

Utjecaj vlage na fizikalna svojstva praškastih instant napitaka

Ćosić, Martina

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:142248>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-03**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

Martina Ćosić
0058214956

**UTJECAJ VLAGE NA FIZIKALNA SVOJSTVA
PRAŠKASTIH INSTANT NAPITAKA**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Tehnologija prahova

Mentor: doc. dr. sc. Maja Benković

Zagreb, 2022.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za procesno inženjerstvo
Kabinet za osnove inženjerstva

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Utjecaj vlage na fizikalna svojstva praškastih instant napitaka

Martina Ćosić, 0058214956

Sažetak: Instant prehrambeni prahovi dobiveni aglomeracijom sve su popularniji na tržištu, ponajprije zbog njihovih izvrsnih svojstava otapanja. Tijekom procesa aglomeracije izrazito je bitna kontrola parametara procesa kako bi se postigla odgovarajuća željena fizikalna svojstva, kao što su raspodjela veličine čestica, oblik i poroznost čestica, nasipna gustoća, tečenje i najvažnije, rekonstitucijska svojstva. Cilj ovog rada bio je opisati utjecaj različitih udjela vlage na navedena fizikalna svojstva u uzorcima multivitaminskog instant praha. Rezultati dobiveni analizom ukazuju na značajnu promjenu svojstava multivitaminskih napitaka s povećanjem vlage u uzorcima. Primijećena je pojava staklastog prijelaza i povećanje veličine čestica i promjene u raspodjeli veličina čestica s povećanjem udjela vlage. Analizom vrijednosti nasipne gustoće te izračunatih vrijednosti Hausnerovog omjera i Carrovog indeksa utvrđeno je da aglomerati s najslabijim veznim silama, tj. najmanje čvrstoće pokazuju lošija svojstva tečenja te da su porastom udjela vlage u uzorcima svojstva tečenja značajno lošija. Vrijeme disperzije praha u otapalu raste s porastom sadržaja vlage u uzorku, dok je močivost svih uzoraka izvrsna i ne ovisi o postotku dodane vlage u uzorak praha.

Ključne riječi: instant prahovi, vlaga, svojstva tečenja, raspodjela veličine čestica, rekonstitucijska svojstva

Rad sadrži: 34 stranice, 12 slika, 5 tablica, 49 literaturnih navoda, 0 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: doc. dr. sc. Maja Benković

Komentor: /

Pomoć pri izradi: /

Datum obrane: 7. rujna 2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Food Technology

Department of Process Engineering
Section for Fundamental Engineering

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

Effect of moisture content on the physical properties of multivitamin instant powders

Martina Ćosić, 0058214956

Abstract: Instant food powders obtained by agglomeration are increasingly popular on the market, primarily due to their excellent reconstitution properties. During the agglomeration process, it is extremely important to control the process parameters to achieve the appropriate desired physical properties, such as particle size distribution, particle shape and porosity, bulk density, flow and, most importantly, reconstitution properties. The aim of this work was to describe the influence of different moisture contents on the mentioned physical properties in multivitamin instant powder samples. The results obtained from the analysis indicate a significant change in the properties of multivitamin drinks with increasing moisture in the samples. Glass transition, an increase in particle size and changes in particle size distribution with increasing moisture content were observed. Based on the bulk density, Hausner's ratio and Carr's index values, it was determined that the agglomerates with the weakest binding forces showed poor flow properties and that with an increase in the moisture content in the samples, the flow properties deteriorate. The dispersibility of the powder in the water increases with the increase in the moisture content of the sample, while the wettability of all samples was excellent and did not depend on the percentage of added moisture.

Keywords: instant powders, moisture, flow properties, particle size distribution, reconstitution properties

Thesis contains: 34 pages, 12 figures, 5 tables, 49 references, 0 supplements

Original in: Croatian

Thesis is deposited in printed and electronic form in the Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: Maja Benković, PhD, Assistant Professor

Co-mentor: /

Technical support and assistance: /

Thesis defended: September 7, 2022

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. INSTANT PRAHOVI	2
2.2. REKONSTITUCIJSKA SVOJSTVA	3
2.3. PROIZVODNJA MULTIVITAMINSKIH INSTANT PRAHOVA	4
2.4. SVOJSTVA INSTANT PRAHOVA	5
2.5. NEPOŽELJNA AGLOMERACIJA	5
3. EKSPERIMENTALNI DIO	6
3.1. MATERIJALI	6
3.1.1. MULTIVITAMINSKI PRAH	6
3.1.2. KEMIKALIJE	6
3.1.3. APARATURA	6
3.1.4. PRIBOR	6
3.2. METODE	7
3.2.1. PRIPREMA UZORAKA	7
3.2.2. GRAVIMETRIJSKA ANALIZA STVARNOG SADRŽAJA VLAGE U UZORKU	8
3.2.3. MIKROSKOPSKA ANALIZA ČESTICA UZORKA I ODREĐIVANJE RASPODJELE VELIČINE ČESTICA ANALIZOM SLIKE	8
3.2.4. NASIPNA GUSTOĆA – KOMPRESIJSKA KRIVULJA I SVOJSTVA TEČENJA (HAUSNEROV OMJER, CARROV INDEKS)	9
3.2.5. ANALIZA REKONSTITUCIJSKIH SVOJTAVA	10
4. REZULTATI I RASPRAVA	12
4.1. GRAVIMETRIJSKA ANALIZA STVARNOG SADRŽAJA VLAGE U UZORKU	12
4.2. MIKROSKOPSKA ANALIZA ČESTICA UZORKA	13
4.3. ODREĐIVANJE RASPODJELE VELIČINE ČESTICA ANALIZOM SLIKE	15
4.4. NASIPNA GUSTOĆA – KOMPRESIJSKA KRIVULJA I SVOJSTVA TEČENJA (HAUSNEROV OMJER,	

CARROV INDEKS)	24
4.5. ANALIZA REKONSTITUCIJSKIH SVOJTAVA, DISPERZIBILNOST I MOČIVOST	27
5. ZAKLJUČCI.....	28
6. POPIS LITERATURE	29

1. UVOD

Pojam “instant” odnosi se na one praškaste proizvode koji se konzumiraju rehidracijom i čija su rekonstitucijska svojstva od najvažnijeg značaja, diktirajući odabir metode proizvodnje i podešavanje procesnih uvjeta. Najučinkovitija metoda instantizacije jest aglomeracija koja se provodi s ciljem poboljšanja rekonstitucijskih svojstava povećanjem veličine čestica te povećanjem njihove poroznosti. Glavna svrha povećanja veličine čestica je modificiranje ili poboljšanje određenih fizikalnih svojstava prehrambenih prahova kao što su nasipna gustoća, tečenje, disperzibilnost i otpornost na segregaciju komponenata smjese ili stvaranja prašine. Međutim, pozitivna promjena jednog fizikalnog svojstva može negativno utjecati na druga. Sadržaj vlage može imati važnu ulogu u svim aspektima proizvodnje, rukovanja i skladištenja, posebno za prahove osjetljive na vlagu. Uzrokuje tvorbu tekućih mostova među česticama te nepoželjnu aglomeraciju, a utječe na bilo koje sekundarno svojstvo prehrambenog praha kao što je nasipna gustoća, tečenje kohezivnost, ljepljivost i dr. Učinak vlage, pozitivan ili negativan, ovisi o samom sastavu i svojstvima ulaznog materijala (praha), metodama i uvjetima prerade i skladištenja te svojstvima konačnog proizvoda. Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj različitog sadržaja vlage, u uzorcima instantiziranog multivitaminskog praha, na fizikalna svojstva kao što su veličina, raspodjela veličine, izgled i oblik čestica, nasipna gustoća, tečenje i rekonstitucijska svojstva u vidu močivosti i disperzibilnosti.

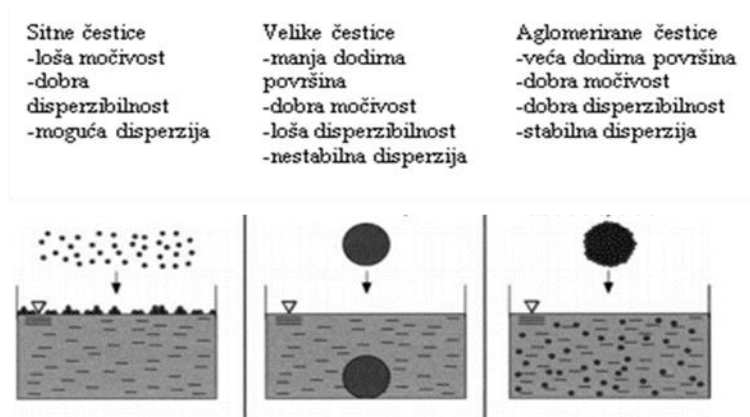
2. TEORIJSKI DIO

Povećanje veličine čestica naziv je za sve procese u kojima dolazi do formiranja većih sekundarnih, poroznih čestica, konglomerata udruživanjem manjih primarnih čestica. Neki od tih procesa su granulacija, sabijanje, tabletiranje, peletiranje, aglomeracija i slični (Barbosa-Cánovas i sur., 2005). Glavna svrha aglomeracije je poboljšati određena fizikalna svojstva prehrambenih prahova, unaprijediti rukovanje i uspješno kontrolirati poroznost i gustoću materijala (Dhanalakshmi i sur., 2011; Barbosa-Cánovas i sur., 2005). Sljepljivanje čestica rezultat je fizikalnih ili kemijskih promjena praha potaknutih uvjetima obrade ili dodatkom veziva, a uzrokuju nastajanje fizikalnih ili kemijskih privlačnih sila između njih (Dhanalakshmi i sur., 2011). Aglomeraciju se može podijeliti u 3 skupine: aglomeraciju prevrtanjem i ovlaživanjem, aglomeraciju visokim tlakom (ekstruzija) i ostale metode (aglomeracija u fluidiziranom sloju, aglomeracija zamrzavanjem, raspršivanjem i aglomeracija mlazom vodene pare (engl. steam jet)), a razlikuju se po procesnim uvjetima i principu adhezije kojim se povećava veličina čestica. Poznavanje i karakterizacija fizikalnih i kemijskih svojstava sirovinskih materijala i konačnog proizvoda od velike je važnosti za odabir adekvatne metode i uređaja kojom će se željena svojstva ostvariti, optimiranje procesa, funkcionalnosti, formulacije proizvoda te ekonomičnosti (Barbosa-Cánovas i sur., 2005). Aglomerirani prah u usporedbi s početnim prahom ima mnogo prednosti. Moguće je postizanje nikakvog ili niskog sadržaja prašine što povećava sigurnost tijekom rukovanja, a smanjuje rizik od proizvodnih i ekonomskih gubitaka. Postignuta prilagođena svojstva pridonose praktičnijem i jednostavnijem rukovanju i skladištenju, ujedno i mjerenju i doziranju. Tečenje praha je poboljšano, a nasipna gustoća povećana. Aglomeracija, do neke granice, dozvoljava kontrolu poroznosti i gustoće praha, odnosno utjecaj na rekonstitucijska svojstva. Takvi proizvodi definiranog oblika ostvaruju veću prodajnu vrijednost i prihvatljivost od strane potrošača za razliku od tradicionalnih neaglomeriranih proizvoda.

2.1. Instant prahovi

Danas na tržištu postoji niz prehrambenih prahova čija konzumacija zahtjeva rehidraciju stavljajući naglasak na interakciju tekućine i proizvoda i ostvarivanju dobrih rekonstitucijskih svojstava pri razvoju i formuliranju takvih proizvoda. Budući da fini prahovi stvaraju problem pri močenju s vodom i drugim tekućinama uz stvaranje grudica, potrebno ih je podvrgnuti operacijama koje mijenjaju svojstva materijala koji su uzrok tih problema i zbog kojih se ostvaruju loša rekonstitucijska svojstva. Metoda koja se koristi za poboljšanje karakteristika

rehidratacije prehrambenog praha jest aglomeracija ili instantizacija. Aglomeracijom sitnog praha, veličine čestica oko 100 μm , u čestice veličine nekoliko milimetara (od 0,1 mm do 3 mm), poboljšava se ponašanje praha pri vlaženju, a vjerojatnost stvaranja grudica je minimizirana (Schubert, 1987). Takve prahove nazivamo instant prahovima, a odnosi se na proizvode dobre disperzibilnosti i otapanja u tekućinama. Slika 1 prikazuje kako se aglomeracijom unaprjeđuju instant svojstva.



Slika 1. Poboljšana instant svojstva primjenom aglomeracije (*prema Schuchmann, 2011*)

2.2. Rekonstitucijska svojstva

Mjerenjem četiri najbitnija rekonstitucijska svojstva; svojstva močivosti, potapanja, disperzibilnosti i topivosti ocjenjuje se uspješnost procesa proizvodnje instant praha. Instant svojstva su funkcija vremena i uglavnom svaka industrija definira idealno vrijeme potrebno za uspješnu rekonstituciju, ali se općenito uzima da će aglomerati ostvariti dobra instant svojstva ako standardni postupak za mjerenje ovih svojstava (definirana temperatura i količina otapala, količina otapala i uzorka, metoda ispuštanja i miješanja) završi u nekoliko sekundi (Schubert, 1987). Budući da se procesi močenja, potapanja, disperzibilnosti i topivosti odvijaju u vrlo kratkom vremenskom periodu i jedan za drugim, teško ih je pojedinačno kvantificirati. Iz tog se razloga primjenjuju testovi koji mjere jedno ili dva svojstva ili cjelokupno rekonstitucijsko vrijeme. Močivost, kao prva faza rekonstitucije, odnosi se na sposobnost praha da upije tekućinu djelovanjem kapilarnih sila ili sposobnost da čestice savladaju napetost površine (Fang, 2007). Ovisi o veličini, obliku i površini čestica praha te su idealne velike i porozne koje će uspješno upiti tekućinu i močiti se uniformno. Nakon močenja slijedi potapanje, tj. propadanje uzorka ispod površine tekućine koje zbog teškog razlučivanja od ostalih svojstava

ulazi u mjerenja močivosti. Poželjno je da prah distribuira kroz cijeli volumen tekućine bez pojave nakupina čestica praha. Tome pogoduje porozna struktura, povećanje veličine čestica i što manji udio sitnih. Zadnja faza rekonstitucije je topivost čija brzina ovisi o kemijskom sastavu, ali i fizikalnim karakteristikama uzorka. Za dobru rekonstituciju bitno je ostvariti ravnotežu između pojedinačnih svojstava, a promjena jednog ili dva može uvelike utjecati na ponašanje praha prilikom rehidracije. Valja napomenuti da su svojstva tečenja lošija za aglomerate poboljšanih rekonstitucijskih svojstava i obratno, te im je potrebno učvrstiti strukturu za bolje tečenje.

2.3. Proizvodnja multivitaminskih instant prahova

Postoje 3 vrste aglomeracije kojima se proizvode multivitaminski instant prahovi, a razlikuju se s obzirom na procesne uvjete i principu adhezije među nastalim aglomeratima. To su aglomeracija prevrtanjem i ovlaživanjem, aglomeracija visokim tlakom (ekstruzija) i ostali procesi aglomeracije koji uključuju aglomeraciju u fluidiziranom sloju, aglomeraciju zamrzavanjem, aglomeraciju raspršivanjem i aglomeraciju mlazom vodene pare (engl. steam jet) (Schuchmann i sur., 1993). Aglomeracija prevrtanjem i ovlaživanjem jest kompliciran proces koji se bazira na kidanju slabih veza među česticama te reaglomeraciji istih. Kod proizvodnje instant prahova, početni fini prah dovodi se u fluidizirano stanje mehaničkim miješalicama ili fluidiziranim slojem. Raspršene čestice praha moće se tekućom vezivnom tvari (uglavnom vodom), postiže se stabilnost takvog praha nakon čega se suši do određenog sadržaja vlage. Osušeni aglomerati razdvajaju se po veličini pomoću sita, tako da se frakcija čestica veličine manje od minimalne dopuštene vraća na početak postupka aglomeracije. Broj ciklusa aglomeracije ima značajan utjecaj na karakteristike konačnog instant praha (Dyaningrum i sur., 2019). Aglomerati koji su zadovoljili odgovarajući zahtjev za veličinu nastavljaju proces proizvodnje. Ekstruzija se također može koristiti za produciranje instant prahova i to upotrebom preše, kombiniranjem tehnika sabijanja i granulacije te ekstruzije i mrvljenja. Kod prve kombinacije, sabijeni, zatim razbijeni granulati nije potrebno sušiti ili hladiti dok je kod druge potrebno jer se prah miješa s vezivnom tvari. Straight-through aglomeracija može se primijeniti za proizvodnju instant proizvoda iz tekućeg koncentrata, a bazira se na sušenju raspršivanjem i sušenju u fluidizacijskom sloju. Za proizvode koji sadrže šećer ili druge ugljikohidrate preporuča se upotreba dva raspršivača: jednog za koncentrat koji se suši i drugog za otopinu šećera za zaslađivanje koncentrata. Upotrebom dva raspršivača nastaju kapljice različitih veličina i svojstava te u komori za sušenje dolazi do brojnih

međusobnih sudara što rezultira nastajanjem stabilnih aglomerata dobrih rekonstitucijskih svojstava.

2.4. Svojstva instant prahova

Aglomeracija prehrambenih prahova uzrokuje povećanje veličine čestica, koji je temeljni parametar kvalitete konačnog proizvoda i proizvodnje. Važna je i raspodjela veličine čestica, njena uniformnost te udio sitnih čestica. Može se postići poželjniji sferični oblik (osim tlačnom aglomeracijom). Smanjena je nasipna gustoća, a povećana poroznost što rezultira boljim rekonstitucijskim svojstvima ali i mogućim pogoršanjem svojstava tečenja, primarno zbog loma aglomerata.

2.5. Nepoželjna aglomeracija

Nepoželjna aglomeracija najčešće se javlja kod prahova s visokim udjelom sitnih čestica među kojima se javljaju privlačne sile koje uzrokuju međusobno vezanje različitim mehanizmima. Te sile mogu biti ojačane ako je materijal topiv ili ako se nalazi u vlažnoj atmosferi. Sitne čestice vežu se za veće, stvaraju konglomerate krupnijih dimenzija, uzrokuju grudanje ili stvaranje čvrstog kolača (engl. caking). Brzina i stupanj zgrušavanja ovisi o sadržaju vlage, veličini čestica, tlaku koji djeluje na prah, temperaturi, fizikalnim i kemijskim karakteristikama praha te vremenu djelovanja tih faktora. Nepoželjnu aglomeraciju moguće je kontrolirati ili spriječiti poznavanjem glavnih uzročnika i parametara koji joj doprinose.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Materijali

3.1.1. Multivitaminski prah

Multivitaminski prah Nova Vita (Pak Centar, Sarajevo, Bosna i Hercegovina) okusa limuna kupljen je u lokalnoj trgovini živežnih namirnica i skladišten u originalnom zatvorenom pakiranju pri 20 °C do provođenja eksperimenata.

3.1.2. Kemikalije

- Destilirana voda

3.1.3. Aparatura

- Analitička vaga TE214S-0CE (Sartorius Weighing Technology GmbH, Goettingen, Njemačka)
- Uređaj za vakuum pakiranje (Gorenje, Velenje, Slovenija)
- Laboratorijski sušionik (InkoLab ST60T, Zagreb, Hrvatska)
- Eksikator (Normax, Marinha Grande, Portugal)
- Svjetlosni mikroskop (MOTIC B1-150 SP, Hong Kong, Azija) s ugrađenom kamerom (MOTIC Moticam 3 3.0 MP, Hong Kong, Azija)
- Lupa s ugrađenom kamerom (Assmann Electronic GmbH, Ludenschied, Njemačka)
- Vibracioni volumetar (laboratorijska izrada)

3.1.4. Pribor

- Laboratorijske čaše, 1000 mL, 250 mL
- Metalna žlica
- Metalna žličica
- Vakuum vrećice
- Aluminijska folija
- Plastična posuda
- Boca za raspršivanje
- Aluminijske posudice s poklopcima
- Satna stakalca

- Menzura, 250 mL
- Stakleni štapić
- Digitalni mjerač vremena
- Papirnati lijevak (visine 100 mm, donjeg promjera 40 mm, gornjeg promjera 90 mm)
- Tučak

3.2. Metode

3.2.1. Priprema uzoraka

Uzorci se pripremaju postupkom kondicioniranja multivitaminskog praha tako da se na određenu, izvaganu količinu praha, pomoću raspršivača, rasprši zadana količina destilirane vode. Za svaki se uzorak u plastičnu posudu izvaže 400 g multivitaminskog praha te se na prah uz ručno miješanje (žlicom), pomoću raspršivača, raspršuje zadana količina vode prikazana u Tablici 1. Dobro izmiješana i kondicionirana mješavina pakira se u vakuum vrećice, tako da svaka sadrži 100 g uzorka (4 paralele za svaki uzorak). Nakon što se vakuum vrećice zavare, omotaju se u aluminijsku foliju te ostavljaju na sobnoj temperaturi u mraku do sljedećeg dana kada se provode analize.

Tablica 1. Sastojci i količine za pripremu uzoraka

Ime uzorka	Masa multivitaminskog praha (g)	Masa destilirane vode (g)	Nazivni sadržaj vlage u uzorku (%)
KONTROLA	400	0	0
1	400	4	1
2	400	8	2
3	400	12	3
4	400	16	4
6	400	24	6
8	400	32	8
10	400	40	10

3.2.2. Gravimetrijska analiza stvarnog sadržaja vlage u uzorku

Na analitičkoj se vagi, u osušenu i označenu aluminijsku posudu s poklopcem odvažuje približno 3 g uzorka. Otvorene se posudice s uzorcima suše 3 sata pri temperaturi $105 \pm 2^{\circ} \text{C}$ u laboratorijskoj sušari, nakon čega se zatvaraju te premještaju u eksikator gdje se hlade do sobne temperature. Ohlađene posudice ponovno se važu na analitičkoj vagi. Za svaki uzorak provode se dva paralelna mjerenja, a postotak vlage u uzorku računa se prema formuli (1):

$$\% \text{ vlage} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Gdje je:

m_1 – masa prazne posudice za sušenje (g)

m_2 – masa posudice i praha prije sušenja (g)

m_3 – masa posudice i praha nakon sušenja (g)

3.2.3. Mikroskopska analiza čestica uzorka i određivanje raspodjele veličine čestica analizom slike

Kondicionirani prahovi snimaju se pod mikroskopom (MOTIC B1-150 SP, Hong Kong, Azija) s ugrađenom kamerom (MOTIC Moticam 3 3.0 MP, Hong Kong, Azija) pri najmanjem povećanju (4 puta) u svrhu uvida u međusobnu povezanost čestica pri različitom udjelu vlage. Za određivanje raspodjele veličine čestica uzorci su se snimili upotrebom lupe (Assmann Electronic GmbH, Ludenschied, Njemačka). Prije snimanja mikrografa potrebno je snimiti mikrograf kalibracijskog stakalca te na mikrografe uzoraka staviti mikroskalu prema kojoj se određuje veličina čestica uzoraka. Svaki se uzorak snima jednom uz uvjet da mikrograf obuhvaća barem 20 čestica uzorka. Raspodjela veličine čestica određuje se metodom analize slike upotrebom ImageJ softvera (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, SAD) te OriginPro 8.5 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, SAD) za statističku obradu prikupljenih podataka.

3.2.4. Nasipna gustoća – kompresijska krivulja i svojstva tečenja (Hausnerov omjer, Carrov indeks)

Uzorak se slobodno nasipa u menzuru ukupnog volumena 250 mL te izvaže uz očitavanje početnog volumena i mase. Nakon toga se menzura s uzorkom pričvršćuje na postolje vibracionog volumetra laboratorijske izrade. Volumetar se pokreće uključivanjem sklopke, pri čemu se promjena volumena očitava nakon određenog broja udaraca (0, 10, 20, 50, 100, 250, 500, 700, 1000, 1250). Iz zabilježene promjene volumena izrađuje se kompresijska krivulja koja prikazuje promjenu volumena u ovisnosti o broju udaraca volumetra. Podaci za nasipnu gustoću uzoraka nakon 0 i nakon 1250 udaraca koristi se za određivanje svojstava tečenja prema Hausnerovom omjeru koji se računa prema jednadžbi (2) i Carrovom indeksu prema jednadžbi (3):

$$\text{Hausnerov omjer: } HR = \frac{\rho_{\text{vibraciona (1250)}}}{\rho_{\text{vibraciona (0)}}} \quad (2)$$

$$\text{Carrov indeks (\%): } I_C = \frac{\rho_{\text{vibraciona (1250)}} - \rho_{\text{vibraciona (0)}}}{\rho_{\text{vibraciona (0)}}} \cdot 100 \quad (3)$$

Gdje je:

$\rho_{\text{vibraciona (0)}}$ - nasipna gustoća nakon 0 udaraca (kg m^{-3})

$\rho_{\text{vibraciona (1250)}}$ - nasipna gustoća nakon 1250 udaraca (kg m^{-3})

Na temelju izračunatih vrijednosti svojstava tečenja (Hausnerovog omjera i Carrova indeksa), mješavine su kategorizirane prema skalama prikazanim u Tablici 2 za Hausnerov omjer i Tablici 3 za Carrov indeks.

Tablica 2. Veza između Hausnerovog omjera i tečenja prahova (prema Barbosa-Cánovas i sur., 2005)

HR	PONAŠANJE PRAHA PRI TEČENJU
$1,0 < HR < 1,1$	Slobodno teče
$1,1 < HR < 1,25$	Srednje slobodno teče
$1,25 < HR < 1,4$	Loše teče
$HR < 1,4$	Vrlo loše teče

Tablica 3. Veza između Carrovog indeksa (%) i tečenja prahova (prema Turchiuli i sur., 2005)

I _c (%)	PONAŠANJE PRAHA PRI TEČENJU
< 15	Vrlo dobro
15 – 20	Dobro
20 – 35	Korektno
35 – 45	Loše
> 45	Vrlo loše

3.2.5. Analiza rekonstitucijskih svojstava

Rekonstitucijska svojstva određivana su analizom disperzibilnosti i močivosti mješavina.

3.2.5.1. Disperzibilnost

Disperzibilnost se definira vremenom (u sekundama) potrebnim da se određena količina praha, poznatog sadržaja vlage, u potpunosti rasprši u određenoj količini vode pri određenoj temperaturi. Uzorak (vrhom puna čajna žličica) se dispergira u 100 mL destilirane vode

temperature $4 - 6^{\circ} \text{C}$. Štoperica se pokreće u trenutku kada je uzorak usipan u 100 mL vode te započinje ručno miješanje otopine staklenim štapićem sa približno 25 kružnih pokreta kroz 15 sekundi. Kada nakupine praha više ne budu vidljive, tj. budu raspršene u čaši s vodom, zaustavlja se štoperica, a disperzibilnost se izražava brojem sekundi koje su protekle od početka miješanja do potpunog raspršenja praha u vodi. Provode se dva paralelna mjerenja za svaki uzorak.

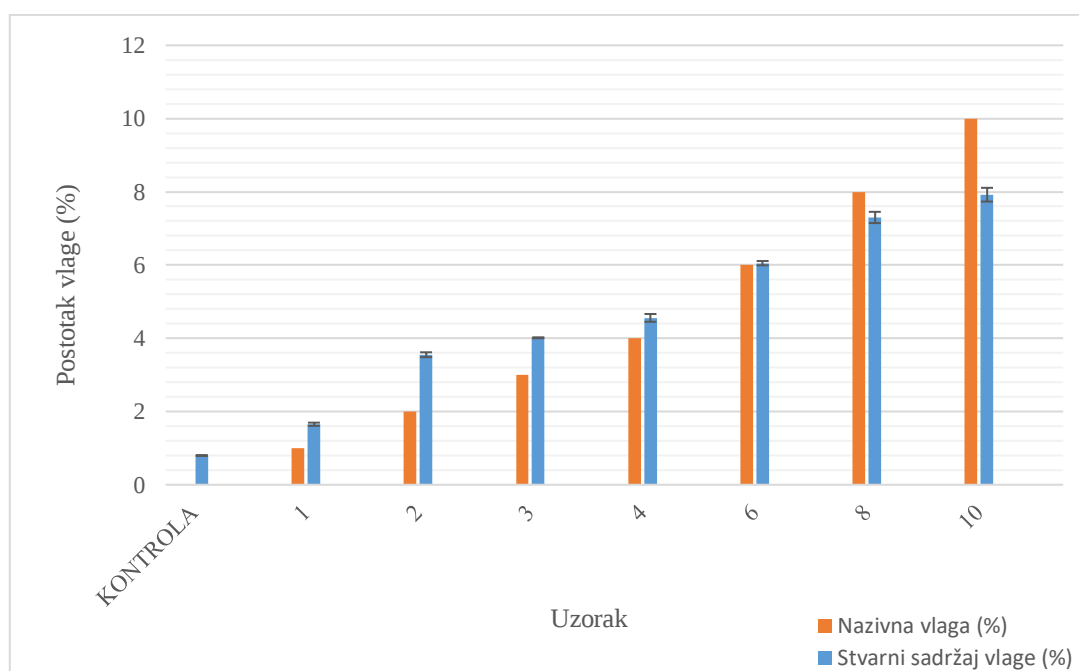
3.2.5.2. Močivost

Močivost je definirana kao vrijeme (u sekundama) potrebno da određena količina praha prodre kroz slobodnu površinu tekućine u mirovanju (Schuck i sur., 2012). Metoda zahtjeva upotrebu lijevka izrađenog od papira visine 100 mm, donjeg promjera 40 mm i gornjeg promjera 90 mm u koji se usipa uzorak prije mjerenja, a koji omogućuje ravnomjernu raspodjelu praha po površini tekućine. Izrađeni lijevak postavlja se na čašu koja sadrži 100 mL destilirane vode temperature $4 - 6^{\circ} \text{C}$, te se u lijevak stavlja tučak čija je uloga prekrivanje otvora lijevka u svrhu sprječavanja prijevremenog istjecanja praha. Vrhom puna čajna žličica praha nasipa se u lijevak s tučkom. Uklanjanjem tučka pokreće se štoperica, a zaustavlja se kada se sve čestice praha nalaze ispod površine vode. Za svaki se uzorak provode 2 paralelna mjerenja.

4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj sadržaja vlage na fizikalna; mikroskopska i makroskopska svojstva aglomeriranih multivitaminskih prahova. Rezultati su prikazani tablično i grafički. Na slici 2 prikazani su rezultati gravimetrijski određivanog sadržaja vlage, na slikama 3 – 11 mikroskopske snimke povezanosti čestica, snimke uzoraka snimljene lupom te odgovarajuće raspodjele veličina. Slika 12 predstavlja kompresijsku krivulju nasipne gustoće uzoraka, tablica 4 obuhvaća svojstva tečenja određena prema izračunima Hausnerovog omjera i Carrovog indeksa. Tablica 5 objedinjuje rezultate rekonstitucijskih mjerenja.

4.1. Gravimetrijska analiza stvarnog sadržaja vlage u uzorku



Slika 2. Grafički prikaz stvarnog sadržaja vlage i nazivne vlage ispitivanih uzoraka multivitaminskog praha kondicioniranih na različit sadržaj vlage

Slika 2. prikazuje rezultate stvarnog sadržaja vlage dobivene gravimetrijskom analizom prethodno pripremljenih uzoraka te sadržaj nazivne vlage na koju su uzorci kondicionirani. Udio vlage kreće se od 0,798 % do 7,922 % te je uzorak s najvećim udjelom vlage (7,922 %) uzorak broj 10, a onaj s najmanjim (0,798 %) KONTROLA. Vidljivo je i linearno povećanje postotka vlage sa količinom dodane vode. Nadalje, vrijednosti stvarnog sadržaja vlage određene gravimetrijskom metodom pokazuju određena odstupanja od pretpostavljenog,

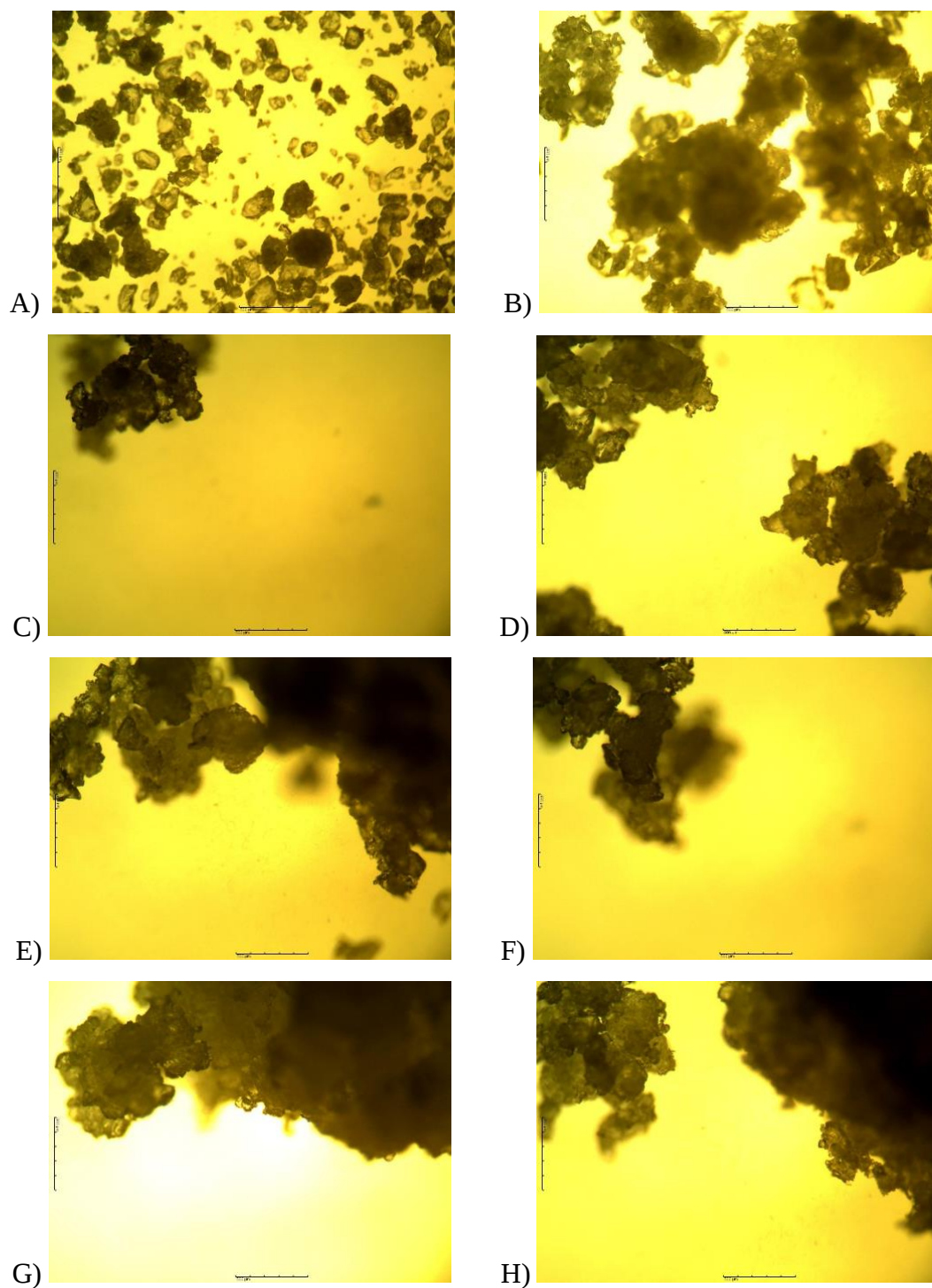
nazivnog sadržaja vlage nakon kondicioniranja. Te se razlike mogu objasniti samom homogenizacijom uzorka. Naime, budući da se radi o praškastom aglomeriranom uzorku, vrlo je teško postići homogenu raspodjelu vlage tokom miješanja, ponajprije zbog činjenice da mehaničko miješanje uzrokuje lom aglomerata i promjenu strukture čestica, što, posljedično, utječe na njezina svojstva (Barbosa-Cánovas, 2005). Također, valja naglasiti da je najveće odstupanje stvarnog sadržaja vlage od onog pretpostavljenog nakon kondicioniranje zabilježeno za uzorak broj 10. U slučaju uzorka broj 10 sušenje nije bilo moguće provesti na temperaturi od 105 °C jer je u uzorku zamićen staklasti prijelaz tijekom kojeg je površina uzorka prekrivena „opnom“ koja nije dozvoljavala daljnji prijelaz vlage iz uzorka u okolni zrak. Radi bolje analize uzorka, uzorak je sušen na 60 °C tijekom 72 sata te je dobiven rezultat od 7,922 % vlage, što je odstupanje od nazivnog sadržaja vlage od otprilike 2 %. Naime, prahovi koji sadrže velike količine šećera, kao što je slučaj sa multivitaminskim prahom (92 g šećera/100 g proizvoda), pri određenim uvjetima temperature i vlage prelaze u staklasto stanje (tzv. staklasti prijelaz) (Adhikari i sur., 2005), pri čemu viši sadržaj vlage dovodi do sniženja temperature staklastog prijelaza niža (Ozmen i Langrish, 2002).

Uzorku KONTROLI se sušenjem uklonila vlaga u iznosu od 0,798 %, iako mu je nazivna vlaga iznosila 0 %. Taj podatak ukazuje na već prisutnu vlagu u netretiranom multivitaminskom prahu čiji uzrok može biti apsorpcija vlage prilikom proizvodnog procesa, ali i apsorpcija nakon otvaranja pakiranja i izlaganja uvjetima okoline koja je izvor vlažnosti higroskopskom prahu te dolazi do kohezije.

U uzorcima s većim udjelima nazivne vlage (uzorci 8 i 10) gravimetrijskom analizom dobiven je manji sadržaj stvarne vlage od nazivne, što je najvjerojatnije zbog povećanja jačine tekućih veznih mostova među česticama praha zahvaljujući povećanju količine tekućine na površini čestice (Kalman, 2021). Formirani tekući mostovi sušenjem prelaze u čvrste vezne mostove čime se povećava čvrstoća nastalog aglomerata (ili grude).

4.2. Mikroskopska analiza čestica uzorka

Mikrografi kondicioniranih prahova na različit sadržaj vlage prikazane su na slici 3, od uzorka s najmanjim udjelom vlage (KONTROLA) do onoga s najvećim (10).



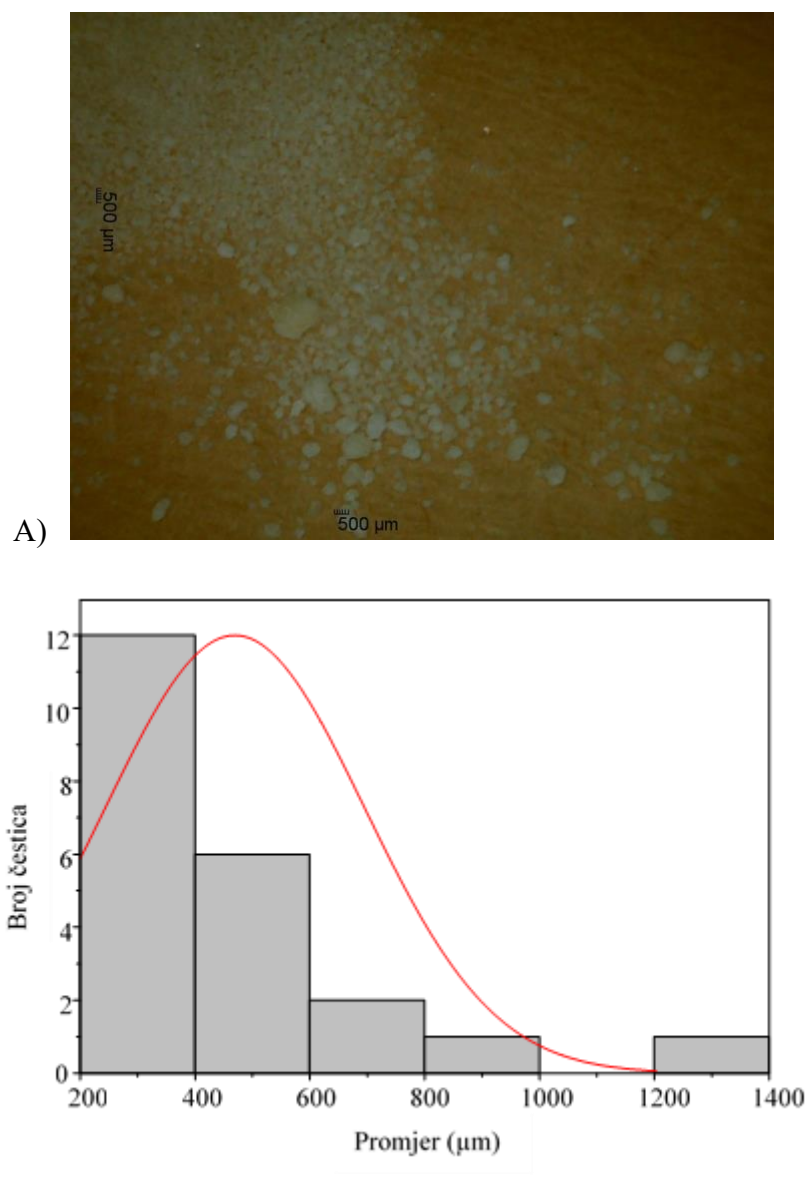
Slika 3. Mikroskopske slike čestica uzoraka: A) KONTROLE, B) 1, C) 2, D) 3, E) 4, F) 6, G) 8, H) 10

Slika mikrografa uzorka KONTROLE (3 A)) prikazuje čestice uzorka multivitaminskog praha bez dodane vlage. Vidljive su čestice različitih veličina i vrlo izraženih oblika i hrapavih

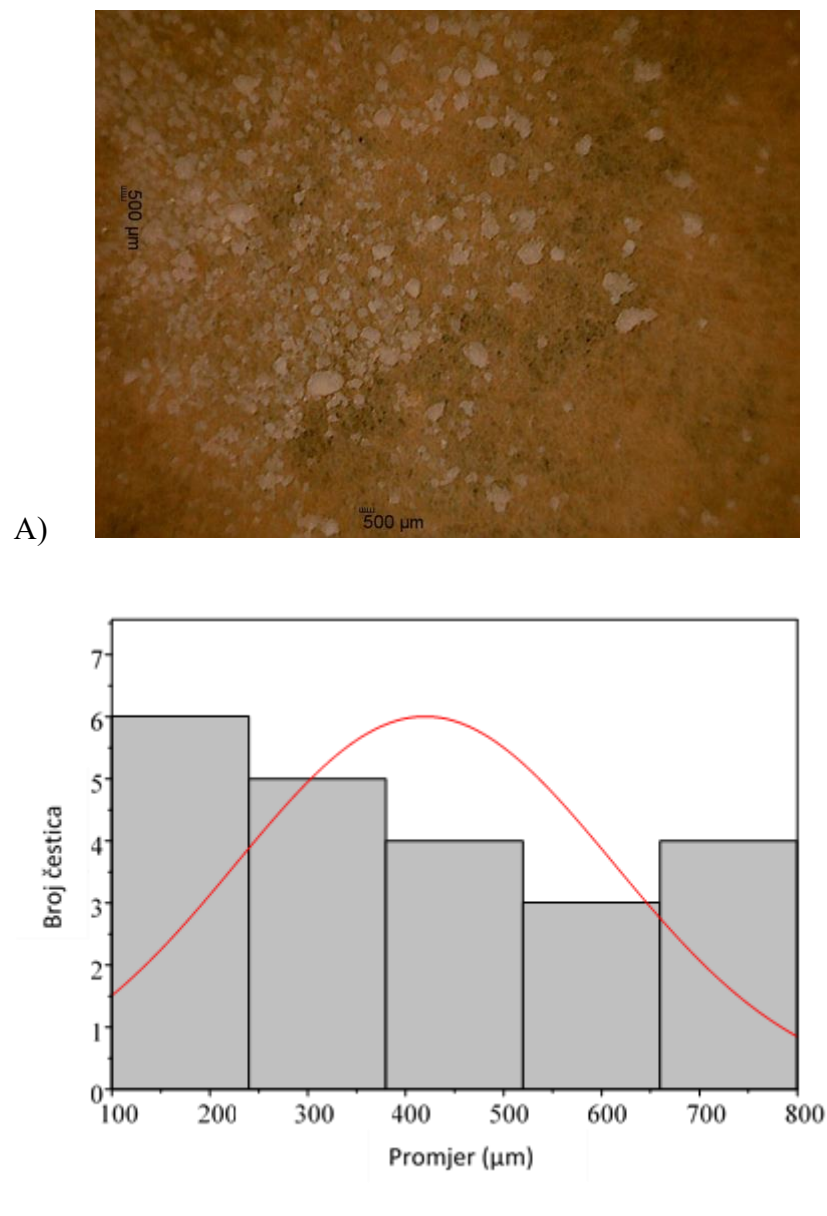
površina što odgovara izgledu suhih prahova ili onih s niskim udjelom vlage jer na površini čestica ne postoji sloj vode kojim bi se one mogle međusobno povezati. Sile koje prevladavaju su Van der Waalsove sile i vrlo mali broj veznih mostova. Slika 3 B) koja prikazuje uzorak 1 znatno se razlikuje od slike 3 A) zbog većeg udjela vlage koji omogućuje stvaranje tankog adsorpcijskog sloja te uzrokuje međusobno vezanje čestica tekućim veznim mostovima i stvaranje aglomerata. Čestice su puno veće i poroznije, nepravilnog oblika koji nazivamo pendularni. Slike 3; C), D), E) i F) vrlo su slične. U tim uzorcima raste udio vlage, na površini, ali i u porama struktura, a time raste broj veza između čestica, a posebno udio tekućinskih mostova što nastale aglomerate čini čvršćima. Takav oblik nazivamo funikularni. Slike 3; G) i H) predstavljaju mikrografe uzoraka 8 i 10, onih s najvećom nazivnom vlagom, s najvećim slojem vode oko čestica i u porama čestica, najizraženijom kohezijom i najjačim vezama koje povećavaju čvrstoću aglomerata. Možemo reći da je oblik aglomerata kapilarni (Fayed i Otten, 1997).

4.3. Određivanje raspodjele veličine čestica analizom slike

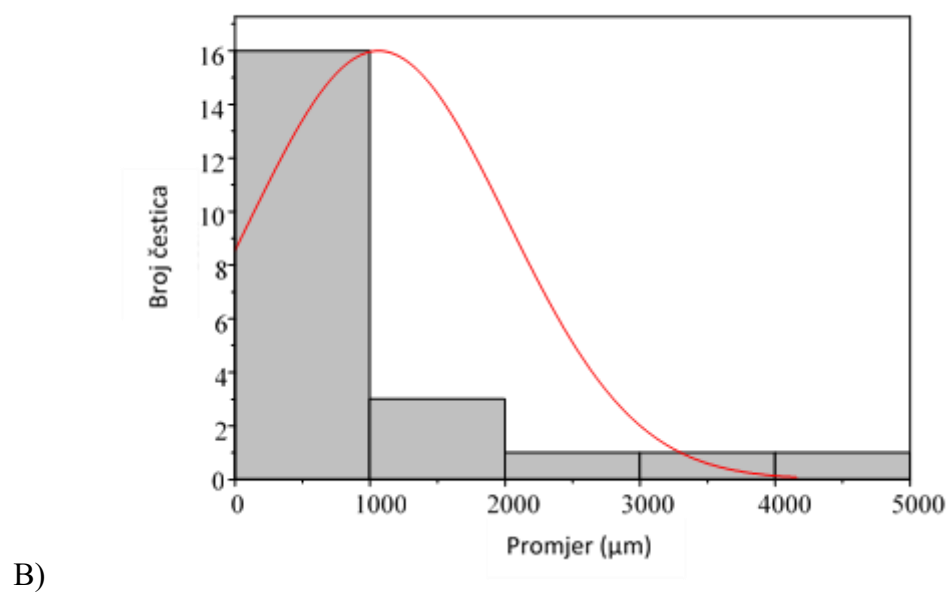
Svaka slika (od 4 do 11) sastoji se od snimljenih prikaza reprezentativne nakupine čestica za određeni uzorak snimljene pod lupom sa ugrađenom kamerom Ednet (Assmann Electronic GmbH, Ludenschied, Njemačka) i od histograma koji prikazuju raspodjelu veličine čestica po broju, konstruiranih obradom snimljenih prikaza. Veličina čestica aproksimirana je pomoću Feretovog promjera budući da je obrađivana dvodimenzionalna slika čestice. Stoga je važno napomenuti da rezultati ovise o položaju i orijentaciji čestice u vidnom polju tijekom mikroskopije. Prikazom i obradom rezultata raspodjela veličina čestica za uzorke istog praha, ali s različitim sadržajem vlage, može se predvidjeti ili pretpostaviti ponašanje praha u industriji u uvjetima u kojima je pod utjecajem vlažnosti. Primarna svojstva kao što je veličina čestica uvjetuju i utječu na sva ostala svojstva i sveukupnu karakterizaciju praha.



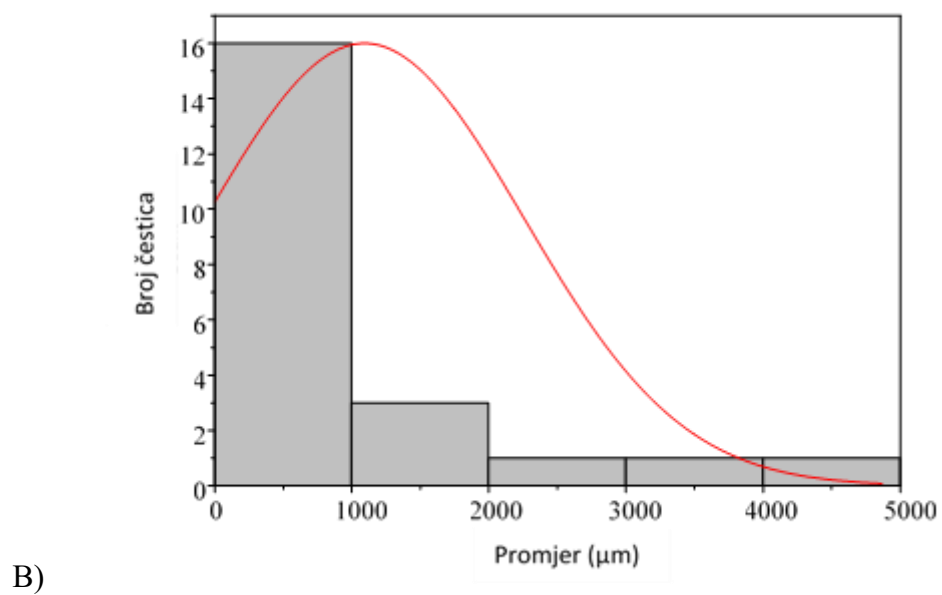
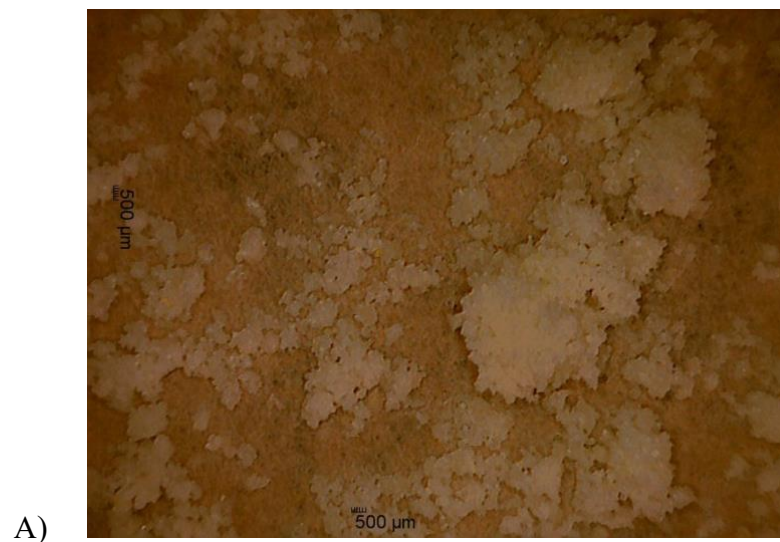
Slika 4. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „KONTROLA“



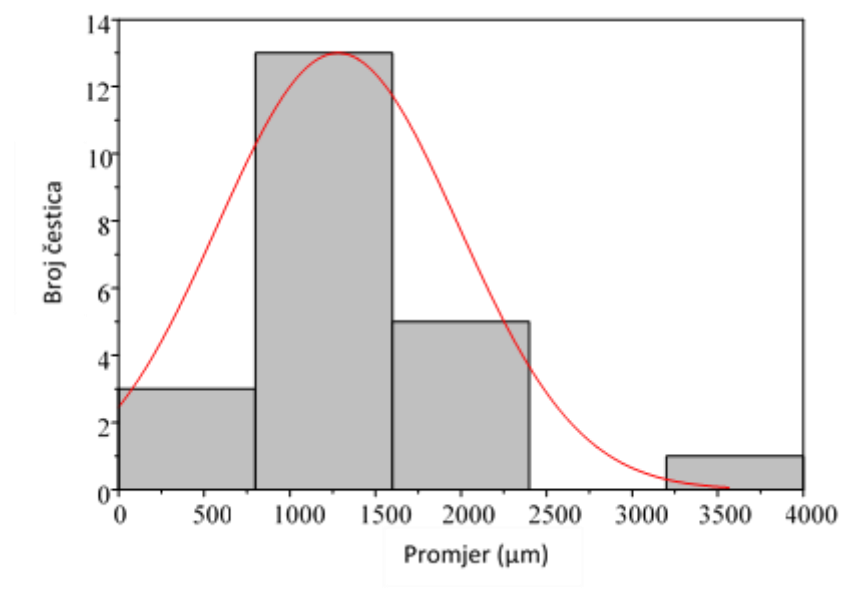
Slika 5. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „1“



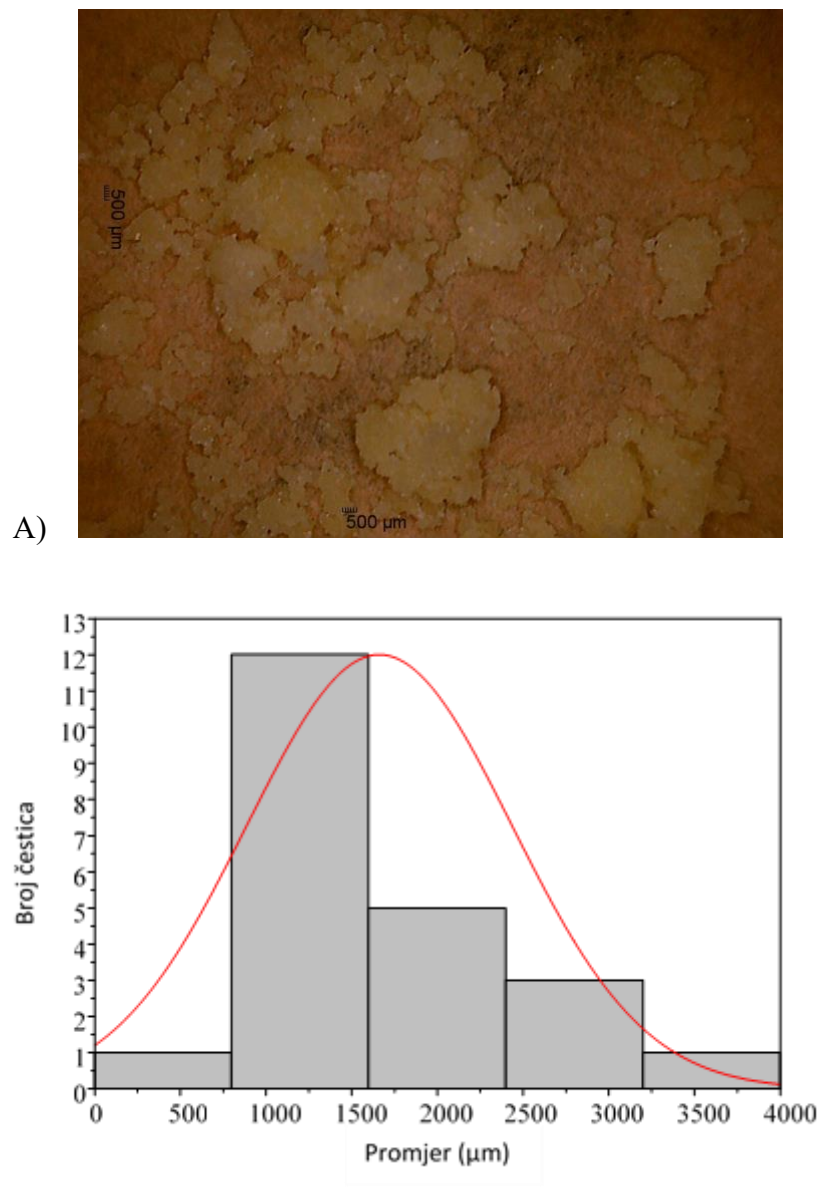
Slika 6. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „2“



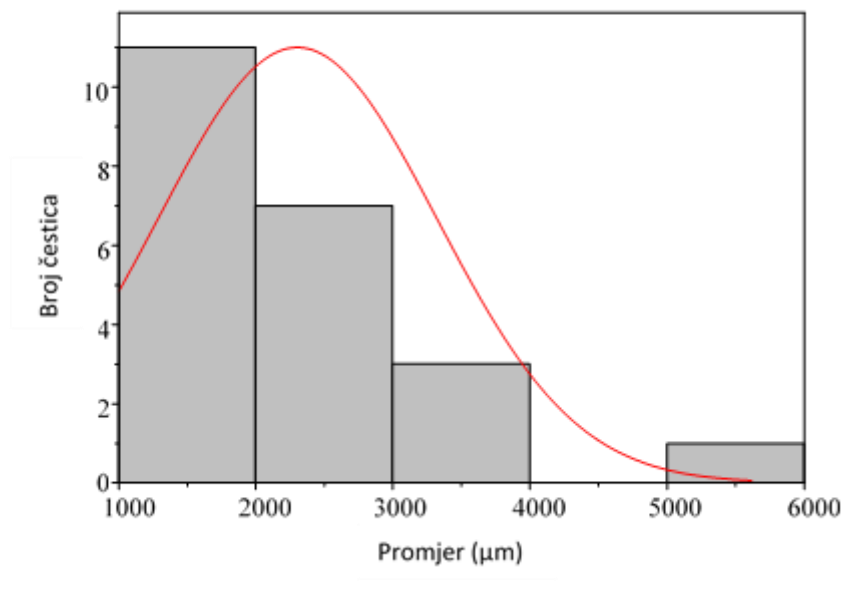
Slika 7. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „3“



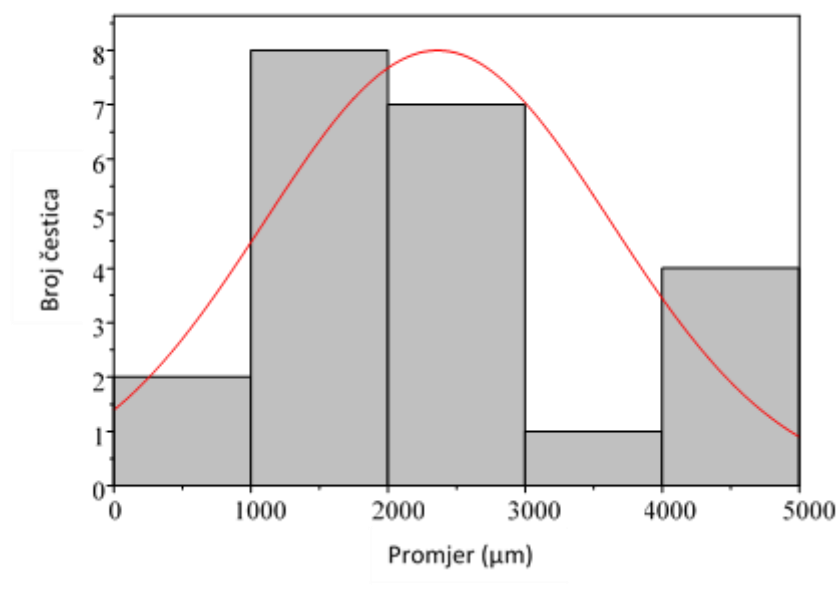
Slika 8. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „4“



Slika 9. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „6“



Slika 10. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „8“.



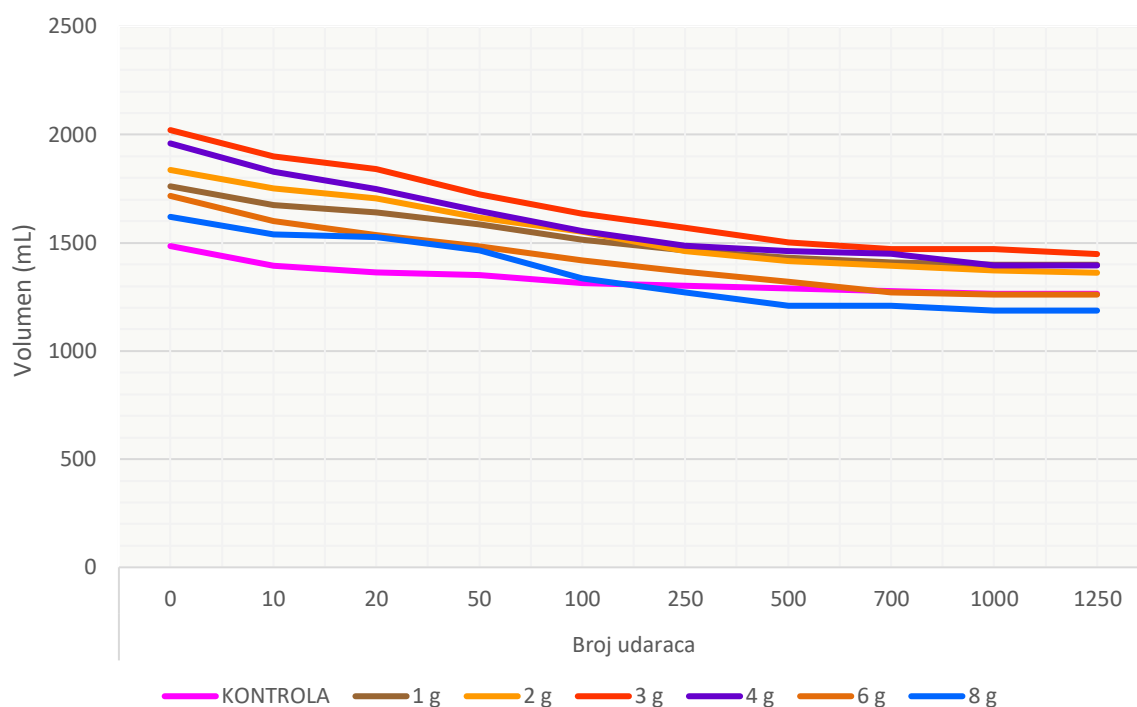
Slika 11. A) slika snimljena lupom i B) grafički prikaz raspodjele veličine čestica po broju i njezina frekvencijska krivulja uzorka „10“

Zabilježena veličina čestica u uzorku KONTROLI (slika 4) nalazi se u rasponu od 239,622 μm do 1248,762 μm . Većina čestica nalazi se u rasponu od 200 do 400 μm zbog čega je i frekvencijska krivulja pomaknuta prema nižim vrijednostima promjera s točkom obrata na 469,404 μm . Kod uzorka broj 1 (slika 5) raspon veličine izmjerenih čestica je od 191,631 μm do 745,270 μm , što je niže od raspona uzorka KONTROLE, ali je raspodjela veličina jednolikija kroz cijeli raspon veličina zbog čega je točka obrata veća i iznosi 419,735 μm . Uzorak broj 2 (slika 6) ima raspodjelu veličine čestica od 319,911 μm do 4117,479 μm . Većina

čestica nalazi se u rasponu od 0 μm do 1000 μm pa je samim time i prosječna veličina u tom rasponu (1064,162 μm). U uzorku broj 3 (slika 7) minimalna veličina je 191,882 μm , a maksimalna 4734,051 μm . Točka obrata iznosi 1092,943 μm . U uzorku broj 4 (slika 8) raspon veličina je od 378,044 μm do 3661,112 μm uz neravnomjernu raspodjelu i vrhom distribucijske krivulje na 1280,856 μm . Uzorak broj 6 (slika 9) ima raspodjelu veličine čestica od 780,318 μm do 3623,313 μm s točkom obrata na 1661,235 μm . Veličina čestica uzorka broj 8 (slika 10) nalazi se u rasponu od 1055,027 μm do 5723,667 μm , a točka obrata je 2304,022 μm . Uzorak broj 10 (slika 11) ima raspodjelu veličine čestica od 804,803 μm do 4670,141 μm . Raspon je manji nego raspon veličina za uzorak broj 8, ali je veći udio čestica s većim promjerom. Stoga je i točka obrata 2360,770 μm .

Može se primijetiti da iako se raspon veličina čestica ne povećava linearno, ipak je pomak vrha frekvencijske krivulje konstantno linearan i raste s povećanjem udjela vlage u uzorku, što znači da je zastupljenost većih čestica veća u uzorcima s više vlage. Nelinearnost raspona pripisuje se mogućem lomu aglomerata uzrokovanih prije mjerenja zbog težine aglomerata i povećane krhkosti uzrokovane velikim količinama vlage, ali i nedovoljno jakim međučestičnim silama da održe stabilnost nastalog aglomerata. Također, slike snimljene lupom (slike od 4 do 11 pod B)) prikazuju promjenu veličine i izgleda čestica pod utjecajem vlage. Povećanjem udjela vlage u uzorku veličina čestica vidljivo raste, bez pravilnog oblika i lošije uniformnosti (Kalman, 2021). Ovi rezultati u skladu su sa mikroskopskim slikama uzoraka pri povećanju 4x (slika 3), na kojima je vidljivo povezivanje čestica i stvaranje tekućih mostova između čestica što je glavni uzrok povećanja veličine čestica u uzorcima s povećanim sadržajem vlage.

4.4. Nasipna gustoća – kompresijska krivulja i svojstva tečenja (Hausnerov omjer, Carrov indeks)



Slika 12. Kompresijska krivulja promjene volumena uzoraka KONTROLA, 1, 2, 3, 4, 6 i 8 pri određenom broju udaraca (0, 10, 20, 50, 100, 250, 500, 700, 1000, 1250)

Slika 12 prikazuje promjenu volumena uzoraka podvrgnutih udarcima određenog broja pri mjerenju nasipne gustoće koristeći vibracioni volumetar. Volumen svih uzoraka smanjio se povećanjem broja udaraca što ukazuje na prisutnost zraka među nakupinama čestica zbog čega je kompresibilnost veća. Nakon većih broja udaraca (od 1000) volumen uzoraka stagnira što odgovara literaturnim podacima jer gustoća praha ne može beskonačno rasti bez obzira na vibracije kojima se podvrgava (Peleg, 1983). Isto tako će pod utjecajem vlage, zbog velike čvrstoće, jedinica praha vibracije imati manji učinak na povećanje gustoće. Najveću promjenu volumena imao je uzorak broj 3 u iznosu od 572,936 mL (po gramu uzorka), a najmanju uzorak KONTROLA od 220,774 mL (po gramu uzorka). Velika promjena volumena može biti zabilježena zbog velikog početnog nasipnog volumena koji uključuje veliku količinu zraka u prostorima između čestica ili zbog najmanje čvrstoće aglomerata uzrokovane slabim vezama među česticama, a najveće kompresije zbog kojih su vrlo nestabilni i skloni lomu (Ganesan i sur., 2008). Također je vidljivo da uzorci s većim sadržajem vlage pokazuju veći pad volumena

pri manjem broju udaraca (strmiji pad kompresijske krivulje), do čega dolazi zbog povećane mase čestica prisutnih u uzorku koje zbog velike količine vlage lakše padaju prema dnu mjernog cilindra. Uzorak broj 10 činile su prevelike i navlažene granule te nije bio prikladan za test nasipne gustoće.

Tablica 4. Svojstva tečenja prema Hausnerovom omjeru (HR) i Carrovom indeksu (I_C) za uzorke KONTROLA, 1, 2, 3, 4, 6 i 8

Uzorak	ρ_0 (kg m ⁻³)	ρ_{1250} (kg m ⁻³)	HR	Ponašanje praha pri tečenju prema HR-u	I_C (%)	Ponašanje praha pri tečenju prema I_C (%)
KONTROLA	673,361 ± 33,037	790,943 ± 15,476	1,18	srednje slobodno	17,55	dobro
1	567,810 ± 23,374	714,951 ± 2,426	1,26	loše teče	26,03	korektno
2	544,444 ± 31,427	734,345 ± 15,936	1,35	loše teče	35,02	korektno / loše
3	494,792 ± 7,366	690,553 ± 27,046	1,40	loše teče / vrlo loše teče	39,54	loše
4	510,307 ± 5,626	716,578 ± 15,125	1,40	loše teče / vrlo loše teče	40,45	loše
6	582,418 ± 34,967	793,155 ± 23,149	1,36	loše teče	36,31	loše
8	617,284 ± 69,838	842,601 ± 79,586	1,37	loše teče	36,65	loše

Hausnerov omjer predstavlja omjer gustoće sabijenog praha i aerodinamične gustoće, Carrov indeks je razlika gustoće sabijenog praha i aerodinamične gustoće podijeljena s aerodinamičnom gustoćom, a prikazan u obliku postotka. Vrijednosti Hausnerovog omjera i Carrovog indeksa, prikazane u tablici 4, nisu linearne s povećanjem udjela vlage u uzorku te najbolje ponašanje pri tečenju (srednje slobodno ili dobro) ostvario je uzorak KONTROLA, a najlošije (loše teče / vrlo loše teče ili loše) uzorci 3 i 4. Ove vrijednosti daju uvid u relativnu snagu čestica i silu trenja prisutne u prahu. KONTROLA ima najbolje svojstvo tečenja jer je utjecaj sabijanja najmanji što znači da je čvrstoća praha dovoljno velika da onemogući prekomjerni lom čestica i njegovo slobodno kretanje pod utjecajem gravitacije (Barbosa-Cánovas i Juliano, 2005). Uzorci 3 i 4 imaju određenu količinu vlage koja je uzrokovala

stvaranje većih aglomerata i veću raspodjelu veličine čestica. Takav prah ima loša svojstva tečenja zbog slabih veza među česticama koje se pri sabijanju lome i imaju tendenciju raspadanja na sitnije čestice. Uzorci s većim udjelima vlage (uzorak 6 i 8) imaju stabilnije aglomerate koji se pod utjecajem gravitacije neće tako lako slomiti (Ganesan i sur., 2008; Peleg, 1983).

4.5. Analiza rekonstitucijskih svojstava, disperzibilnost i močivost

Tablica 5. Disperzibilnost i močivost uzoraka KONTROLE, 1, 2, 3, 4, 6, 8 i 10

Uzorak	Disperzibilnost (s)	Močivost (s)
KONTROLA	$18,5 \pm 2,121$	$0,00 \pm 0,00$
1	$44 \pm 9,899$	$0,00 \pm 0,00$
2	$85 \pm 4,243$	$0,00 \pm 0,00$
3	$107 \pm 5,657$	$0,00 \pm 0,00$
4	$122 \pm 1,414$	$0,00 \pm 0,00$
6	$144,5 \pm 20,506$	$0,00 \pm 0,00$
8	$141 \pm 14,142$	$0,00 \pm 0,00$
10	$338 \pm 19,799$	$0,00 \pm 0,00$

Rezultati mjerenja rekonstitucijskih svojstava prikazani su tablicom 5. Najveću vrijednost disperzibilnosti imao je uzorak broj 10, a najmanju uzorak KONTROLA. Vrijeme potrebno da prah distribuira na pojedinačne čestice u volumenu vode povećava se povećanjem udjela vlage u prahu. Za dobru disperzibilnost odgovorna je poroznost čestica i mala gustoća jer porozna struktura brzo uvlači vodu kapilarnim silama u pore čestica. Uzorci s većim sadržajem vlage sastavljeni su od granula pojedinačnih čestica čije su pore ispunjene slojem vode i formirane su jake vezne sile među njima koje ne dopuštaju rekonstitucijskoj vodi da prodre i razbije aglomerate, već je potrebna veća sila kao što je mehaničko miješanje kroz duži vremenski period (Galet i sur., 2004). Močivost svih uzoraka bila je izvrsna zbog mase zbog koje uzorak lako prodire kroz površinu vode i neprisutnosti komponenata koje bi povećale kontaktni kut (npr. masti), a prisutnosti hidrofilnih (Dhanalakshmi i Bhattacharya, 2011; Galet i sur., 2004). Također, močivost je izvrsna zbog postojanja porozne strukture unutar aglomerata koja ima svojstvo brzog upijanja i prijenosa vode do svih dijelova čestice.

5. ZAKLJUČCI

1. Porast vlage u uzorcima linearan je s količinom dodane vode.
2. Mikroskopskom analizom uzoraka prahova utvrđeno je da raspodjela vlage kroz uzorke nije homogena te da se izgled i oblik čestica mijenjanju pod utjecajem vlage.
3. Zbog prisutnosti velike količine šećera u prahovima pri visokim udjelima vlage dolazi do pojave staklastog prijelaza.
4. Feretov promjer čestica raste povećanjem vlage u uzorku.
5. Vrijednosti Hausnerovg omjera i Carrovog indeksa povećavaju se s povećanjem udjela vlage u uzorcima, što ukazuje na pogoršanje svojstava tečenja sa povećanjem sadržaja vlage u uzorku.
6. Disperzibilnost multivitaminskih prahova se povećava s povećanjem udjela vlage, a moćivost je izvrsna bez obzira na količinu vlage.

6. POPIS LITERATURE

Adhikari B, Howes T, Lecomte D, Bhandari BR (2005) A glass transition temperature approach for the prediction of the surface stickiness of a drying droplet during spray drying. *Powder Technol* **149**, 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2004.11.007>

Armstrong B, Brockbank K, Clayton J (2014) Understand the Effects of Moisture on Powder Behavior. *Chem Eng Progress* **110**, 25-30.

Balasubramanian S, Viswanathan R (2010) Influence of moisture content on physical properties of minor millets. *J Food Sci Technol* **47**, 279-284. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0043-z>

Barbosa-Cánovas GV, Juliano P (2005) Encapsulated and powdered foods, 1. izd., Taylor & Francis, London, str. 51-86.

Barbosa-Cánovas GV, Ortega-Rivas E, Juliano P, Yan H (2005) Food Powders; Physical Properties, Processing, and Functionality, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Belščak-Cvitanović A, Benković M, Komes D, Bauman I, Horžić D, Dujmić F, Matijašec M (2010) Physical Properties and Bioactive Constituents of Powdered Mixtures and Drinks Prepared with Cocoa and Various Sweeteners. *J Agric Food Chem* **58**, 7187-7195. <https://doi.org/10.1021/JF1005484>

Benković M (2013) Fizikalno-kemijska i senzorska svojstva obogaćenih praškastih mješavina na bazi kave (disertacija), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Chang KS, Kim DW, Kim SS, Jung MY (1998) Bulk flow properties of model food powder at different water activity. *Int J Food Prop* **1**, 45-55. <https://doi.org/10.1080/10942919809524564>

Chauhan AK, Patil V (2013) Effect of packaging material on storage ability of mango milk

powder and the quality of reconstituted mango milk drink. *Powder Technol* **239**, 86-93.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.01.055>

Coelho MC, Harnby N (1978) Moisture Bonding in Powders. *Powder Technol* **20**, 201-205.
[https://doi.org/10.1016/0032-5910\(78\)80049-7](https://doi.org/10.1016/0032-5910(78)80049-7)

Dhanalakshmi K, Bhattacharya S (2011) Compaction agglomeration of corn starch in presence of different binders. *J Food Eng* **104**, 348-355.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.027>

Dhanalakshmi K, Ghosal S, Bhattacharya S (2011) Agglomeration of Food Powder and Applications. *Crit Rev Food Sci Nutr* **51**, 432-441.
<https://doi.org/10.1080/10408391003646270>

Downton GE, Flores-Luna JL, King CJ (1982) Mechanism of Stickiness in Hygroscopic, Amorphous Powders. *Ind Eng Chem Fundam* **21**, 447-451.
<https://doi.org/10.1021/i100008a023>

Dyaningrum EF, Lutfiyah RA, Diasti DR, Karyadi JNW, Saputro AD (2019) Physical characteristics of instanised Cocoa drink sweetened with Palm Sap Sugar: A preliminary study. U: The 3rd International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering. *IOP Conf Series: Earth and Environmental Science* **355**, str. 1-8.

Fang Y, Selomulya C, Chen XD (2007) On Measurement of Food Powder Reconstitution Properties. *Dry Technol* **26**, 3-14. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930701780928>

Fayed ME, Otten L (1997) Handbook of Powder Science & Technology, 2. izd., Chapman & Hall, New York.

Galet L, Vu TO, Oulahna D, Fages J (2004) The wetting behaviour and dispersion rate of Cocoa powder in water. *Food Bioprod Process* **82**, 298-303.
<https://doi.org/10.1205/fbio.82.4.298.56399>

Ganesan V, Rosentrater KA, Muthukumarappan K (2008) Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders – a review with implications for DDGS. *Biosyst Eng* **101**, 425-435. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.008>

Hogekamp S, Schubert H (2003) Rehydration of Food Powders. *Food Sci Tech Ing* **9**, 223-235. <https://doi.org/10.1177/1082013203034938>

Mauer LJ, Forny L, Meunier V, Taylor L (2019) Optimizing the Quality of Food Powder Products: The Challenges of Moisture-Mediated Phase Transformations. *Annu Rev Food Sci Technol* **10**, 457-478. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121224>

Kalman H (2012) Effect of moisture content on flowability: Angle of repose, tilting angle, and Hausner ratio. *Powder Technol* **393**, 582-596. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.08.010>

Karimi M, Kheiralipour K, Tabatabaefar A, Khoubakht GM, Naderi M, Heidarbeigi K (2009) The Effect of Moisture Content on Physical Properties of Wheat. *Pak J Nutr* **8**, 90-95. <https://scialert.net/abstract/?doi=pjn.2009.90.95>

Kukina L (2019) Primjena kemometrije u karakterizaciji in vitro procesa probave te fizikalnih i kemijskih svojstava multivitaminskih dodataka prehrani (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Landillon V, Cassan D, Morel MH, Cuq B (2008) Flowability, cohesive, and granulation properties of wheat powders. *J Food Eng* **86**, 178-193. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.022>

Masuda H, Higashitani K, Yoshida H (2006) Powder Technology Handbook, 3. izd., Taylor & Francis, London.

McGlinchey D (2005) Characterisation of Bulk Solids, Blackwell Publishing, Glasgow.

Moravkar KK, Korde SD, Bhairav BA, Shinde SB, Kakulade SV, Chalikwar SS (2020)

Traditional and Advanced Flow Characterization Techniques: A Platform Review for Development of Solid Dosage Form. *Ind J Pharm Sci* **82**, 945-957, doi: 10.36468/pharmaceutical-sciences.726

Mukherjee S, Bhattacharya S (2006) Characterization of agglomeration process as a function of moisture content using a model food powder. *J Texture Stud* **37**, 35-48. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2006.00037.x>

Olusanmi D, Wang C, Ghadiri M, Ding Y, Roberts KJ (2010) Effect of temperature and humidity on the breakage behaviour of Aspirin and sucrose particles. *Powder technol* **201**, 248-252. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.04.003>

Opaliński I, Chutkowski M, Hassanpour A (2016) Rheology of moist food powders as affected by moisture content. *Powder Technol* **294**, 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.02.049>

OriginLab Corporation (2010) OriginPro 8.5. <https://www.originlab.com/> Pristupljeno 1. Srpnja 2022.

Ozmen L, Langrish TAG (2002) Comparison of glass transition temperature and sticky point temperature for skim milk powder, *Dry Technol* **20**, 1177-1192. <https://doi.org/10.1081/DRT-120004046>

Palzer S (2005) The effect of glass transition on the desired and undesired agglomeration of amorphous food powders. *Chem Eng Sci* **60**, 3959-3968. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.02.015>

Peleg M (1978) Flowability of food powders and methods for its evaluation- a review. *J Food Process Eng* **1**, 303-328. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1977.tb00188.x>

Peleg M (1983) Physical properties of food powders. *Food Eng* **1**, 293-324

Peleg M, Mannheim CH (1972) Effect of conditioners on the flow properties of powdered

sucrose. *Powder Technol* **7**, 45-50. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(73\)80007-5](https://doi.org/10.1016/0032-5910(73)80007-5)

Peleg M, Mannheim CH, Passy N (1973) Flow properties of some food powders. *J Food Sci* **38**, 959-964. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb02124.x>

Perea-Flores MJ, Fabela-Morón MF, Rayas-Amor AA, Pérez-Ruíz RV, Ruíz-Hernández R, Linares-Violante B, i sur. (2021) Physical-chemical properties and microstructural characterization of traditional mexican chili (*Capsicum annuum* L.) powders. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i9.2145>

Rao Q, Labuza TP (2012) Effect of moisture content on selected physicochemical properties of two commercial hen egg white powders. *Food Chem* **132**, 373-384. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.107>

Sandler N, Reiche K, Heinämäki J, Yliruusi J (2010) Effect of Moisture on Powder Flow Properties of Theophylline. *Pharm* **2**, 275-290. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics2030275>

Sandler N, Wilson D (2010) Prediction of Granule Packing and Flow Behavior Based on Particle Size and Shape Analysis. *J Pharm Sci* **99**, 958-968. <https://doi.org/10.1002/jps.21884>

Schubert H (1987) Food Particle Technology. Part 1: Properties of Particles and Particulate Food Systems. *J Food Eng* **6**, 1-32. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(87\)90019-7](https://doi.org/10.1016/0260-8774(87)90019-7)

Schubert H (1990) Instantisieren pulverförmiger Lebensmittel. *Chemie Ingenieur Technik* **62**, 892-906. <https://doi.org/10.1002/cite.330621106>

Schuchmann H (2011) Coffee-Based Beverages. *Ullmann`s encycl ind chem* **9**, 500-517. https://doi.org/10.1002/14356007.m07_m01

Schuck P, Dolivet A, Jeantet R (2012) Analytical Methods for Food and Dairy Powders, 1. izd., Wiley–Blackwell ili A John Wiley & Sons, Rennes.

Schuhmann H, Hoge Kamp S, Schubert H (1993) Jet agglomeration processes for instant foods. *Trends Food Sci Technol* **4**, 179-183. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90121-P](https://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90121-P)

Szulc K, Lemart A (2016) Effect of composition on physical properties of food powders. *Int Agrophys* **30**, 237-243. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0084>

Teunou E, Fitzpatrick JJ (1999) Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. *J Food Eng* **42**, 109-116. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00087-4)

Traina K, Cloots R, Bontempi S, Lumay G, Vandewalle N, Boschini F (2012) Flow abilities of powders and granular materials evidenced from dynamical tap density measurement. *Powder Technol* **235**, 842-852. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.11.039>

Turchiuli C, Eloualia Z, El Mansouri N, Dumoulin E (2005) Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. *Powder Technol* **157**, 168 – 175. <https://doi.org/10.1016/J.POWTEC.2005.05.024>

Izjava o izvornosti

Ja Martina Čosić izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Martina Čosić

Vlastoručni potpis