

Fenomen segregacije u rotirajućoj dvokomponentnoj smeši granularnih materijala

Proučavana je segregacija dvokomponentne smeše granularnih materijala tokom rotiranja u polupotpunjenoj horizontalnoj cevi. Ispitan je uticaj brzine rotacije cevi na formiranje i evoluciju aksijalne segregacije. Takođe, ispitana je uticaj zapreminskog odnosa dve vrste granula na segregaciju, što do sada nije bilo detaljno istraženo. Pokazano je da se povećanjem brzine rotacije cevi ubrzava evolucija segregacionog šablona i povećava njegova definisanost, kao i da koncentracija granula u početnoj smeši ne utiče na pojavu aksijalne segregacije.

Teorijski uvod

Granularni materijal predstavlja skup čvrstih, maksiopskih čestica, čija je osnovna karakteristika gubitak energije pri svakoj međusobnoj interakciji (Duran 1999).

Pri određenim uslovima (izloženosti vibracijama, rotaciji, itd.), smeše dve ili više vrsta granularnih materijala podložne su manifestaciji raznih neobičnih fenomena. Jedan od njih jeste segregacija, odnosno razdvajanje smeše granula na komponente (Hill *et al.* 1997). U našem radu proučavana je segregacija dvokomponentne smeše granularnih materijala pri rotiranju polupotpunjene horizontalne cevi oko svoje ose.

U ovakvom sistemu, primećene su dve vrste segregacije: radikalna, pri kojoj se manje granule grupišu, formirajući jezgro duž ose cevi, i aksijalna, pri kojoj se formiraju vertikalne pruge, normalne na osu rotacije cevi (slika 1). Najpre se javlja radikalna segregacija, ubrzo nakon početka rotacije cevi. S obzirom na to da formiranje aksijalne segregacije zahteva

više vremena, do njene pojave dolazi tek kasnije tokom rotiranja cevi (Charles *et al.* 2006).

Pri aksijalnoj segregaciji, najčešće se na samom početku formira veći broj užih pruga. Tokom rotacije, broj pruga se postepeno smanjuje stapanjem starih pruga u nove, šire pruge (Ristow 2000). Ovaj proces se odvija sve dok se ne dostigne stabilnost sistema, koju karakteriše konstantan broj pruga. Početni broj pruga je proporcionalan dužini cevi (Alexander *et al.* 2004). Broj pruga je, u bilo kom trenutku rotacije, neparan (Khosropour *et al.* 2000).

Tačan uzrok segregacije smeše granularnih materijala nije poznat, zbog nedostatka sveobuhvatnog teorijskog modela (Rapaport 2007). Međutim, poznato je da pojavu fenomena uslovjava različit ugao obrušavanja komponenata smeše. U tom slučaju se tokom rotacije indukuje drift granularnog materijala duž ose rotacije (aksijalni transport), koji teži da razdvaja smešu na njene komponente. Tokom vremena, fluktuacije koncentracije narastaju, što dovodi do lako vidljive separacije komponenti. Pri malim brzinama, pojedinačne lavine su lako uočljive. Tokom rotacije se granule penju sve dok ne dostignu maksimalan ugao statičke ravnoteže (ugao obrušavanja), nakon čega dolazi do lavine. Po obrušavanju, površina smeše se nalazi pod nešto manjim uglom, tj. uglom dinamičke ravnoteže. Kretanje granula u vidu lavina, razdvojenih periodom za koji se nagibni ugao poveća od ugla dinamičke ravnoteže do ugla statičke ravnoteže, naziva se granularnim tokom. Tada je vreme koje protekne između dve lavine mnogo duže od trajanja samog obrušavanja.

Marko Kuzmanović (1992), Beograd, Majke Jevrosime 11b, učenik 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu.

Iva Bačić (1992), Subotica, Matka Vukovića 10, učenica 4. razreda gimnazije „Svetozar Marković“ u Subotici.

MENTORI:

dr Slobodan Vrhovac, Institut za fiziku, Beograd

dr Zorica Jakšić, Institut za fiziku, Beograd



Slika 1. Aksijalna segregacija

Figure 1. Axial segregation

šavanja. Međutim, pri većim brzinama, pojedinačne lavine se ne mogu jasno razlikovati, te se za tok granula može reći da je kontinualan. U ovom slučaju se definiše dinamički ugao mirovanja, kao prosečan ugao pod kojim se nalazi površina smeše u toku rotacije (Ristow 2000).

Aksijalnu segregaciju takođe uslovljava još i odnos prečnika cevi i srednjeg prečnika granula. Naime, empirijski je pokazano da samo ukoliko je odnos ovih veličina veći od 55 može doći do aksijalne segregacije. Takođe, bitan je odnos prečnika samih granula. Kada je on veći od 6.5, radijalna segregacija je vrlo izražena i znatno menja osobine sistema (Alexander *et al.* 2004).

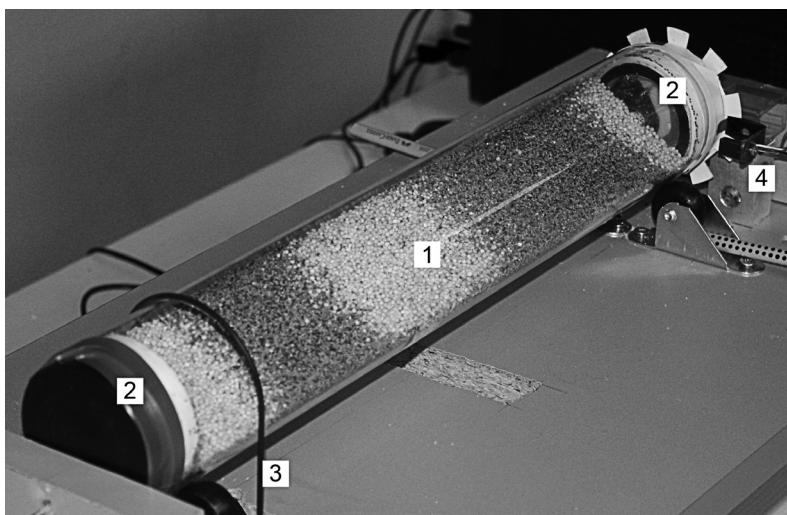
Mnogobrojni drugi faktori utiču na izgled samog šablonu. Između ostalog, povećano trenje na krajevima cevi (u zavisnosti od materijala od kog su čepovi napravljeni) ubrzava pojavu pruga u blizini čepova (Khosropour *et al.* 2000).

Cilj ovog rada je ispitivanje uticaja brzine rotacije cevi i zapreminske udeline granula u smeši na formiranje i evoluciju aksijalne segregacije. Takođe, ispitivano je i opstajanje radijalne segregacije u aksijalno segregiranim sistemima. Glavni značaj rada je u ispitivanju zapreminske udeline odredene vrste granula u smeši, čemu je do sada posvećeno malo pažnje.

Postavka eksperimenta

Za eksperiment je korišćena staklena cev, dužine 50 cm, debljine stakla 2 mm i unutrašnjeg prečnika 6.6 cm. Cev je zatvarana plastičnim poklopциma, takvim da je trenje između njih i granula veliko. Za njenu rotaciju korišćen je motor snage 43 W i obrtnog momenta 1.4 Nm. Motor je postavljen ispod cevi i prenosnim kaišem povezan sa njom. Smeše su rotirane ugaonim brzinama u opsegu od 20 rpm do 80 rpm. Na slici 2 prikazan je izgled aparature korišćene za eksperiment.

Kao granule korišćena su očišćena zrna maka i proса, prečnika 1 ± 0.2 mm i 2.1 ± 0.1 mm respectivno. U svakom od merenja, cev je popunjavana do polovine, a zapreminski udio granula u smeši kretao se od 10% do 90%. Smeše su pravljene odmeravanjem odgovarajućih zapremina obe komponente, pa njihovim spajanjem i mešanjem, da bi početno stanje bilo što homogenije. Komponente su kompaktifikovane laganim protresanjem, pa je onda merena zapremina. Zbog nejednakе kompaktifikacije komponenata i greške pri merenju zapremine granularnog materijala sa neravnom površinom, nije bilo moguće napraviti smešu tačnog odnosa. Apsolutna greška udela komponente pri pravljenju smeše ovim postupkom je 5%.



Slika 2.

Postavka eksperimenta:
1 – cev sa granulama
(svetlo – proso, crno – mak),
2 – čepovi cevi,
3 – prenosni kaiš,
4 – sistem za merenje
brzine rotacije

Figure 2.

Experimental setup:
1 – granular material
filled drum (light –
millet, black – poppy),
2 – end caps, 3 – drive
belt, 4 – rotational
velocity measurement
device

Tokom rotacije, cev je fotografisana u jednakim vremenskim intervalima od 30 s, pri čemu je vreme ekspozicije postavljano tako da bude jednako periodu rotacije cevi. Ovakvim ekspozicijama vršeno je usrednjavanje koje je obezbeđivalo da snimak oslikava trenutno stanje smeše u cevi, a ne položaje pojedinačnih granula. Fotoaparat je postavljen tako da optička osa objektiva bude normalna na osu rotacije cevi.

Ovako dobijene fotografije su obrađene računarski. Stanje smeše granula u nekoj tački cevi opisano je korelacijom boje smeše sa bojama komponenti. Pri tome je korelacija između dve boje definisana uglom koji njihovi vektori zaklapaju u RGB kolornom prostoru. Takva korelacija je nazavisna od intenziteta, pa neravnomerno osvetljenje ne utiče na njenu vrednost. Određivanjem korelacija boje u nekoj tački sa bojom jedne i bojom druge komponente, te njihovim normiranjem, određen je sastav smeše u toj tački. Time se smeša u nekom trenutku može opisati nizom lokalnih stanja smeše u raznim tačkama. Standardna devijacija ovog skupa podataka može se uzeti kao mera homogenosti smeše: što je ona manja, smeša je homogenija, i obrnuto. Posmatranjem standardne devijacije kroz vreme može se utvrditi kada je sistem dostigao stabilno stanje.

Zastupljenost granula na površini smeše, po dobijanju stabilnog šablona, određivana je na osnovu podataka o površinskom sadržaju smeše.

Za ispitivanje fenomena radikalne segregacije upotrebljena su zrna prosa i kristalnog šećera, srednjeg prečnika 2.1 ± 0.1 mm i 0.8 ± 0.6 mm respektivno.

Za proveru mogućnosti da u datom sistemu dođe do radikalne segregacije, korišćeni su poklopci cevi, udubljeni sa unutrašnje strane, pokriveni tako da se u to udubljenje mogu uvući granule, ali ne i da ispadnu iz njega. Ovim je obezbeđeno da formiranje šablona u ostatku cevi ne utiče na stanje smeše unutar poklopca.

S obzirom na to da sa ovakvom aparaturom nisu postojali uslovi za direktni uvid u unutrašnju strukturu smeše u cevi, za to je korišćena sledeća metoda. Jedna vrsta granula je premazana slojem farbe u spreju, i ostavljena da se farba gotovo u potpunosti osuši. Smeša ofarbanih granula prosa i neofarbanih granula šećera je zatim stavljena u cev. Nakon dobijenog segregacionog šablona, cev je ostavljena da miruje, sve dok se farba nije u potpunosti osušila, tako da se granule slepe. Nakon toga su neofarbane granule pažljivo uklonjene iz cevi, dok su u cevi ostale samo slepljene granule, što je omogućilo uvid u

poprečni presek smeše. Na ovaj način proveravano je postojanje radikalne segregacije po uspostavljanju aksijalne.

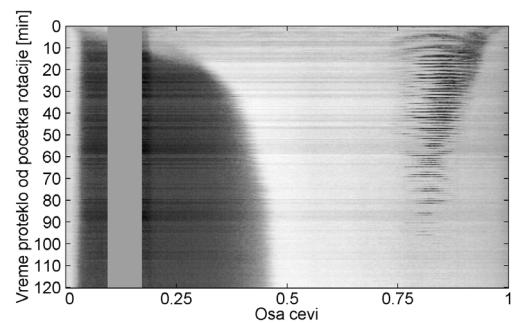
Rezultati i diskusija

Eksperiment se sastoji od tri dela kojima odgovaraju prva tri odeljka ovog poglavlja. Prvi odeljak se odnosi na ispitivanje uticaja brzine rotacije cevi na formiranje i evoluciju segregacionih šablonova. Drugi odeljak se odnosi na ispitivanje uticaja zapreminskog udela granula u smeši na formiranje i izgled šablonova. Treći odeljak se odnosi na ispitivanje postojanja radikalne segregacije.

Četvrti odeljak se odnosi na ostala zapažanja do kojih je došlo tokom realizacije eksperimenta, a smatramo da ih je bitno napomenuti.

Ispitivanje uticaja brzine na formiranje i evoluciju segregacionih šablonova

Uticaj brzine ispitivan je na smeši maka i prosa u zapreminskom odnosu 1 : 1. Pri jako malim brzinama ($\omega < 15$ rpm), trenje između granula i zida cevi je bilo premalo da bi pokrenulo obrušavanje, pa su granule bile statične i nagnute pod malim uglom, dok se cev rotirala. Na nešto većim brzinama ($15 < \omega < 30$ rpm, zavisno od sastava smeše – razlika potiče od različitih specifičnih težina tipova

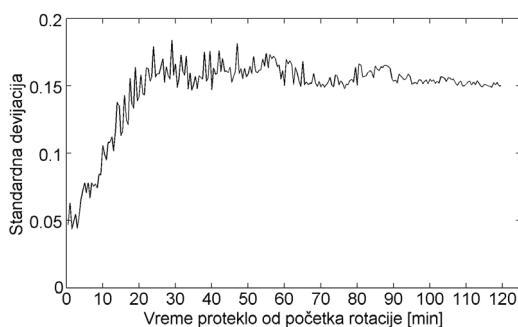


Slika 3. Evolucija šablona pri brzini $\omega = 20$ rpm; svetla područja predstavljaju proso, tamna mak, a ostale nijanse njihovu smešu; vertikalna štrafta u prvoj četvrtini grafikona postoji zbog prenosnog kaiša.

Figure 3. Pattern evolution at $\omega = 20$ rpm; light areas represent millet, dark ones represent poppy, while other shades represent their mixture; the vertical stripe in the first quarter of the figure is present due to the drive belt.

granula) dolazilo je do obrušavanja pri kome su pojedinačne lavine bile jasno uočljive. Na ovim brzinama već se javljala aksijalna segregacija. Na slici 3 predstavljena je evolucija šablonu za $\omega = 20$ rpm, gde su granule maka predstavljene tamnom bojom, a granule prosa svetlom bojom. Siva vertikalna štrafta na slici 3 u prvoj četvrtini cevi je oblast u kojoj se nalazio prenosni kaiš, pa stanje sistema u tom području nije poznato. Evolucija šablonu predstavljena je na isti način i u svim ostalim primerima. Pruge nisu bile uvek vidljive jer se izgled sistema razlikovao od lavine do lavine (što je dovelo do isprekidanosti desne pruge, sa slike 3). Po uspostavljanju stabilnog šablonu, tri pruge su bile jasno uočljive.

Na slici 4 prikazana je standardna devijacija trenutnog stanja smeše u zavisnosti od vremena. Može se videti da se standardna devijacija ustaljuje nakon 100. minuta, što se poklapa sa formiranjem stabilnog šablonu. Nakon tog trenutka sistem nije menjao svoje stanje. Kako nije došlo do površinskog spajanja pruga, već do nestajanja jedne i uvećanja druge, zaključujemo da je do toga granula došlo u unutrašnjosti sistema. Ova pojava uočena je samo u ovom opsegu brzina.

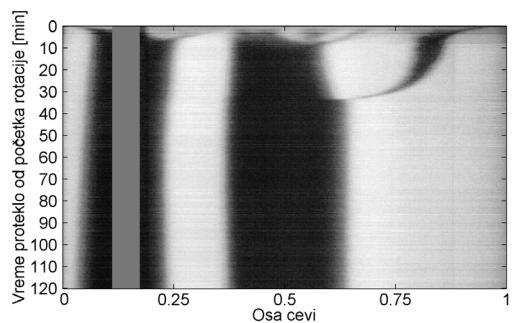


Slika 4.
Standardna devijacija stanja smeše u zavisnosti od vremena pri brzini $\omega = 20$ rpm

Figure 4.
Standard deviation of the mixture state at $\omega = 20$ rpm

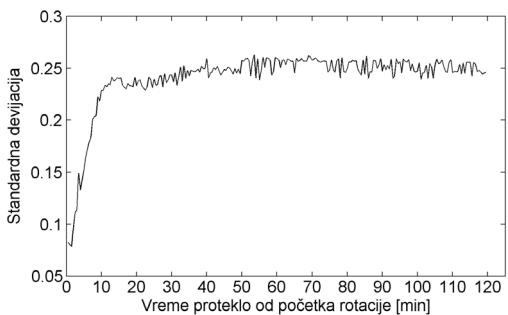
Na brzinama $\omega \geq 30$ rpm dolazi do kontinualnog obrušavanja granula. Na slici 5 prikazana je evolucija šablonu za $\omega = 50$ rpm, a na slici 6 standardna devijacija.

Stabilan šablon, u vidu 5 pruga, formirao se za nešto više od 30 minuta, a vrednost standardne devi-



Slika 5. Evolucija šablonu pri brzini $\omega = 50$ rpm

Figure 5. Pattern evolution at $\omega = 50$ rpm

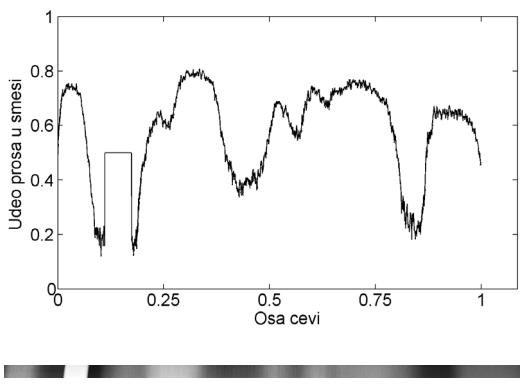


Slika 6.
Standardna devijacija stanja smeše pri brzini $\omega = 50$ rpm

Figure 6.
Standard deviation of the mixture state at $\omega = 50$ rpm

jacije je bila približno stalna već posle 40 minuta (između 30. i 40. minuta dolazi do sitnih promena u šablonu koje nisu jasno vidljive). Tada je do stapanja pruga dolazilo njihovim kretanjem po površini. Prilikom formiranja šablonu došlo je do pojave većeg broja pruga. Na gornjim delovima slike 7, odnosno 8 prikazan je ideo prosa na površini smeše duž ose cevi, a na donjim delovima istih slika izgled cevi posle 5, odnosno 10 minuta rotacije.

Na $\omega = 80$ rpm formiranje pruga je bilo još brže i one su bile još lakše uočljive. Takođe, pojavio se jako veliki broj pruga. Osim toga, ostale osobine sistema ostale su nepromenjene.

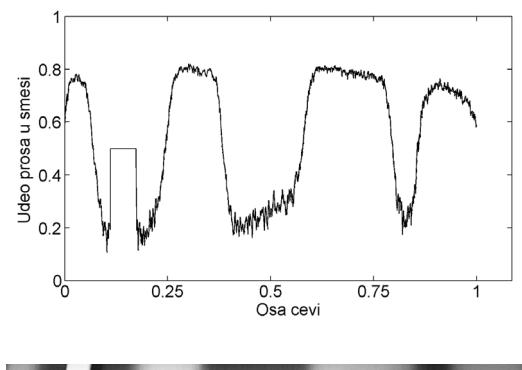


Slika 7. Gore: Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon 5 minuta rotacije pri brzini $\omega = 50$ rpm; veće vrednosti odgovaraju većinskom udelu prosa, manje većinskom udelu maka. Područje sa konstantnom vrednošću u prvoj četvrtini grafikona potiče od prenosnog kaiša.

Dole: Izgled smeše u cevi nakon 5 min rotacije pri brzini $\omega = 50$ rpm.

Figure 7. Top: Share of millet at the surface of the mixture along the tube axis after 5 min of rotation at $\omega = 50$ rpm; higher values represent millet rich areas, and the lower poppy rich areas. The constant value area in the first quarter of the graph is present due to the drive belt.

Bottom: The mixture after 5 min of rotation at $\omega = 50$ rpm.



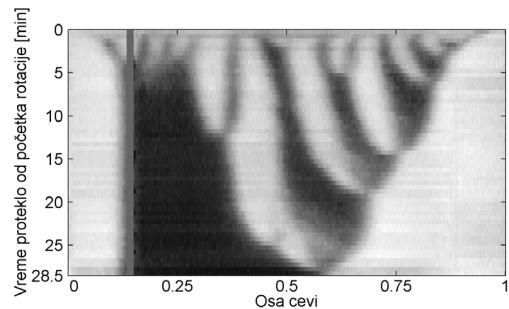
Slika 8. Gore: Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon 10 min rotacije pri brzini $\omega = 50$ rpm.

Dole: Izgled smeše u cevi nakon 10 min rotacije pri brzini $\omega = 50$ rpm.

Figure 8. Top: Share of millet at the surface of the mixture along the tube axis after 10 min of rotation at $\omega = 50$ rpm.

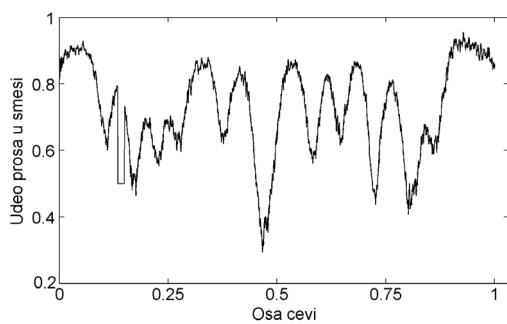
Bottom: The mixture after 10 min of rotation at $\omega = 50$ rpm.

Na slici 9 se vidi evolucija šablonu pri ovoj brzini. Uočljiv je veliki broj pruga koje su se stapale sve dok nije došlo do stabilnog šablonu od 3 pruge. Na slici 10 prikazano je stanje smeše u cevi nakon 2.5 min rotacije, takođe pri ovoj brzini. Uočljive su čak 23 pruge.



Slika 9. Evolucija šablonu pri brzini $\omega = 80$ rpm

Figure 9. Pattern evolution at $\omega = 80$ rpm



Slika 10. Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon 2.5 min rotacije pri brzini $\omega = 80$ rpm

Figure 10. Share of millet at the surface of the mixture along the tube axis after 2.5 min of rotation at $\omega = 80$ rpm

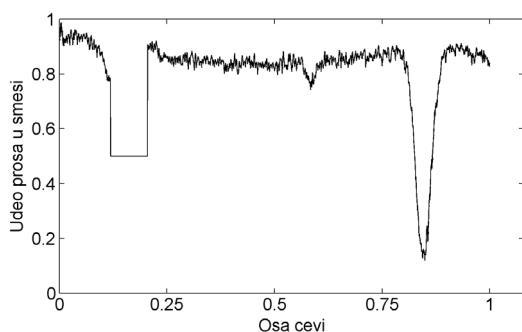
Povećanjem brzine ubrzavao se proces nastajanja pruga segregacionog šablonu i povećavala se definisanost pruga.

Pri malim brzinama, pruge su bile nejasne i slabije vidljive. Pri srednjim i velikim brzinama one su bile dobro definisane, ali je sistem brže dostizao stabilno stanje i dolazilo je do nastanka većeg broja pruga pri većim brzinama.

Ispitivanje uticaja zapreminskega udela granula u smeši na formiranje i evoluciju segregacionih šablona

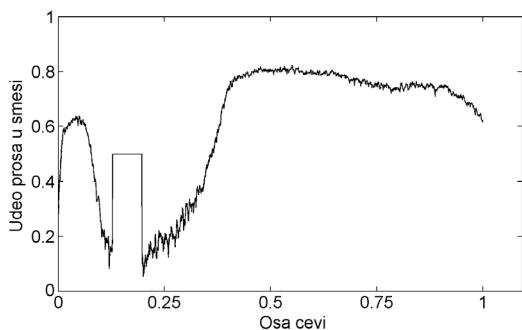
Koncentracija granula u smeši nije uticala na samu pojavu aksijalne segregacije. Iako su i najmanje razlike u lokalnoj koncentraciji granula uticale na razvoj šablonata, pruge su nastajale bez obzira na koncentraciju bilo koje vrste granula (dalja evolucija šablonata zavisi je od rasporeda granula u cevi). Ispitani su relativni odnosi od 1 : 9 do 9 : 1.

Na slikama 11-15 prikazana su stanja stabilnih šablonata za relativne zapreminske odnose 1 : 9, 1 : 3, 1 : 1, 3 : 1 i 9 : 1 respektivno.



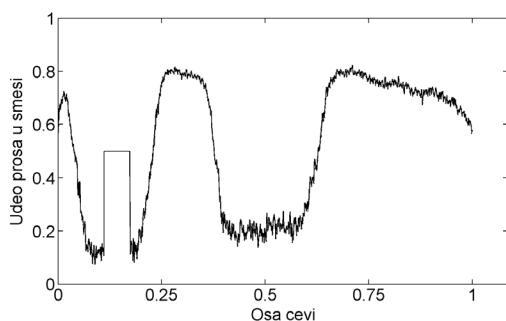
Slika 11. Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon postizanja stabilnog šablonata pri relativnom udelu 1 : 9

Figure 11. Share of millet at the surface of the mixture in the stable state at a poppy to millet ratio of 1 : 9



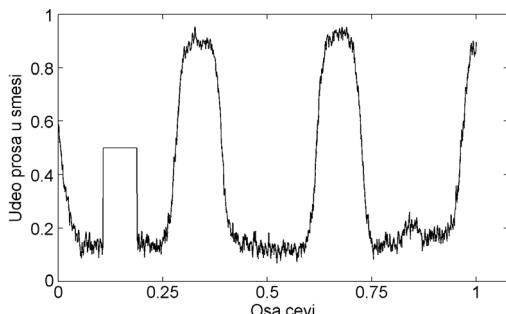
Slika 12. Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon postizanja stabilnog šablonata pri relativnom udelu 1 : 3

Figure 12. Share of millet at the surface of the mixture in the stable state at a poppy to millet ratio of 1 : 3



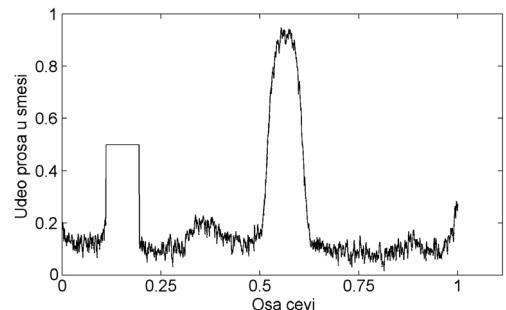
Slika 13. Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon postizanja stabilnog šablonata pri relativnom udelu 1 : 1

Figure 13. Share of millet at the surface of the mixture in the stable state at a poppy to millet ratio of 1 : 1



Slika 14. Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon postizanja stabilnog šablonata pri relativnom udelu 3 : 1

Figure 14. Share of millet at the surface of the mixture in the stable state at a poppy to millet ratio of 3 : 1



Slika 15. Udeo prosa na površini smeše duž cevi nakon postizanja stabilnog šablonata pri relativnom udelu 9 : 1

Figure 15. Share of millet at the surface of the mixture in the stable state at a poppy to millet ratio of 9 : 1

Rezultati analize udela granula na površini smeše stabilnog šablonu predstavljeni su tabelom 1, gde je sa δ_p označen zapreminska ideo maka iskorišćen za pravljenje smeše, a sa δ_i izmereni ideo maka na površini.

Tabela 1. Zavisnost udela maka na površini smeše stabilnog šablonu od sastava smeše

	δ_p	δ_i
1.	0.10 ± 0.05	0.13
2.	0.25 ± 0.05	0.29
3.	0.50 ± 0.05	0.45
4.	0.75 ± 0.05	0.74
5.	0.90 ± 0.05	0.91

Ovo pokazuje da ideo granula na površini smeše upada u okvir greške zapreminskog odnosa u kom je smeša napravljena.

Takođe na relativnom odnosu 1:1, pokazano je da izmereni ideo maka na površini stabilne smeše δ_i ne zavisi od ugaone brzine ω kojim je smeša rotirana.

Tabela 2. Zavisnost izmerenog udela maka na površini stabilne smeše od ugaone brzine

	ω	δ_i
1.	20	0.45
2.	50	0.44
3.	80	0.45

Ispitivanje radijalne segregacije

Ako je smeša u početku homogena i rotira u cevi, onda se obrazuje granularni tok u kome manje granule prodiru u unutrašnjost, bliže osi rotacije cevi. Posle nekoliko rotacija, radijalna segregacija dostiže stacionarno stanje sa manjim granulama u blizini centra i većim granulama koje ih okružuju. S tim u vezi, ideo manjih granula na površini može biti samo manji ili jednak zapreminska ideo maka, zbog mogućeg postojanja radijalne segregacije. Dakle, ukoliko je ideo granula na površini jednak njihovom zapreminska ideo maka, radijalna segregacija ne postoji. Nažalost, zbog velike greške pri određivanju zapreminska ideo maka, na osnovu pret-



Slika 16. Radijalna segregacija u smeši proso-kristal šećer

Figure 16. Radial segregation in mixture of millet and crystal sugar



Slika 17. Poprečni presek aksijalno segregirane smeše (odsustvo radijalne segregacije)

Figure 17. Cross-section of an axially segregated mixture (absence of radial segregation)

hodnih rezultata o udalu na površini smeše, ne možemo sa sigurnošću tvrditi da radijalna segregacija nije bila prisutna u stabilnom šablonu.

Međutim, korišćenjem mogućnosti da se granule zarobe unutar šupljih čepova, i njihovo stanje naknadno proveri (postupak opisan u odeljku Postavka eksperimenta), potvrđena je mogućnost radijalne

segregacije u smeši šećera i prosa u relativnom zapreminskom odnosu 1:1, što je prikazano na slici 16.

Korišćenjem granula tretiranih auto lakom, što je omogućilo njihovo slepljivanje u stanju mirovanja, bez menjanja drugih osobina sistema, ispitana je unutrašnja struktura stabilnih šabloni. Na ovaj način, utvrđeno je odsustvo radijalne segregacije u aksijalno segregiranoj smeši, što je prikazano na slici 17.

Ostala zapažanja

Izgled stabilnog šabloni zavisi od homogenosti početne smeše. Dobiveni su stabilni šabloni sa 3 i sa 5 pruga.

Minimalna odstupanja nagiba ose cevi od horizontalnosti utiču na izgled šabloni. Kada cev nije postavljena u potpunosti horizontalno, dolazi do toka granula u jednu stranu.

S ciljem pronalaženja smeše koja aksijalno segregira, ispitana je velik broj kombinacija bioloških i drugih granula (pasulj, sočivo, pirinač, pšenica, plastične dijabole, pesak), te je potvrđen značaj odnosa dimenzija različitih vrsta granula, kao i značaj odnosa srednjeg prečnika granula i prečnika cevi, za formiranje aksijalne segregacije.

Takođe, prekrivanjem unutrašnjosti čepova različitim materijalima (PVC, lateks, plastelin), potvrđeno je da se povećanim trenjem na čepovima ubrzava poljava pruga u njihovoj blizini.

Zaključak

U ovom radu proučavan je uticaj brzine rotacije cevi i zapreminskog udela granula u smeši na formiranje i evoluciju aksijalne segregacije. Takođe je ispitivano i opstajanje radijalne segregacije u aksijalno segregiranim sistemima.

Pokazano je da koncentracija granula u početnoj smeši ne utiče na nastajanje aksijalne segregacije, već samo na izgled šabloni. Takođe je pokazano da se povećanjem brzine rotacije cevi ubrzava evolucija segregacionog šabloni i povećava definisanost i broj pruga. Utvrđeno je da nakon stabilizovanja šabloni aksijalne segregacije, u našem slučaju, smeše nisu više bile radijalno segregirane. Homogenost početne smeše i nagib cevi uslovljavaju izgled stabilnog šabloni. Potvrđen je značaj odnosa dimenzija srednjeg prečnika granula i cevi za pojavu aksijalne segregacije.

Dalji rad bi mogao da obuhvati ispitivanje uticaja odnosa geometrijskih veličina sistema, kao i ispitivanje uticaja kohezionih sila (npr. variranjem vlažnosti vazduha) na ponašanje sistema. Takođe, moglo bi se ispitati kretanje i izgled stabilnih šabloni na znatno većim vremenskim skalamama.

Korišćenjem magnetne rezonance, ili nekog drugog neinvazivnog metoda, bilo bi moguće steći uvid u poprečni presek smeše tokom vremena, koji bi omogućio istovremenu detekciju radijalne i aksijalne segregacije, kao i određivanje nagibnih uglova komponenata smeše. Tada bi bilo moguće pratiti brzinu toka samih granula i unutrašnje kretanje lavina, što bi omogućilo tačno pronalaženje uslova pod kojima dolazi do segregacije.

Zahvalnost. Zahvaljujemo se našim mentorima sa Instituta za fiziku, dr Slobodanu Vrhovcu i dr Zorici Jakšić, za ideju i smernice u radu, zatim rukovodiocu seminara fizike u IS Petnica, Branimiru Ackoviću, i saradnicima seminara fizike u IS Petnici, za tehničku pomoć tokom rada na projektu.

Literatura

Alexander A., Muzzio F. J., Shinbrot T. 2004. Effects of scale and inertia on granular banding segregation. *Granular Matter*, **5**: 171.

Charles C. R. J., Khan Z. S., Morris S. W. 2006. Pattern scaling in the axial segregation of granular materials in a rotating tube. *Granular Matter*, **8**: 1.

Duran J. 1999. *Sands, Powders, and Grains: An Introduction to the Physics of Granular Materials*. New York: Springer

Hill K. M., Caprihan A., Kakalios J. 1997. Axial segregation of granular media rotated in a drum mixer: Pattern evolution. *Physical Review E*, **56** (3): 4386.

Khosropour R., Valachovic E., Lincoln B. 2000. Flow and pattern formation in a binary mixture of rotating granular materials. *Physical Review E*, **62** (1): 07-812.

Rapaport D. C. 2007. Simulated three-component granular segregation in a rotating drum. *Physical Review E*, **76**: 44.

Ristow G. H. 2000. *Pattern formation in granular materials*. New York: Springer

The Phenomenon of Segregation in a Binary Mixture of Granular Materials Rotated in a Horizontal Drum

The segregation of a binary mixture of granular materials rotated in a half-filled horizontal drum has been studied. The object of the study was to analyze the impact of angular velocity on the formation and evolution of axial segregation. The impact of volume ratio of both types of granular material in the compound, which has not been the topic of many publications, has also been studied. It is shown that the increase of angular velocity accelerates pattern evolution and increases pattern clarity, and that the concentration of either type of granular material in the initial mixture does not affect the formation of axial segregation patterns.

