

FIZIKALNE ZAKONITOSTI U POSTUPKU MIJEŠANJA KRMNIH SMJESA PHYSICAL PROCESSES IN FEED MIXING

S. Plietić, Z. Katić

Pregledno znanstveni članak

UDK: 636.085.6

Primljeno: 20. svibanj 2003.

SAŽETAK

U zadnjih desetak godina kod nas je učestala izgradnja mješaonica krmnih smjesa manjih kapaciteta. Miješanje se u njima ne vrši samo za vlastite potrebe, što bi im trebala biti glavna namjena, već su preuzele i velik dio proizvodnje krmnih smjesa prijeratnih velikih tvornica.

Time je postignuto osuvremenjavanje proizvodnje krmnih smjesa u okviru obiteljskih gospodarstava, načinjen je znatan iskorak, poglavito u tehničkom smislu. Nažalost, visoki investicijski troškovi kojima naše obiteljsko gospodarstvo i malo poduzetništvo nije moglo odgovoriti, skupa modernizacija, spriječili su i sprječavaju znatnije pomake u osuvremenjavanju takvih mješaonica. Iz toga se može zaključiti da one neće predstavljati značajnu konkurenciju velikim proizvođačima, a dokaz da je tomu tako je stanje svjetske proizvodnje i tržišta krmnih smjesa. Izlaz je u udruživanju i specijalizaciji pojedinih manjih proizvođača.

Drugi je problem što većina ljudi u tim postrojenjima nije dovoljno stručan za rad, njihovo se znanje većinom svodi na praktična iskustva, na metodu pogodaka i pogrešaka.

Ovaj rad doprinosi spoznaji fizikalnih zakonitosti u postupku miješanja pri procesu proizvodnje krmnih smjesa.

UVOD

Izgradnjom malih mješaonica krmnih smjesa u Republici Hrvatskoj postignuto je osuvremenjavanje proizvodnje krmnih smjesa u okviru obiteljskih gospodarstava. No, navedene ne proizvode samo za vlastite potrebe i kooperante, što bi im trebala biti glavna namjena, već su preuzele i velik dio proizvodnje krmnih smjesa prijeratnih velikih mješaonica. Mnoge od njih ne koriste žitarice iz vlastite proizvodnje, i stoga bi im najmanja godišnja proizvodnja za ekonomičan rad morala biti veća od 700 tona. Ne ulazeći u recepturu i kakvoću sastava krmne smjese, potrebno je razmotriti postupak

miješanja i izmiješanost tako proizvedene krmne smjese. Često, navedena postrojenja koriste vrlo jedno-stavnu opremu koja ne omogućava širok raspon korištenja tehnoloških postupaka kojima se krmna smjesa uobičajeno priprema.

Postupkom miješanja stvara se homogena masa, koja se sastoji od komponenata različitih fizikalnih i kemijskih svojstava. Jednoličnost i ujednačenost su mjerila kakvoće neke krmne smjese.

Dr. sc. Stjepan Plietić, docent, Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Zagreb, Dr. sc. Zvonko Katić, redoviti profesor u mirovini, Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska - Croatia.

Proces miješanja moguće je promatrati kroz dva dijela:

Sirovine - moraju biti u takvom stanju, s obzirom na svoju veličinu, da osiguravaju jednolično raspoređivanje u masi, bez obzira o kojoj se masenoj količini radi (1,5, 10,25,50 kg)

Krmna smjesa - mora biti stabilna da se pojedini sastojci krmne smjese pravilno raspoređuju do konačne uporabe (hranidba).

PREGLED LITERATURE

Sobota (1978.) proučava gubitke nastale tijekom procesa proizvodnje krmnih smjesa. Na temelju tih istraživanja utvrđuje da peletirana hrana smanjuje gubitke i rasipanje.

Marr (1982.) istražuje mjesta dekomponiranja krmne smjese u tvornicama krmnih smjesa. Navodi, također, kako smanjiti problem raslojavanja, ujednačiti veličinu čestica pojedinih sastojaka smjese, uporabiti tekućinske dodatke za praškaste i sitnozrne sastojke.

Plietić (1985.) primjenjuje granulometrijsku analizu za utvrđivanje dekomponiranja krmnih smjesa u sustavu rukovanja i transporta.

Plietić (1992.) utvrđuje da peletirana hrana u znatnoj mjeri pridonosi smanjivanju raslojavanja tijekom rukovanja, te da se tako sprječava odvajanje sastojaka krmne smjese.

Plietić (1994.) istražuje primjenu modificiranog ambalažno-transportnog oblika - "kontejner vreća" u proizvodnji krmnih smjesa. Takav modificirani ambalažno-transportni oblik uslijedio je smanjenjem raslojavanja krmnih smjesa tijekom transporta.

Wilcox i Balding (1996.) utvrđuju mjesta raslojavanja tijekom manipulacije i transporta, te procesnih operacija tijekom proizvodnje krmnih smjesa. Utvrđuju da je moguće ponovno parcijalno miješanje tijekom procesa transporta.

Katić (1998.) navodi da trešnjom u nekim posudama u kojima se nalazi granulat različitih veličina čestica, dolazi do izdvajanja čestica i njihove separacije prema veličini. Također navodi da će se izmiješana krmna smjesa tijekom transporta u vozilu razdvojiti po granulaciji zbog vibracija nastalih kretanjem vozila.

Van Kempen i sur. (2001.) istražuju utjecaj odvage komponenata i miješanja na kakvoću krmne smjese. U tom istraživanju obradili su 14 tvornica krmnih smjesa s 8432 podatka odvaga, odnosno 229 podataka po komponenti. Utvrdili su da je prekomjerno dodavanje sastojaka u mješalicu bilo u rasponu od 1,5 do 16,3%. Odvage su, unutar skupa komponenti, varirale od 0,6 do 11,1%. Utvrdili su da su se problemi odvaga javljali zbog (ne)preciznosti vaga. Također su utvrdili da odvaga komponenti na odgovarajućoj vagi ne mijenja kakvoću krmne smjese, ali utječe na troškove proizvodnje.

Willis (2002.) ispituje kakvoću krmnih smjesa u vertikalnim mješalicama. U istraživanjima uspoređuje putem koeficijenta varijacije (CV) mješalicu staru godinu dana s radom mješalice stare 27 godina. Mješalice su istog tipa i principa rada. Utvrđuje da CV rapidno pada u prve tri minute miješanja, ali ne ispod 10%. Također preporučuje da trajanje miješanja za vertikalnu mješalicu s jednom pužnicom bude između 10 i 15 minuta. U ispitivanju stare mješalice došla je do poražavajućih rezultata. Nakon 15 minuta miješanja još uvijek je CV bio u rasponu od 35 do 40%, na temelju čega zaključuje da miješanja uopće nema.

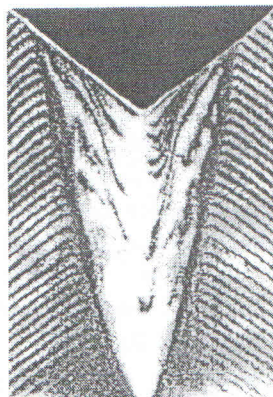
PROBLEMATIKA

Kada se iz posude sipa smjesa kukuruzne prekrupe i natrijevog klorida (NaCl - kuhinjska ili kamena sol) tvori se stožac na kojem se može uočiti da povremeno tijekom sipanja mijenja boju. Povremeno je na površini kukuruzna prekrupa, a povremeno bijela sol. Kada se isto čini između dvije staklene ploče, može se uočiti da su se čestice prekrupe i soli razdvojile po slojevima kako je vidljivo i na slici 1. (Ute, 1998.).

Veće čestice prekrupe kotrljaju se preko sitnijih do dna kosine. Na dnu se zaustave i stvaraju branu na koju se naslanjaju nadolazeće čestice i slažu prema vrhu. To se odvajanje ponavlja s česticama jednog i drugog sastojka smjese i tako nastaju slojevi kao na slici 1. Iz iskustva je poznato da će se trešnjom, vibracijom neke posude u kojoj je smjesa različitih veličina čestica, na vrhu izdvojiti čestice većih dimenzija, dok će sitnije i prah ostati pri dnu.

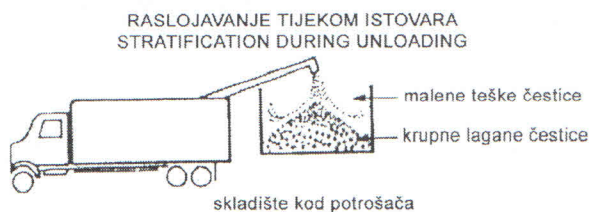
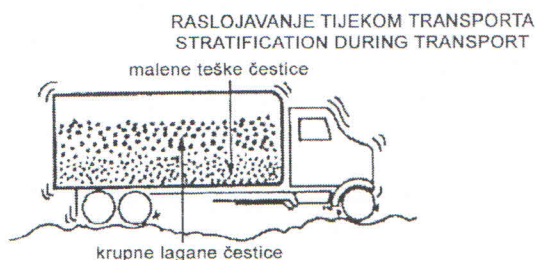
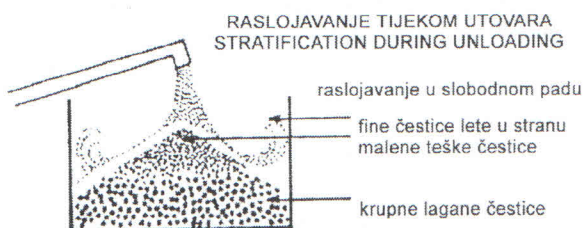
Slika 1. Razdvajanje granulata tijekom nasipavanja stošca (Ute, 1998.)

Figure 1. Granules separation during cone filling (Ute, 1998.)



Slika 2. Mjesta i postupci bitna za raslojavanja krmne smjese (Marr, 1982.)

Figure 2. Places and processes important for feed mixture stratification (Marr, 1982.)

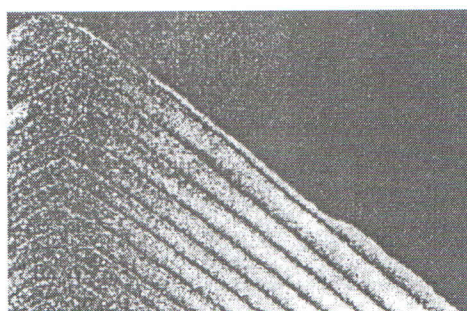


Izmiješana krmna smjesa tijekom transporta u vozilu koje se kreće i trese također će se razdvojiti po granulaciji. Slična pojava može se uočiti kada iz posude (ili silosa) kroz otvor na dnu istječe granulata

koji je u posudi slojevito razasut. Prvo će se u središtu silosa stvoriti lijevak koji će dopunjavati slojevi krmne smjese (granulata) sa strane. Tijekom pražnjenja takvog spremnika može se očekivati donekle ublaživanje ranije nastalog raslojavanja, tako da će istjecati donekle promiješana krmna smjesa, ukoliko ponovno ne tvori stožac (slika 3.).

Slika 3. Raslojen sadržaj silosa donekle se miješa pri istjecanju iz silosa

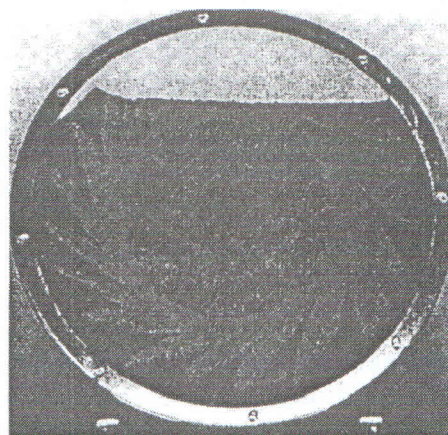
Figure 3. Stratified silo content is to some degree mixed while flowing out of silo



Mijenja li se u bubnju smjesa granulata različitih veličina čestica, kod punog bubnja se tijekom okretanja na površini stvaraju lavine krupnih čestica, kao i kod stvaranja stošca. U takvim se uvjetima sadržaj ne može ispravno izmiješati. Slika 4. pokazuje slojeve u krmnoj smjesi i donekle izmiješan sadržaj samo u središnjem dijelu bubnja.

Slika 4. Slojevito razmješavanje krmne smjese u prepunjenom bubnju mješalice

Figure 4. Stratified shifting of feed mixture in overfilled mixer drum



Iz navedenih primjera vidljivo je da je vrlo teško ili skoro nemoguće trajno izmiješati čestice s velikom razlikom između fizikalnih osobina pojedinih sastojaka krmne smjese. Dakle, u proizvodnji krmnih smjesa treba težiti što većoj ujednačenosti čestica. To se donekle može postići mljevenjem u posebno opremljenim mlinovima čekićarima novijih konstrukcija i mljevenjem mlinovima s valjcima koji se, radi cijene, rijetko koriste u mješaonicama krmnih smjesa.

TEORIJSKE OSNOVE MIJEŠANJA

Fizikalna svojstva koja utječu na miješanje sastojaka krmne smjese su:

- veličina čestica materijala (sastojaka krmne smjese)
- oblik čestica
- stanje površine čestica
- gustoća (specifična masa)
- higroskopičnost
- adhezija
- elektrostatički naboj
- odnos miješanja

Najvažniji su veličina čestica, oblik i gustoća. Kao što je već rečeno, miješanje je to kvalitetnije što su fizikalna svojstva svih sastojaka (komponentata) približno ista. Razlika u fizikalnim svojstvima stvara probleme u miješanju i dekomponiranju krmne smjese.

Koliko će se sastojci moći teorijski, a koliko stvarno međusobno izmiješati, bez obzira na sustav miješanja, ovisi o razlici u veličini pojedinih čestica i međusobnog odnosa pojedinih sastojaka. Nije isto ako se miješaju dva sastojka čiji je odnos mase 1:1 ili 1:2, odnosno srednja veličina čestica oba sastojka ista ili jednog sastojka 0,5 mm, a drugog 0,05 mm. Također nije isto ako je gustoća oba sastojka ista ili jednog sastojka 0,7 a drugog 1,3.

Veliku važnost za dobro miješanje ima i jednolikost veličine čestica u granulatu (prekrupi). Izračun srednje veličine čestica dobiva se iz tzv. "granulometrijske analize", prosijavanjem uzorka krmne smjese na sitima s različitim otvorima prema

određenim normama. Koliko su u prekrupi čestice zastupljene po različitim veličinama pokazuje modul ujednačenosti "Mu" koji predstavlja odnos između količina sitnih, srednjih i krupnih čestica izraženih u (%). Primjerice, Mu= 49:32:19 znači da u krmnoj smjesi ima 49% sitnih, 32% srednjih i 19% krupnih čestica. Kada je krmna smjesa ujednačenih veličina čestica, tada je broj količine srednjih čestica u modulu ujednačenosti velik, dok su sitni i krupni udjeli mali. Primjerice, Mu= 10:75:15, znači da je u krmnoj smjesi 75% čestica srednje veličine, a 10% sitnih i 15% krupnih. Takva se krmna smjesa lakše miješa i teže raslojava, i tijekom transporta i premještanja, u odnosu na krmnu smjesu modula ujednačenosti Mu=50:30:20.

Rad neke mješalice ne ovisi samo o njenoj konstrukciji nego i o fizikalnim osobinama sastojaka (komponenti). Glavni čimbenici koji su vezani uz rad mješalice su:

- trajanje (vrijeme) miješanja
- krmna smjesa (kvalitetna) nastala miješanjem sirovina različitih fizikalnih osobina
- učinci uporabe različitih razrjeđivača pred-smjese

U teorijskom razmatranju postupka miješanja veliku važnost imaju mješalice s posudom koja se okreće. Ovakve mješalice miješaju prebacivanjem krmne smjese odnosno čestica unutar mješalice, nasipavanjem slojeva i slobodnim padom. Povećavanjem brzine vrtnje počinje dinamičko kretanje čestica, odnosno "bacanje čestica" pa se kod još veće brzine vrtnje materijal (granulat) prestaje miješati jer se učvrstio uz stijenke posude zbog djelovanja centrifugalne sile. Kod takvih mješalica za kvalitetno miješanje, izuzetno je važna brzina vrtnje. Način međusobnog razmještanja i razvrstavanja čestica može se iskazati Froudeovim brojem:

$$Fr = \frac{R\omega^2}{g} \quad 1$$

$$Fr = R\omega^2/g$$

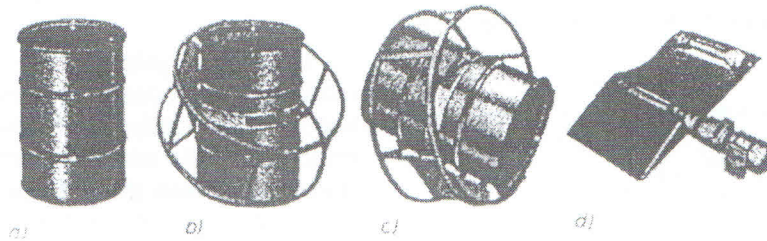
Fr = Froudeov broj bez veličine

R = polumjer kretanja (m)

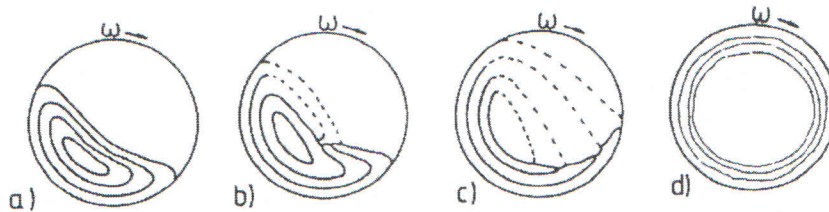
ω = kutna brzina (1/sec)

g = gravitacija

Slika 5. Jednostavna mješalica u obliku bubnja na elektromotorni pogon
 Figure 5. Simple mixer in the drum form driven by electromotor

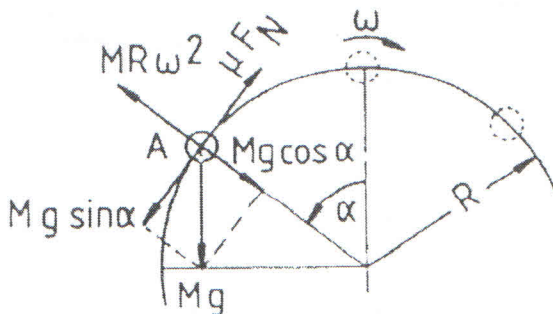


Slika 6. Prikaz slojeva unutar bubnja tijekom njegovog okretanja
 Figure 6. Display of layers in the drum while it is rotating



Sve mješalice smiju biti samo djelomično napunjene kako bi se omogućilo premještanje česticama unutar mješalice. Odnos volumena prazne mješalice naspram obujma materijala u mješalici je stupanj punjenja " ϕ ". Najčešće je " ϕ " između 0,3 i 0,6.

Slika 7. Dijagram sila koje djeluju na česticu prilikom okretanja bubnja
 Figure 7. Diagram of forces acting on particles while respect to drum filling



Tijekom miješanja u bubnju, koji se polagano okreće, čestice se nakon određenog puta prebacuju jedne preko drugih, i predstavljaju tzv. "slojevito

prebacivanje" (slika 6 "a"). Površina mase u mješalici zauzima kosi položaj. Povećavanjem brzine vrtnje " n " nagib postaje veći - strmiji. Daljnjim povećavanjem brzine vrtnje slojevito prebacivanje prelazi djelomično u vrtložno (b), da bi ubrzavanjem okretanja postalo vrtložno bez slojeva (c). Još većom brzinom vrtnje kod tzv. "kritične brzine" čestice ostaju priljepljene uz bubanj uslijed porasta centrifugalne sile (d).

Gibanje čestica ovisno je o silama koje na njih djeluju. (Slika 7.) Ravnoteža između gravitacije i centrifugalne sile nastaje u trenutku kada su zadovoljeni uvjeti jednadžbe:

$$MR\omega_{kr}^2 = Mg \quad 2$$

Za ovo "kritično" stanje Froudeov broj ima vrijednost 1, tako da slijedi:

$$Fr_{kr} = \frac{R\omega^2}{g} = 1 \quad 3$$

Za kritičnu vrijednost je i kritični broj okretaja čestice prema slijedećem izrazu:

$$n_{kr} = \frac{1}{2\pi} \omega_{kr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}} \quad 4$$

Kod malog broja okretaja sila gravitacije ne dozvoljava česticama da dosegnu maksimum, pa se čestice odvajaju u točki "A" (slika 7.). Položaj točke "A" određen je kutom $\alpha = \alpha_0$. Izjednače li se izrazi slijedi:

$$M R \omega^2 = M g \cos \alpha_0$$

$$\cos \alpha_0 = \frac{R \omega^2}{g} = Fr \quad 5$$

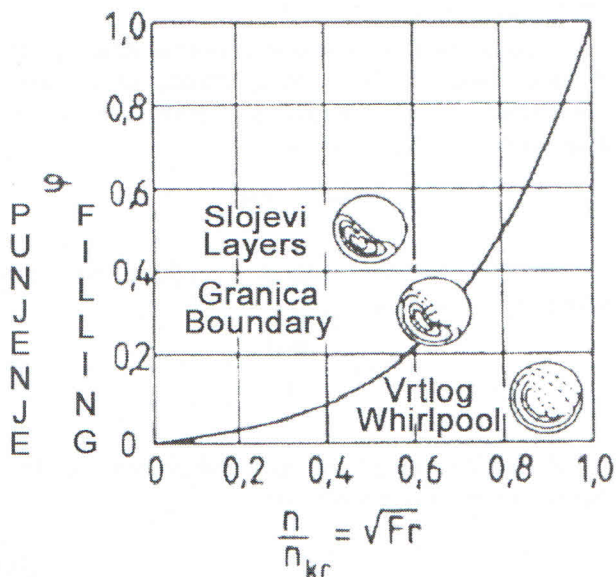
Iz odnosa stvarnog i kritičnog broja okretaja može se izračunati i Froudeov broj i zaključiti kada dolazi do prijelaza iz slojevitog u vrtložno miješanje.

$$\frac{n}{n_{kr}} = \frac{\frac{\omega}{2\pi}}{\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}} = Fr \quad 6$$

Na slici 8. prikazan je odnos prelaska iz slojevitog u vrtložno miješanje, izraženo odnosom stupnja punjenja mješalice i Froude-ovog broja Fr .

Slika 8. Kritični broj okretanja mješalice u odnosu na napunjenost bubnja

Figure 8. Critical number of mixer spins with respect to drum filling

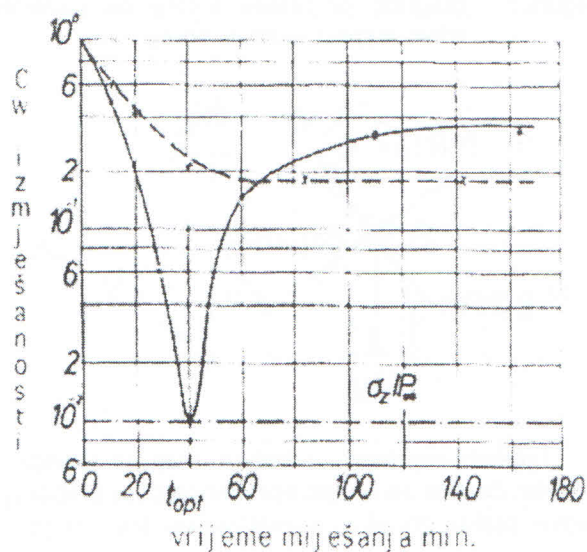


Iz ovih razmatranja moguće je uočiti da ni kod jednostavnog sustava miješanja u bačvi nije svejedno kako će se brzo bačva "mješalica" okretati i koliko će u njoj biti materijala.

Vrijeme miješanja za jedan tip mješalice različito je u procesu miješanja različitih sastojaka, kao i njihovih međusobnih odnosa. U mješalicama s premještanjem sastojaka međusobnim prisilnim guranjem čestica (pomoću pužnica-spirala, lopatica ili sl.), izmiješanost se povećava do trena kada je dosegnuta najbolja moguća izmiješanost za tu krmnu smjesu. Potom se krmna smjesa daljnjim miješanjem razmješava i nakon nekog vremena opet poboljšava izmiješanost. Trajanje miješanja, do postizanja optimalnog miješanja, nije isto za sve tipove mješalice, ni u slučaju kada sve miješaju posve krmnu smjesu s istim odnosom miješanja i istim osobitostima svakog sastojka krmne smjese. To se najbolje može uočiti iz slike 9. na kojoj je pokazan dijagram miješanja istog odnosa dvaju mineralnih sastojaka krmne smjese s različitim srednjim veličinama čestica i malom razlikom među specifičnim masama čestica.

Slika 9. Dijagram miješanja čestica kvarca (*) 100 do 200 μm sa željezom 630-750 μm i (x) vapnenca 40 do 60 μm i željeza 300 do 400 μm

Figure 9. Chart showing quartz particles (*) mixing 100 to 200 μm with iron 630 to 750 μm and lime 40 to 60 μm and iron 300 to 400 μm



NADZOR KAKVOĆE IZMIJEŠANOSTI KRMNIH SMJESA - rad mješalice

Krmna smjesa visoke kakvoće predstavlja jamstvo uspjeha i profitabilnosti, a da bi se to postiglo nužno je svakodnevno nadzirati njezinu proizvodnju. Gotovo da i nema drugih tako važnih čimbenika, posrednih ili neposrednih, koji utječu na hranidbu i prirast odnosno performanse životinja kao što je to krmna smjesa i njezina konzistencija.

Kakvoća ulaznih sastojaka od velike je važnosti za kakvoću gotove krmne smjese. Prvi korak u sustavu proizvodnje krmnih smjesa je svakako kvalitetno i ispravno uzorkovanje komponenti krmne smjese već pri samom preuzimanju - istovaru.

Razloga za ispitivanje mješalice je mnogo, a najčešći je utvrđivanje trajanja i učinkovitosti miješanja. Postupak je relativno jednostavan, temelji se na uzimanju uzoraka iz mješalice na određenim mjestima i u određenim vremenskim razmacima. Za testiranje mješalice upotrebljavaju se danas razne metode, kao što su:

- klorid ion - metoda Cl^+ (metoda NaCl)
- indikatori - "tragač" microtracer

Analiza bilo kojom od navedenih metoda je jednostavna i ne zahtijeva veća ulaganja u laboratorijsku opremu.

U svakom je slučaju poželjno odabrati postupak koji ima dobru reproduktivnost (niski CV).

Za miješanje krutih čestica - granulata - ne postoje općenite matematičke podloge za proračun, već se rabe teorijska razmatranja i njihovo potvrđivanje u laboratorijskim pokusima i praksi. Ponašanje smjese čestica različitih sastojaka u recepturi, ovisno je o ponašanju njenih sastojaka tijekom istjecanja iz posude i tijekom stvaranja stošca koji nastaje nasipavanjem mase materijala na podlogu.

Osnova za utvrđivanje izmiješanosti krmne smjese je izračun koeficijenta različitosti "CV" za najmanje 10 uzoraka. Razlike vrijednosti tih uzoraka od prosječne vrijednosti svih uzoraka iskazuju se u postotku od srednje vrijednosti svih uzoraka.

Uzorci koji se uzimaju za analizu moraju se uzeti prema posebnim uputama. Uzorci se za

nadzor proizvodnje uzimaju priborom za uzimanje uzoraka u mješaonici nakon dovršenog miješanja. Uzimaju se iz proizvodne linije u vremenskim razmacima ili u skladištu iz vreća i iz kamiona prije otpreme. Uzimanje uzoraka može u mješaonicama biti automatizirano.

Tablica 1. Koeficijent promjenljivosti (varijabilnosti) za određeni stupanj krmne smjese (Plietić, 1999.)

Table 1. Variability coefficient for a particular degree of feed mixture (Plietić, 1999.)

Vrsta proizvoda Type of product	Koeficijent promjenljivosti (varijabilnosti) CV (%) – Variability coefficient
VAM u smjesi do 1% VAM mixture to 1%	<5
Koncentrat - predsmjesa (bez kukuruz, žitarica) Concentrate premix (without maize, cereals)	<10
Krmna smjesa za mlade životinje i perad – Feed mixture for younger animals and poultry	<8
Gotova krmna smjesa Finished feed mixture	<12

Ručno se uzorci uzimaju iz posuda ili vreća tzv. "iglama"- sondama za uzimanje uzoraka.

Uzorci se moraju u laboratoriju prije analize pravilno pripremiti. Uzorak se prije kemijske analize usitnjava u što je moguće sitnije čestice, miješa i razdjeljuje do veličine koja je potrebna za analizu. Kod nekih analiza to je nekoliko grama. Što je uzorak koji se može neposredno ispitati na sadržaj željenog sudionika koji se naziva "tragač" (tracer) veći to je dobiveni rezultat vjerodostojniji.

Uzorak u kojemu se ispituje sadržaj, tragača - indikatora ne smije biti veći od jednodnevne potrebe životinja kojima je ispitivana hrana namijenjena. Primjerice, za piliće koji dnevno pojedu nekoliko grama hrane, ne smije se neposredno ispitivati uzorak od npr. 200 grama krmne smjese. Uzorci u kojima je tragač za

dokazivanje izmiješanosti "MicroTracerTM" ne moraju se usitnjavati niti miješati, jer se izdvajanje indikatora MicroTracerTM obavlja magnetom tako da se cjelokupni prispjeli uzorak može koristiti za neposrednu analizu.

Uzimanje uzoraka je obvezni zadatak nadzornih službi (laboratorija) proizvođača krmne smjese, kada se radi o vlastitom nadzoru proizvodnje, ili državnog inspektorata u sustavu redovitog ili izvanrednog nadzora.

Vrijednost koeficijenta varijacije (CV) određuje se prema sljedećem izrazu:

$$CV = \frac{S}{m} 100 \quad (\%)$$

Srednja vrijednost svih analiza uzoraka "m" računa se prema izrazu:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Standardna promjena "S" računa se izrazom:

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$$

gdje su:

- x = vrijednost analize jednog uzorka
- m = srednja vrijednost svih, analiza jedne krmne smjese
- n = broj uzoraka ispitivane krmne smjese
- S = statistički izračun vrijednosti nazvane "standardna promjena (devijacija)"
- CV = koeficijent promjenljivosti (varijacije)

REZULTATI ISPITIVANJA HORIZONTALNE MJEŠALICE

Način i materijal ispitivanja

Kontrola miješanja obavljena je s jednom komponentom i indikatorom. Kukuruz kao sirovina

usitnjen je u mlinu čekićaru s promjerom sita od 7 mm. U tako dobivenu kukuruznu prekrupu dodan je indikator (NaCl). Odnos miješanja unaprijed je utvrđen prema potrebi tehnologije mješaonice 1:200.

Ispitivanje homogenosti miješanja krmnih smjesa obavljano je na horizontalnoj mješalici proizvodnje Mulmix, kapaciteta 1000 kg. Mješalica je u tu svrhu ispitivanja napunjena već navedenom kukuruznomj prekrupom u količini od 995 kg (nastavljena količina); stvarno je izvagana količina od 1001,5 kg te je dodano 5,0 kg natrijevog klorida (NaCl) kao indikatora.

Paralelno u drugu šaržu je na istu količinu kukuruzne prekrupe dodano 50,0 grama ili oko 1500000 čestica „Microtracer F" indikatora, što je otprilike odnos masa 1:30 milijuna.

Preporučeni proces miješanja od strane proizvođača i isporučitelja opreme traje 2,7 minuta (2'42").

Uzorci za laboratorijske kemijske analize uzimani su iz bubnja mješalice uporabom sonde nakon 2, 3, 4, 5, 6, i 7 minuta miješanja.

Usporedno s određivanjem homogenosti miješanja, a utvrđivanja veličine i učestalosti čestica, načinjena je i granulometrijska analiza svih uzoraka.

Granulometrijska analiza - provodi se zbog utvrđivanja fizikalnih osobina pojedinih komponenta krmne smjese, prije svega veličine čestica.

Uzorci su analizirani u laboratoriju Zavoda za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, na sadržaj indikatora koji je dodan prilikom ispitivanja.

Količina indikatora za sve izvađene uzorke jednog miješanja statistički je obrađena.

Iz dobivenog CV (koeficijenta varijacije) za razna vremena miješanja u mješalici, uspoređivanjem svih izračunatih koeficijenata varijacije, utvrđeno je, optimalno vrijeme miješanja kod kojega se postiže najmanji koeficijent varijacije, odnosno najbolja izmiješanost.

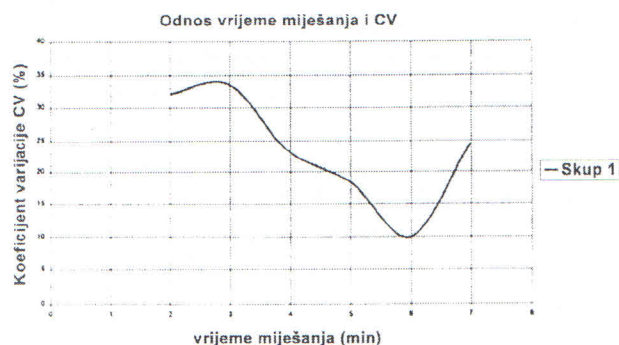
Tablica 2. Vrijednosti osnovnih fizikalnih veličina sastojaka dobivene granulometrijskom analizom
Table 2. Values of basic physical size of ingredients obtained by granulometric analysis

	Srednja veličina čestice – Medium size of particle d (mm)	Volumen 1 čestice Volume 1 of particle (cm ³)	Masa 1 čestice Mass 1 of particle (g)	Broj čestica u 1 gramu – No of particle in 1 gram (kom - no)	Gustoća Density (g/cm ³)
Kukuruzna prekrupa sito - 0,7 mm – Maize grits sieve - 0.7 mm	0,4793	0,000057678	0,000069214	14.448	1,2
Natrijev klorid (NaCl) Sodium chloride (NaCl)	0,4573	0,000050094	0,000108353	9.229	2,163
Microtracer F - indikator Microtracer F - indicator	-	-	0,000035000	30.000	-

Iz dijagrama je vidljivo da koeficijent varijacije u šestoj minuti miješanja postiže vrijednost ispod 10%, što je zadovoljavajuće za miješanje krmne smjese. Međutim, nakon daljnjeg miješanja koeficijent varijacije raste iznad 20%, što daje zaključiti da se radi o razmješavanju krmne smjese (slika 10.).

Slika 10. Dijagram miješanja kukuruzne prekrupe (kao nosača) sa NaCl kao indikatorom u horizontalnoj mješalici "Mulmix" (Plietić, 1998.)

Figure 10. Chart showing maize grits (as carrier) mixing with NaCl as an indicator in horizontal mixer "Mulmix"



ZAKLJUČAK

Proizvodnja krmnih smjesa zahtjevan je posao i traži veliku pozornost i profesionalni pristup.

Zaključno treba naglasiti da je za proizvodnju krmnih smjesa, kako za vlastitu potrošnju tako i za tržište, potrebno imati odgovarajuću opremu i osnovna znanja o mogućnostima strojeva i opreme u sustavu proizvodnje. Jednostavna oprema ne znači da je s njom moguća proizvodnja krmnih smjesa za koje ta oprema nije predviđena. S druge strane, skup i kompliciran pogon ne može sam biti dokaz za kakvoću krmne smjese. Uz svaki stroj i opremu moraju biti i ljudi koji su stručni u proizvodnji krmnih smjesa.

Utjecaj fizikalnih svojstava u procesu miješanja prikazan je ispitivanjem horizontalne mješalice, primjenom klorid ion metode i microtracer indikator metode.

LITERATURA

1. Fiedrich, W. (1982.): Utjecaj fizikalnih svojstava na tehnološki proces proizvodnje krmnih smjesa; Industrijska proizvodnja krmnih smjesa - skripta AF.
2. Katić, Z.; Nadica Dobričević, S. Plietić, Martina Naglič (1996.): Upotreba MicroTracerTm indikatora za dokazivanje izmješanosti krmne smjese i prisutnost označene komponente. Krmiva 38(1), 41-44.
3. Katić, Z. (1997.): Malene mješaonice krmnih smjesa - da ili ne. Krmiva 39(4), 199-208.
4. Katić, Z. (1998.): Miješanje krmnih smjesa; Zbornik radova XIV međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja Stubičke toplice, 147-167.

5. Marr, J. E. (1982): *Inspection and Sampling of Feed Ingredients*; MSD AGVET, Arlington.
6. Pahl, M. (2000): *Storing, conveying and metering bulk material*; *Kunststoffe Plast Europe 90*, (10), str. 174; Munchen; Germany.
7. Pfost, B. H. (1976): *Feed Mixing. Feed Manufacturing Technology*, "AFMA", Arlington, Virginia, USA.; 3 izdanje, 85-103.
8. Plietić, S. (1998.): *Izvešće o ispitivanju homogenosti miješanja krmnih smjesa u horizontalnoj mješalici "Mulmix" Veterinarske stanice Varaždin, AF Zavod za poljoprivrednu tehnologiju skladištenje i transport, Zagreb.*
9. Plietić, S. (1999.): *Duljina transportne linije - čimbenik kakvoće krmne smjese*, *Krmiva 41*, (6), 271-282; Zagreb.
10. Plietić, S. (1985.): *Sadržaj osnovnih elemenata krmne smjese u pojedinim frakcijama granulometrijske metode*. *Krmiva 8-9*;1985; Zagreb; 198-202.
11. Plietić, S. (1992.): *Upotreba pare u tehnologiji peletiranja stočne hrane*; *Zbornik radova VIII međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja*; Stubičke toplice, 185-197.
12. Plietić, S. (1994.): *Racionalizacija transportnog puta primjenom tzv. "kontejner vreća" u TKS*; *Zbornik radova VIII međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja*; Stubičke toplice, 184-192.
13. Richardson, C. R. (1994): *Quality Control at the Mixer. Proc. Nutrition and Quality Control Workshop, Texas Grain and Feed Association, Fort Worth, TX.*
14. Sobota, S. (1969.): *Tehnologija peletiranja*; *Krmiva*; Zagreb, 11, 2, 29-34.
15. Ute, K. (1998): *Sandkastenspiele der Physiker. Bild der Wissenschaft (11)*, 24-29.
16. Van Kempen, T., B. Park, M. Hannon, P. Matzat (2001): *Precision nutrition: weighing feed ingredients correctly. Journal of the Science of Food & Agriculture. June 2001. v. 81 (8) str. 726-730*; John Wiley & Sons Limited. West Sussex.
17. Wilcox, A. R., L. J. Balding (1996): *Feed Manufacturing Technology - Short Course KSU - AFMA, Kansas City.*
18. Willis, Sara (2002): *Feed mixing time and uniformity*; *Pig Pen*; Department of Primary Industries; Queensland Government; Brisbane, Australia; Issue 30; Dec. 2002.

SUMMARY

In the last decade an increasing number of feed mixing factories has been built. They are not used only for their owners own needs but have already taken over a great deal of the production of feed mixture of prewar big faetories.

In this way the production of feed mixture has been modernized within family farms, making a technically big step forward. Unfortunately, family farms and small enterprises could not respond to high investment costs and expensive modernisation, preventing their more significant progress in modernisation. Consequently, they will not be significant competitors to big producers. The solution is integration and specialisation of small producers.

Another problem is that many people working in such factories are not properly skilled for the job, all they have is practital experience.

This paper contributes to better knowledge of physical laws in the process of mixing in feed mixture production.