

UTICAJ FIZIČKE EFEKTIVNOSTI VLAKANA NA KONZUMACIJU I SELEKTIVNOST KOMPONENATA TMR OBROKA ZA KRAVE U LAKTACIJI*

Dženan Hadžić*¹, Anisa Parić², Senada Čengić-Džomba¹, Emir Džomba¹

Originalni naučni rad - *Original scientific paper*

Sažetak

Kompletno miješani obrok (TMR) se sastoji od velikog broja različitih nutrijenata sadržanih u krmivima različitog porijekla, određene količine i sastava, izmiješanih u jedan obrok. Ovakav način pripreme obroka počeo se koristiti zbog sposobnosti životinja da biraju dijelove obroka u toku ishrane, preferirajući sitnije i probavljivije čestice. Korištenjem TMR obroka životinjama se ograničava mogućnost selektovanja hrane, posebno voluminoznih krmiva koja su veoma značajna u procesu probave i razgradnje hrane. Fizički efektivna vlakna su važna zbog sprječavanja različitih zdravstvenih poremećaja, aktivnosti žvakanja, buražnih fermentacija, pH vrijednosti buražnog sadržaja, ali i sadržaja masti u mlijeku. Iako je TMR kompletan obrok, različitim analizama utvrđeno je da ipak dolazi do pojave selektivnosti od strane krava u srednjoj fazi laktacije koje su u najvećoj mjeri konzumirale sitne probavljivije čestice hrane. Sadržaj peNDF_{8mm} i peNDF_{4mm} se kroz period ishrane kretao od 12,92 do 25,99% odnosno 23,25% do 37,23%. Ovakva dinamika ishrane pokazala je da se u prvim satima ishrane najviše konzumira koncentratni dio TMR obroka, a zatim voluminozni dio koji potiče žvakanje i preživljanje hrane. Ovakav način konzumiranja hrane je posljedica neravnomjerne ishrane nakon čega dolazi i do promjena uslova probave u buragu. Analizom eksperimentalnog TMR obroka dokazan je voluminozni karakter obroka koji je na osnovu prosječne dužine čestica svrstan u fino mljeveni obrok. Pored navedenih analiza, za preciznije procjene vrijednosti fizičke efektivnosti TMR obroka mogu se uključiti i dodatna ispitivanja, kao što su mjerenje pH vrijednosti u buragu, te mjerenje sadržaja različitih parametara mlijeka, posebno mliječne masti.

Keywords: *kompletno miješani obrok (TMR), selektivnost, fizički efektivna vlakna, fizička efektivnost*

* Paper presented at the 34th International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry, October 9-11, 2024, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

¹ University of Sarajevo, Faculty of Agriculture and Food Sciences, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

² Diplomirani student drugog (master) ciklusa studija, MA

Correspondence: dz.hadzic@ppf.unsa.ba

UVOD

Normirana ishrana životinja kao dio menadžmenta u intenzivnom uzgoju životinja je preduslov visoke produktivnosti i dobrog zdravlja. U cilju osiguranja izbalansiranog obroka, još od 1950. godine, počeo se koristiti kompletno miješani obrok ili TMR (Total mixed ration). Kompletno miješani obroci u tom smislu predstavljaju racionalno rješenje koji na najefikasniji i najprofitabilniji način osigurava sve ishrambene potrebe za održivu proizvodnju mlijeka. Kompletno miješani obrok je sveobuhvatan koncept savremenog načina držanja goveda koji zahtijeva specijalizovane i specifične uslove i kapacitete u intenzivnim uslovima proizvodnje na farmi. Primarna namjena TMR obroka je formiranje funkcionalne homogene smjese sastavljene od svih neophodnih nutritivnih komponenata (krmiva) koja će zadovoljiti ishrambene standarde životinja za hranjivim metrijama (DeVries i sar., 2007). Korištenje TMR obroka može značajno stimulirati konzumaciju suhe materije do 5% (Linn, 1995). Komercijalni obroci uglavnom su sastavljeni od voluminoznih krmiva u formi sijena, silaža i sjenaža i sl., uz redovnu suplementaciju koncentratnim (energetskim i proteinskim) krmivima i mineralnim, vitaminskim i drugim aditivima. Preciznija formulacija obroka optimizira odnos hranjivih materija, koji će kako u fizičkom tako i hemijskom smislu trebaju biti usklađena sa potrebama (normativima) proizvodnje (Coppock i sar., 1981). To znači da životinja konzumacijom svakog zalogaja unosi uravnoteženu količinu hranjivih materija (Beigh i sar., 2017). TMR obroci se pripremaju u specijalnim mikser prikolicama značajno olakšavajući pripremu hrane (usitnjavanje i homogenizacija) uz minimalnu upotrebu ljudske snage. Potreba za TMR obrokom javila se zbog uniformnosti i usklađenosti probavnih procesa bez značajnijih fluktuacija, ali i ograničenim mogućnostima životinja da biraju ukusnije dijelove obroka, a uglavnom na štetu voluminoznog dijela obroka. Ishrana kompletno miješanim obrocima primjenjuje se na većim farmama zbog opravdanosti i lakše organizacije (grupisanje životinja). Ovaj način ishrane ograničava i mogućnost selektiranja dijelova obroka. Bez obzira na sve, ipak se dešava da životinje izbjegnu konzumaciju krupnijih dijelova voluminoznih krmiva zbog neodgovarajućeg kvaliteta, predpripreme usjeva i nedovoljne usitnjenosti. Fizička efektivnost vlakana TMR-a je veoma važna pri formulaciji, a fizičke karakteristike vlakana u obroku imaju benefite na aktivnost žvakanja, buražnu fermentaciju, puferizaciju sadržaja buraga i na sadržaj mliječne masti (Stojanović i sar., 2011). Na fizičke karakteristike obroka utiče vrsta i udio voluminoznog i koncentratnog obroka i distribucija veličina čestica obroka. Vlakna predstavljaju sporije ili teže probavljive ili neprobavljive hranjive materije krmiva, koji zauzimaju značajnu zapreminu u probavnom sistemu preživara (Stojanović i sar., 2016). Prema Mertens (1997) koncept fizički efektivnih vlakana (peNDF) povezan je sa fizičkom efektivnošću (pef) koja se referira na prosječnu dužinu čestica koje podstiču preživanje, a utiču na aktivnost žvakanja i dvofaznu prirodu ruminalnog sadržaja (krupnije plutajuće čestice i tečna faza sitnijih čestica). peNDF je udruženi parametar nastao kada se sadržaj neutralanih deterdžentskih vlakana (NDF) pomnoži sa njegovom fizičkom efektivnošću. Povećan sadržaj peNDF stimulira aktivnost žvakanja i preživanja. Cilj

istraživanja je utvrditi stepen selekcije (sortiranja) pojedinačnih frakcija TMR obroka u četiri vremenska intervala u vrijeme jutarnje ishrane i dinamiku konzumacije pripadajućih hranjivih materija i energije, odnosno sirovog proteina, škroba, kiselih deterdžentskih vlakana (ADF) i neutralnih deterdženstkih vlakana.

MATERIJAL I METODE

Istraživanje je provedeno na komercijalnoj farmi mliječnih krava „Spreča“ d.o.o. Kalesija (44°26'29"N; 18°45'02"E, 234 m.n.v.), čija je proizvodnja zasnovana na savremenoj tehnologiji. Kao materijal za ispitivanje korišten je kompletno miješani obrok (TMR) namijenjen za ishranu visokoproduktivnih krava Holštajn – frizijske pasmine koje su se nalazile u srednjem periodu laktacije. Eksperimentalne životinja su se nalazile u slobodnom sistemu ishrane i napajanja. Sve životinje su bile u dobrom zdravstvenom stanju i tjelesnoj kondiciji. Kompletno miješani obroci (TMR) su pripremani u miks prikolici u vremenskom intervalu od cca. 5 minuta, te servirani trokratno tokom dana. Kompletno miješani obrok je bio sastavljen od livadskog sijena, kukuruzne silaže, travne silaže i tri koncentratne smjese. Struktura i postotno učešće pojedinih komponenata (krmiva) prikazani su u tabeli 1. Dominantnu komponentu obroka činila je kukuruzna silaža sa udjelom od 40% na bazi suhe materije (SM). Procentualno učešće voluminoznog dijela obroka iznosio je 57,8%, dok je koncentratni dio obroka iznosio 42,2% na bazi suhe materije.

Tabela 1. Sastav kompletno miješanog obroka za ishranu laktirajućih krava u srednjoj fazi laktacije

Table 1. Composition of the total mixed ration for feeding lactating cows during the middle stage of lactation

Komponente kompletnog obroka <i>Total mixed ration ingredients</i>	Originalno krmivo <i>As fed basis</i>		Suha materija krmiva <i>Dry matter basis</i>	
	kg	%	kg	%
Livadsko sijeno <i>Medow grass hay</i>	3,0	7,4	2,8	14,4
Kukuruzna silaža <i>Corn silage</i>	30,0	61,7	7,9	39,9
Travna silaža <i>Haylage</i>	3,0	7,4	0,7	3,5
Koncentratna smjesa 1 <i>Concentrate mix 1</i>	4,0	9,9	3,5	17,7
Koncentratna smjesa 2 <i>Concentrate mix 2</i>	4,0	9,9	3,5	17,8
Koncentratna smjesa 3 <i>Concentrate mix 3</i>	1,5	3,7	1,4	6,8
Voluminozni dio <i>Forage ratio</i>	36,0	76,5	11,4	57,8
Koncentratni dio <i>Concentrate ratio</i>	9,5	23,5	8,3	42,2
Ukupno <i>Total</i>	45,5	100	19,7	100,0

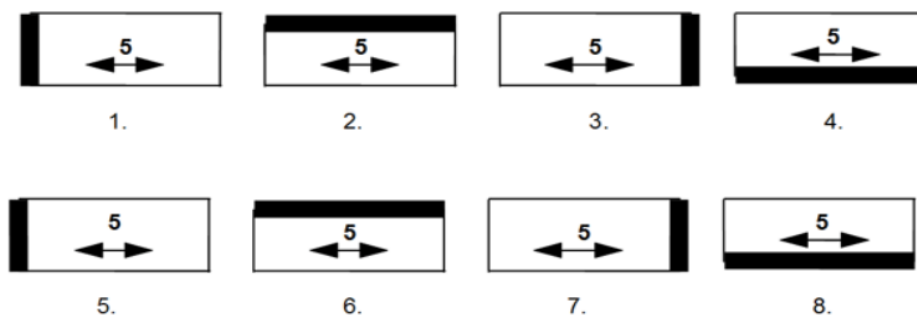
Ukupan sadržaj suhe materije u obroku iznosio je 19,7 kg, odnosno 43,3% u originalnom uzorku. Uzorakovanje je vršeno sa krmnog stola neposredno nakon serviranja, a zatim sukcesivno nakon drugog, četvrtog i šestog sata (ISO 6496:1999). Dobro sabijeni i konzervisani (HgCl_2) uzorci su čuvani u staklenim teglama (2500 ml) u zamrzivaču na -25°C do momenta analiziranja. Svi uzorci su prethodno osušeni u sušnici (Memmert S25) na 55°C , a zatim usitnjeni mlinom (Tecator Cyclotec 1093) na prosječnu dužinu $\approx 1,0$ mm (ISO 6498:2012). Određivanje sadržaja hemijskih parametara utvrđeni su prema referentnim metodama i to za sadržaj suhe materije i vlage (ISO 6496:1999), sirovog pepela (ISO 5984:2002), sirovog proteina (ISO 5983-1:2005; ISO 5983-2:2005), neutralnih deterdžentskih vlakana (ISO 16472:2003), kiselih deterdžentskih vlakana (ISO 13906:2008), škroba (ISO 6490:2000), nevlaknastih ugljikohidrata (računski), ukupno probavljive hranjive materije (TDN) i neto energije za laktaciju (NEL) prema Weiss (1998). Na paralelnom uzorku analizom prosijavanja utvrđena je prosječna veličina i distribucija čestica voluminoznih krmiva i potpuno kompletnih obroka (u originalnom sadržaju SM). Za tu svrhu korištena su Penn State Partical Separator (PSPS) sita (Modifikovani model ver. 2013) sa 4 milimetarskim donjim sitom, prema preporukama proizvođača (Pennsylvania State University). PSPS je namjenski granularni uređaj konstruisan za odvajanje (separaciju) veličina čestica voluminoznih krmiva i kompletnog obroka. Dobijeni rezultati su izraženi kao prosjek tri uzastopna mjerenja (prosijavanja). Računskim obrascima iz tabele 3, izračunat je procentualni udio pojedinih frakcija čestica na bazi suhe materije u svježem uzorku. Faktor fizičke efektivnosti (pef) je izračunat kao maseni zbir čestica obroka zadržanih iznad srednjeg (8 mm) i donjeg (4 mm) sita. Izračunate vrijednosti su iskorištene za kalkulaciju fizički efektivnih vlakana (peNDF) zadržanih iznad perforiranih sita promjera rupa 8 i 4 mm, prema sljedećim matematičkim obrascima 1 i 2 (Lammers i sar. 1996; Kononoff i sar. 2003; Heinrichs, 2013):

$$(1) \text{ peNDF}_{8\text{mm}} = \text{pef}_{8\text{mm}} \times \text{NDF}\%$$

$$(2) \text{ peNDF}_{4\text{mm}} = \text{pef}_{4\text{mm}} \times \text{NDF}\%$$

Površina ekrana napravljena je od perforirane ploče sa okruglim porama. Sastavljena su od četiri plastična sita, poredana u nizu od gornjeg sita sa najvećim promjerom rupa (19 mm), srednjeg sita (8 mm), donjeg sita (4 mm) i ravnog dana. Sama izrada i tehničke specifikacije kombinovanih sita izrađena je prema projekciji stratifikacije hrane u buragu. Prva veličina ili gornje sito (19 mm) uglavnom zadržava čestice koje stimulišu preživljanje i lučenje pljuvačke (gruba, čvrsta faza). Naredno ili srednje sito (8 mm) uglavnom zadržava čestice hrane koje formiraju čvrstu fazu, dok sito 4 mm zadržava vlaknaste i nevlaknaste čestice hrane koje se lahko degradiraju. Čestice manje od 4 mm završavaju na dnu sita i dio su tečne faze buraga koja je lahko probavljiva i koja prelazi u daljnju fazu hemijske digestije. Čestice zadržane na dnu i donjem sizu (4 mm) ne stimulišu pojavu preživljanja. Na gornje sito se smjesti približno 1,4 do 1,5 litara reprezentativnog uzorka (Lammers i sar., 1996). Tehnika prosijavanja zasniva se na horizontalnom pomjeranju sita 5 puta u jednom smjeru (1 sekvenca). Proces završava sa osam sekvenci ili ukupno 40 pomjeranja, rotirajući sita nakon svake sekvence od 5

pokreta. Ilustrativan prikaz postupka prosijavanja prikazan je na sljedećoj shemi (Lammers i sar., 1996).



Slika 1. Prikaz tehnike prosijavanja na PSPS sitima
 Figure 1. Illustration of the sieving technique using PSPS sieves

Za najbolje rezultate potrebno je primijeniti odgovarajuću frekvenciju pokreta prosijavanja od 1,1 Hz (otprilike 1,0 do 1,1 pokret/s), sa dužinom pokreta od 17 do 20 cm. Nakon završenog prosijavanja, potrebno je na tehničkoj vagi izvagati udio ukupnog uzorka zadržanog na svakoj pojedinačnoj površini sita i procentualno izraziti u odnosu na inicijalnu (početnu) masu (Tabela 2 i 3).

Tabela 2. Preporučena raspodjela veličine čestica voluminoznih krmiva i kompletno miješanih obroka prema preporukama Heinrichs (2013)

Table 2. Particle size distribution of forages and total mixed rations according to the recommendations of Heinrichs (2013)

Ekran Screen	Prečnik pore Pore size mm	Veličina čestica Particle size mm	Silaža Silage %	Sjenaža Haylage %	TMR %
Gornje sito Upper sieve	19,0	>19	3-8	10-20	2-8
Srednje sito Middle sieve	8,0	8-19	45-65	45-75	30-50
Donje sito Lower sieve	4,0	4-8	20-30	30-40	10-20
Dno Bottom	4,0	≤4	≤10	≤10	30-40

TMR – kompletno miješani obrok/total mixed ration

Tabela 3. Izračunavanje udjela pojedinih frakcija u uzorku i kumulativa (sume) procenta uzorka ispod navedenog sita

Table 3. Ratio calculation of individual fractions in the sample and the cumulative (sum) percentage of the sample below the specified sieve

Ekran <i>Screen</i>	Masa uzorka, g <i>Sample weight</i>	Udio frakcije, % <i>Fraction ratio</i>	Suma procenta ispod sita, %
Gornje sito <i>Upper sieve</i>	<i>A</i>	$X = A/E \times 100$	$F = 100 - (A/E \times 100)$
Srednje sito <i>Middle sieve</i>	<i>B</i>	$X = B/E \times 100$	$G = F - (B/E \times 100)$
Donje sito <i>Lower sieve</i>	<i>C</i>	$X = C/E \times 100$	$H = G - (C/E \times 100)$
Dno <i>Bottom</i>	<i>D</i>	$X = D/E \times 100$	0
Ukupna masa <i>Total weight</i>	<i>E</i>		

Za statističku obradu podataka korišten je IBM SPSS Statistics, statistički softverski paket (Windows ver 20). Rezultati uzoraka TMR obroka obrađeni su deskriptivnom statistikom i prikazani kao srednja vrijednost (aritmetička sredina) i standardna devijacija (\pm SD). Za testiranje statističke značajnosti razlika između dvije aritmetičke sredine korištena je jednofaktorijalna analiza varijanse i Fischerov LSD (Least significant difference) test.

REZULTATI I DISKUSIJA

Komercijalni TMR obrok se sastojao od uobičajenih krmiva za intenzivnu ishranu krava. U tabeli 4 su prikazane ishrambene vrijednosti krmiva i kompletno miješanog obroka (TMR). Relativno niži sadržaj SM u obroku ukazuje na značajnije učešće konzerviranih vlažnih krmiva poput kukuruzne silaže i travne sjenaže sa niskim sadržajem suhe materije (31,5% i 22,8%). Ovo potencijalno može biti ishrambeni problem za obrok jer može depresivno uticati na konzumaciju suhe materije (KSM). Najveći dio energetskog i proteinskog potencijala (sadržaj proteina i škroba), životinja podmiruje iz koncentratnih krmiva odnosno smjesa 1, 2, i 3, dok suha i vlažna konzrvirana krmiva značajno doprinose sadržaju vlakana i njenih frakcija. Svojim fizikalnim svojstvima značajno doprinose voluminoznošću obroka (tabela 1), te samim tim pozitivno utiču na fiziološke procese preživljanja i puferizacije (Stojanović i sar., 2011). Ovakvom strukturom, obrok u najvećoj mjeri podmiruje sve potrebe za ispitivanu kategoriju i proizvodni status mliječnih krava, uz manja odstupanja poredeći ih sa preporukama (NRC, 2001).

Tabela 4. Hemijski sastav i energetska vrijednost krmiva i kompletno miješanog obroka (na bazi SM)

Table 4. Chemical composition and energy value of feeds and total mixed ration (DM basis)

Pokazatelj Parameter	LS	KS	TS	KS1	KS2	KS3	TMR
Suha metrija, % Dry matter	94,5	31,5	22,8	87,0	87,6	89,1	46,2
Sirove bjelančevine, % Crude protein	5,4	7,2	6,6	22,6	25,5	41,8	14,7
Neutralna deterdženstka vlakna, % Neutral detergent fiber	58,1	41,2	68,4	12,8	14,3	14,7	36,0
Kisela deterdženstka vlakna, % Acid detergent fiber	38,0	26,0	42,8	5,7	7,2	7,5	17,5
Škrob, % Starch	-	28,3	-	35,2	34,5	8,0	29,1
Neto energija laktacije, MJ/kg SM Net energy for lactation	4,8	6,8	4,1	8,3	8,2	8,1	6,0

LS – livadno sijeno/grass hay; KS – kukuruzna silaža/corn silage; TS – travna silaža/haylage;
 KS1,2,3 – koncentratna smjesa 1,2,3/concentrate mixture 1,2,3; TMR – kompletno miješani
 obrok/total mixed ration, SM – suha materija/dry matter

Analiza fizikalnih svojstava TMR obroka je novija dopuna ishrambenoj formulaciji. Kada su u pitanju fizikalne karakteristike, analize su pokazale da se radi o obroku koji u najvećoj mjeri zadovoljava kvantitavne osobine distribucije čestica, sa nešto nižom vrijednošću prosječne veličine čestice (5,3 mm), što ga svrstava u nešto sitnije pripremljene obroke, sa potencijalno (rizičnim) negativnim implikacijama na probavne i proizvodne performase. Rezultati fizikalnih analiza TMR obroka generalno odgovaraju zahtjevima, odnosno 3,4%, 32,5%, 28,6% i 35,5% za sva četiri sita ulaze u referentne rangove prema Heinrichs (2013). Pravi efekti konzumacije ovakvog obroka bi se mogli sagledati posmatranjem pH vrijednosti buražnog sadržaja i sadržaja masti u mlijeku. Posmatrano kroz različite vremenske tretmane koje su prikazane u tabeli 5, fizikalne karakteristike pokazuju značajna statistička odstupanja kod svih ispitivanih parametara. Mjerenja u kasnijim intervalima neravnomjerno naglašavaju vrijednosti u prva dva, dok su vrijednosti za donja dva sita značajno reducirana. Pa je tako sadržaj veličine čestica rastao od 5,34 do 7,97 mm, frakcije >19mm 3,36% do 16,20%, i 8 mm od 32,53% do 38,97%, dok kod 4 mm frakcije opadao od 28,60% do 22,53% i <4 mm od 35,51% do 22,30%.

Tabela 5. Prosječna veličina čestica (mm) i raspodjela kompletno miješanog obroka obroka prema vremenskim intervalima izražena u postotcima ($\bar{x} \pm \sigma$)Table 5. Average particle length and distribution of total mixed ration according to feeding intervals ($\bar{x} \pm \sigma$)

Pokazatelj Parameter	Period nakon ishrane, sati Feeding period after, hours				P*
	0.	2.	4.	6.	
Veličina čestice, mm Particle size	5,34 ^a ±0,37	5,74 ^a ±0,34	6,64 ^b ±0,86	7,97 ^c ±0,46	0,000
Gornje sito, % Upper sieve	3,36 ^a ±0,90	4,28 ^a ±1,10	12,46 ^b ±1,43	16,20 ^c ±3,07	0,000
Srednje sito, % Middle sieve	32,53 ^a ±3,25	37,31 ^b ±2,13	38,59 ^b ±1,20	38,97 ^b ±0,56	0,017
Donje sito, % Lower sieve	28,60 ^a ±1,78	24,90 ^b ±0,95	23,80 ^b ±0,46	22,53 ^b ±1,71	0,003
Dno, % Bottom	35,51 ^a ±3,39	33,52 ^{ab} ±2,34	27,48 ^{bc} ±5,70	22,30 ^c ±1,00	0,007

* nivo značajnosti 0,05/significance level at 0.05; ^{a,b,c,d} različita slova u istom redu označavaju različite sredine tretmana/different letters in the same row denote different treatment means; \bar{x} – aritmetička sredina/arithmetic mean; σ – standardna devijacija/standard deviation

Uvidom u sadržaj gornjeg i srednjeg sita uglavnom se radi o dužim česticama voluminoznog dijela obroka u kojima dominira livadno sijeno i travna sjenaža sa primjesama krupnijih dijelova kukuruzne silaže. Srednje sito uglavnom sadrži manje čestice kukuruzne silaže (zajedno sa nagnječenim zrnom), dok dno uglavnom sadrži sitnije čestice koncentratnih smjesa. Ovakva raspodjela učešća pojedinih frakcija obroka kroz vremenske tretmane ukazuje na neravnomjernu konzumaciju pojedinačnih frakcija TMR obroka tj. pojavu selektivnog ishranbenog ponašanja životinja koje ciljano preferiraju sitnije, ukusnije i mekše dijelove uglavnom koncentratnog dijela obroka (Leonardi i sar., 2005; Kononoff i sar., 2003). Međutim, mnogo tačnije procjene o efektima fizičkih svojstava dokazuju se pokazateljima fizičke efektivnosti vlakana (peNDF). U tabeli 6 su prikazane vrijednosti navedenih parametara i one se kroz tretmane kreću od 13,0% do 26,7% za peNDF_{8mm} i 23,3% do 37,6% za peNDF_{4mm}. Vrlo slične rezultate distribucije pojedinih frakcija kod kompletnih obroka su u svom istraživanju utvrdili Stojković i sar. (2021), Hadžić (2020); Simoni i sar. (2021), Damery i sar. (2017) i dr. Za održavanje optimalne pH vrijednosti buraga (pH ≥ 6) i mliječne masti (3,4%), sadržaj peNDF_{4mm} treba da iznosi najmanje 20% SM, pogotovo ako se radi o visokokonzentratnim obrocima sa 50 do 60% SM (Mertens, 1997).

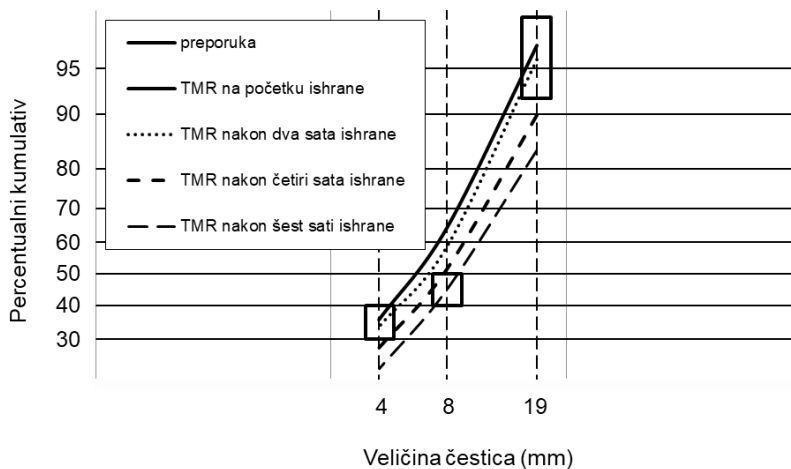
Tabela 6. Rezultati fizičke efektivnosti i efektivnih vlakana kompletno miješanih obroka kroz različite intervale ishrane ($x \pm \sigma$).

Table 6. Results of physical effectiveness and effective fiber for total mixed rations through different feeding intervals ($x \pm \sigma$)

Pokazatelj Parameter	Period nakon ishrane, sati Feeding period after, hours				P*
	0.	2.	4.	6.	
Pef _{8mm}	0,359 ^a ±0,04	0,412 ^a ±0,03	0,476 ^b ±0,05	0,537 ^c ±0,04	0,000
Pef _{4mm}	0,645 ^a ±0,03	0,663 ^a ±0,02	0,726 ^b ±0,04	0,770 ^c ±0,02	0,000
NDF, %	36,03 ^a ±2,26	38,40 ^{ab} ±1,63	41,77 ^b ±2,14	48,37 ^c ±0,91	0,000
peNDF _{8mm} , %	12,92 ^a ±1,39	15,82 ^b ±1,17	19,87 ^c ±2,01	25,99 ^d ±1,77	0,000
peNDF _{4mm} , %	23,25 ^a ±1,23	25,47 ^b ±0,79	30,32 ^c ±1,58	37,23 ^d ±0,77	0,000

* nivo značajnosti 0,05/significance level at 0.05; ^{a,b,c,d} različita slova u istom redu označavaju različite sredine tretmana/different letters in the same row denote different treatment means; x – aritmetička sredina/arithmetic mean; σ – standardna devijacija/standard deviation; pef – faktor fizičke efektivnosti kao udio čestica zaostala na 2 i 3 sita/physical effectiveness factor as the proportion of particles retained on 2 and 3 sieves; NDF – neutralna deterdžentska vlakna/neutral detergent fiber; peNDF – fizički efektivan NDF/physically effective NDF

Poredeći sa rezultatima ovog istraživanja može se zaključiti da TMR obroci dovoljno stimulišu aktivnost žvakanja i produkciju pljuvačke. Zebeli i sar. (2010) preporučuju da se vrijednosti peNDF_{8mm} za srednju i kasnu laktaciju trebaju iznositi minimalno 10,9-18,5%. Kad je u pitanju efektivnost vlakana na nivou 4 mm prema Mertens (1997) trebala bi iznositi minimalno 20%, a optimalno 22,3%. Vrijednosti peNDF_{4mm} su se kretale od 12,92% do 25,99%. Respektabilan broj studija pokazao je da je održavanje sadržaja NDF na nivou između 30% i 32% dovoljan da osigura sadržaj mliječne masti od 3,4%, bez obzira na izvor (porijeklo) škroba (Mertens, 1997; Kononoff i Heinrichs, 2003, Silveira i sar., 2007). Ovo istraživanje je pokazalo, a ujedno i potvrdilo da fizičko – hemijske karakteristike obroka prikazanog u tabeli 6 mogu održati koncentraciju mliječne masti značajno iznad 3,4%, obzirom da se u obroku sadržaj NDF-a kretao 36,03% na početku, do 48,37% na kraju ispitivanog perioda ishrane. Na grafikonu 1 se jasno vidi da postoje značajnija odstupanja fizikalnih karakteristika obroka kako vrijeme ishrane odmiče.



Grafikon 1. Odstupanja distribucije i veličine čestica kompletno miješanih obroka kroz vremenske intervale od preporučених vrijednosti
Graph 1. Deviations of the distribution and particle size of completely mixed meals over time intervals compared to the recommended values

Prema DeVries i sar. (2007) i Hosseinkhani i sar. (2008) sortiranje smanjuje nutritivnu vrijednost TMR obroka, što je posebno izraženo nakon nekoliko sati nakon serviranja, jer može predstavljati problem socijalno inferiornijim kravama u slobodnom sistemu držanja. Efekat selektivnosti se pojačava kod krava hranjenih obrocima sa većim sadržajem SM (>55%) iz voluminoznog dijela obroka i pod snažnim je uticajem fiziološkog stanja i faze laktacije (Leonardi i sar., 2005; DeVries i sar., 2007). Dosadašnja istraživanja o važnosti procjene efektivnosti mnogo je značajnija kod ishrane krava u ranoj fazi laktacije sa značajnijim udjelom (>50%) koncentratnim krmiva u obroku (Llonch i sar., 2020). Sadržaj suhe materije i sredina laktacije u ovom istraživanju ne ide u prilog ovakvoj konstataciji.

Tabela 7. Hemijski sastav i energetska vrijednost frakcija kompletno miješanih obroka po intervalima ishrane (na bazi SM; $x \pm \sigma$)

Table 7. Chemical composition and energy values of total mixed ration fractions by feeding intervals expressed (DM basis; $x \pm \sigma$)

Pokazatelj <i>Parameters</i>	Period nakon ishrane, sati <i>Feeding period after, hours</i>				P^*
	0.	2.	4.	6.	
Suha materija, % <i>Dry matter</i>	46,20 ^a $\pm 1,85$	45,80 ^a $\pm 2,15$	41,97 ^b $\pm 1,32$	41,20 ^b \pm 0,70	0,010

Sirove bjelančevine, % <i>Crude protein</i>	14,66 ^a ±0,25	13,32 ^b ±0,06	12,48 ^c ±0,27	11,71 ^d ± 0,23	0,004
Neutralna deterđžentska vlakna, % <i>Neutral detergent fiber</i>	36,03 ^a ±2,26	38,40 ^{ab} ± 1,63	41,77 ^b ±2,14	48,37 ^c ± 0,91	0,000
Kiselna deterđžentska vlakna, % <i>Acid detergent fiber</i>	17,51 ^a ±1,16	18,38 ^a ±1,07	20,30 ^b ±0,93	22,74 ^c ± 0,56	0,001
Škrob, % <i>Starch</i>	29,05 ^a ±0,75	27,53 ^b ±0,66	25,27 ^c ±0,36	22,32 ^d ± 1,10	0,000
Neto energija laktacije, MJ/kg <i>Net energy for lactation</i>	5,98 ^a ±0,08	5,89 ^{ab} ±0,07	5,78 ^b ±0,09	5,52 ^c ±0,03	0,000

* nivo značajnosti 0,05/significance level at 0.05; \bar{x} – aritmetička sredina/arithmetic mean; σ – standardna devijacija/standard deviation; ^{a,b,c,d} različita slova u istom redu označavaju različite sredine tretmana/different letters in the same row denote different treatment means

U tabeli 7 su prikazani rezultati fizičko-hemijskih analiza TMR obroka kroz vremenske intervale ispitivanja. Obzirom da su uzorci uzorkovani svaka dva sata, sadržaj suhe materije i hranjivih materija se signifikantno mijenjao ($P=0,000$). Sadržaj suhe materije se kretao od 46,20% na početku do 41,20% kod zadnjeg mjerenja. Primjetan pad sadržaja suhe materije u TMR može biti posljedica sortiranja i selekcije suhljih čestica koncentratnih krmiva koje imaju visok sadržaj suhe materije ($\approx 88\%$). Ovaj trend se može potkrijepiti descendentnim kretanjem sadržaja sirovog proteina (14,44-11,71%) i skroba (29,05-22,32%), te rastom sadržaja neutralnih (36,03-48,37%) i kiselih (17,51-22,74%) deterđžentskih vlakana. Dodatni, ali minorni efekat može biti i kontinuirano vlaženje TMR smjese pljuvačkom tokom perioda ishrane krava. U svakom od navedenih intervala posmatranja sadržaj suhe materije u TMR smjesama nalazi se na donjoj granici ili je nešto niži od optimalnih vrijednosti (45-55%). Obzirom na preporuke konzumacije suhe materije (KSM), obrok prikazan u tabeli 4 i 7 ne sadrži dovoljne količine suhe materije, iako teoretski može odstupati do 10% od preporučenog. Tome u prilog pokazuje i nešto niži sadržaj neto energije obroka (6,0-5,5 MJ/kg). NRC preporučuje da koncentracija energije u obroku bude oko 7 MJ/kg.

Tabela 8. Hemijski sastav i energetska vrijednost TMR obroka na različitim promjerima PSPS sita ($\bar{x}\pm\sigma$)

Table 8. Chemical composition and energy value of TMR on different PSPS sieve diameters ($\bar{x}\pm\sigma$)

Pokazatelj <i>Parameter</i>	>19 mm	8-19 mm	4-8 mm	<4 mm	P^*
Suha materija, % <i>Dry matter</i>	39,73 ^a ± 2,47	40,34 ^a ± 1,82	41,29 ^a ± 2,25	45,88 ^b ± 1,04	0,003
Sirove bjelančevine, % <i>Crude protein</i>	9,46 ^a ±0,77	9,51 ^a ±0,57	11,40 ^b ± 0,75	16,94 ^c ± 0,75	0,000
Neutralna deterđžentska vlakna, % <i>Neutral detergent fiber</i>	54,94 ^a ± 3,30	45,86 ^b ± 3,20	40,74 ^c ± 2,50	32,89 ^d ± 2,21	0,000
Kiselna deterđžentska vlakna, % <i>Acid detergent fiber</i>	30,84 ^a ± 2,07	21,38 ^b ± 1,29	19,58 ^c ± 1,05	12,57 ^d ± 0,54	0,000

Škrob, % <i>Starch</i>	9,24 ^a ±3,00	22,07 ^{b±} 2,27	24,47 ^{c±} 1,78	36,12 ^{d±} 1,72	0,000
Neto energija laktacije, MJ/kg <i>Net energy for lactation</i>	5,59 ^a ±0,19	5,88 ^b ±0,21	6,01 ^{bc} ±0,23	6,99 ^d ±0,27	0,000

* nivo značajnosti 0,05/significance level at 0.05; ^{a,b,c,d} različita slova u istom redu označavaju različite sredine tretmana/different letters in the same row denote different treatment means; x – aritmetička sredina/arithmetic mean; σ – standardna devijacija/standard deviation

Također u tabeli 8 su prikazane vrijednosti fizičko-hemijskih parametara pojedinačnih frakcija, na osnovu koje se može vidjeti da značajan udio suhe materije, sirovog proteina i škroba je sadržan u frakcijama na donjem situ i dnu sita kao najsitnije frakcije. S druge strane krupnije frakcije čestica TMR obroka koje su zadržane na srednjem i gornjem situ su bogatije neutralnim i kiselim deterdžentskim vlakanim, a koje značajno utiču na fizičku efektivnost obroka. Ekstremno nizak unos može ukazivati na promjenu kvaliteta krmiva ili strukture obroka. Ključ za pravilno formulisanje kompletno miješanog obroka je optimizacija konzumacije suhe materije (Heinrichs i Kmicikewycz, 2016). Preferencijalno konzumiranjem koncentratnih krmiva iz obroka pokazalo je opadanje sadržaj sirovog proteina i škroba nakon svakog drugog sata uzorkovanja, što je uticalo na smanjenje sadržaj suhe materije u ostatku obroka. Sadržaj sirovog proteina iz TMR-a na početku konzumiranja obroka iznosio je 14,67%, dok je šesti sat nakon hranjenja iznosio 11,71%. Eksperimentalni obrok je sadržavao više NDF-a i ADF-a, kao djelimično probavljivih materija. Prema NRC preporukama za mliječne krave iz 2001. (Linn, 2003), nutritivna vrijednost TMR obroka za srednju fazu laktacije skoro pa odgovara preporučenim vrijednostima. Naime, sadržaj sirovog proteina u obroku za krave u srednjoj fazi laktacije je nešto niži, sadržaj NDF je za 3% viši, ADF nešto manji, dok je sadržaj škroba za 2% nešto viši od preporučenih vrijednosti. U konačnici, nutritivna vrijednost TMR obroka korištenih u ovom radu, značajno ne odstupaju od NRC preporuka. Tabela 8 pokazuje trend kretanja sadržaja pojedinih hranjivih materije u esperimentalnom obroku kroz ispitivane intervale. Škrob je važna komponenta TMR-a i uglavnom vodi porijeklo iz koncentratnih smjesa i kukuruzne silaže, a imao je opadajući trend kroz vremenske intervale od 29,05% do 22,33%. S obzirom da je značajan dio neto energije sadržan u škrobu, pozitivno korelira sa rezultata neto energije. Sadržaj suhe materije u dijelu obroka na gornjem situ (>19 mm) iznosila je 39,73%, dok se smanjenjem veličine čestica povećavala i na dnu sita iznosila 45,88%. Veći sadržaj SM u nižim frakcijama obroka i njihova značajnija konzumacija je glavni razlog opadanja sadržaja SM u TMR obroku kroz ispitivane intervale. Obzirom da frakcija TMR-a koja ostaje na dnu sita sadrži sitne čestice obroka, odnosno u najvećoj mjeri koncentrate, kao rezultat se javlja povećana konzumacija proteina. Sadržaj sirovog proteina na gornjem situ (>19 mm) iznosio je 9,85%, dok je donja najsitnija frakcija sadržavala 17,53% SP, tj. sa smanjenjem veličine čestica, sadržaj sirovog proteina je rastao. NDF i ADF vlakna kao djelimično probavljiva ili neprobavljiva komponenta obroka najviše su se akumulirale na gornjem i srednjem situ, te se sa smanjenjem veličine čestica i njihova koncentracija smanjuje. Sadržaj neto energije najviše je zastupljen u frakcijama zaostale na donjem i dnu sita i iznose 6,01 MJ/kg SM

odnosno 6,99 MJ/kg SM, jer se radi uglavnom o frakcijama koje sadrže lahko probavljivi škrob porijeklom iz koncentratih krmiva (Tabela 8).

ZAKLJUČAK

Istraživanjem su utvrđene značajne statističke razlike između konzumirane hrane kroz ispitivane vremenske intervale, po svim ispitivanim hemijskim i parametrima fizičke efektivnosti. Ovakvi rezultati navode na zaključak o umjerenoj pojavi preferencijalnog sortiranja TMR obroka. Analizom strukture obroka dokazan je voluminozni karakter potpuno kompletnog obroka (>50%), što je karakteristično za ishranu krava u srednjoj fazi laktacije. Na početku ishrane, krave su u najvećoj mjeri konzumirale sitnije, mekše i ukusnije frakcije TMR iz koncentratnih smijesa, a zatim krupnije, grublje čestice voluminoznog dijela obroka pri kraju posmatranog perioda. Na osnovu povećanja sadržaja vlaknastih komponenata obroka kroz ishrambeni period, na šta ukazuju i parametri pef i peNDF, može se pretpostaviti o značajnijoj stimulaciji žvakanja i preživanja što je ključalno za održavanje normalne buražne fermentacije. Utvrđena prosječna veličina čestica, svrstala je obrok u fino mljeveniji što nije poželjna forma pripreme.

Istraživački rad je izvod iz master teze studentice Anise Parić. Ovom prilikom upućujemo veliku zahvalnost na podršci i ustupljenim resursima rukovodstvu i uposlenicima mliječne govedarske farme „Spreča“.

LITERATURA

- Beigh, Y.A., Ganai, A.M., Ahmad, H.A. (2017). Prospects of complete feed system in ruminant feeding: A review. *Veterinary World*. 10(4): 424-437. DOI: <https://10.14202/vetworld.2017.424-437>
- Coppock, C.E., Bath, D.L., Harris, B. (1981). From Feeding to Feeding Systems. *Journal of Dairy Science*, 64(6), 1230–1249. DOI: [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(81\)82698-7](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(81)82698-7)
- Damery, T., Pate, R., Cardoso, P. (2017). Are you correctly defining physically effective fiber (peNDF) in your cow's diet? *Dairy Nutrition and Reproduction*. Department of Animal Sciences.
- DeVries, T.J., Beauchemin, K.A., Von Keyserlingk, M.A.G. (2007). Dietary Forage Concentration Affects the Feed Sorting Behavior of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5572–5579. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0370>
- Hadžić, Dž. (2020). Sadržaj isparljivih masnih kiselina u rumenu mliječnih krava u zavisnosti od veličine čestica obroka i uticaj na proizvodno – kvalitativne parametre mlijeka. Doktorska disertacija. Poljoprivredno–prehrambeni fakultet, Univerzitet u Sarajevu.

- Heinrichs J., Kmicikewycz, A. (2016). Total mixed rations for dairy cows. College of Agricultural Sciences, The Pennsylvania State University, 323 Agricultural Administration Building, University Park, PA 16802
- Heinrichs, J. (2013). The Penn State Particle Separator. Penn State Extension DSE 2013-186.
- Hosseinkhani, A., DeVries, T. J., Proudfoot, K.L., Valizadeh, R., Veira, D.M., Von Keyserlingk, M.A.G. (2008). The Effects of Feed Bunk Competition on the Feed Sorting Behavior of Close-Up Dry Cows. *Journal of Dairy Science*, 91(3), 1115–1121. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0679>
- International Organization for Standardization (ISO) for Animal feeding stuffs, 5983-1:2005 Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content - Part 1, 5983-2:2009 Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content - Part 2, 6497:2002 Sampling, 6496:1999 Determination of moisture and other volatile matter content, 13906:2008 Determination of acid detergent fibre (ADF) and acid detergent lignin (ADL) contents, 16472:2006 Determination of amylase-treated neutral detergent fibre content (aNDF), 6498:2012 Guidelines for sample preparation, 6493:2000 Determination of starch content - Polarimetric method, 5984:2022 Determination of crude ash.
- Kononoff, P.J., Heinrichs, A.J. (2003). The Effect of Corn Silage Particle Size and Cottonseed Hulls on Cows in Early Lactation. *Journal of Dairy Science*, 86, 2438-2451. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73838-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73838-7)
- 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* 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)
- Lammers B.P., Buckmaster, D.R., Heinrichs, A.J. (1996). A Simple Method for the Analysis of Particle Sizes of Forage and Total Mixed Rations. *Journal of Dairy Science*, 922-928. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76442-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76442-1)
- Leonardi, C., Shinnors, K.J., Armentano, L.E. (2005). Effect of Different Dietary Geometric Mean Particle Length and Particle Size Distribution of Oat Silage on Feeding Behavior and Productive Performance of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72734-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72734-X).
- Linn, J.G. (2003). Energy in the 2001 Dairy NRC: Understanding the System. Proceedings of the Minnesota Dairy Health Conference College of Veterinary Medicine, University of Minnesota.
- Linn, J.G. (1995). Dairy Update: TMR Strategies to Optimize Rumen Fermentation, Balancing Rations for Carbohydrates and Protein, University of Minnesota, Department of Animal Science, Issue 120.
- Llonch, L., Castillejos, L., Ferret, A. (2020). Increasing the content of physically effective fiber in high-concentrate diets fed to beef heifers affects intake, sorting behavior, time spent ruminating, and rumen pH. *Journal of Animal Science*, 98(6),1-9. DOI: <http://doi.org/10.1093/jas/skaa192>

- Mertens, D.R. (1997). Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 1463-1481. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
- National Research Council (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Edition, National Academic Press, Washington DC, USA.
- Silveira, C., Oba, M., Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. (2007). Selection of barley grain affects ruminal fermentation, starch digestibility, and productivity of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2860–2869. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-771>.
- Simoni, M., Canepa, A., Pitino, R.G., Quarantelli, A., Righi, F. (2021). Digestibility and sorting of hay-based total mixed rations employed in the Parmigiano-Reggiano area as affected by dietary particle size distribution. *Large Animal Review*, 27(3), 123–132. <https://www.largeanimalreview.com/index.php/lar/article/view/185>.
- Stojković, B., Stojanović, B., Đorđević, N., Grubić, G., Davidović, V., Božičković, A., Raković, R. (2021). Uticaj usitnjenosti kompletnog obroka za krave u laktaciji na vreme konzumiranja i preživljanja hrane i hemijski sastav mleka. Zbornik radova. DOI: <https://10.46793/SBT26.167S>
- Stojanović, B., Grubić, G., Božičković, A. (2016). Značaj i efekat fizičke efektivnosti vlakana u obrocima za visokoproizvodne mlečne krave. In book: Optimizacija tehnoloških postupaka i zootehničkih resursa na farmama u cilju unapređenja održivosti proizvodnje mleka, 121-136. Publisher: Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni Fakultet.
- Stojanović, B., Grubić, G., Đorđević, N., Božičković, A., Ivetić, A. (2011). Uticaj sadržaja fizički efektivnih vlakana u obroku za mlečne krave na aktivnost žvakanja. Zbornik naučnih radova, 2011, Vol. 17, br. 3-4, 37-48.
- Weiss, W.P. (1998). Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 81(3):830-9. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75641-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75641-3)
- Zebeli, Q., Mansmann, D., Ametaj, B.N. *et al.* (2010). A Model to Optimise the Requirements of Lactating Dairy Cows for Physically Effective Neutral Detergent Fibre. *Archives of Animal Nutrition*, 64(4), 265-278. DOI: <https://doi.org/10.1080/1745039x.2010.486603>

THE EFFECT OF PHYSICAL EFFICIENCY OF FIBER ON THE CONSUMPTION AND SELECTION OF COMPONENTS OF TMR RATION FOR LACTATING COWS

Abstract

Total mixed ration (TMR) consists of many different nutrients contained in feeds of various origins, of a certain amount and composition, mixed into one meal. This structure of the meal began to be used due to the ability of animals to choose parts of the meal during feeding, preferring smaller and more digestible particles. By using TMR meals, animals are limited in their ability to select food, especially hay and silage, which is very important in the process of digestion and breakdown of food. Physically effective fibers are important for the prevention of various health disorders, chewing activity, rumen fermentation, pH value of rumen content, and fat content in milk. To determine the degree of selection of individual fractions of the TMR ration through time intervals, it is necessary to carry out appropriate experimental tasks such as sampling and fractionation of the TMR ration and different chemical analyses of nutrients in the completely mixed ration. Based on the analysis, it can be determined how much the physical effectiveness of fibers affects the consumption and selection of certain components of the TMR. Although TMR is a complete meal, various analyses have determined that selectivity still occurs on the part of cows in the mid-lactation phase, which consumed the smallest, more digestible food particles to the greatest extent. The $\text{peNDF}_{8\text{mm}}$ content ranged from 12.92 to 25.99%, while the $\text{peNDF}_{4\text{mm}}$ content varied from 23.25 to 37.23% throughout the feeding period. Such a dynamics of nutrition showed that in the first hours of nutrition, the most concentrated part of the TMR meal is consumed, followed by hay and silage that encourages chewing and rumination of food. This way of consuming feeds is a consequence of uneven nutrition, after which there are changes in the conditions of digestion in the rumen. The analysis of the experimental TMR ration proved the voluminous character of the ration, which, based on the average length of the particles, was classified as a finely ground ration. In addition to the aforementioned analyses, for more precise assessments of the physical effectiveness of TMR rations, additional tests can be included, such as measuring the pH value in the rumen and measuring the content of various parameters of milk, especially milk fat.

Keywords: *total mixed ration (TMR), selection, physically effective fibers, physical effectiveness*