

Physical properties and fermentation profile of maize silage on large farms in Croatia

Fizikalna svojstva i fermentacijski profil silaže cijele biljke kukuruza s velikih farma Republike Hrvatske

Dora ZURAK, Darko GRBEŠA and Kristina KLJAK*

University of Zagreb, Faculty of Agriculture, Department for Animal Nutrition, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Croatia, *correspondence: kkljak@agr.hr

Abstract

Maize silage is the main forage for ruminant livestock in Croatia. Production of substances determines quality of ensiling during the process and, therefore, has an impact on nutritive value, consumption, and health of cattle. Since in Croatia there is no systematic research of ensiling quality, this study aimed to determine quality parameters values of maize silage from large farms in continental Croatia during the spring of 2016. In total 33 samples of maize silage were representatively sampled by taking silage from the entire cross-section of the silo. Selected quality parameters included dry matter (DM) and ash contents, pH and titratable acidity, water holding capacity, particle size of the whole silage and separated grains, and aroma according to the "Sil-All for corn silage" (Danstar Ferment Ag, Switzerland). Nearly half of the analyzed samples had DM content outside the optimal range (300 – 400 g*kg⁻¹). The pH value of silages was within the optimal range (3.5 – 4.2) which indicated that the active phase of ensiling was properly done. However, two-thirds of samples had an undesirable aroma which indicated changes of fermentation products occurred during the stable phase. Titratable acidity of tested silages, with a range from 11.61 to 128.93 meqv. NaOH*100 g⁻¹ DM, indicated their different buffering properties in the rumen. Water holding capacity varied from 4.4 to 8.57 g*g⁻¹ DM and this range implied variable fiber content in analyzed samples. Grain content in silages ranged from 23.86 to 45.05% whereas its geometric particle size was in a range from 2.15 to 4.3 mm. When considering particle distribution of whole silage on PSPS (Penn State Forage Particle Separator) sieves, a half or more than half samples had content on individual sieves outside the optimal ranges. In conclusion, maize silages on large dairy and fattening farms in continental Croatia are very variable in quality and, in many parameters, of lower quality than the standards implying that more attention must be given to the silage production procedures.

Keywords: aroma, crude ash, maize silage, particle size, pH, titratable acidity

Sažetak

Silaža cijele biljke kukuruza glavno je voluminozno krmivo u hranidbi goveda u RH. Kvaliteta siliranja mjeri se obujmom produkcije tvari tijekom procesa siliranja koji bitno utječu na hranjivost, konzumaciju i zdravlje goveda. Kako u RH nema sustavnih istraživanja kvalitete siliranja, cilj ovoga rada je bio utvrditi vrijednosti parametara kvalitete silaža cijele biljke kukuruza na velikim farmama kontinentalne RH tijekom proljeća 2016. godine. Ukupno 33 uzorka silaže reprezentativno je uzorkovano uzimanjem silaže sa cijelog presjeka silosa. Izabrani parametri kvalitete obuhvaćali su sadržaj suhe tvari (ST) i sirovog pepela, pH vrijednost i titracijsku kiselost, kapacitet zadržavanja vode, raspodjelu veličina čestica cijele silaže i izdvojenog zrna, te aromatska svojstva prema kitu "Sil-All for corn silage" (Danstar Ferment Ag, Švicarska). Gotovo polovica istraženih uzoraka je imala udio ST van granica optimalnog raspona (300 – 400 g*kg⁻¹). pH vrijednost svih silaža je bila unutar optimalnih granica (3,5 – 4,2) što upućuje da je aktivna faza siliranja dobro provedena. Međutim, dvije trećine uzoraka je imalo lošija aromatska svojstva od poželjnih što upućuje da je tijekom stabilne faze došlo do promjene u sastavu produkata fermentacije. Raspon titracijske kiselosti od 11,61 do 128,93 mekv. NaOH*100 g⁻¹ ST pokazuje da će analizirane silaže imati različita puferirajuća svojstva u buragu. Kapacitet zadržavanja vode varirao je od 4,4 do 8,57 g*g⁻¹ ST što upućuje na varijabilan sadržaj vlakana u analiziranim uzorcima. Udio zrna u silažama varirao je od 23,86 do 45,05% pri čemu je njegova geometrijska veličina čestica dala raspon od 2,15 do 4,3 mm. Kod raspodjele čestica silaže na PSPS (Penn State Forage Particle Separator) sitima, polovica ili više od polovice uzoraka je imalo udjele na pojedinim sitima van optimalnih raspona. Zaključno, silaža cijele biljke kukuruza na velikim mliječnim i tovnim farmama kontinentalne RH je jako neujednačena i u dosta parametara lošija od standarda te se postupcima siliranja mora posvetiti veća pažnja.

Ključne riječi: aromatska svojstva, kukuruzna silaža, pH, sirovi pepeo, titracijska kiselost

Detailed abstract

Importance of maize silage, main forage in nutrition of growing cattle and dairy cows in Croatia and EU, is a result of nutritional value with acceptable price. Since maize silage quality has an impact on nutritive value, consumption and health of cattle, ensuring proper microbial fermentation during ensiling is essential for achieving high-quality silage. Hybrid selection, maturity of the plant, chop length, kernel processing and additive addition are factors affecting silage quality which can be evaluated with various chemical and physical analyses. Although chemical properties are key factors in nutritional evaluation and preparation of rations, physical properties can affect nutritive value of maize silage as well. Forage particle size is one of those properties due to the effect on salivation and proper functioning of the rumen. Furthermore, kernel particle size should also be taken into consideration since silage starch digestibility depends on it. On the other side, physical properties are often related to time and money consuming chemical properties and hence could be used

in their evaluation. For example, water holding capacity increases with fiber content in forage. Properties related to fermentation process, such as aroma and pH, could indicate quality of ensiling. In spite of the effect on the production of cattle, there is no systematic evaluation of maize silage quality in Croatia. Therefore, this study aimed to determine quality parameters related to physical properties of maize silage in use at the time on large farms in continental Croatia during the spring of 2016.

In total 33 silage samples were representatively sampled on farms by taking silage from the entire cross-section of the silo in W sampling plan. Silages were tightly packed in plastic bags stored in portable coolers during delivery to the laboratory. Selected quality parameters included dry matter (DM) and ash contents, pH and titratable acidity, water holding capacity, particle size of the whole silage using Penn State Forage Particle Separator and of separated grains, and aroma according to the "Sil-All for corn silage" (Danstar Ferment Ag, Switzerland). Aroma score was determined in fresh sample, pH and titratable acidity in water extract while water holding capacity and crude ash in dried and ground samples. Kernels were hydrodynamically separated from silage samples and dried before sieving on set of sieves (9.5, 6.7, 4.75, 3.35, 2.36, 1.7, 1.25 and 0.63 mm).

DM content of maize silage samples was in range from 210.12 to 464.66 g*kg⁻¹ with one-third of samples bellow optimal range (300 – 400 g*kg⁻¹). Crude ash was selected as an indicator of soil contaminations; only two silages had slightly higher content than average of 44 g*kg⁻¹ and could be minimally contaminated with soil. One third of silage samples had aroma score 4 in which dominated acetic acid, while 55% of samples had aroma score 3 in which dominated ethanol. These results suggest yeast presence and changes in fermentation processes due to the inadequate silo packing density and air penetration. The pH value of silages was within the optimal range (3.5 – 4.2) implying properly carried active phase of ensiling. Titratable acidity of tested silages was in a range from 11.61 to 128.93 meqv. NaOH*100 g⁻¹ DM and indicated their different buffering properties in the rumen. Silages with a lower value of titratable acidity will contribute less to the decrease of pH value in the rumen since they contain less acid-buffering substances. Water holding capacity varied from 4.4 to 8.57 g*g⁻¹ DM and this range implied variable content of neutral detergent fiber in analyzed samples; water holding capacity increases with higher fiber content. When sieved on PSPS sieves, silage samples obtained following range of particle distribution: 1.905 cm 0.76 – 11.1%, 0.788 cm 32.05 – 81.02%, 0.127 cm 11.41 – 60.5, and bottom 0.05 – 7.2%. Majority of silages had content on the bottom within optimal range, however, 73%, 70% and 85% of samples had contents on 1.905, 0.788 and 0.127 mm sieves, respectively, outside optimal range. These results imply that more attention should be focused on chop length and proper maintenance of chopping mechanization. Silages had from 23.86 to 45.05% of grains suggesting variable starch content of silage, which should be taken into account in ration optimization, and variable stage of maturity at harvest. Grains in silages had geometric particle size in a range from 2.15 to 4.3 mm and hence variable starch degradability rate which can result in acidosis due to the higher content of smaller particles. The highest percentage (13.47 – 19.74%) of silage grain kernels were between 6.7 – 4.75 mm while in average 64.72% of kernels were smaller than 4.75 mm.

Results of this study show that maize silages on large dairy and fattening farms in continental Croatia are very variable in quality parameters related to physical properties. Even more, in some parameters, obtained values are outside optimal range. Parameters evaluated reveal that more attention should be given to determination of optimal stage of maturity before harvest, to adequate maintenance of chopping mechanization and higher silo packing density.

Uvod

Silaža cijele biljke kukuruza glavno je voluminozno krmivo u hranidbi intenzivno tovljene junadi i mliječnih krava u Europi i Hrvatskoj. Odlikuje se visokim i stabilnim prinosom, relativno lakim siliranjem te visokim sadržajem energije i optimalnim sadržajem vlakana. Hranjivost i kvaliteta siliranja cijele biljke kukuruza jako ovise od sadržaja suhe tvari i pepela (Grbeša, 2008). Nadalje, kvaliteta siliranja utječe na konzumaciju i probavljivost silaže kukuruza a procjenjuje se sadržajem konačnih produkata fermentacije. Teoretska dužina sjeckanja silaže kukuruza utječe na proizvodnju mliječnih krava, probavljivost vlakana, zdravlje probavila i odabiranje hrane (Bal i sur., 2000; Zebeli i sur., 2009; Ferraretto i Shaver, 2012). Dodatno, veličina čestica silaže utječe na obujam sinteze mikrobnog proteina te udio mliječne masti u mlijeku (Yang i sur., 2001; Kononoff i sur., 2003; Yang i Beauchemin, 2005).

Mliječne krave trebaju dnevno više od 6 kg efektivnih vlakna voluminozne krme većih od 1,18 mm radi održavaju normalne funkcije buraga te pH iznad 6,25 (Zebeli i sur., 2008). Osim veličine čestica silaže, važna je i veličina čestica zrna silaže jer se njenim smanjenjem povećava probavljivost škroba u buragu (Grbeša, 2008). Geometrijska srednja veličina čestica, najčešća pri usporedbi distribucije veličine čestica zrna žitarica, matematička je funkcija koja opisuje stupanj redukcije skupa čestica te se određuje mjerenjem relativnih količina čestica zadržanih na različitim sitima poznatih dimenzija (Liu, 2008). Dias Junior i sur. (2016) su prikazali linearan pad simulirane brzine fermentacije, buražne razgradljivosti i probavljivosti škroba s rastom geometrijske srednje veličine čestica.

Fizikalna svojstva su često povezana s nekim od kemijskih svojstava. Tako se kapacitet zadržavanja vode povećava s povećanjem sadržaja neutralnih detergent vlakana i smanjuje s povećanjem sadržaja kiselih detergent vlakana i škroba (Giger-Reverdin i sur., 2000). S obzirom da su kemijske analize skupe i često dugotrajne, poput navedenog primjera, fizikalne analize se mogu upotrijebiti za procjenu kemijskih svojstava. Nadalje, nerijetko su samo boja i miris dovoljni da bi se utvrdili fermentacijski procesi tijekom siliranja. Dobro pripremljena silaža, u kojoj se odvila adekvatna fermentacija, ima svijetlo zelenu ili zeleno-smeđu boju i blagi slatkasto-kiseli miris kao rezultat prevladavanja bakterija mliječne kiseline. Neadekvatna tehnika siliranja kao i fermentacija, previsoka temperatura unutar silosa, previsoka vlažnost silaže te nedovoljan broj bakterija mliječno-kiselog vrenja mogu biti uzročnici promjene boje i mirisa. Tako se javlja miris po ribi, truleži, užegao miris, miris po octu, alkoholu, acetonu te žuto-zelena, smeđa ili crna boja silaže (Jones i sur., 2004). Također, niska pH vrijednost ukazuje na visoku proizvodnju organskih kiselina, naročito mliječne kiseline (Zadravec i sur., 2013). Prema tome, aroma silaže kao i pH vrijednost pokazatelji su kvalitete siliranja.

Siliranje je kompleksan proces pod utjecajem velikog broja čimbenika zbog čega kvaliteta silaže može biti izrazito varijabilna. Unatoč utjecaju fermentacije na hranjivost, konzumaciju i zdravlje goveda, u RH nema sustavnih istraživanja kvalitete siliranja. Cilj ovoga rada je bio utvrditi sadržaj suhe tvari i sirovog pepela te fizikalnih svojstava silaža cijele biljke kukuruza na velikim farmama kontinentalne RH tijekom proljeća 2016. godine.

Materijal i metode rada

Istraživanje je provedeno na 33 uzoraka kukuruzne silaže uzorkovanih na 33 farme iz svih regija kontinentalne Hrvatske tijekom proljeća 2016. godine. Sa svake farme je uzorkovan jedan uzorak silaže u tom trenutku korištene za hranidbu goveda. Uzorkovanje je provedeno tako da predstavlja presjek silosa prema shemi uzorkovanja u obliku slova W, a uzorci mase oko 4 kg su spremljeni u plastične vrećice snažnim zbijanjem i čuvani u pokretnim hladnjacima tijekom dostave u laboratorij. Ukoliko nisu analizirani odmah nakon dostave, čuvani su na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ te odmrzavani 24 h na $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ neposredno prije analize.

Na dan analize, svaki uzorak je temeljito izmiješan te podijeljen u dva dijela za različitu pripremu ovisno o analizi. Jedan dio, oko trećine uzorka, nije dodatno obrađen te je direktno korišten za određivanje sadržaja suhe tvari, aromatskih svojstava, pH vrijednosti, titracijske kiselosti i raspodjele veličine čestica. Drugi dio, oko dvije trećine uzorka, je prosušen na $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ kroz 24 sata (HRN ISO 6498:2001) te ponovo podijeljen u dva dijela. Veći dio ($2\times 400\text{ g}$) je iskorišten za odvajanje zrna iz silaže, dok je ostatak samljeven na mlinu sa sitom veličine pora 1 mm (Cyclotec 1093, Foss Tocator, Švedska) i korišten za određivanje kapaciteta zadržavanja vode i sirovog pepela.

Laboratorijske analize

Suha tvar (ST) uzoraka silaže određena je sušenjem na $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ četiri sata (HRN ISO 6496:2001) dok je sadržaj sirovog pepela određen spaljivanjem prosušenog uzorka na $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ kroz četiri sata (HRN ISO 5984:2004). Aromatska svojstva ispitana su prema uputama proizvođača kita „Sil – All for corn silage“ (Danstar Ferment Ag, Švicarska), prema kojemu su arome silaže ocijenjene brojevima, ovisno o učinkovitosti i koncentraciji produkata fermentacije (Tablica 1). Kapacitet zadržavanja vode određen je 24-satnim namakanjem uzorka u destiliranoj vodi prema postupku opisanom u radu Giger-Reverdin (2000). Rezultat je izražen kao masa vode zadržana po g ST uzorka ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ ST}$).

Za određivanje pH vrijednosti i titracijske kiselosti pripremljen je macerat 40 g uzorka silaže i 200 mL destilirane vode. Nakon 24-satne inkubacije na $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, macerat je profiltriran, te je filtrat korišten za direktno mjerenje pH vrijednosti stolnim digitalnim pH metrom (InoLab 720, WTW, Njemačka). Titracijska kiselost je zatim određena titracijom filtrata 0,1 M otopinom natrijeve lužine do pH vrijednosti 7, a rezultat je izražen kao miliekvivalent (mmol) lužine po 100 g ST uzorka (mekv. $\text{NaOH}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{ ST}$; Playne i McDonald, 1966).

Table 1. Description of silage aroma score according to the "Sil –All For corn silage" kit (Danstar Ferment Ag, Switzerland)

Tablica 1. Opis ocjena arome silaže prema kitu „Sil – All for corn silage“ (Danstar Ferment Ag, Švicarska)

Score	Description
Ocjena	Opis
6	Lactic acid has no smell and indicates a very efficient fermentation with low feed and dry matter losses. Mliječna kiselina nema mirisa, što ukazuje na vrlo učinkovitu fermentaciju s niskim gubitkom hranjivih tvari i suhe tvari.
4	Slight acetic acidity is an efficient fermentation with some dry matter losses. Blag miris octene kiseline ukazuje na učinkovitu fermentaciju s određenim gubitkom suhe tvari.
3	Yeast produces alcohol through slow fermentation and low packaging density. High yeast count and heating. Miris po alkoholu se javlja kod neadekvatne gustoće sabijanja silaže, a ukazuje na fermentaciju kvasaca i prekomjerno stvaranje topline unutar silosa.
2	Ammonia has formed through protein breakdown and slow fermentation. Miris po amonijaku javlja se zbog razgradnje proteina i spore fermentacije.
1	Fermentation is minimal due to the heavy ash, very low DM and very low sugar. Butyric acid has formed. Miris po maslačnoj kiselini ukazuje na minimalnu fermentaciju zbog visoke razine pepela i niske razine suhe tvari i šećera.

Raspodjela veličine čestica silaže određivana je manualno koristeći Penn State Forage Particle Separator (PSPS) prema uputama Heinrichs (2013). PSPS se sastoji od seta sita s porama 1,905, 0,788 i 0,127 cm te dna. Udio silaže zadržan na svakom od sita izražen je kao % od ukupne mase. U prosušenom uzorku silaže hidrodinamičkim postupkom odvojeno je zrno od ostatka silaže; postupak je uključivao manualno miješanje 400 g uzorka sa 7 L vode nakon čega je komušina koja je plutala odvojena sitom s veličinom pora 1,17 mm (Dias Junior i sur., 2015). Svaki uzorak je obrađen u duplikatu, a odvojena zrna su prosušena na 60 °C tijekom 48 sati i izvagana kako bi se odredio udio zrna u silaži. Prosušena zrna su prosijana

na sitotresilici (AS 200, Retsch, Njemačka) na sitima 9,5, 6,7, 4,75, 3,35, 2,36, 1,7, 1,25 i 0,63 mm. Na temelju masa, izračunata je raspodjela veličine čestice zrna kukuruza te srednji geometrijski promjer čestica na temelju log normalne distribucije (Baker i Herrman, 2002).

Rezultati i rasprava

Suha tvar je najvažniji čimbenik siliranja jer utječe na sve fizikalne, kemijske i biološke procese u silosu. Prosječna, minimalna i maksimalna vrijednost sadržaja ST u analiziranim uzorcima kukuruzne silaže prikazana je u Tablici 2. Sadržaj ST kretao se u rasponu 210,12 – 464,66 g*kg⁻¹. Kod dobre kukuruzne silaže sadržaj ST kreće se u rasponu 320 – 350 g*kg⁻¹ te se pri tom sadržaju osigurava odgovarajuća fermentacija, pravilno skladištenje i pozitivan učinak na proizvodne rezultate životinja (Nkosi i sur., 2009). Osam od 33 analiziranih uzoraka je imalo manje od 300 g*kg⁻¹ suhe tvari, četiri su uzorka imala više od 400 g*kg⁻¹ suhe tvari, a preostali uzorci imali su sadržaj ST u optimalnom rasponu za kukuruznu silažu. Ako je sadržaj manji od 280 g*kg⁻¹ postoji opasnost od prekomjernog otjecanja silažne tekućine. Nasuprot tome, sadržaj ST iznad 400 g*kg⁻¹ može izazvati probleme kod sabijanja mase (Nkosi i sur., 2009). Razlozi previsokog ili preniskog udjela ST mogu biti različiti ovisno o datumu žetve, stadiju zrelosti, naknadnoj sjetvi, siliranju raznovrsnih hibrida i vegetacijskih skupina, gnojidbi različitim vrstama i količinama gnojiva, mikroagroekološkim uvjetima, dužini sjeckanja i sabijanju biljne mase (Vetter i Von Glan, 1978; Vranić i sur., 2004).

Table 2. Content of dry matter (DM) and crude ash in maize silage samples (n=33)

Tablica 2. Sadržaj suhe tvari (ST) i sirovog pepela u uzorcima kukuruzne silaže (n=33)

Parameter	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Parametar	Prosjek	Standardna devijacija	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
Dry matter, g*kg ⁻¹	341,55	63,02	210,12	464,66
Suha tvar, g*kg ⁻¹				
Crude ash, g*kg ⁻¹ DM	37,41	5,94	22,21	53,47
Sirovi pepeo, g*kg ⁻¹ ST				

Prema Ward (2011), kukuruzna silaža u prosjeku sadržava oko 44 g*kg⁻¹ sirovog pepela, a pri kontaminaciji česticama tla sadržaj može biti i do 100 g*kg⁻¹. Prosječni sadržaj sirovog pepela u uzorcima kukuruzne silaže u ovom istraživanju iznosio je 37,41 g*kg⁻¹ ST (Tablica 2). Povišena razina sirovog pepela prvenstveno je posljedica onečišćenja tlom te može biti pokazatelj kontaminacije kvascima i

plijesnima koji ugrožavaju fermentaciju i aerobnu stabilnost silaže (Ward, 2011). S obzirom na raspon vrijednosti od 22,21 do 53,47 g*kg⁻¹ ST, većina uzoraka silaže u ovom istraživanju nije bilo kontaminirano tlom. Samo su dva uzorka silaže imale višu vrijednost od 44 g*kg⁻¹ te je u tim silažama moguća minimalna kontaminacija tlom.

U Tablici 3 prikazane su prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti ocjene arome, pH vrijednosti, titracijske kiselosti i kapaciteta zadržavanja vode istraživanih uzoraka silaže. Ovisno o učinkovitosti i koncentraciji produkata fermentacije, prema opisu u Tablici 1, svaka silaža dobila je odgovarajuću ocjenu. Samo je jedna silaža ocijenjena brojem 6 i ona je imala vrlo blag miris mliječne kiseline koja predstavlja indikator uspješne fermentacije i ukazuje na to da su tijekom fermentacije dominirale bakterije mliječno-kiselog vrenja (Jones i sur., 2004). Dva uzorka dodijeljena je ocjena 1 zbog mirisa po maslačnoj kiselini. Kod takvih silaža prilikom fermentacije dominiraju klostridije. Maslačna kiselina može izazvati ketozu kod krava u početku laktacije, a zbog niskog sadržaja energije smanjeno je uzimanje takve silaže i smanjena je proizvodnja (Kung i Shaver, 2001). Ovakve silaže je potrebno u potpunosti isključiti iz obroka ili ih je potrebno prozračiti dan prije hranidbe. Miris po alkoholu javio se kod 55% uzoraka te im je dodijeljena ocjena 3. Ovakve silaže su zbog aktivnosti kvasaca podložne kvarenju tijekom doticaja s kisikom, a visoke koncentracije etanola mogu promijeniti miris mlijeka (Kung i Shaver, 2001). Silaže ocijenjene brojem 4 (33% uzoraka) imale su blag miris octene kiseline. Visoka koncentracija ove kiseline javlja se kod silaža s previsokim udjelom vlage, neadekvatnog skladištenja i sporog punjenja silosa. Kung i Shaver (2001) navode da još uvijek nije sa sigurnošću utvrđeno smanjeno uzimanje suhe tvari pri visokim koncentracijama octene kiseline. Ako je konzumacija smanjena, u obrok se može stavljati manji udio takve silaže ili se silaža ostavi dan prije hranidbe na zraku kako bi se koncentracija octene kiseline smanjila. Jednom od uzoraka nije se mogla odrediti aroma jer je imao miris po duhanu. Ovakav problem javlja se kod presporog punjenja silosa, neadekvatnog zbijanja silaže, previsokog sadržaja suhe tvari ili prevelike duljine sjeckanja. Zbog prevelike količine kisika omogućen je proces disanja i javlja se previsoka temperatura unutar silosa (Jones i sur., 2004).

pH vrijednost kukuruzne silaže bi se trebala kretati u rasponu 3,7 – 4,2, uz iznimku od 4,5 kod silaže vlažnog zrna kukuruza (Zadravec i sur., 2013). Izmjerena pH vrijednost analiziranih uzoraka kretala se u rasponu od 3,6 do 4,18 (Tablica 3) što je unutar optimalnog raspona i pokazuje da je siliranje dobro provedeno. Kung i Shaver (2001) navode da se vrlo rijetko javljaju kukuruzne silaže s pH vrijednosti većom od 4,2, te da se visoke pH vrijednosti javljaju kod kukuruznih silaža s visokim sadržajem suhe tvari (>42%), kod košnje u kasnoj fazi zrelosti ili tijekom sušnih razdoblja. Niska pH vrijednost javlja se kod visoke proizvodnje organskih kiselina (Jones i sur., 2004), a od svih organskih kiselina nastalih fermentacijom na pH vrijednost najviše utječe mliječna kiselina zbog čega porastom sadržaja ove kiseline opada pH vrijednost silaže (Zadravec i sur., 2013). Međutim, treba napomenuti da prema istraživanju koje su proveli Ward i Ondarza (2000), dvije različite silaže mogu imati jednaku pH vrijednost, ali različitu koncentraciju organskih kiselina.

Titracijska kiselost predstavlja stupanj u kojemu se biljni materijal odupire promjeni pH vrijednosti, a u provedenom istraživanju kretala se u rasponu od 11,61 do 128,93 mekv. NaOH*100 g⁻¹ ST (Tablica 3) što je rezultiralo pufernim kapacitetom u rasponu od 4,09 do 38,2 mekv. NaOH*kg⁻¹ ST. Hrana utječe na status acido-bazne ravnoteže

buraga kroz svoju pH vrijednost, puferni kapacitet i stimulaciju salivacije (Le Ruyet i sur., 1992). Budući da koncentracija nastalih kiselina tijekom fermentacije ugljikohidrata znatno varira između obroka, preživači imaju visoko razvijen sustav za održavanje pH vrijednosti buraga unutar fiziološkog raspona od oko 5,5 – 7 (Oetzel, 2007), koji se sastoji od regulacije unosa hrane, endogenog lučenja pufera, prilagodbe mikrobne populacije buraga i apsorpcije hlapivih masnih kiselina (Bujňák i sur., 2011). Puferi obroka nadopunjuju prirodne puferne u slini i na taj način pomažu održavanju optimalne pH vrijednosti buraga (Bujňák i sur., 2011). Jasaitis i sur. (1987) sugeriraju da se procjena pH vrijednosti i puferni kapacitet obroka upotrebljavaju za nadopunjavanje obroka puferima zbog održavanja acido-bazne ravnoteže buraga. Međutim, prema rezultatima istraživanja Bujňák i sur. (2011), samo određivanje acido-baznog statusa hrane nije adekvatan pokazatelj za predviđanje potrebne količine puferirajućih spojeva u hrani preživača. Autori su u provedenom istraživanju zabilježili vrijednosti pufernog kapaciteta od 13,94 do 17,74 mekv. NaOH*kg⁻¹ ST, što je u rasponu vrijednosti zabilježenih u ovom istraživanju.

Table 3. Aroma score, pH, titratable acidity and water holding capacity (WHC) of maize silage samples (n=33)

Tablica 3. Ocjene arome, pH vrijednost, titracijska kiselost i kapacitet zadržavanja vode analiziranih uzoraka kukuruzne silaže (n=33)

Parameter Parametar	Average Prosjek	Standard deviation Standardna devijacija	Minimum Minimalna vrijednost	Maximum Maksimalna vrijednost
Aroma score Ocjena arome	3,31	0,9	1	6
pH	3,85	0,15	3,6	4,19
Titratable acidity, meq NaOH*100 g ⁻¹ DM Titracijska kiselost, mekv. NaOH*100 g ⁻¹ ST	42,21	22,25	11,61	128,93
WHC, g*g ⁻¹ DM Kapacitet zadržavanja vode, g*g ⁻¹ ST	5,8	0,91	4,4	8,57

Kapacitet zadržavanja vode predstavlja faktor koji utječe na mikrobiološku kolonizaciju i osmotski pritisak te se treba uzeti u obzir prilikom razmatranja ukupne ekologije buraga (Bennink i sur., 1978). Prosječni kapacitet zadržavanja vode analiziranih uzoraka iznosi 5,8 g*g⁻¹ ST što je viša vrijednost od 4,09 g*g⁻¹ ST kod

kukuruzne silaže u istraživanju Giger-Reverdin (1999). Isti autor navodi da unatoč jednakom sastavu biljne stanične stijenke, biljke s višim sadržajem pektina imaju veći kapacitet zadržavanja vode, odnosno povećanjem sadržaja neutralnih detergent vlakana raste kapacitet zadržavanja vode.

Table 4. Kernel content and particle size distribution of maize silage samples (n=33)

Tablica 4. Udio zrna i raspodjela veličine čestica uzoraka kukuruzne silaže (n=33)

Parameter	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Parametar	Prosjeak	Standardna devijacija	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
Kernel content, %				
Udjel zrna, %	33,09	7,14	11,65	45,05
Particle size distribution, %				
Raspodjela veličine čestica, %				
>1,905 mm	4,96	3,15	0,76	11,1
1,905-0,788 mm	56,99	15,86	32,05	81,02
0,788-0,127 mm	35,75	15,92	11,41	60,5
<0,127 mm	2,29	2,15	0,05	7,23

U Tablici 4 prikazane su prosječne, minimalne i maksimalne vrijednosti kod raspodjele veličine čestica uzoraka kukuruzne silaže na svakom pojedinom situ kao i na dnu PSPS separatora. Na gornjem situ trebalo bi se nalaziti oko 8% čestica (Heinrichs, 2013), a vrijednosti istraživanih uzoraka se kreću u rasponu 0,76 – 11,1%, pri čemu se kod 24 od 33 analiziranih uzorka nalazilo manje od 8% čestica na gornjem situ, 4 uzorka su imala oko 8% čestica, dok je 5 uzorka imalo više od 8% čestica. S obzirom da bi se na srednjem situ trebalo nalaziti 45-65% čestica (Heinrichs, 2013), optimalan postotak čestica imalo je 10 uzorka, više od 65% čestica imalo je 12, a manje od 45% 11 uzorka. Uzorak s najmanjim udjelom je imao 32,05, a uzorak s najvećim 81,02% frakcije na srednjem situ. Na donjem situ trebalo bi se nalaziti od 30 – 40% čestica (Heinrichs, 2013), a prosječna raspodjela čestica analiziranih uzoraka kretala se u rasponu 11,41 – 60,5%. Manje od 30% čestica na ovom situ imalo je 13 uzorka, više od 40% 15 uzorka, dok je samo 5 uzorka imalo između 30 i 40% čestica na situ. Uzorak s najvećim udjelom je imao 60,5% frakcije na ovom situ. Na dnu separatora ne bi trebalo biti više od 5% čestica (Heinrichs, 2013), te su samo dva uzorka imala više od 5% čestica na dnu. Johnson i sur. (2003) navode da je ukupna probavljivost suhe tvari, organske tvari i neutralnih

detergent vlakana manja kod krava hranjenih silažom sjeckanom na manju dužinu (11,1 mm) nego kod duže sjeckane biljke kukuruza (39,7 mm). Povećanjem sadržaja fizički efektivnih vlakana u obroku povećava se ukupna probavljivost hranjivih tvari, a naročito vlakana, u probavnom traktu (Yang i Beauchemin, 2005).

Table 5. Particle size distribution of kernels hydrodynamically separated from maize silage samples (n=33)

Tablica 5. Raspodjela veličina čestica zrna hidrodinamičkim postupkom izdvojenih iz uzoraka kukuruzne silaže (n=33)

Parameter	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Parametar	Prosjek	Standardna devijacija	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
Kernel particle size distribution, %				
Raspodjela veličine čestica zrna silaže, %				
>9,5 mm	0,07	0,11	0	0,37
9,5-6,7 mm	12,83	10,02	1,14	37,4
6,7-4,75 mm	22,38	4,61	13,47	29,74
4,75-3,35 mm	19,45	5,78	8,84	29,89
3,35-2,36 mm	13,46	3,83	5,68	19,19
2-36-1,7 mm	9,27	2,48	4,49	14,95
1,7-1,25 mm	4,84	1,46	1,84	7,61
1,25-0,63 mm	9	2,71	4,37	15,65
<0,63 mm	8,7	2,84	3,89	16,3
Geometric mean diameter of particles, mm	3,11	0,58	2,15	4,3
Srednji geometrijski promjer čestica, mm				

Hidrodinamičkim postupkom odvojeno je zrno od ostatka silaže te se njegov udio kretao u rasponu 11,65 – 45,05% (Tablica 4). Ovako varijabilan sadržaj zrna upućuje na varijabilan sadržaj škroba a prema tome i energije u uzorcima silaža što je potrebno uzeti u obzir prilikom sastavljanja obroka. Uzorci silaže su imali širok raspon raspodjele čestica na sitima (Tablica 5) što upućuje na različiti stupanj lomljenja zrna kao rezultat samog siliranja, ali i svojstva zrna. Čestica većih od 9,5 mm je bilo u 15 uzoraka i njihov udio je bio manji od 0,5% dok je čestica većih od 6,7 mm bilo u prosjeku 12,83%. Najveći udio zrna nalazio se na situ promjera pora 4,75 mm te se kretao u rasponu 13,47 – 29,74%. U prosjeku je 64,72% čestica bilo manje od 4,75 mm od čega je 19,45% zadržano na situ promjena pora 3,35, 13,46% na situ 2,36, 9,27% na situ 1,7, 4,84% na situ 1,25 i 9% na situ 0,63 mm te 8,7% na dnu. Sličan raspon prosječnih vrijednosti na 80 uzoraka kukuruzne silaže prikazali su i Dias Junior i sur. (2016). McAllister i sur. (1993) navode da se povećanjem fragmentacije zrna povećava aktivna površina za vezanje mikroorganizama na granule škroba i enzimska razgradnja. Međutim, čimbenici kao što su svojstva endosperma, stadij zrelosti i način obrade utječu na fragmentaciju zrna, a samim time i probavljivost škroba (Bal i sur., 2000; Correa i sur., 2002; Johnson i sur., 2002; Cooke i Bernard, 2005).

Na temelju raspodjele izračunati srednji geometrijski promjer čestica analiziranih uzoraka kretao se u rasponu od 2,15 do 4,3 mm. Dobivene vrijednosti su u rasponu vrijednosti koje su prikazali Dias Junior i sur. (2016) za 80 uzoraka silaža (1,68 – 7,56 mm). Na temelju svojih podataka, navedeni autori su primijetili pad probavljivosti škroba s porastom geometrijske veličine čestica, iako treba napomenuti da je ukupna probavljivost škroba različitih kukuruznih silaža vrlo varijabilna (Ferraretto i Shaver, 2012). Ova varijacija djelomično se može objasniti različitim veličinom lomljenih zrna. Što je zrno kukuruza finije samljeveno to je veća probavljivost njegovog škroba u buragu te se stoga treba voditi briga o krupnoći mljevenja i tipu hidrotermičke prerade (Grbeša, 2008). Kod presitnog mljevenja zrna, zbog prevelike dostupnosti škroba, može doći do pada pH vrijednosti buraga i pojave acidoze. Uspostavljanje pravilnog odnosa između probavljivosti i stupnja fragmentacije zrna vrlo je izazovan zadatak zbog nedostatka kvantitativnih podataka o veličini čestica zrna kukuruza (Dias Junior i sur., 2016).

Zaključci

Ostvareni rasponi vrijednosti istraživanih svojstava upućuju na neujednačenost silaže cijele biljke kukuruza na velikim mliječnim i tovnim farmama kontinentalne RH. S obzirom da sadržaj vlage i zrna u silaži te kapacitet zadržavanja vode upućuju na siliranje zelene mase u različitom stadiju zrelosti, potrebno je posvetiti pažnju pravovremenom određivanju faze biljke za siliranje. Dok sadržaj sirovog pepela upućuje na adekvatnu visinu prilikom žetve, izrazito varijabilna raspodjela veličine čestica silaže upućuje da je potrebno više pažnje posvetiti sjeckanju zelene mase za siliranje i održavanju mehanizacije za sjeckanje. Aroma octene kiseline koja prevladava u trećini uzoraka u skladu je s udjelom vlage manjim od 30% dok prisutnost etanola u 55% uzoraka upućuje na prisutnost kvasaca i na promjene produkata fermentacije zbog neadekvatne gustoće sabijanja i djelomične penetracije kisika. Srednja geometrijska veličina čestica zrna i titracijska kiselost istraživanih

uzoraka ukazuje na varijabilan utjecaj na procese u buragu što bi trebalo uzeti u obzir prilikom sastavljanja obroka.

Literatura

- Baker, S., Herrman, T. (2002) Evaluating particle size. MF-2051. Manhattan: Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Bal, M. A., Shaver, R. D., Jirovec, A. G., Shinnors, K. J., Coors, J. G. (2000) Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83, 1264–1273. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74993-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74993-9)
- Bennink, M. R., Tyler, T. R., Ward, G. M., Johnson, D. E. (1978) Ionic milieu of bovine and ovine rumen as affected by diet. *Journal of Dairy Science*, 61, 315–323. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(78\)83600-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83600-5)
- Bujňák, L., Maskařová, I., Vajda, V. (2011) Determination of buffering capacity of selected fermented feedstuffs and the effect of dietary acid-base status on ruminal fluid pH. *Acta Veterinaria Brno*, 80, 269–273. DOI: [10.2754/avb201180030269](https://doi.org/10.2754/avb201180030269)
- Cooke, K. M., Bernard, J. K. (2005) Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88, 310–316. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72689-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72689-8)
- Correa, C. E. S., Shaver, R. D., Pereira, M. N., Lauer, J. G., Kohn, K. (2002) Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *Journal of Dairy Science*, 85, 3008–3012. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74386-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5)
- Dias Junior, G. S., Ferraretto, L. F., Salvati G. G. S., Resende L. C., Hoffman P. C., Pereira M. N., Shaver R. D. (2016) Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. *Journal of Dairy Science*, 99, 2719–2729. DOI: [10.3168/jds.2015-10411](https://doi.org/10.3168/jds.2015-10411)
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D. (2012) Meta-analysis: effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 28, 141–149. DOI: [10.15232/S1080-7446\(15\)30334-X](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30334-X)
- Giger-Reverdin, S. (1999) Characterisation of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 86, 53–69. DOI: [10.1016/S0377-8401\(00\)00159-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00159-0)
- Grbeša, D. (2008) Bc hibridi kukuruza u hranidbi životinja. Zagreb: Bc Institut za oplemenjivanje i proizvodnju bilja d.d. Zagreb.
- Heinrichs, J. (2013) The Penn State Particle Separator. [Online] University park, PA: The Pennsylvania State University, Penn State Cooperative Extension. Available at: <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator#section-1> [Accessed 15th May 2017]

- HRN ISO 6496 (2001) Stočna hrana- određivanje vode i udjela drugih hlapljivih tvari. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo.
- HRN ISO 6498 (2001) Stočna hrana - priprema uzorka za ispitivanje. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo.
- HRN ISO 5984 (2004) Stočna hrana - Određivanje pepela. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo.
- Jasaitis, D. K., Wohlt, J. E., Evans, J. L. (1987) Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. *Journal of Dairy Science* 70, 1391-1403. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80161-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80161-3)
- Johnson, L. M., Harrison, J. H., Davidson, D., Mahanna, W. C., Shinnors, K., Linder, D. (2002) Corn silage management: effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. *Journal of Dairy Science*, 85, 434-444. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74092-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74092-7)
- Johnson, L. M., Harrison, J. H., Davidson, D., Mahanna, W. C., Shinnors, K. (2003) Corn silage management: effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. *Journal of Dairy Science*, 86, 208–231. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73601-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73601-7)
- Jones, C. M., Heinrichs, A. J., Roth, G. W., Ishler, V. A. (2004) From harvest to feed: understanding silage management. [Online] University park, PA: The Pennsylvania State University, Penn State Cooperative Extension. Available at: <https://extension.psu.edu/from-harvest-to-feed-understanding-silage-management> [Accessed 15th May 2017]
- Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J., Lehman, H. A. (2003) The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86, 3343–3353. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73937-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73937-X)
- Kung, L., Shaver, R. (2001) Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forge*, 13, 1-5.
- Le Ruyet, P., Tucker, W. B., Hogue, J. F., Aslam, M., Lema, M., Shin, I. S., Miller, T. P., Adams, G. D. (1992) Influence of dietary fiber and buffer value index on the ruminal milieu of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 75, 2394-2408. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78001-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78001-1)
- Liu, K. (2008) Particle size distribution of distillers dried grains with solubles (DDGS) and relationships to compositional and color properties. *Bioresource Technology*, 99, 8421–8428. DOI: [10.1016/j.biortech.2008.02.060](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.060)
- McAllister, T. A., Phillippe, R. C., Rode, L. M., Cheng, K. J. (1993) Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *Journal of Animal Science*, 71, 205–212. DOI: [10.2527/1993.711205x](https://doi.org/10.2527/1993.711205x)
- Nkosi, B. D., Meeske, R., Palic, D., Langa, T., Leeuw, K. J., Groenewald, I. B. (2009) Effects of ensiling whole crop maize with bacterial inoculants on the fermentation, aerobic stability, and growth performance of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 154, 193–203. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2009.09.009](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.09.009)

- Oetzel, G. R. (2007) Subacute ruminal acidosis in dairy herds: physiology, pathophysiology, milk fat responses, and nutritional management. In: Proceedings, 40th Annual Conference of American Association of Bovine Practitioners. Vancouver, Bc, Canada, 17th September 2007, Vancouver, Bc, Canada: American Association of Bovine Practitioners.
- Playne, M. J., McDonald, P. (1966) The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17, 264-268.
DOI: [10.1002/jsfa.2740170609](https://doi.org/10.1002/jsfa.2740170609)
- Vetter, R. L., Von Glan, K. N. (1978) Abnormal silages and silage related disease problems. In: M. E. McCullough, ed. *Fermentation of silage — A review*. Des Moines: National Grain and Feed Association, 291-293.
- Vranić, M., Knežević, M., Perčulija, G., Grbeša, D., Leto, J., Bošnjak, K., Rupić, I. (2004) Kvaliteta kukuruzne silaže na obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima. *Mljekarstvo*, 54, 175-186.
- Ward, R. T., Ondarza, M. B. (2000) Fermentation analysis of silage: Use and interpretation. [Online] Hagerstown: Cumberland Valley Analytical Services, Inc. Available at: <http://www.foragelab.com/media/fermentation-silage-nfmp-oct-2008.pdf> [Accessed May 2nd 2017].
- Ward, R. (2011) Analyzing silage crops for quality: what is most important? In: Proceedings (UC Cooperative Extension, University of California), The 2011 Western Alfalfa & Forage Symposium. Las Vegas, USA, 11-13 December 2011. Available at: <http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2011/index.aspx> [Accessed May 3rd 2017].
- Yang, W. Z., Beauchemin, K. A., Rode, L. M. (2001) Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 2203–2216.
DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74667-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74667-X)
- Yang, W. Z., Beauchemin, K. A. (2005) Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*, 88, 1090-1098.
DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72776-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72776-4)
- Zadravec, M., Duvnjak, M., Pleadin, J., Kljak, K., Jaki Tkalec, V., Majnarić, D., Mitak, M. (2013) Kvaliteta kukuruzne silaže s obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava Koprivničko-križevačke županije tijekom 2012. godine. *Veterinarska stanica*, 44 (3), 187-193.
- Zebeli, Q., Tafaj, M., Junck, B., Ölschläger, V., Ametaj, B. N., Drochner, W. (2008) Evaluation of the response of ruminal fermentation and activities of nonstarch polysaccharide-degrading enzymes to particle length of corn silage in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91, 2388–2398.
DOI: [10.3168/jds.2007-0810](https://doi.org/10.3168/jds.2007-0810)

Zebeli, Q., Ametaj, B. N., Junck B., Drochner, W. (2009) Maize silage particle length modulates feeding patterns and milk composition in loose-housed lactating Holstein cows. *Livestock Science*, 124, 33–40.

DOI: [10.1016/j.livsci.2008.12.004](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.12.004)