoliko desetina tona godišnje, uglavnom primenjuju oklasak za grejanje, a znatno ređe kukuruzovinu. Na žalost, generatori toplote, peći i kotlovi, su niskog tehničkog nivoa, pa je to praćeno niskim stepenom korisnosti i visokom emisijom zagađujućih materija.

Oklasci su široko primenjivano gorivo za sušenje klipova pri proizvodnji semenskog kukuruza. Naime, posle sušenja i krunjenja klipova, energetski sadržaj preostalih oklasaka zadovoljava potrebe sušenja klipova, pa čak preostaje i za druge potrebe.

Peletiranjem i briketiranjem oklasaka, pa i kukuruzovine, moglo bi da se podstakne njihovo korišćenje i van poljoprivrednih domaćinstava, na efikasniji i po životnu sredinu

pogodniji način. Ovim postupkom i otkupom oklaska od poljoprivrednika, doprinelo bi se i razvoju ruralnih oblasti.

Kukuruzovina je pogodna i za korišćenje u velikim toplovodnim/vrelovodnim kotlovima, za zadovoljenje industrijskih potreba i daljinsko grejanje. Kao i drugi žetveni ostaci, primena za kogeneraciju ili električne centrale manje je povoljna, jer postoje poteškoće pri sagorevanju sa visokim temperaturama u generatorima pare. U takvim slučajevima je primenljivo kosagorevanje, pri čemu bi udeo kukuruzovine, u mešavini sa drvnom biomasom, bio do oko 30 %.

Značajna je i obećavajuća primena kukuruzovine kao kosupstrata za generisanje biogasa. Za biogas postrojenja bile bi korišćenje količine u rasponu 1.000 do 5.000 tona po postrojenju godišnje (mase ravnotežnog sadržaja vlage). Time bi se pokrivala nominalna električna snaga generatora u rasponu 90 do 450 kW. Za neke supstrate, kao što je svinjski stajnjak, doprinelo bi i ostvarenju povoljnog C:N odnosa.

Korišćenje kukuruzovine kao sirovine za proizvodnju lignoceluloznog bioetanola je u fazi rane komercijalne zrelosti (tri fabrike u SAD i jedna u Italiji). Takva postrojenja su isplativa samo za velike učinke, a za godišnju proizvodnju 50.000 tona LCB bilo bi potrebno oko 250.000 tona (suve materije) kukuruzovine. Ova količina prevazilazi potencijale u Vojvodini, pa bi se kukuruzovina dobavljala sa drugih područja, pa i uvozom. Druga mogućnost je kombinovanje sa slamom. Treba naglasiti da je proizvodnja LCB složena sa više aspekata, te da je za započinjanje aktivnosti potreban zbog podsticajnih mera, dogovor na nacionalnom nivou.

### **Aspekti zaštite životne sredine**

Odnosnjem kukuruzovine sa polja odnose se i biljna hraniva i organska materija. Ujedno se utiče i na fizičke karakteristike zemljišta. Usled toga, može da dođe do negativnog uticaja na kvalitet, odnosno plodnost zemljišta. Iako u naučnoj zajednici još uvek ne postoji konsenzus o tome u kolikoj meri odnošenje žetvenih ostataka utiče na zemljište, važno je da se pri sakupljanju kukuruzovine, u saradnji sa stručnim licima, razmotri kako da uticaj na zemljište bude minimalan, odnosno koje mere je potrebno preuzeti da se nadomesti odnošenje kukuruzovine (na primer, dodatna količina mineralnih hraniva u pratećoj sezoni i sl.).

Odnosnjem kukuruzovine sa polja preostaje dovoljna količina ostataka za zaštitu od eolske erozije, uz uslov da se primeni odgovarajuća obrada zemljišta bez prevrtanja.

Evropskim direktivama je postavljen uslov da biogoriva budu proizvedena u skladu sa kriterijuma održivosti ukoliko se obračunavaju za ispunjenje nacionalnih ciljeva i ukoliko se potražuju podsticajna sredstva za njihovu proizvodnju i korišćenje. U Srbiji se očekuje da podzakonski akti koji treba da uredi oblast održivosti biogoriva budu usvojeni u dogledno vreme na osnovu Zakona o energetici. Biogoriva treba da zadovolje kriterijume održivosti koji se tiču uštede u emisijama GHG, očuvanja kvaliteta zemljišta i primene dobre poljoprivredne prakse.

Od kukuruzovine mogu da se proizvedu biogoriva druge generacije. Karakteristično za ova biogoriva je što imaju veće uštede u emisijama GHG u poređenju sa onima prve generacije, a ujedno se smatra da je njihov uticaj na indirektnu promenu namene zemljišta, za razliku od biogoriva prve generacije, jednak nuli. S obzirom da je proizvodnja biogoriva iz kukuruzovine dostigla nivo rane komercijalne zrelosti, još uvek nije u potpunosti poznato kolika je vrednost uštede u emisijama GHG. Na osnovu istraživanja predočenog u ovoj Studiji, ušteta u emisijama GHG za LCB na bazi kukuruzovine iznosi



80 %, a za biometan 68 %. S obzirom da je minimalna vrednost uštede 60 %, može da se smatra da biogoriva na bazi kukuruzovine zadovoljavaju kriterijum održivosti u pogledu uštede u emisijama GHG.

### **Rezultati eksperimenta**

Cilj sprovođenja sopstvenog eksperimenta bio je da se proveri zaprljanje bala zemljom i efekti skladištenja valjkastih bala na otvorenom prostoru. Za formiranje zboja korišćene su grablje sunce i pikap-formirač zboja. Upoređeno je skladištenje bala sa i bez pokrivanja folijom i postavljanja na uzvišenu podlogu.

Kao što je i očekivano, ukupan sadržaj pepela za bale iz zboja formiranog grabljama „sunce“ bio je u proseku 17,2, a za one iz zboja drugog uređaja 8,9 %. Samo druga vrednost je ispod definisanog maksimuma.

Sadržaj vlage u balama je nakon 2,5 meseci skladištenja smanjen sa početnih prosečnih 23 % na ispod 20 %. Nisu uočene signifikantne razlike u smanjenju sadržaja vlage za bale u kamarama sa i bez prekrivanja folijom i postavljanja na uzvišenu podlogu, što je, verovatno, posledica povoljnih vremenskih prilika.

### **Budući istraživačko-razvojni zadaci**

Najznačajniji istraživačko-razvojni zadaci za unapređenje ove oblasti u budućnosti su:

1. Razvoj postupaka sakupljanja (na primer, *High Cut*) i skladištenja kukuruzovine, uključujući i logističke lance snabdevanja.
2. Rešavanje postupka peletiranja, pa i briketiranja oklasaka i kukuruzovine.
3. Unapređenje rešenja kotlova i peći nazivne termičke snage 10 do 100 kW, sa ciljem ostvarenja višeg stepena korisnosti i smanjenja emisija zagađujućih materija.
4. Iznalaženje postupaka za povećanje transportibilnosti i mogućnosti skladištenja oklasaka.
5. Razvoj postupka korišćenja kukuruzovine kao sirovine za proizvodnju biogasa i lignoceluloznog bioetanola.

Veoma bitan zadatak je da se detaljno i realno razmotre uticaji na očuvanje plodnosti zemljišta, te daju predlozi poljoprivrednicima za izradu plana održivog upravljanja u sklopu sakupljanja kukuruzovine.

## LITERATURA

1. Allmaras, R.R., Linden, D.R., Clapp, C.E. 2012. Corn-residue transformations into root and soil carbon as related to nitrogen, tillage, and stover management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68(4): 1366-1375.
2. Archer, D.W., Karlen, D.L., Liebig, M.A. 2014. Crop residue harvest economics: An Iowa and North Dakota case study. *Bioenergy Research* 7: 568–575.
3. Avila-Segura, M., Barak, P., Hedtcke, J.L., Posner, J.L. 2011. Nutrient and alkalinity removal by corn grain, stover and cob harvest in Upper Midwest USA. *Biomass and Bioenergy* 35 (3): 1190-1195.
4. Blum, W.E.H., Gerzabek, M.H., Hackländer, K., Horn, R., Reimoser, F., Winiwarter, W., Zechmeister-Boltenstern, S., Zehetner, F. 2010. Ecological consequences of biofuels. In: Lal R and Stewart BA: *Soil quality and biofuel production*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, pp 63-91.
5. Bojic, Sanja, Djatkov, Dj., Brcanov, D., Georgijevic, M., Martinov, M. 2013. Location allocation of solid biomass power plants: Case study of Vojvodina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 769-775.
6. Bojic, Sanja. 2013. Location problems in supply chains and their influence on the logistic costs. PhD thesis. Faculty of Technical Sciences, Novi Sad.
7. Cecava, M.J. 2010. Storage and processing of corn stover Eastern Iowa mid-scale trials: Practical considerations. Near-term Opportunities for Biorefineries Symposium, October 11-12, Champaign, IL.
8. Cook, D.E., Shinnars, K.J. 2011. Economics of alternative corn stover logistics systems. ASABE Paper No. 1111130. St. Joseph, Mich.
9. Coulter, J.A., Nafziger, A, Emerson, D. 2008. Continuous corn response to residue management and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 100(6): 1774-1780.
10. Darr, M., Birrell, S., Shah, A., Webster, K., Thoreson, C. 2009. Analysis of corn stover harvesting equipment and corn stover storage methods. Iowa State University, College of Agriculture and Life Sciences.
11. Denvir, B., Bauen, A., Panoutsou, Calliope, Stojadinovic, D. 2015. Sustainability criteria for biofuels: Report for Serbia. E4tech Ltd, London.
12. Ertl, D. 2013. Sustainable Corn Stover Harvest. Iowa Corn Promotion Board
13. Golub, M., Bojic, S., Djatkov, Dj., Mickovic, G., Martinov, M. 2012. Corn stover harvesting for renewable energy and residual soil effects. *Agricultural mechanization in Asia, Africa, and Latin America* 43(4): 72-79.
14. Hickman, J.S., Schoenberger, D.L. 1989. Estimating corn residue. Cooperative Extension Service. Manhattan, Kansas.
15. Hoskinson, R.L., Karlen, D.L., Birrell, S.J., Radtke, C.W., Wilhelm, W. 2007. Engineering, nutrient removal, and feedstock conversion evaluations of four corn stover harvest scenarios. *Biomass and Bioenergy* 31(2-3): 126–136.
16. Ilic, M. ed. 2003. Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu pripremu i energetsko iskorišćenje u Srbiji. Institut za nuklearna istraživanja Vinca, Beograd.
17. Johnson, J.M.F., Wilhelm, W., Karlen, D.L., Archer, D.W., Wienhold, B. 2010. Nutrient removal as a function of corn stover cutting height and cob harvest. *Bioenergy Research* 3(4): 342–352.

18. Karlen, D.L., Birell, S.J., Hess, J.R. 2011. A five-year assessment of corn stover harvest in central Iowa, USA. *Soil & Tillage Research* 115–116: 47–55.
19. Keene, J.R., Shinnars, K.J., Hill, L.J., Stallcop, A.J., Wemhoff, S.J., Anstey, H.D., Bruns, A.J., Johnson, J.K. 2013. Single-pass baling of corn stover. *Transactions of the ASABE* 56(1): 33-40.
20. Martinov, M., Djatkov, Dj. (eds.). 2015. Scientific report for the incorporation of dry agro-biomass straw residues and poultry manure as an alternative biogas substrate. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn.
21. Martinov, M., Kovacs, K., Djatkov, Dj. (eds.). 2012. Biometan (Biomethane). Faculty of Technical Sciences, Novi Sad.
22. Martinov, M., Brkić, M., Janjić, T., Đatkov, Đ., Golub, M. 2011a. Biomasa u Vojvodini – RES 2020. *Savremena poljoprivredna tehnika* 37(2): 119-134.
23. Martinov, M., Veselinov, V., Bojic, S., Djatkov, Dj. 2011b. Investigation of maize cobs crushing – preparation for use as a fuel. *Thermal Science* 15(1): 235-243.
24. Martinov, M., Tesic, M. 2008. Cereal/soybean straw and other crop residues utilization as in Serbia—status and prospects. In Scarlat, N, Dallemand J.F, Martinov, M. ed.: "Cereals straw and agricultural residues for bioenergy in European Union New Member States and Candidate Countries", European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Novi Sad, Serbia, 2-3 October 2007, Book of Proceedings, 45-56.
25. Martinov, M., Tesic, M., Brkic, M. 2006. Efficiency and Emission of Solid Biomass Combustion Facilities in Serbia - Status and Needed Measures for Improvement. *Thermal Science* 10(4): 189-194.
26. Petrolia, D.R. 2008. The economics of harvesting and transporting corn stover for conversion to fuel ethanol. *Biomass and Bioenergy* 32(7): 603-612.
27. Powlson, D. 2006. Cereals straw for bioenergy: Environmental and agronomic constraints. In Proc. Expert Consultation: Cereals Straw Resources for Bioenergy in the European Union, 45-59. 14-15 October, Pamplona, Spain.
28. Radhakrishna, S., Paz, J.O., Yu, F., Eksioğlu, S., Grebner, D.L. 2012. Potential capacities of two combined heat and power plants based on available corn stover and forest logging residue. *ASABE Annual International Meeting*, Dallas, Texas, July 29 – August 1, Paper No: 12-1338209, doi:10.13031/2013.41887.
29. Rampazzo Todorovic, G., Stemmer, M., Tatzber, M., Katzlberger, Ch., Spiege, I H., Zehetner, F., Gerzabek, M.H. 2010. Soil-carbon turnover under different crop management: Evaluation of RothC-model predictions under Pannonian climate conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173(5): 662-670.
30. Schon, N., Brittany, Darr, J.M., Webster, E. Keith, Jennett, Nicole. 2013. Analysis of storage methods and tarping practices for corn stover bales. *ASABE Annual International Meeting*, Missouri July 21–24, Paper No. 131620215.
31. Sekulic, P., Ninkov, Jordana, Hristov, N., Vasin, J., Seremsic, S., Zeremski-Skoric, Tijana. 2010. Sadržaj organske materije u zemljištima AP Vojvodine i mogućnost korišćenja žetvenih ostataka kao obnovljivih izvora energije. *Field and Vegetable Crops Research* 47(2): 591-597.
32. Shah, A., Darr, M.J., Webster, K., Hoffman, Ch. 2011. Outdoor storage characteristics of single-pass large square corn stover bales in Iowa. *Energies* 4(10): 1687-1695.
33. Shah, A., Darr, M.J. 2014. Corn stover storage losses. Iowa State University Extension and Outreach, PM 3051E.

34. Shinnars, K.J., Bennett, R.G., Hoffman, D.S. 2012. Single- and two-pass corn grain and stover harvesting. Transactions of the ASABE 55(2): 341-350.
35. Shinnars, K.J., Bennett, R.B., Hoffman, D.S. 2009. Single- and two-pass corn stover harvesting systems. ASABE Paper No. 095652, doi:10.13031/2013.29243.
36. Shinnars, K.J., Adsit, G.S., Binversie, B.N., Digman, M.F., Muck, R.E., Weimer, P.J. 2007. Single-pass, split-stream harvest of corn grain and stover. Transactions of the ASABE 50(2): 355-363.
37. Shinnars, K.J., Boettcher, G.C., Munk, J.T., Digman, M.F., Muck, R.E., Weimer, P.J. 2006. Single-pass, split-stream corn grain and stover characteristics performance of three harvester configurations. ASAE Paper No. 061015, doi: 10.13031/2013.22143.
38. Straeter, J.E. 2011. Cornrower system of stover harvest. ASABE Paper No. 1110596, doi:10.13031/2013.37239.
39. Thompson, J., Tyner, W. E. 2011. Corn stover for bioenergy production: Cost estimates and farmer supply response. Tech. Rep. RE-W-3, Purdue University Extension.
40. Vadas, P.A., Digman, M.F. 2013. Production costs of potential corn stover harvest and storage systems. Biomass and Bioenergy 54: 133-139.
41. Wallace, W., ; Johnson, J.M.F., Hatfield, J.L., Voorhees, W.B., Linden, D.R. 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: A literature review. Agronomy Journal 96(1): 1-17.
42. Wienhold, B., Varvel, G., Jin, V., Mitchell, R., Vogel, K. 2013. Corn residue removal effects on subsequent yield. Nebraska Beef Cattle Report: 40-41.
43. Wilhelm, W.W., Johnson, J.M.F., Hatfield, J.L., Voorhees, W.B., Linden, D.R. 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: A Literature Review. Agronomy Journal 96(1): 1-17.
44. Wold, M.T., Kocher, M.F., Keshwani, D.R., Jones, D.D. 2011. Modelling the in-field logistics of single pass crop harvest and residue collection. ASABE Paper No. 1110884, doi:10.13031/2013.37351.
45. Anonim. 2015. Directive 2015/1513 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. European Commission, Brussels.
46. Anonim. 2014a. Commission staff working document – State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity, heating and cooling in the EU. European Commission, Brussels.
47. Anonim. 2014b. Zakon o energetici. Službeni glasnik RS, br. 145/2014. Beograd.
48. Anonim. 2014c. Cenovnik mašinskih usluga u poljoprivredi 2014. Zadružni savez Vojvodine, Novi Sad.
49. Anonim. 2013a. Nacionalni akcioni plan za korišćenje obnovljivih izvora energije Republike Srbije. Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine. Beograd
50. Anonim. 2013b. Popis poljoprivrede 2012. Poljoprivreda u Republici Srbiji. Republički zavod za statistiku, Beograde.
51. Anonim. 2012 Standard ASAE S358.3: Moisture measurement – forages. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, Michigan, USA.
52. Anonim. 2011. SRPS EN 14775. 2011 – Čvrsta biogoriva – Određivanje sadržaja pepela. Institut za standardizaciju Srbije, Beograd.
53. Anonim. 2010. Report from the Commission to the Council and the European parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. European Commission, Brussels.



54. Anonim. 2009. Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union.
55. Anonim. 2008. Standard ASAE S352.2: Moisture measurement—unground grain and seeds. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, Michigan, USA.
56. Anonim. 2007. Memorandum of Understanding on the Regional Energy Market in South East Europe and its Integration into the European Community Internal Energy Market. [www.stabilitypact.org/energy](http://www.stabilitypact.org/energy).
57. Anonim. 2006. Zakon o ratifikaciji ugovora o osnivanju Energetske zajednice između Evropske zajednice i Republike Albanije, Republike Bugarske, Bosne i Hercegovine, Republike Hrvatske, Bivše Jugoslovenske Republike Makedonije, Republike Crne Gore, Rumunije, Republike Srbije i Privremene misije Ujedinjenih nacija na Kosovu u skladu sa rezolucijom 1244 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija. Službeni glasnik RS, br. 62/06. Beograd.
58. Anonim. 2005. Standard ASAE EP291.3: Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, Michigan, USA.