

ORIGINALNI ZNAZSTVENI RAD

# Reološka svojstva majoneze s mješavinom suncokretovog, repičinog i ulja kukuruzne klice

*Tihomir Moslavac<sup>1\*</sup>, Monika Pavlović<sup>2</sup>*

## Sažetak

Mjerenja reoloških svojstava su vrlo važna u prehrambenoj industriji, jedan su od osnovnih parametara kvalitete proizvoda. U ovom radu istraživana je utjecaj mliječne komponente, ugljikohidrata, žumanjka jajeta, brzine rotora i vremena homogenizacije na reološka svojstva majoneze s mješavinom ulja. Za izradu majoneze korištene su različite vrste biljnih ulja: suncokretovo ulje, repičino ulje i ulje kukuruzne klice. Mehanički proces homogenizacije majoneze proveden je u laboratorijskom homogenizatoru kod 10000 o/min u trajanju od 3 minute pri sobnoj temperaturi. Majoneza sa 75 % uljnom fazom izrađena je po tradicionalnoj recepturi bez dodanog konzervansa čime je trajnost proizvoda vremenski ograničena. Mjerenja reoloških svojstava provedena su na rotacijskom viskozimetru s koncentričnim cilindrima, pri temperaturi 25 °C. Iz dobivenih podataka izračunati su reološki parametri: prividna viskoznost, koeficijent konzistencije i indeks tečenja. Rezultati istraživanja pokazuju da mliječna komponenta, žumanjak jajeta i vrsta ugljikohidrata utječu na reološka svojstva majoneze. Porastom brzine rotora i vremena trajanja procesa homogenizacije mijenjaju se reološka svojstva majoneze.

**Ključne riječi:** majoneza, reološka svojstva, proces homogenizacije, sastojci majoneze

## Uvod

Majoneza je kao prehrambeni proizvod široko konzumiran (Cristina, 2005.), najpoželjniji je umak među mladima, jedan je od najkorištenijih umaka u svijetu i često se koristi kao namaz za sendvič. Boja majoneze je obično blijedo žuta ili je ponekad prisutna u bijeloj boji s raznolikom konzistencijom. To je proizvod koji predstavlja polu čvrstu emulziju tipa ulje/voda, a formuliran je emulgiranjem biljnog ulja sa žumanjkom, octom, šećerom, senfom i začинима (Singla i sur., 2013.; Raikos

i sur., 2016.). Prema Pravilniku (1999.) majoneza (punomasna) mora sadržavati min. 75 % biljnog ulja koji čini uljnu fazu proizvoda. McClements i Demetriades (1998.) utvrđuju da jestivo biljno ulje kao osnovni sastojak majoneze ima važnu ulogu u stvaranju ovog tipa emulzije ulje/voda, doprinosi okusu, teksturi te oksidacijskoj stabilnosti. Sadržaj ulja u majonezi ima značajan učinak na reološka svojstva kao što je vrijednost prinosa, modul skladištenja i gubitka. Štern i sur. (2007.) u istraživanju pokazuju

<sup>1</sup> Prof. dr. sc. Tihomir Moslavac, Prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Osijek, Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska.

<sup>2</sup> Monika Pavlović, student Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru, Biskupa Čule bb, 88000 Mostar, Bosna i Hercegovina.

\*Autor za korespondenciju: [tihomir.moslavac@ptfos.hr](mailto:tihomir.moslavac@ptfos.hr)

kako je izražen utjecaj sadržaja ulja na viskoznost majoneze opaženu u ustima i na mazivost. Danas se u proizvodnji majoneze korištenjem različitih vrsta biljnih ulja postiže definiran željeni sastav masnih kiselina i tokoferola koji imaju funkciju prirodnih antioksidanasa te se mogu poboljšati prehrambena i senzorska svojstva majoneze (Kostyra i Barylko-Pikielna, 2007.). Izradom majoneze sa uljnom fazom koju čini mješavina jestivih biljnih ulja npr. suncokretovog ulja koji obogaćuje proizvod visokim udjelom esencijalnog linolnog masnog kiselinom, repičinog ulja bogatog esencijalnom  $\alpha$ -linolenskom masnom kiselinom ( $\omega$ -3) i ulja kukuruzne klice gdje dominira gama tokoferol 70-80 % i ubikvinon 200 mg/kg kao prirodni antioksidansi doprinose većoj stabilnosti (održivosti) majoneze prema oksidacijskom kvarenju. Vrlo važan sastojak ovog proizvoda, emulzije ulje/voda je žumanjak jajeta (Hasenhuettl, 2008.; Narsimhan i Wang, 2008.). Emulzija majoneze stabilizira se žumanjkom koji sadrži različite sastojke poput proteina (livetin, lipovitellin i lipovitellin) i lecitina (fosfolipida). Hidrofobna interakcija s kapljicama uljne faze ostvarena je uz pomoć sastojaka žumanjka (Huang i sur., 2016.). Emulzija majoneze bit će stabilna samo ako se ispravno odaberu različiti parametri poput količine žumanjka, količine biljnog ulja, omjera ulja i vodene faze, postupka homogenizacije i kvalitete vode (Gorji i sur., 2016.). Koristi se u proizvodnji majoneze kao emulgator, ali daje i željeni okus i boju (Baldwin, 1990.; Mine, 1998.). Emulgirajući kapacitet žumanjka jajeta uglavnom je zbog prisutnosti fosfolipida, lipoproteina visoke gustoće i niske gustoće. Ocat, sol, šećer i senf dodaju se majonezi kao sastojci koji formiraju okus, ali također igraju važnu ulogu u fizičkoj stabilnosti emulzije (McClements i Decker, 2000.). Dodatkom luteina, fikocijanina i drugih spojeva (Batista, 2006.), procesirane cikle (Raikos, 2016.) te voćne komponente (pulpa) postiže se oksidacijska stabilnost te specifičan okus i boja majoneze koja potiče zanimanje potrošača prema novim okusima i novim proizvodima. Određivanje reoloških svojstava jedan su od značajnih čimbenika kvalitete hrane (Mezger, 2002.) tako i proizvoda tipa emulzije ulje/voda (majoneze, umaci). Poznavanje reoloških svojstava ovih proizvoda važno je kod kreiranja određene viskoznosti i konzistencije majoneze (Štern i sur., 2001.), ali i u kontroli kvalitete tijekom proizvodnje, skladištenja i transporta (Juszczak i sur., 2003.). Wendin i Hall (2001.) ukazuju da su reološka svojstva majoneze

uglavnom određena udjelom i sastavom uljne faze, prisutnošću emulgatora, stabilizatora i zgušnjivača. Kvaliteta ovih proizvoda, njihova stabilnost i viskoznost ovise o procesu homogeniziranja (Wendin i sur., 1999.), raspršenosti kapljica ulja u vodenoj fazi emulzije, žumanjku jajeta (Guilmineau i Kulozik, 2007.; Xiong i sur., 2000.; Laca i sur., 2010.), vrsti ugljikohidrata (Ruiling i sur., 2011.) te udjelu i vrsti mliječne komponente (Dybowska, 2008.). Kiosseoglou (2003.) i Castellani i sur. (2006.) navode da su u proizvodima ovog tipa emulzija kapljice ulja mehaničkim postupkom dispergirane u vodenoj fazi octa te se djelovanjem prirodnog emulgatora iz žumanjka jajeta postiže veća stabilizacija cijelog sustava. Tijekom proizvodnje tipa emulzije ulje/voda vrlo važnu ulogu imaju procesni parametri homogenizacije (brzina rotora, vrijeme trajanja) te izbor sustava rotor/stator kojim se formiraju kapljice uljne faze što manjeg promjera, a to doprinosi većom stabilnosti ovih proizvoda. Danas se reološka svojstva i ponašanje punomasne majoneze neprestano istražuje obzirom da na prihvatljivost potrošača utječu sastavom, konzistencijom, okusom, bojom, ali i primjenom na pomfrit, salate i druga jela (Franco i sur., 1995.; Akhtar i sur., 2005.; Abu-Jdayil, 2003.).

U ovom radu istraživana je utjecaj procesnih parametara homogenizacije (brzina rotora, vrijeme trajanja izrade majoneze) i sastava (mliječna komponenta, vrsta ugljikohidrata, žumanjak jajeta) na reološka svojstva punomasne majoneze s mješavinom tri rafinirana ulja kod temperature mjerenja 25 °C.

## Materijal i metode

Materijali koji su korišteni za izradu punomasne majoneze su:

- Uljna faza 75 % (rafinirano suncokretovo ulje - linolni tip 50 %, rafinirano ulje kukuruzne klice 20 %, rafinirano repičino ulje 5 %),
- Žumanjak jajeta kokoši 6 % (svježi, pasterizirani),
- Ugljikohidrati 5 % (saharoza, inulin HD, malto-dekstrin),
- Jabučni ocat 4 %,
- Morska sol 1 %,
- Senf, 1 %,
- Mliječna komponenta 4 % (punomasno mlijeko u prahu, kazein u prahu, sirutka u prahu),
- Vinska kiselina 0,1 %,
- Destilirana voda 3,9 %.

Uljnu fazu punomasne majoneze čini rafinirano suncokretovo ulje (linolni tip) i rafinirano repičino ulje koji su dobiveni iz Tvornice ulja Čepin, te rafinirano ulje kukuruzne klice (Italija). Jabučni ocat, morska sol i senf nabavljeni su u lokalnoj trgovini. Žumanjak jajeta kokoši nabavljen je od privatnog dobavljača te je priređen kao svježi i pasterizirani. Mliječnu komponentu čini punomasno mlijeko u prahu (proteini 26,3 %, šećeri 39,8 %, masti 26 %) nabavljeno je iz firme Dukat d.d., kazein u prahu (Alfa Aesar, Njemačka), a sirutka u prahu (mliječna mast u s.t. do 2 %, proteini 12-14 %, laktoza 73-75 %) iz firme Zdenka d.o.o. Ugljikohidrat maltodekstrin (ugljikohidrati 95 %, natrij 15 mg) nabavljen je iz firme Polleo Adria d.o.o., inulin HD iz firme Merck i disaharid saharoza iz Tvornice šećera Osijek. Vinska kiselina nabavljena je od firme Alkaloid, Skoplje, a dodaje se kao regulator kiselosti majoneze.

### Priprema punomasne majoneze

Punomasna majoneze pripremljena je na tradicionalan način u laboratorijskim uvjetima, pri sobnoj temperaturi u količini 200 g za pojedini uzorak. Proizvodnja majoneze provedena je s laboratorijskim homogenizatorom, model D-500 (Wiggenhauser, Njemačka-Malezija) s rasponom brzine rotora 10000 - 30000 o/min. Kod izrade majoneze korišten je rotor/stator sustav (rotor ER30, stator S30F). Standardni, kontrolni uzorak punomasne majoneze pripremljen je sa 75 % uljnom fazom koju čini mješavina tri rafinirana ulja (suncokretovog, repičinog, kukuruzne klice) te

navedenim ostalim sastojcima (Tablica 1). Uzorci su pripremljeni tako da se prethodno izvažu potrebni sastojci te se dodaje 1/2 suncokretovog ulja, zatim svježi žumanjak jajeta, jabučni ocat, voda i ostali sastojci, uključujući se homogenizator te polagano dodaje preostali dio rafiniranih ulja i homogenizira tijekom 3 min kod brzine rotora 10000 o/min. Priprema uzoraka punomasne majoneze napravljena je pri sobnoj temperaturi svih sastojaka, a nakon izrade provedeno je mjerenje reoloških svojstava. Ostali uzorci majoneze pripremljeni su na isti način, samo što su se mijenjali pojedini sastojci (svježi i pasterizirani žumanjak, saharoza, inulin HD, maltodekstrin, punomasno mlijeko u prahu, kazein u prahu, sirutka u prahu) ovisno od recepture pojedinog uzorka te procesni parametri homogenizacije (brzina rotora, vrijeme homogenizacije) tijekom izrade.

### Reološka svojstva

Na svježe pripremljenim uzorcima punomasne majoneze (75 % uljna faza) provedeno je mjerenje reoloških svojstava na rotacijskom viskozimetru, model DV-III+ Digital Rheometer-Brookfield Engineering Laboratories (SAD), primjenom koncentričnih cilindara tipa SC4-28 i SC4-29. Viskozimetar je povezan sa računalom, opremljenim software-om Rheocalc 3.2 koje upravlja mjerenjem reoloških svojstava te provodi obradu izmjerenih podataka. Ispitivanje reoloških svojstava uzoraka majoneze provedeno je pri sobnoj temperaturi 25 °C. Održavanje konstantne temperature uzoraka tijekom mjerenja sa viskozimetrom postignuto je primjenom termostata model TC-501P, firme

**Tablica 1.** Osnovna receptura za pripremu majoneze s mješavinom ulja (kontrolni uzorak)  
**Table 1** Basic recipe for the preparation of mayonnaise with a mixture of oils (control sample)

Sastojci / Ingredients	Uzorak / Sample	
	Udio / Share (%)	Masa / Mass (g)
Suncokretovo ulje / Sunflower oil	50	100
Ulje kukuruzne klice / Corn germ oil	20	40
Repičino ulje / Rapeseed oil	5	10
Svježi žumanjak jajeta / Fresh egg yolk	6	12
Sirutka u prahu / Whey powder	4	8
Saharoza / Sucrose	5	10
Jabučni ocat / Apple cider vinegar	4	8
Morska sol / Sea salt	1	2
Senf / Mustard	1	2
Vinska kiselina / Tartaric acid	0,1	0,2
Destilirana voda / Distilled water	3,9	7,8
Ukupno / Total	100	200

Brookfield. Mjerenjem je ispitivana ovisnost smičnog naprežanja ( $\tau$ ) i prividne viskoznosti ( $\mu$ ) o brzini smicanja (D) u periodu brzine smicanja 2,18 - 137,1 s<sup>-1</sup> (uzlazno mjerenje) i 137,1 - 2,18 s<sup>-1</sup> (povratno mjerenje). Iz ovako dobivenih eksperimentalnih vrijednosti određen je tip tekućine gdje je utvrđeno da su svi ispitivani uzorci majoneze imali nenenewtonovska svojstva, te pripadaju pseudoplastičnom tipu tekućina. Izračunate vrijednosti reoloških parametara koeficijenta konzistencije (k) i indeksa tečenja (n) dobivene su pomoću programa Microsoft Excel, uz primjenu metode linearne regresije.

Za izračun reoloških parametara koeficijenta konzistencije i indeksa tečenja primijenjen je Ostwald-Reinerov "stupnjeviti zakon":

$$\tau = k \cdot D^n$$

$\tau$  - smično naprežanje (Pa)

D - brzina smicanja (s<sup>-1</sup>)

k - koeficijent konzistencije (Pa·s<sup>n</sup>)

n - indeks tečenja (-)

Izračunavanje parametra prividne viskoznosti uzoraka majoneze provedeno je primjenom izraza:

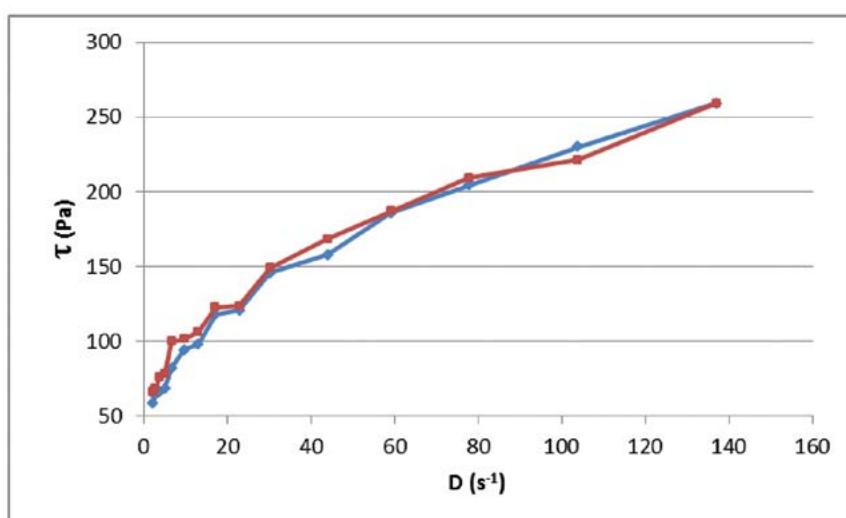
$$\mu = k \cdot D^{(n-1)}$$

$\mu$  - prividna viskoznost (Pa·s)

## Rezultati i rasprava

Rezultati ispitivanja utjecaja sastojaka kod izrade punomasne majoneze s mješavinom tri vrste biljnih ulja na promjenu reoloških svojstava, mjerenih pri temperaturi 25 °C prikazani su na slici 1 i u tablicama 2-6. Na slici 1 vidljiv je odnos smičnog naprežanja ( $\tau$ ) i brzine smicanja (D) za punomasnu majonezu sa sirutkom u prahu (brzina rotora 10000 o/min, vrijeme homogenizacije 3 min) mjereno pri 25 °C. Ispitivani uzorak majoneze pokazuje nenenewtonovska, pseudoplastična svojstva. Goshawk i Binding (1998.) i Mancini (2002.) u svom istraživanju potvrđuju da je majoneza nenenewtonovska tekućina i pokazuje granicu tečenja, kod pseudoplastičnog i tiksotropnog ponašanja i vremenski ovisne karakteristike. Batista i sur. (2006.) kao i Izidoro i sur. (2007.) ukazuju na ovakvo pseudoplastično ponašanje majoneze s prinosom i karakteristikama koje ovise o vremenu smicanja.

U tablici 2 prikazan je utjecaj vrste ugljikohidrata (saharoz, maltodekstrin, inulin HD) na reološke parametre punomasne majoneze s različitim biljnim uljima izrađene tijekom 3 min homogenizacije i brzine rotora 10000 o/min, mjereno pri temperaturi 25 °C. Kontrolni uzorak majoneze izrađen je sa saharozom. Dobiveni rezultati u tablici ukazuju da primjena disaharida saharoze kod izrade uzorka majoneze rezultira manjom vrijednosti prividne viskoznosti (12,097 Pa·s) mjereno kod brzine smicanja 6,779 s<sup>-1</sup> i koeficijenta konzistencije 40,55 (Pa·s<sup>n</sup>), a većim indeksom tečenja



**Slika 1.** Odnos smičnog naprežanja ( $\tau$ ) i brzine smicanja (D) punomasne majoneze sa sirutkom u prahu (10000 o/min, 3 min) pri 25 °C

**Figure 1** Shear stress ( $\tau$ ) and shear rate (D) relationship of full-fat mayonnaise with whey powder (10000 rpm, 3 min) at 25 °C

(0,368) u odnosu na primjenu inulina HD (polisaharid, sastoji se od ostataka fruktoze s pojedinačnim ostatcima molekula glukoze) i maltodekstrina (polisaharid, 2-12 glukoza jedinica). Dodatkom inulina HD postiže se veća konzistencija majoneze 104,75 (Pa·s<sup>n</sup>) i prividna viskoznost 25,269 (Pa·s), a niži je indeks tečenja 0,257, mjereno pri 25 °C u odnosu na primjenu saharoze. Istraživanja Alvarez-Sabatel i sur. (2018) pokazuju da udio ulja i udio inulina utječu na stabilnost i reološka svojstva majoneze

dobivene rotor-stator homogenizacijom kao i homogenizacijom visokim tlakom. Korištenjem maltodekstrina u proizvodnji majoneze ostvarene su najveće vrijednosti prividne viskoznosti 36,807 (Pa·s) i koeficijenta konzistencije 177,48 (Pa·s<sup>n</sup>), a najniži indeks tečenja 0,178. Dakle, mjerenjem reoloških svojstava ovih uzoraka punomasne majoneze izrađene s navedenim ugljikohidratima zapažena je značajna promjena reoloških parametara (konzistencija i prividna viskoznost).

**Tablica 2.** Utjecaj vrste ugljikohidrata na reološke parametre majoneze s mješavinom ulja, tijekom homogenizacije 3 min i brzine rotora 10000 o/min, mjereno pri 25 °C

**Table 2** Influence of carbohydrate type on rheological parameters of mayonnaise with oil mixture, during homogenization of 3 min and rotor speed 10000 rpm, measured at 25 °C

Uzorak / Sample	$\mu$ (pri 6,779 s <sup>-1</sup> ) (Pa·s)	k (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
Saharoza / Sucrose	12,097	40,55	0,368	0,99151
Maltodekstrin / Maltodextrin	36,807	177,48	0,178	0,92840
Inulin HD / Inulin HD	25,269	104,75	0,257	0,97858

$\mu$  - prividna viskoznost kod brzine smicanja 6,779 (s<sup>-1</sup>), (Pa·s) / apparent viscosity at shear rate, k - koeficijent konzistencije (Pa·s<sup>n</sup>) / consistency coefficient, n - indeks tečenja / flow behaviour indeks, R<sup>2</sup> - koeficijent determinacije / coefficient of determination.

Rezultati istraživanja utjecaja mliječne komponente na reološke parametre punomasne majoneze izrađene tijekom 3 min homogenizacije i brzine rotora 10000 o/min prikazani su u tablici 3. Kontrolni uzorak majoneze izrađen sa sirutkom u prahu ima prividnu viskoznost 12,097 (Pa·s) mjereno kod brzine smicanja 6,779 s<sup>-1</sup> i koeficijent konzistencije 40,55 (Pa·s<sup>n</sup>), mjereno pri 25 °C. Korištenjem punomasnog mlijeka u prahu kod izrade ove majoneze, dobivena je veća prividna viskoznost 28,198 (Pa·s) i koeficijent konzistencije

129,12 (Pa·s<sup>n</sup>) te manji indeks tečenja 0,213, u odnosu na primjenu sirutke u prahu. Dodatkom kazeina u prahu kod proizvodnje majoneze tijekom mjerenja reoloških svojstava pri 25 °C zapažena je najveća konzistencija majoneze 170,58 (Pa·s<sup>n</sup>) i prividna viskoznost 37,827 (Pa·s), a najmanji indeks tečenja 0,205. Iz dobivenih rezultata mjerenja reoloških svojstava može se zaključiti da se primjenom kazeina u prahu dobiva značajno veća konzistencija i viskoznost majoneze u odnosu na primjenu drugih ispitivanih mliječnih sastojaka, mjereno pri 25 °C.

**Tablica 3.** Utjecaj mliječne komponente na reološke parametre majoneze s mješavinom ulja, tijekom homogenizacije 3 min i brzine rotora 10000 o/min, mjereno pri 25 °C

**Table 3** Influence of milk component on rheological parameters of mayonnaise with oil mixture, during homogenization 3 min and rotor speed 10000 rpm, measured at 25 °C

Uzorak / Sample	$\mu$ (pri 6,779 s <sup>-1</sup> ) (Pa·s)	k (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
Sirutka u prahu / Whey powder	12,097	40,55	0,368	0,99151
Punomasno mlijeko u prahu / Whole milk powder	28,198	129,12	0,213	0,96913
Kazein u prahu / Casein powder	37,827	170,58	0,205	0,99556

U tablici 4 vidljivi su rezultati ispitivanja utjecaja žumanjka jajeta na reološke parametre majoneze izrađene tijekom 3 min homogenizacije i brzine rotora 10000 o/min, mjereno pri 25 °C. Proizvodnjom punomasne majoneze sa svježim žumanjkom jajeta dobivena je manja vrijednost prividnog viskoziteta 5,585 (Pa·s) mjereno kod brzine smicanja 23,03 s<sup>-1</sup> i koeficijenta konzistencije 40,55 (Pa·s<sup>n</sup>), a veći indeks tečenja 0,368. Primjenom pasteriziranog žumanjka

jajeta kod izrade ove majoneze dobivena je znatno veća vrijednost prividne viskoznosti 11,062 (Pa·s) i konzistencije 86,87 (Pa·s<sup>n</sup>), a manji indeks tečenja 0,343, u odnosu na primjenu svježeg žumanjka. Razlog tome je taj što se procesom pasterizacije vjerojatno djelomično termički razgradili sastojci koji djeluju kao emulgatori (fosfolipidi, proteini), što se u sustavu ove emulzije tipa ulje/voda manifestira s porastom viskoznosti i konzistencije majoneze.

**Tablica 4.** Utjecaj žumanjka jajeta na reološke parametre majoneze s mješavinom ulja, tijekom homogenizacije 3 min i brzine rotora 10000 o/min, mjereno pri 25 °C

**Table 4** Influence of egg yolk on rheological parameters of mayonnaise with oil mixture, during homogenization 3 min and rotor speed 10000 rpm, measured at 25 °C

Uzorak /Sample	$\mu$ (pri 23,03 s <sup>-1</sup> ) (Pa·s)	k (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
Svježi žumanjak jajeta / Fresh egg yolk	5,585	40,55	0,368	0,99151
Pasterizirani žumanjak jajeta / Pasteurized egg yolk	11,062	86,87	0,343	0,98778

Rezultati ispitivanja utjecaja procesnih parametara homogenizacije (brzina rotora, vrijeme trajanja homogenizacije) na reološka svojstva punomasne majoneze prikazani su u tablicama 5 i 6. U tablicama navedene izračunate vrijednosti reološkog parametra indeksa tečenja (n = 0-1) pokazuju da ispitivana majoneza pripada nenewtonovskim tekućinama, pseudoplastičnog tipa. U tablici 5 prikazani su rezultati utjecaja vremena trajanja homogenizacije (1 min, 3 min, 5 min), kod brzine rotora 10000 o/min, na reološka svojstva majoneze izražene reološkim parametrima, mjereno kod temperature 25 °C. Dobiveni rezultati pokazuju da se kod proizvodnje majoneze tijekom 1 min homogenizacije dobiju reološki parametri prividna viskoznost 8,646 (Pa·s) kod brzine smicanja 23,03 s<sup>-1</sup>, koeficijent konzistencije 79,68 (Pa·s<sup>n</sup>) te indeks tečenja 0,292.

Produženjem vremena trajanja homogenizacije kod proizvodnje majoneze na 3 min dobiva se emulzija ulje/voda manje prividne viskoznosti 5,585 (Pa·s) i koeficijenta konzistencije 40,55 (Pa·s<sup>n</sup>), a veći indeks tečenja 0,368. Ovdje je zapaženo da je tijekom 3 min homogenizacije kod izrade majoneze došlo do razaranja strukture emulzije ulje/voda, što je rezultiralo smanjenjem konzistencije i viskoziteta. Daljnjim porastom vremena proizvodnje majoneze na 5 min došlo je do veće stabilizacije emulzije ulje/voda, što se manifestira s porastom prividne viskoznosti 10,611 (Pa·s) i koeficijenta konzistencije 93,00 (Pa·s<sup>n</sup>) te smanjenja indeksa tečenja 0,308. Dakle, kod mjerenja reoloških svojstava ovih uzoraka majoneze pri 25 °C, zapaženo je da vrijeme trajanja homogenizacije značajno utječe na vrijednosti reoloških parametara.

**Tablica 5.** Utjecaj vremena homogenizacije na reološke parametre majoneze s mješavinom ulja, kod brzine rotora 10000 o/min, mjereno pri 25 °C

**Table 5** Influence of time of homogenization on rheological parameters of mayonnaise with oil mixture, at a rotor speed of 10,000 rpm, measured at 25 °C

Uzorak /Sample	$\mu$ (pri 23,03 s <sup>-1</sup> ) (Pa·s)	k (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
1 (min)	8,646	79,68	0,292	0,98192
3 (min)	5,585	40,55	0,368	0,99151
5 (min)	10,611	93,00	0,308	0,94696

U tablici 6 prikazan je utjecaj brzine rotacije rotora homogenizatora (10000, 12000, 15000 o/min) tijekom 3 min homogenizacije kod proizvodnje punomasne majoneze na reološke parametre, mjereno pri temperaturi 25 °C. Rezultati izračunatih vrijednosti reoloških parametara ovih uzoraka pokazuju da brzina rotacije rotora tijekom homogenizacije također utječe na promjenu reoloških svojstava. Porastom brzine rotacije rotora s 10000 na 12000 o/min došlo je do porasta prividne viskoznosti majoneze 6,124 (Pa·s) i koeficijenta konzistencija 43,21 (Pa·s<sup>n</sup>), a smanjenja indeksa tečenja 0,316. Ova pojava porasta stabilnosti sustava emulzije ulje/voda se može obja-

sniti tako da je većom brzinom rotora homogenizatora formiran veći broj sitnijih kapljica ulja koje su fino dispergirane (raspršene) u kontinuiranoj vodenoj fazi emulzije. Daljnjim porastom brzine rotora na 15000 o/min tijekom proizvodnje ove majoneze nije došlo je do stvaranja emulzije ulje/voda. Ova pojava može se objasniti tako što se porastom brzine rotora homogenizatora do određene vrijednosti povećava viskoznost i konzistencija majoneze, a u ovom slučaju kod 15000 o/min došlo je do razaranja već djelomično stvorene emulzije ulje/voda, što je rezultiralo pojavom „razrjeđivanja“ strukture i formiranja tekuće strukture.

**Tablica 6.** Utjecaj brzine rotacije rotora homogenizatora (o/min) tijekom 3 min pripreme uzorka na reološke parametre majoneze s mješavinom ulja, mjereno pri 25 °C

**Table 6** Influence of rotation speed of homogenizer rotor (rpm) during 3 min sample preparation on rheological parameters of mayonnaise with oil mixture, measured at 25 °C

Uzorak /Sample	$\mu$ (pri 23,03 s <sup>-1</sup> ) (Pa·s)	k (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
10 000 (o/min)	5,585	40,55	0,368	0,99151
12 000 (o/min)	6,124	43,21	0,316	0,99914
15 000 (o/min)	-	-	-	-

## Zaključci

Ispitivani uzorci punomasne majoneze s mješavinom ulja pripadaju nenevtonovskim stacionarnim tekućinama, pseudoplastičnog tipa. Primjena različitih ugljikohidrata utječe na reološka svojstva majoneze kao emulzije ulje/voda. Majoneza proizvedena sa maltodekstrinom ima veću prividnu viskoznost i konzistenciju, a manji indeks tečenja u odnosu na primjenu saharoze i inulina HD. Disaharid saharoza ostvaruje najmanju viskoznost i konzistenciju majoneze. Korištenjem mliječne komponente sirutke u prahu kod izrade majoneze s mješavinom ulja dobivena su reološka svojstva s manjom prividnom viskoznošću i koeficijentom konzistencije, a većim indeksom tečenja u odnosu na primjenu punomasnog mlijeka u prahu i kazeina u prahu. Upotrebom kazeina dobivena je najstabilnija majoneza s većom konzistencijom i viskozitetom. Majoneza proizvedena sa

pasteriziranim žumanjkom jajeta ima veću viskoznost i konzistenciju u odnosu na primjenu svježeg žumanjka jajeta. Tijekom proizvodnje majoneze vrijeme trajanja homogenizacije, kod konstantne brzine rotora, utječe na reološka svojstva majoneze s mješavinom ulja. Veća viskoznost i konzistencija, a manji indeks tečenja dobiveni su kod vremena homogenizacije 5 min u odnosu na 1 min i 3 min. Brzina rotacije rotora homogenizatora utječe na promjenu reoloških svojstava majoneze. Primjenom brzine rotora 12000 o/min dobivena je majoneza s većom viskoznošću i konzistencijom, a manjim indeksom tečenja u odnosu na 10000 o/min. Porastom brzine rotora na 15000 o/min došlo je prvo do djelomičnog formiranja emulzije ulje/voda, ali se ubrzo struktura razgradila te je nastao razrijeđeni sustav.

## Literatura

- [1] **Abu-Jdayil, B. (2003):** Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs. *J. Food Eng.* 57, 97-102. doi:10.1016/S0260-8774(02)00277-7
- [2] **Akhtar, M., J. Stenzel, B.S. Murray, E. Dickinson (2005):** Factors affecting the perception of creaminess of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids* 19, 521-526. doi:10.1016/j.foodhyd.2004.10.017
- [3] **Alvarez-Sabatel, S., I.M. Maranon, J-C. Arbolea (2018):** Impact of oil and inulin content on the stability and rheological properties of mayonnaise-like emulsions processed by rotor-stator homogenisation or high pressure homogenisation (HPH). *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 48, 195-2013. doi: 10.1016/j.ifset.2018.06.014
- [4] **Baldwin, R.E. (1990):** Functional Properties of Eggs in Foods. In: *Egg Science and Technology*, WJ Stadelman and OJ Cotterill (Eds), Food Products Press, New York, USA, pp 341–383.
- [5] **Batista, A.P., A. Raymundo, i. Sousa, J. Empis (2006):** Rheological characterization of coloured oil-in-water food emulsions with lutein and phycocyanin added to the oil and aqueous phases. *Food Hydrocolloid* 20, 44-52. doi:10.1016/j.foodhyd.2005.02.009
- [6] **Castellani, O., C. Belhomme, E. David-Briand, C. Guerin-Dubiard, M. Anton (2006):** Oil-in-water emulsion properties and interfacial characteristics of hen egg yolk phosphatidylcholine. *Food Hydrocolloids* 20, 35-43. doi: 10.1016/j.foodhyd.2005.02.010
- [7] **Cristina, I., M. Aizpurua, A. Tenuta-Filho (2005):** Oxidation of cholesterol in mayonnaise during storage. *Food Chem.* 89, 611-615. doi:10.1016/j.foodchem.2004.03.016
- [8] **Dybowska, B.E. (2008):** Properties of milk protein concentrate stabilized oil-in-water emulsions. *Journal of Food Engineering* 88, 507-513. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.03.010
- [9] **Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (1999):** Pravilnik o temeljnim zahtjevima za jestiva ulja i masti, margarine i njima sličnim proizvodima, majoneze, umake, preljeve, salate i ostale proizvode na bazi jestivih ulja i masti. NN 39/99.
- [10] **Franco, J.M., A. Guerrero, C. Gallegos (1995):** Rheology and processing of salad dressing emulsions. *Rheologica Acta* 34, (6), 513-524. doi:10.1007/BF00712312
- [11] **Gorji, S. G., Smyth, H. E., Sharma, M., Fitzgerald, M. (2016):** Lipid oxidation in mayonnaise and the role of natural antioxidants: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 56, 88-102. doi: 10.1016/j.tifs.2016.08.002
- [12] **Goshawk, J. A., D. M. Binding (1998):** Rheological Phenomena Occurring During the hearing Flow Mayonnaise. *Journal of Rheology*, 42 (6), 1537-1553. doi:10.1122/1.550967
- [13] **Guilmineau, F., U. Kulozik (2007):** Influence of a thermal treatment on the functionality of hens egg yolk in mayonnaise. *J. Food Eng.* 78, 648-654. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.11.002
- [14] **Hasenhuettl, G. L., R. W. Hartel (2008):** Food emulsifiers and their applications. Springer Science.
- [15] **Huang, L., Wang, T., Han, Z., Meng, Y., Lu, X. (2016):** Effect of egg yolk freezing on properties of mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 56, 311-317. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.12.027
- [16] **Izidoro, D., M-R. Sierakowski, N. Waszczynskij, W.I.C. Haminiuk, A.P. Scheer (2007):** Sensory evaluation and rheological behavior of commercial mayonnaise. *International Journal of Food Engineering*, 3 (1), Article 5. doi:10.2202/1556-3758.1094
- [17] **Juszczak, L., T. Fortuna, A. Kosla (2003):** Sensory and rheological properties of Polish commercial mayonnaise. *Nahrung/Food* 47, 232-235. doi:10.1002/food.200390054
- [18] **Kiosseoglou, V. (2003):** Egg yolk protein gels and emulsions. *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 8, 365-370. doi:10.1016/S1359-0294(03)00094-3
- [19] **Kostyra, E., N. Barylko-Pikielna (2007):** The effect of fat levels and guar gum addition in mayonnaise-type emulsions on the sensory perception of smoke-curing flavour and salty taste. *Food Qual. Prefer.* 18, 872-879. doi:10.1016/j.foodqual.2007.02.002
- [20] **Laca, A., M.C. Saenz, B. Paredes, M. Diaz (2010):** Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *Journal of Food Engineering* 97, 243-252. doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.10.017
- [21] **Mancini, F., L. Montanari, D. Peressini, P. Fantozzi (2002):** Influence of Alginate Concentration and Molecular Weight on Functional Properties of Mayonnaise. *Journal of Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 35 (6), 517-525. doi:10.1006/fstl.2002.0899
- [22] **McClements, D.J., E.A. Decker (2000):** Lipid oxidation in oil-in water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of Food Science* 65, 1270-1282. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb10596.x
- [23] **McClements, D.J., K. Demetriades (1998):** An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 511-536. doi:10.1080/10408699891274291
- [24] **Mezger T. G. (2002):** The rheology handbook. Vincentz, Hannover, Germany.
- [25] **Mine, Y. (1998):** Emulsifying characterization of hens egg yolk proteins in oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids* 12, 409-415. doi:10.1016/S0268-005X(98)00054-X
- [26] **Narsimhan, G., Z. Wang, (2008):** Guidelines for processing emulsion-based foods. IN: Hasenhuettl, G.L., Hartel, R.W. (Eds.), *Food Emulsifiers and their Applications*. Springer Science+Business Media, USA, 349-389.
- [27] **Raikos, V., A. McDonagh, V. Ranawana, G. Duthie (2016):** Processed beetroot (*Beta vulgaris* L.) as a natural antioxidant in mayonnaise: Effects on physical stability, texture and sensory attributes. *Food Science and Human Wellness* 5, 191-198. doi:10.1016/j.fshw.2016.10.002
- [28] **Ruiling, S., L. Shuangqun, D. Jilin (2011):** Application of oat dextrin for fat substitute in mayonnaise. *Food Chemistry* 126, 65-71. doi:10.1016/j.foodchem.2010.10.072
- [29] **Singla, N., P. Verma, G. Ghoshal, S. Basu (2013):** Steady state and time dependent rheological behaviour of mayonnaise (egg and eggless). *International Food Research Journal* 20 (4), 2009-2016.
- [30] **Štern, P., K. Mikova, J. Pokorný, H. Valentová (2007):** Effect of oil content on the rheological and textural properties of mayonnaise. *Journal of Food and Nutrition Research* 46 (1), 1-8.



- [31] Štern, P., H. Valentova, J. Pokorný (2001): Rheological properties and sensory texture of mayonnaise. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 103, 23-28. doi: 10.1002/1438-9312(200101)103:1<23::AID-EJLT23>3.0.CO;2-P
- [32] Wendin, K., G. Hall (2001): Influences of fat, thickener and emulsifier contents on salad dressing: static and dynamic sensory and rheological analyses. Lebensm.-Wiss. u.- Technol. 34, 222-233. doi: 10.1006/fstl.2001.0757
- [33] Wendin, K., M. Risberg Ellekjar, R. Solheim (1999): Fat Content and Homogenization Effects on Flavour and Texture of Mayonnaise with Added Aroma. Lebensm.-Wiss. u.- Technol. 32, 377-383.
- [34] Xiong, R., G. Xie, A.S. Edmondson (2000): Modelling the pH of mayonnaise by the ratio of egg to vinegar. Food Control 11, 49-56. doi:10.1016/S0956-7135(99)00064-X

Dostavljeno: 18.03.2022.

Prihvaćeno: 25.03.2022.

## Rheological properties of mayonnaise with a mixture of sunflower, rapeseed and corn germ oil

### Abstract

Measurements of rheological properties are very important in the food industry, they are one of the basic parameters of product quality. In this paper, the influence of milk component, carbohydrates, egg yolk, rotor speed and homogenization time on the rheological properties of mayonnaise with oil mixture was investigated. Different types of vegetable oils were used during the research: sunflower oil, rapeseed oil and corn germ oil. The mechanical process of homogenization of mayonnaise was carried out in a laboratory homogenizer at 10000 rpm for 3 minutes at room temperature. Mayonnaise with a 75% oil phase is made according to the traditional recipe without added conservatives, which limits its durability. The rheological measurements were performed on a rotating viscometer with concentric cylinders, at 25°C. With the use of these results the rheological parameters: apparent viscosity, consistency coefficient and flow behaviour index have been calculated. Research results show that the milk component, egg yolk and types of sugar influence the rheological properties of the mayonnaise. An increase of rotor speed and the homogenisation process time alter the rheological properties of the mayonnaise.

**Key words:** mayonnaise, rheological properties, homogenization process, mayonnaise ingredients

## Rheologische Eigenschaften von Mayonnaise mit einer Mischung aus Sonnenblumenöl, Rapsöl und Maiskeimöl

### Zusammenfassung

Messungen der rheologischen Eigenschaften sind in der Lebensmittelindustrie sehr wichtig, da sie einer der grundlegenden Parameter für die Produktqualität sind. In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Milchkomponente, der Kohlenhydrate, des Eigelbs, der Rotordrehzahl und der Homogenisierungszeit auf die rheologischen Eigenschaften von Mayonnaise, hergestellt aus einer Mischung von Ölen, untersucht. Für die Herstellung der Mayonnaise wurden verschiedene Arten von Pflanzenölen verwendet: Sonnenblumenöl, Rapsöl und Maiskeimöl. Der mechanische Prozess der Homogenisierung der Mayonnaise wurde bei 10.000 U/min für 3 Minuten bei Raumtemperatur durchgeführt. Die Mayonnaise mit einem Ölanteil von 75 % wird nach dem traditionellen Rezept ohne Zusatz von Konservierungsstoffen hergestellt, was ihre Haltbarkeit einschränkt. Die rheologischen Messungen wurden mit einem Rotationsviskosimeter mit konzentrischen Zylindern bei 25°C durchgeführt. Anhand dieser Ergebnisse wurden die rheologischen Parameter berechnet: scheinbare Viskosität, Konsistenzkoeffizient und Fließverhaltensindex. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Milchkomponente,

das Eigelb und die Zuckerarten die rheologischen Eigenschaften der Mayonnaise beeinflussen. Eine Erhöhung der Rotordrehzahl und die Dauer des Homogenisierungsprozesses verändern die rheologischen Eigenschaften der Mayonnaise.

**Schlüsselwörter:** Mayonnaise, rheologische Eigenschaften, Homogenisierungsprozess, Mayonnaisezutaten

## Propiedades reológicas de mayonesa con una mezcla de girasol, el aceite de colza y el germen de maíz

### Resumen

Las mediciones de las propiedades reológicas son muy importantes en la industria alimentaria, son unos de los parámetros básicos de la calidad del producto. En este trabajo fue investigada la influencia del componente de la leche, de los carbohidratos, de la yema de huevo, la velocidad del rotor y el tiempo de homogeneización en las propiedades reológicas de la mezcla de mayonesa con aceite. Para hacer la mayonesa fueron utilizados diferentes tipos de aceites vegetales: el aceite de girasol, el aceite de colza y el aceite de germen de maíz. El proceso mecánico de homogeneización de la mayonesa fue realizado a 10 000 rpm y un tiempo de 3 minutos a temperatura ambiente. La mayonesa con un 75% de fase oleosa se elabora según receta tradicional sin conservantes añadidos, lo que limita la vida útil del producto. Las mediciones de las propiedades reológicas se realizaron en un viscosímetro rotatorio de cilindros concéntricos, a una temperatura de 25 °C. De los datos obtenidos se calcularon los parámetros reológicos: la viscosidad aparente, el coeficiente de consistencia e índice de fluidez. Los resultados de la investigación muestran que el componente lácteo, la yema de huevo y el tipo de carbohidrato afectan las propiedades reológicas de la mayonesa. A medida que aumenta la velocidad del rotor y la duración del proceso de homogeneización, cambian las propiedades reológicas de la mayonesa.

**Palabras claves:** mayonesa, propiedades reológicas, proceso de homogeneización, ingredientes de mayonesa

## Proprietà reologiche della maionese fatta con una miscela di olio di girasole, olio di colza e olio di germe di mais

### Riassunto

Le misurazioni delle proprietà reologiche sono molto importanti nell'industria alimentare. Sono uno dei parametri base della qualità del prodotto. In questo lavoro è stata studiata l'influenza della componente del latte, dei carboidrati, del tuorlo d'uovo, della velocità del rotore e del tempo di omogeneizzazione sulle proprietà reologiche della maionese fatta con una miscela di oli. Durante la ricerca sono stati utilizzati diversi tipi di oli vegetali: olio di girasole, olio di colza e olio di germe di mais. Il processo meccanico di omogeneizzazione della maionese è stato effettuato a 10.000 rpm per 3 minuti a temperatura ambiente. La maionese con una fase oleosa al 75% è stata prodotta secondo la ricetta tradizionale, senza l'aggiunta di conservanti, il che ne limita la durata. Le misurazioni reologiche sono state eseguite su viscosimetro rotante a cilindri concentrici, a 25°C. Con l'utilizzo di questi risultati è stato possibile calcolare i seguenti parametri reologici: viscosità apparente, coefficiente di consistenza e indice di fluidità. I risultati della ricerca mostrano che la componente del latte, il tuorlo d'uovo e i tipi di carboidrati influenzano le proprietà reologiche della maionese. Con l'aumento della velocità del rotore e del tempo del processo di omogeneizzazione si alterano le proprietà reologiche della maionese.

**Parole chiave:** maionese, proprietà reologiche, processo di omogeneizzazione, ingredienti della maionese