



**Univerzitet u Novom Sadu**

**Tehnološki fakultet**

**mr Ljubica Dokić-Baucal, dipl. ing.**

**Uticaj molekularnih svojstava maltodekstrina na  
tehnološko ponašanje niskoenergetskih prehrambenih  
emulzija**

**doktorska disertacija**

**Novi Sad, 2002.**

Univerzitet u Novom Sadu  
Tehnološki fakultet

### KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR  
Identifikacioni broj: IBR  
Tip dokumentacije: Monografska publikacija  
TD  
Tip zapisa: tekstualni štampani materijal  
TZ  
Vrsta rada: Doktorska disertacija  
VR  
Autor: mr Ljubica Dokić-Baucal  
AU  
Mentor: dr Jovan Jakovljević, redovni profesor  
MN  
Naslov rada: Uticaj molekularnih svojstava maltodekstrina na tehnološko ponašanje niskoenergetskih prehrambenih emulzija  
NR  
Jezik publikacije: Srpski, latinica  
JP  
Jezik izvoda: Srpski / engleski  
JI  
Zemlja publikovanja: SRJ  
ZP  
Uže geografsko područje: Srbija, Vojvodina  
UGP  
Godina: 2002  
GO  
Izdavač: Tekst autora  
IZ  
Mesto i adresa: 21000 Novi Sad, YU, Bulevar Cara Lazara 1  
MA  
Fizički opis rada: 72 strane/8 poglavlja/24 slike/2 šeme/9 tabela/17 tabelarnih priloga prilog  
FO  
Naučna oblast: Prehrambena tehnologija  
NO  
Naučna disciplina: Tehnologija skroba/Tehnologija skrobnih hidrolizata  
ND  
Predmetna odrednica/  
Ključne reči: maltodekstrini, dekstrozni ekvivalent, niskoenergetske prehrambene emulzije, reologija, disperzione osobine,  
UDK: 604.161.7:664.34:66.063.61/.62  
Čuva se: U biblioteci Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu,  
ČU: 21000 Novi sad, YU Bulevar Cara Lazara 1  
Važna napomena: Nema  
VN

Izvod:

IZ

Maltodekstini, hidrolizati skroba niskog stepena konverzije (dekstrozni ekvivalent manji od 20), imaju široku upotrebu u prehrambenoj, kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji. U prehrambenoj industriji koriste se u niskoenergetskim prehrambenim emulzijama (majonez, salatni prelive, namazi) kao zamena za masne materije da bi obezbedili viskozitet, poželjne senzorne osobine i smanjenje energetske vrednosti proizvoda.

Viskozitet razblaženih rastora maltodekstrina različitog dekstroznog ekvivalenta i botaničkog porekla meren je kapilarnim viskozimetrom i izračunate su vrednosti unutrašnjeg viskoziteta za pojedine maltodekstrine. Vrednosti unutrašnjeg viskoziteta i molekulske mase pokoravaju se zavisnosti Štaudingerove jednačine, iako su molekuli maltodekstrina relativno kratki i ne spadaju u grupu polimera. Utvrđena je mogućnost određivanja DE-vrednosti viskozimetrijskin putem i izvedene su jednačine za dva opsega DE (5-10 / 10-20).

Da bi se ispitalo ponašanje emulzija sa maltodekstrinima (emulgovanje) u procesnim uslovima, kao i osobine finalnih proizvoda (tečljivost, mazivost) ispitivana je dinamika emulgovanja, veličina kapljica i reološko ponašanje, tj. uticaj različitih faktora na disperzione karakteristike emulzija suncokretovog ulja u vodi stabilizovanih prehrambenim emulgatorom, sa dodatkom maltodekstrina u kontinualnoj fazi.

Utvrđeno je da osobine maltodekstina kao što je stepen konverzije (DE-vrednost) tj. veličina molekula maltodekstrina, utiču na dispezione i reološke osobine emulzija. Uticaj koncentracije ulja i maltodekstrina, kao i delimična zamena ulja maltodekstrinom, na osobine emulzija su takođe ispitivane. Sa povećanjem koncentracije ulja, pri istoj koncentraciji maltodekstrina u kontinualnoj fazi, emulzije menjaju tip proticanja od pseudoplastičnog preko tiksotropnog do antitiksotrpnog. Atitiksotropija izazvana smicanjem rezultat je formiranja unutrašnje strukture emulzije usled povezivanja kapljica ulja preko molekula maltodekstrina kao i orijentacije i deformacije kapljica ulja i maltodekstrina.

Dodatkom maltodekstrina za pri istoj koncentraciju ulja i vremenu emulgovanja dobijene su se emulzije sitnijih kapi.

Emulzije sa niskom koncentracijom ulja (30%) sa maltodekstrinom u kontinualnoj fazi bile su nestabilne i pokazivale efekat isplivavanja na površinu (creaming), što je posledica interakcija molekula maltodekstrina i molekula emulgatora Tween 80 u kontinualnoj fazi i na površini kapi.

Datum prihvatanja teme:

17.05.2001.

DP

Datum odbrane

10.05.2002.

DO

Članovi komisije:

KO

prof dr Nikola Marjanović, predsednik

prof. dr Jovan Jakovljević, mentor

prof dr Marijana Carić, član

University of Novi Sad  
Faculty of Technology

## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:  
ANO  
Identification number:  
INO  
Document type: Monographic publication  
DT  
Type of record: Textual material, printed  
TR  
Content code: Ph.D. Thesis  
CC  
Author: Ljubica Dokić-Baucal. M.Sc.  
AU  
Menthor: prof dr Jovan Jakovljević  
MN  
Title: Influence of molecular characteristics of maltodextrins on  
TI technological behaviour of low-energy food emulsions  
Language of text: Serbian (Roman)  
LT  
Language of abstract: Serbian/English  
LA  
Country of publication: SR Yugoslavia  
CP  
Locality of publication: Serbia, Vojvodina  
LP  
Publication year: 2002.  
PY  
Publisher: Author reprint  
PU  
Publication place: 21000 Novi Sad, Yugoslavia, Bul. Cara Lazara 1  
PP  
Physical description: 72 pages/8 chapters/24 graphs/2 sheme/9 tables/17 apendix  
PD tables  
Scientific field: Food technology  
SF  
Scientific discipline: Technology of starch/technology of starch hydrolysates  
SD  
Subject/Key words: Maltodextrins, dextrose equivalent, low energy food  
SKW emulsions, rheology, dispersion characteristics  
UDC 604.161.7:664.34:66.063.61/.62  
Holding data: Library of Faculty of Technology Novi Sad,  
HD 21000 Novi Sad, Yugoslavia, Bul. Cara Lazara 1  
Note:  
N

Abstract:  
AB

Maltodextrins, low converted products of starch hydrolysis (dextrose equivalent less than 20), have been subject of various investigations due to their wide application in food industry, cosmetics and pharmaceuticals. They are used in various low energy food emulsions (mayonnaise, salad dressing, spreads) as fat replacer to provide desirable viscosity, texture and sensory fat-like mouthfeel.

Viscosity of diluted maltodextrin solutions of different dextrose equivalent and botanical origin were determined by capillary visometer and intrinsic viscosity  $[\eta]$  of each tested maltodextrin was calculated. The values of  $[\eta]$  together with molecular mass  $M$  have shown applicability of Staudinger equation, regardless maltodextrin molecules are rather short. The possibility for the determination of DE-values of maltodextrins by viscometric method has been deduced and the equation was calculated for two ranges of DE (5-10 / 10-20).

In order to assess behavior of sunflower oil in water emulsions stabilized with food grade emulsifier with addition of maltodextrins in continuous phase in processing (emulsification), as well as end products in application (pouring, spreading) the emulsification dynamics, globule size changes and rheological behavior, as well as, the influence of different factors on dispersion characteristics of such emulsions were studied.

Dispersion and viscous properties of emulsions were influenced by certain specific maltodextrin characteristics such as degree of conversion (DE value) i.e. size of maltodextrin molecules. Influence of oil and maltodextrin concentration and partial substitution of oil with equivalent quantity of maltodextrin were investigated too. With increase of oil concentration at the same concentration of maltodextrin in continuous phase, emulsions undergo changes in flow type from shear-thinning to thixotropic and antithixotropic. Antithixotropy induced by shear, was result of formation of network due to two competing factors: linking of oil droplets through maltodextrin molecules as well as orientation of deformed oil droplets and maltodextrin molecules.

Addition of maltodextrin, at the same oil concentration and emulsification time, resulted in formation of emulsions with smaller oil droplets.

Emulsions with low oil concentration (30%) with maltodextrin in continuous phase were unstable, showing so called creaming effect. This was mainly due to interactions between maltodextrin and emulsifier Tween 80 molecules which took place in continuous phase and on droplet surfaces.

Accepted by Scient. board  
ASB

17.05.2001.

Defended on:

DE

Thesis defend board:

DB

Prof dr Nikola Marjanović, president

Prof. dr Jovan Jakovljević, menthor

Prof dr Marijana Carić, member

# SADRŽAJ

UVOD	1
OPŠTI DEO	3
<i>Maltodekstrini</i>	3
Disperzione i reološke karakteristike emulzija	7
Emulzije bez maltodekstrina	8
Emulzije sa maltodekstrinima	11
ZADATAK RADA SA TEORIJSKIM POSTAVKAMA	14
<i>Teorijska postavka metode za viskozimetrijsko određivanje dekstroznog ekvivalenta (DE vrednosti) maltodekstrina</i>	14
<i>Istraživanje disperzionih i reoloških karakteristika emulzija</i>	16
<i>Istraživanje interakcija molekula maltodekstrina i molekula emulgatora</i>	16
EKSPERIMENTALNI DEO	18
<i>Materijal</i>	18
<i>Metode istraživanja</i>	18
Određivanje sadržaja vode maltodekstrina	18
Određivanje specifičnog ugla rotacije rastvora maltodekstrina	18
Određivanje dekstroznog ekvivalenta (DE vrednosti) maltodekstrina	19
Merenje viskoziteta razblaženih rastvora maltodekstrina i Tween 80	19
Merenje viskoziteta smeše rastvora maltodekstrina i Tween 80	19
Merenje viskoziteta kontinualne faze	20
Priprema emulzija	20
Određivanje veličine i raspodele veličina kapi emulzija	22
Određivanje parametara raspodele veličina kapi emulzija	22
Merenje viskoziteta emulzija	22
Viskoelastično ponašanje emulzija	23



<b>REZULTATI I DISKUSIJA</b>	<b>24</b>
<i>Nova metoda za određivanje dekstroznog ekvivalenta (DE vrednosti)</i>	
<i>maltodekstrina viskozimetrijskom metodom</i>	24
Određivanje molekulskih karakteristika maltodekstrina	24
Određivanje viskoziteta razblaženih rastvora maltodekstrina različitog dekstroznog ekvivalenta	25
<i>Istraživanje disperzionih i reoloških karakteristika emulzija</i>	31
<i>Disperzione karakteristike emulzija</i>	31
Emulzije bez maltodekstrina	31
Emulzije sa maltodekstrinima	32
<i>Reološke karakteristike emulzija</i>	38
Emulzije bez maltodekstrina	38
Emulzije sa maltodekstrinima	39
<i>Istraživanje interakcija molekula maltodekstrina i molekula emulgatora</i>	51
<b>ZAKLJUČAK</b>	<b>56</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>58</b>
<b>PRILOG</b>	<b>63</b>

## UVOD

Sve veća briga za zdravljem, pre svega njegovim održavanjem putem ishrane dovela je do formiranja čitavog niza prehrambenih proizvoda koji su dobili naziv funkcionalna hrana. Funkcionalna hrana su proizvodi čiji pojedini sastojci (ingredijenti) imaju specifične fizičke i hemijske osobine, kojima se poboljšava kvalitet proizvoda sa aspekta njegove nutritivnosti i utiče na pravilno odvijanje metaboličkih funkcija tj. na zdravlje uopšte. Sve je veći broj potrošača koji se pri kupovini prehrambenih proizvoda odlučuju za one sa smanjenim sadržajem ulja, prirodnim sastojcima, povećanim sadržajem vitamina itd.

Različiti prehrambeni proizvodi koji sadrže ulje u dispergovanom obliku predstavljaju emulzije stabilizovane prirodnim emulgatorima. Pored osnovnih sastojaka, ulja, vode i emulgatora, emulzije sadrže i različite dodatke čija je funkcija podešavanje viskoziteta, odnosno konzistencije, sposobnosti tečenja i mazivosti, povećanje stabilnosti i održivost proizvoda. Kreirani su i razvijeni proizvodi iz grupe prehrambenih emulzija smanjenog sadržaja masti kako zbog energetske vrednosti tako i zbog smanjenja sadržaja holesterola. Noviji trendovi u formulisanju proizvoda, prehrambenih emulzija, ogledaju se u zameni visokoenergetskih sastojaka (masti/ulja), niskoenergetskim dodacima (fat substitutes, fat mimetics) različitog hemijskog sastava, funkcionalnih i senzornih osobina i fizioloških efekata.

Maltodekstrini produkti parcijalne enzimske ili kiselinske hidrolitičke konverzije skrobnog molekula-nastali su kao rezultat potrebe, pre svega prehrambene industrije za proizvodima koji se po svojim osobina razlikuju od nativnog skroba, ali i od klasičnih skrobnih hidrolizata. Maltodekstrini se definišu kao skrobni hidrolizati niskog stepena hidrolitičke konverzije čiji je dekstrozni ekvivalent (DE-vrednost) manji od 20. Zbog svojih specifičnih osobina, kao što su nizak stepan slatkoće, rastvorljivost u vodi i do 70% i visok viskozitet rastvora sve je veća primena maltodekstrina kao zamene za masne materije. Ova zamena ne bi smela da dovede do pogoršavanja nominalnih i poželjnih osobina proizvoda.

Maltodekstrini u proizvodima niskog sadržaja masti, bilo da se koriste kao praškasti ili kao rastvoreni, odnosno u obliku gela, s obzirom na dobru moć



vezivanja vode daju proizvode odgovarajućeg viskoziteta i takozvanog "masnog ukusa".

Proizvođači maltodekstrina su stvorili čitav niz proizvoda iz različitih skrobnih sirovina, koji svojim funkcionalnim osobinama mogu da zadovolje širok spektar zahteva koje postavljaju proizvođači hrane. Proizvodnja maltodekstrina se stalno razvija i unapređuje iznalaženjem novih postupaka i sirovina, radi poboljšanja postojećih osobina.

Veliki broj proizvoda kao što su majonezi, prelive za salatu, margarini, mlečni namazi itd. spadaju po svojoj strukturi u emulzione sisteme. Zamenom lipidne faze u ovim proizvodima niskoenergetskim dodacima, dolazi do promena u strukturi i osobinama novonastalih proizvoda. Dodati sastojci treba da obezbede održavanje viskoziteta, kao i da doprinesu stabilnosti nastalih emulzija.

Dinamika procesa emulgovanja do postizanja ravnoteže i osobine emulzija u stanju ravnoteže (tzv. gotove emulzije) zavisiće od zapreminskog udela i vrste disperzne faze, viskoziteta faza, vrste i koncentracije emulgatora, vrste i koncentracije maltodekstrina, temperature i primenjenih uslova emulgovanja. U stanju ravnoteže nastaju manje ili više stabilne emulzije čije su osnovne karakteristike disperzione i reološke osobine.

Iako je komercijalna upotreba maltodekstrina dobro poznata, dosadašnja istraživanja nisu bila dovoljno fundamentalno utemeljena, nego su uz njihovu rastuću, uglavnom empirijsku primenu, bila usmerena na ispitivanje senzornih svojstava gotovih proizvoda (ukus, tekstura, konzistencija, mazivost) sa aspekta prihvatljivosti od strane potrošača.

Dodatak maltodekstrina uticaće na unutrašnje faktore procesa emulgovanja, kao što su viskozitet kontinualne faze, dinamičke osobine adsorbcionih slojeva emulgatora, intenzitet i gustina energije emulgovanja i sl.

Cilj ovog rada je ispitivanje uticaja maltodekstrina na proces emulgovanja i osobine emulzija (raspodela učestalosti veličina čestica, reološke osobine). Uticaj maltodekstrina na osobine emulzija nije dosada dovoljno ispitivan, iako je izvesno da one značajno utiču na osobine gotovih proizvoda kao što su stabilnost, konzistencija i teksturalne karakteristike, kao i ponašanje u pojedinim delovima proizvodnog procesa a naročito prilikom primene.



## OPŠTI DEO

### *Maltodekstrini*

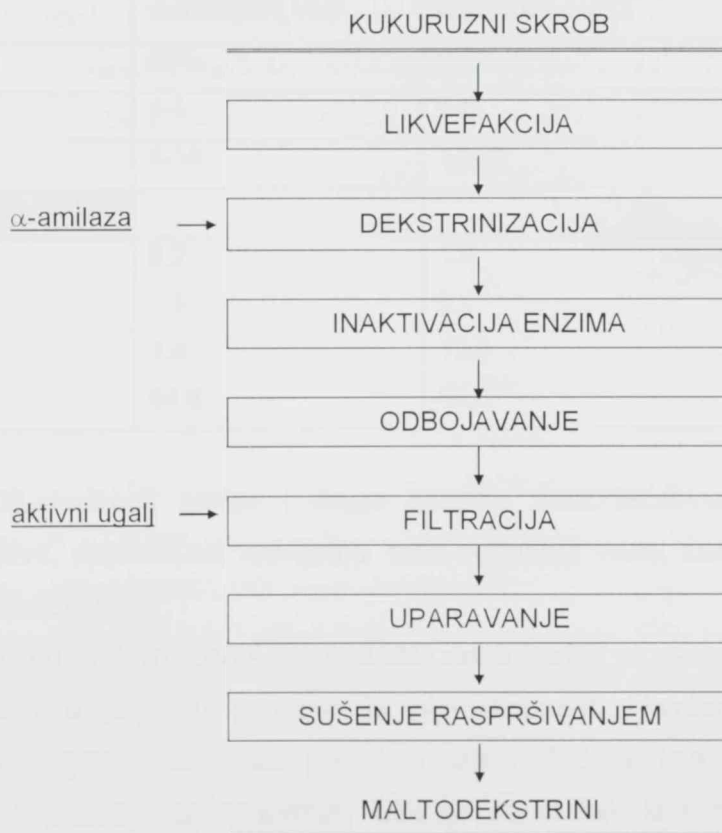
Maltodekstrini su niskokonvertovani produkti parcijalne hidrolize skrobnog molekula, a heterogena su smeša saharida široke raspodele molekulske mase tj. stepena polimerizacije glukozidnih ostataka, koji variraju od polisaharida preko oligosaharida do niskog procenta nižih šećera (glukoza, maltoza). Predstavljaju prelaz između nativnog skroba i skrobnih sirupa. Za razliku od skroba rastvorni su u vodi, a od skrobnih sirupa se razlikuju jer su neslatki ili vrlo malog stepena slatkoće. Nastali su kao rezultat potrebe, pre svega prehrambene industrije, za proizvodima koji se po svojim osobinama razlikuju od nativnog skroba, ali i od klasičnih skrobnih hidrolizata. Maltodekstrini su hidrolizati čiji je dekstrozni ekvivalent (DE-vrednost) manji od 20. Dekstrozni ekvivalent, osnovni analitički parametar kojim se karakterišu skrobni hidrolizati i na osnovu kog je i izvršena njihova podela ekvivalentan je praktično u fizičkom smislu stepenu konverzije skroba. Definiše se kao količina redukujućih šećera saharidne smeše u skrobnom hidrolizatu, izražena procentualno u ekvivalentima d-glukoze u suvoj materiji (1).

Dobijaju se kiselinskom ili enzimskom hidrolizom skrobnog molekula. Kiselinska konverzija obuhvata tretiranje skrobne suspenzije malim količinama jakih kiselina na visokim temperaturama. Najčešće se koristi hlorovodonična kiselina 0,02-0,03M na temperaturi 135-150°C u vremenu 5-8 minuta. Po završetku hidrolize, koje se određuje određivanjem DE vrednosti, reakcija se prekida neutralizacijom, a zatim slede filtracija, obezbojavanje i koncentrovanje dobijenih hidrolizata. Ovakav proces hidrolize danas se veoma retko izvodi, jer niz efekata koji prate reakciju kao što su obojenost, gorak ukus i zamućenost utiču da dobijeni proizvodi budu lošijeg kvaliteta.

Savremena tehnologija maltodekstrina, data fazno na šemi 1, primenjuje enzimsku hidrolizu ( $\alpha$ -amiloliza) skrobnog molekula. Proces obuhvata zagrevanje skrobne suspenzije i enzima do optimalne temperature dekstrinizacije zavisno od vrste primenjene  $\alpha$ -amilaze (termostabilna/termolabilna) i održavanje uz mešanje na ovoj temperaturi određeno vreme potrebno za reakciju. Po postizanju željene DE vrednosti inaktivacija enzima se najčešće vrši termički (zagrevanjem) ili



zakišeljavanjem. Ovako utečnjeni (dispergovani) skrob podvrgava se potom rafinaciji koja obuhvata odbojavanje i filtraciju, a na kraju sušenje raspršivanjem. Korišćenjem enzima  $\alpha$ -amilaze, hidrolizuju se  $\alpha$ -1,4-glukozidne veze molekula amiloze i amilopektina. Pošto je enzimaska hidroliza specifična reakcija za određeni tip veze, njenom primenom i definisanjem uslova reakcije, postiže se dobra kontrola saharidnog sastava krajnjeg proizvoda. U poređenju sa proizvodima kiseline hidrolize, dobijaju se proizvodi koji imaju manji udeo nižih šećera u smeši, kao i ostataka visokog stepena polimerizacije, postiže se manja obojenost i slatkoća kao i bolja rastvorljivost proizvoda (2). HPLC metodom određen je saharidni sastav maltodekstrina, stepena razdvajanja do DP=12 (3,4).



Šema 1. Enzimski proces proizvodnje maltodekstrina

Osnovne karakteristike maltodekstrina kao što su dekstrozni ekvivalent, stepen polimerizacije (DP), rastvorljivost, mutnoća rastvora zavise od načina dobijanja tj. primenjenih hidrolitičkih uslova (5, 6).

Promenom temperature, prilikom procesa hidrolize, mogu se dobiti maltodekstrini iste DE vrednosti ali potpuno različitog sadržaja nižih i viših saharida i fizikohemijskih osobina. Pored hidrolitičkih uslova na osobine maltodekstrina utiče i botanička vrsta skroba koji je korišćen kao polazna sirovina (kukuruz, pšenica, krompir), kao i sadržaj amiloze i amilopektina u skrobu (7).

Maltodekstrini se proizvode kao beli prah i na osnovu DE-vrednosti dele se okvirno u dve grupe čije su osnovne karakteristike date u tabeli 1 (8).

**Tabela 1.** Osnovne karakteristike maltodekstrina

	Maltodekstrin DE=9	Maltodekstrin DE=18
	beli prah rastvorljiv u vodi	beli prah rastvorljiv u vodi
suva materija	95%	95%
pH	4-5	4-5
DE-vrednost	8-10	17-20
<b>ugljenohidratni sastav</b>		
glukoza	0,2	1,0
disaharidi	1,5	5,0
trisaharidi	3,5	10,0
polisaharidi	94,8	84,0

Od DE-vrednosti zavise i druge osobine maltodekstrina kao što su vezivna svojstva, sposobnost tamnjenja, moć vezivanja vode, snižavanje tačke mržnjenja i viskozitet.

Jedna od važnih osobina maltodekstrina kako sa aspekta njihovog čuvanja tako i u pogledu primene je higroskopnost. Utvrđeno je da su maltodekstrini higroskopni i da povećani udeo šećera tipa maltotrioze i maltotetroze doprinosi higroskopnosti. Ukoliko se čuvaju u neodgovarajućim uslovima povećane vlažnosti može doći do pojave sleplivanja grudvica pa čak i do potpune promene fizičkog stanja uzorka i prelaska u pastozno ili gel stanje.

Rastvori maltodekstrina u zavisnosti od DE vrednosti i botaničke vrste skroba od kojih su dobijeni mogu da budu mutni. Mutnoća potiče od linearnih saharida većih molekularnih masa nastalih hidrolizom amiloze, tako da maltodekstrini dobijeni od skrobova voskastih vrsta žitarica daju bistre rastvore.

Ukoliko su rastvori maltodekstrina viših koncentracija, može doći do formiranja precipitata u čiji sastav ulaze saharidi stepena polimerizacije  $DP > 11$ . Precipitati nastaju po istom mehanizmu kao i retrogradacija amiloze, postavljanjem u paralelan položaj linearnih molekula i njihovo povezivanje vodoničnim mostovima.

Formiranje termoreverzibilnih gela karakteristična je osobina maltodekstrina dobijenih od krompirovog skroba. Maltodekstrini niže DE vrednosti želiraju pri nižim temperaturama i koncentracijama. Bez obzira na DE vrednost mehanizam želiranja je isti i sastoji se od formiranja intermolekularnih vodoničnih veza između lanaca visoke molekulske mase nastalih hidrolizom amilopektina koji su stabilizovani isprepletanim kratkim oligosaharidnim lancima hidrolizata nastalim iz amiloze (8).

Reološka merenja rastvora maltodekstrina pokazala su karakteristike njutnovskih tečnosti. Sa povećanjem koncentracije maltodekstrina od 30% naviše viskozitet naglo raste. U zavisnosti od DE vrednosti, za visoke koncentracije rastvora maltodekstrina (50%), oni se mogu ponašati kao pravi rastvori za više DE vrednosti ili kao paste i termoreverzibilni geli za niže DE vrednosti. Reološke osobine rastvora maltodekstrina takođe zavise od botaničke vrste skroba i primenjenih hidrolitičkih uslova za njihovo dobijanje koji predodređuju saharidnu raspodelu krajnjeg proizvoda. Sa povećanjem temperature rastvori maltodekstrina ne podležu želatinizaciji. Zbog širokog raspona oligosaharidnog sastava viskoziteti različitih maltodekstrina razlikuju se daleko više nego što bi se to očekivalo iz razlike njihovih DE-vrednosti (9,10).

Zbog niza gore navedenih osobina maltodekstrini su u prehrambenoj industriji našli univerzalnu primenu kao punioci i prehrambene prevlake. Naprimera, u pekarskoj industriji koriste se za povećanje trajnosti proizvoda, u konditorskoj industriji za sprečavanje kristalizacije šećera dobijanje kremova i glazura ujednačene konzistencije sjaja, u proizvodnji smrznutih mlečnih i voćnih proizvoda dodaju se radi formiranja sitnih ujednačenih kristala i sprečavanja razdvajanja faza proizvoda. Zbog svoje dobre svarljivosti našli su primenu u proizvodnji dečije hrane. Takođe, primenjuju se kao punioci i proizvodima gotovih i polugotovih jela (sosovi, supe) jer pri procesu pasterizacije ne dolazi do želatinizacije i pri temperaturnim promenama u procesu zamrzavanja i odmrzavanja ne dolazi do promene konzistencije proizvoda zbog raslojavanja

(11,12). Zbog dobre mogućnosti raspršivanja u fini prah (spray-drying) koriste se kao nosači za aromatične materije i začine, kao i radi obezbeđenja sipkosti (tečljivosti) praškastih smeša (formulacija). U proizvodnji dijetetske hrane koriste se kao komponente niskoenergetskih hranljivih napitaka kao i drugih niskoenergetskih proizvoda (prehrambenih emulzija) o kojima će biti reč kasnije. U farmaceutskoj tehnologiji koriste se kao inertni punioci, odnosno kao vezivno sredstvo kod komprimabilnih proizvoda (tabletiranje). U novije vreme, s obzirom na mogućnost sterilizacije rastvora maltodekstrina, koriste se za proizvodnju antibiotika tipa penicilina i streptomicina.

Proizvođači maltodekstrina su stvorili čitav niz proizvoda iz različitih sirovina (13), koji svojim funkcionalnim osobinama mogu da zadovolje širok spektar zahteva koje postavljaju proizvođači hrane (14,15). Proizvodnja maltodekstrina se stalno unapređuje iznalaženjem novih sirovina i poboljšanjem postojećih osobina (16, 17,18). Zbog toga se potrebna istraživanja uticaja njihovih molekulskih karakteristika na procese i proizvode u kojima se koriste.

### ***Disperzione i reološke osobine emulzija***

Proces emulgovanja podrazumeva mešanje dve nemešljive faze, ulja i vode u prisustvu emulgatora (površinski aktivne materije) čija je uloga smanjenje međufaznog napona i formiranje zaštitnog sloja na dispergovanim kapljicama, čime se omogućuje dobijanje stabilnih emulzija. Dejstvom mehaničke energije dodirna površina između faza se deformiše tako da se formiraju kapljice, pri čemu emulgator biva transportovan i absorbovan na međufaznoj površini formirajući površinski sloj oko kapi. Formiranu visokokoncentrovanu emulziju čine kapi disperzne faze razdvojene tankim filmom kontinualne faze.

Emulgovanje kao proces prate niz pojava koje dovode do deformacija kapi u sistemu i njihovog usitnjavanja (dispergovanje) i ponovno spajanje kapi u veće (koalescencija) i one se posle određenog vremena emulgovanja nalaze u stanju dinamičke ravnoteže.

U zavisnosti od zapreminskog udela i vrste disperzne faze, viskoziteta faza, vrste i koncentracije emulgatora, prisustva drugih dodataka, temperature i primenjenih uslova emulgovanja nastaju manje ili više stabilne emulzije čije su osnovne karakteristike **disperzione i reološke osobine** (19,20).



## Emulzije bez maltodekstrina

Proces emulgovanja se može posmatrati kao stohastički proces u kome u toku vremena emulgovanja kapi ulja menjaju prečnike nezavisno jedne od drugih. Tokom procesa emulgovanja procesi dispergovanja i koalescencije koji se odigravaju kontinualno i simultano posle određenog vremena dovode do pojave da većina kapi u sistemu dostiže najverovatniju veličinu ( $X$ ). To znači da prečnik kapi  $d$  teži nekoj veličini najzastupljenijeg prečnika  $X$ . Ova pojava dovodi do toga da tokom procesa emulgovanja i krupne ( $d > X$ ) i sitne kapi ( $d < X$ ) nestaju, prve u procesu dispergovanja a druge u procesu koalescencije. U realnim sistemima emulzije su uvek polidisperzne iako su brzine dispergovanja i koalescencije izjednačene. Veličina kapi, statistička raspodela učestalosti prečnika i specifična površina su parametri koji karakterišu emulzije (21,22).

Veličina kapi emulzije se najčešće karakteriše preko zapreminsko-površinskog prečnika (Sauterov prečnik). Promenu prečnika tokom emulgovanja prati stalna promena specifične površine  $S$ , koja se definiše kao ukupna površina disperzne faze u njenoj ukupnoj zapremini. Granična vrednost specifične površine  $S_{\infty}$  je teorijski najveća međufazna površina koja može da nastane za dati emulzioni sistem (23).

Brzina emulgovanja data je kao odnos promene specifične površine tokom vremena emulgovanja  $dS/dt$  i kreće se od maksimalne na početku emulgovanja do nulte kada se dostiže stanje ravnoteže.

Tokom emulgovanja kao posledica promene prečnika kapi i specifične površine dolazi do promena u viskozitetu emulzije.

Reološke osobine gotovih emulzija su od izuzetnog značaja sa aspekta njihovog korišćenja u razne svrhe, stabilnosti i ponašanja u različitim procesnim sistemima. Reološko ponašanje emulzija ulja u vodi najčešće pokazuje pseudoplastično proticanje.

U zavisnosti od koncentracije ulja (24) i prisutnih dodataka mnogi realni emulzioni sistemi se ponašaju kao viskoelastični (25,26). Viskoelastične emulzije pokazuju Vajsenbergov efekat i karakteristične relaksacione krive zavisnosti napon-vreme. Realni sistemi kao što su prehrambene emulzije (majonez, saladni preliv, mlečni namaz) zbog kompleksnosti svog sastava i interakcija do kojih

dolazi između pojedinih komponenata sistema često odstupaju od teorijskih zavisnosti i reoloških ponašanja pojedinačnih komponenata (27).

Reološko ponašanje emulzija je direktna posledica različitih interakcija koje se dešavaju u sistemu (28). Na raspodelu veličina kapi i reološke osobine gotovih emulzija utiče niz faktora kao što su: vrsta i koncentracija disperzne faze, vrsta i koncentracija emulgatora, viskozitet faza, temperatura i intenzitet emulgovanja itd.

**Efekat emulgatora-** Uloga emulgatora u procesu emulgovanja je sniženje vrednosti površinskog napona i formiranje kapljica dispergovane faze. Na početku emulgovanja obično je sav emulgator rastvoren u kontinualnoj fazi, da bi se tokom procesa emulgovanja pod dejstvom različitih efekata (smicanja) koje se dešava u sistemu usled intenzivnog mešanja do površine kapi koje se formiraju, transportovao turbulentnim kretanjem kontinualne faze i adsorbovao na površini kapljica disperzne faze (29). Površina kapi na kojoj je adsorbovan emulgator ponaša se kao dvodimenzionalni sistem i poseduje sopstvenu viskoznost i elastičnost. Viskoelastičnost ove površine značajan je faktor u stabilizovanju emulzija (30). Sa vremenom emulgovanja uspostavlja se ravnoteža između količine emulgatora adsorbovanog na kapljicama disperzne faze i količine preostale u kontinualnoj fazi. Prisustvo emulgatora omogućava postojanje gradijenta međufaznog površinskog napona, koji nastaje kada film kontinualne faze struji duž površine formirane kapi. Postojanje gradijenta prouzrokuje tangencijalni napon smicanja koji izaziva elastičnu deformaciju filma koji razdvaja dve kapi i prouzrokuje povećanje površinskog napona na pojedinim mestima. Molekuli emulgatora difunduju prema površini da bi održali malu vrednost međufaznog napona i sa sobom povlače i kontinualnu fazu koja zalazi između kapljica ulja, udaljava ih jedne od drugih i sprečava pojavu koalescencije (Gibbs-Marangoni efekat) (31). Ovaj efekat sprečava koalescenciju pri procesu emulgovanja, ali ne i kod gotovih emulzija kod kojih je ravnotežna koncentracija emulgatora adsorbovana. Da bi se pri procesu emulgovanja formirala stabilna emulzija, potrebno je da u vodenoj fazi bude prisutna granična minimalna koncentracija emulgatora. Sa povećanjem koncentracije emulgatora površinski napon se linearno smanjuje do granične vrednosti posle koje ostaje konstantan (32). U homogenizovanim emulzijama količina adsorbovanog emulgatora u zasićenom sloju na površini kapi zavisi od koncentracije prisutnog emulgatora

kao i od vremena homogenizacije. Sa vremenom emulgovanja procenat adsorbovanog emulgatora se povećava, kao i ukupna međufazna površina (33).

Primena mešanih emulgatora ili smeše emulgatora i koemulgatora može da dovede do značajnog smanjenja prečnika kapi, uže raspodele veličina kapi i da doprinese formiranju stabilnih emulzija (34). Vrsta emulgatora u smeši i njihova koncentracija mogu da izazovu strukturne promene u emulziji, što za posledicu ima povećanje viskoziteta (35).

**Efekat ulja-** Koncentracija ulja ima efekta na raspodelu veličina kapi, tako da se sa povećanjem koncentracije ulja srednji prečnik kapi smanjuje i specifična površina  $S$  raste. Pri različitim koncentracijama ulja izražen je uticaj temperature na osobine formirane emulzije (36).

**Viskozitet faza-** Na viskozitet emulzija koje se homogenizuju, imaju uticaj i viskozitet kontinualne i viskozitet disperzne faze. Viskozitetu kontinualne faze ( $\eta_c$ ) doprinose rastvoreni emulgator i drugi prisutni sastojci. Viskozitet kontinualne faze određuje ponašanje i viskozitet čitave emulzije. Sa povećanjem  $\eta_c$  raste specifična površina kapi  $S$ .

Uticaj viskoziteta disperzne faze ( $\eta_d$ ) na viskozitet emulzije ogleda se preko uticaja količnika  $\eta_d/\eta_c$  na raspodelu veličina kapi prilikom emulgovanja i na njihovu deformaciju u gradijentu brzina smicanja tj. prilikom proticanja emulzije.

Pri proticanju emulzije, veličina količnika  $\eta_d/\eta_c$  utiče na deformaciju kapljica pri velikim brzinama smicanja. Što je  $\eta_d/\eta_c$  manje, veća je mogućnost da se kapi izdužuju i usled ove deformacije cepaju na sitnije.

Viši viskozitet kontinualne faze  $\eta_c$  kao i odnos  $\eta_d/\eta_c$  uslovljavaju povećan intenzitet emulgovanja tj. potrebno je uložiti veću energiju mešanja. Sa druge strane koalescencija kapi prilikom procesa emulgovanja se smanjuje sa povećanjem viskoziteta kontinualne faze, što doprinosi stabilnosti formiranih emulzija (37).

**Dužina emulgovanja-** Sa povećanjem vremena emulgovanja smanjuje se prečnik formiranih kapi tako da funkcija raspodele postaje uža i maksimum se pomera prema području nižih prečnika. Međutim, posle određenog vremena emulgovanja može doći do pojave povećanja prečnika kapi što je posledica procesa preemulgovanja. Preemulgovanje se javlja kada brzina koalescencije postaje veća od brzine emulgovanja. (38).

**Temperatura emulgovanja-** Kada se temperatura emulgovanja povećava srednji prečnik kapi  $d_{vs}$  se smanjuje i specifična površina  $S$  se povećava. Međutim, povećanje temperature dovodi do povećanja koalescencije, što dovodi do povećanja prečnika kapi te se dobijaju šire raspodele veličina kapi tj. veća polidisperznost uzorka (37).

**Intenzitet emulgovanja-** Za dobijanje stabilnih emulzija potrebno je odabrati homogenizer koji će obezbediti potrebno mehaničko delovanje, u protivnom će se dobiti grube i nestabilne emulzije. Sa druge strane ako je intenzitet emulgovanja iznad optimalnog, pozitivan efekat (smanjenje prečnika kapi) na dobijene emulzije se neće odraziti, a uložena energija je potpuno bespotrebna (38).

Pored gore pomenutih faktora na osobine formiranih emulzija u zavisnosti od primenjenih uslova emulgovanja, uticaj ima i predhodno mešanje. Dobrim predhodnim mešanjem omogućava se dobijanje gotovih emulzija manjeg srednjeg prečnika (39).

#### Emulzije sa maltodekstrinima

Sve veća briga za zdravljem dovela je do kreiranja i razvoja proizvoda smanjenog sadržaja masti (low fat, low calorie, fat reduced, low energetic food, calorie reduced ) kako zbog energetske vrednosti tako i zbog smanjenja sadržaja holesterola (40, 41).

Supstance koje zamenjuju masti (fat replacers) u prehrambenim proizvodima podeljene su u dve grupe:

- **Supstituti masti (fat substitutes)** su hemijska jedinjenja koja po svojim fizičkim i hemijskim osobinama podsećaju na trigliceride i koji teorijski mogu da zamene masti po principu gram-za-gram. Oni su u osnovi masne materije, koje su ili dobijene sintetičkim putem ili enzimskom modifikacijom tradicionalnih masti i ulja. Pogodne su za upotrebu u proizvodima koji su izloženi visokim temperaturama pre svega prženja jer ne dolazi do njihovih promena.
- **Imitatori masti (fat mimetics)** su supstance koje imaju fizičke i senzorne karakteristike masti i ulja ali su u osnovi proteini ili ugljenihidrati hemijski modifikovani. Energetska vrednost im iznosi oko 17kJ/g.

Karakteristično je da apsorbuju velike količine vode i tako povećavaju viskozitet gotovih proizvoda i nadomešćuju smanjenje sadržaja masti. Ne mogu da se korište u proizvodima koje treba pržiti jer na visokim temperaturama dolazi do denaturacije ili karamelizacije (42). Ove supstance se u današnje vreme najčešće koriste kao zamena za masne materije.

Maltodekstrini, po prirodi ugljenihidrati (starch based fat replacer), spadaju u grupu fat mimetics-a. Zbog svojih specifičnih osobina, poslednjih godina, sve je veća primena maltodekstrina kao zamene za masne materije (43, 44).

Veliki broj proizvoda kao što su majonezi, prelive za salatu, margarini, mlečni namazi itd. spadaju po svojoj strukturi u emulzione sisteme. Zamenom masne materije u ovim proizvodima niskoenergetskim komponentama, dolazi do promena u strukturi i osobinama novonastalih proizvoda. Prilikom formulisanja niskoenergetskih prehrambenih emulzija bilo da su one tipa ulje u vodi (majonez) ili voda u ulju (margarin) potrebno je da zamena za masne materije bude izabrana tako da pre svega dodati sastojci obezbede održavanje viskoziteta, kao i da doprinesu stabilnosti nastalih emulzija (45). Da bi se ovo postiglo potrebno je pre svega izabrati dodatak koji povećava viskozitet vodene faze (46).

Maltodekstrini u proizvodima niskog sadržaja masti, bilo da se koriste kao praškasti ili rastvoreni, odnosno u obliku gela, s obzirom na dobru moć vezivanja vode daju proizvode odgovarajućeg viskoziteta i teksture i takozvanog masnog ukusa (47, 48). Međutim, treba voditi računa da zamene za masti na bazi ugljenihidrata nisu same po sebi dovoljne da daju proizvode dobre stabilnosti u dužem vremenskom periodu pa ih je potrebno koristiti u kombinaciji sa nekim drugim dodacima najčešće na bazi hidrokoloida (49). Prilikom izbora kombinacije polimernih supstanci, koje deluju tako da po svojoj hemijskoj strukturi unutar vodene faze formiraju trodimenzionalnu gel rešetku, treba znati da može doći i to pojave nepoželjnih efekata separacije faza (50, 51). Polimeri u smeši, mogu u zavisnosti od njihove vrste interakcija i koncentracije, da deluju sinergistički ili antagonistički te je potrebno pronaći odgovarajuće optimalne koncentracione odnose da ne bi došlo da separacije faza i narušavanja strukture gotovih proizvoda (52, 53).

Iako je upotreba maltodekstrina dobro poznata, dosadašnja istraživanja su uglavnom bila usmerena na ispitivanje senzornih svojstava gotovih proizvoda,

kao i njihovog kvaliteta (ukus, tekstura, mazivost) sa aspekta prihvatljivosti od strane potrošača (54, 55). Dodatkom maltodekstrina ovi efekti mogu da se poboljšavaju ili pogoršavaju. Uticaj maltodekstrina na osobine emulzija kao što su raspodela veličina čestica i reološke osobine nije dovoljno ispitan iako je poznato da su one od izuzetnog značaja ne samo za osobine gotovih proizvoda nego i za ponašanje u pojedinim delovima proizvodnog procesa.

## ZADATAK RADA SA TEORIJSKIM POSTAVKAMA

### *Teorijska postavka metode za viskozimetrijsko određivanje dekstroznog ekvivalenta (DE vrednosti) maltodekstrina*

Maltodekstrini, kao proizvodi hidrolize skroba po svom hemijskom sastavu su heterogena smeša oligomera d-glukoze različitih stepena polimerizacije.

Poznavanjem stehiometrijskog odnosa procesa hidrolize (vezivanje jednog molekula vode po svakoj raskinutoj glukozidnoj vezi) teorijski prinos reakcije pri potpunoj hidrolizi skroba iznosi 111,11%.

Stepen polimerizacije (DP) hidrolizata je pokazatelj prosečnog broja glukozidnih jedinica vezanih u oligomerima i može se izračunati kao:

$$DP = \frac{111,11}{DE} \quad [1]$$

Teorijska molekulska masa skrobnih hidrolizata može se izračunati kao:

$$M_{MDx} = M_{C_6H_{10}O_5} \cdot DP + M_{H_2O} \quad [2]$$

gde je  $M_{C_6H_{10}O_5}$  masa anhidroglukoznog ostatka.

Ako se zna da, s obzirom na nizak stepen hidrolitičke razgradnje skroba, maltodekstrini u svom sastavu sadrže oligomere visokog stepena polimerizacije  $DP > 8$  u procentu većem od 80% može se pretpostaviti da se maltodekstrini u rastvoru ponašaju poput linernih makromolekula, i da se međuzavisnost unutrašnjeg viskoziteta i molekulske mase može prikazati se Štaudingerovom jednačinom:

$$[\eta] = K \cdot M^a \quad [3]$$

Na osnovu prethodne tri relacije, može se izvesti jednačina za određivanje DE vrednosti viskozimetrijskim putem. Uvrštavanjem jednačine [1] u jednačinu [2], dobija se sledeća jednačina [4] za vrednost molekulske mase maltodekstrina:

$$M_{MDx} = M_{C_6H_{10}O_5} \cdot \frac{111,11}{DE} + M_{H_2O} \quad [4]$$

Uvrštavanjem jednačine [4] u jednačinu [3] Štaudingerova zavisnost za maltodekstrine određene DE vrednosti glasi:

$$[\eta] = K \cdot \left( \frac{18000}{DE} + 18 \right)^a$$

Iz Štaudingerove jednačine može se izraziti DE vrednost i dobija se:

$$DE = \frac{18000 \cdot K^{1/a}}{[\eta]^{1/a} - 18K^{1/a}}$$

Deljenjem broioca i imenioca predhodne jednačine sa 18, dobija se kao konačna jednačina:

$$DE = \frac{1000 \cdot K^{1/a}}{0,055[\eta]^{1/a} - K^{1/a}} \quad [5]$$

Merenjem viskoziteta razblaženih rastvora maltodekstrina i određivanjem unutrašnjeg viskoziteta, kao i konstanti K i a iz jednačine [5] može se izračunati DE vrednost maltodekstrina. U eksperimentalnom delu rada izvršiće se provera izvedene jednačine, odnosno mogućnost primene viskozimetrijskog određivanja DE vrednosti.



### **Istraživanje disperzionih i reoloških karakteristika emulzija**

Istraživanjem disperzionih i reoloških karakteristika emulzija, ispitaće se specifični efekti u procesu emulgovanja i kod gotovih emulzija, koji nastaju dodatkom maltodekstrina.

Maltodekstrini, iako se u prehrambenim sistemima koriste kao zamena za masne materije, s obzirom da su rastvorljivi u vodi, u emulzijama tipa ulja u vodi ulaze u sastav kontinualne faze. U složenim koloidnim sistemima kakve su prehrambene emulzije oni ostvaruju specifične efekte.

Maltodekstrini povećavaju viskozitet kontinualne faze i time utiču na različite unutrašnje pojave i energiju emulgovanja. Ispitivaće se uticaj maltodekstrina različite DE vrednosti na raspodelu veličina kapi i reološke karakteristike emulzija.

Ispitivaće se uticaj sastava emulzije tj. koncentracije i vrste maltodekstrina (DE vrednosti) kao i koncentracije ulja. Pretpostavka je da molekuli maltodekstrina u sistemu međusobno i/ili sa molekulima emulgatora stupaju u interakcije, dovode do formiranja unutrašnje strukture emulzija sa specifičnim reološkim osobinama ili pak do destabilizacije emulzija.

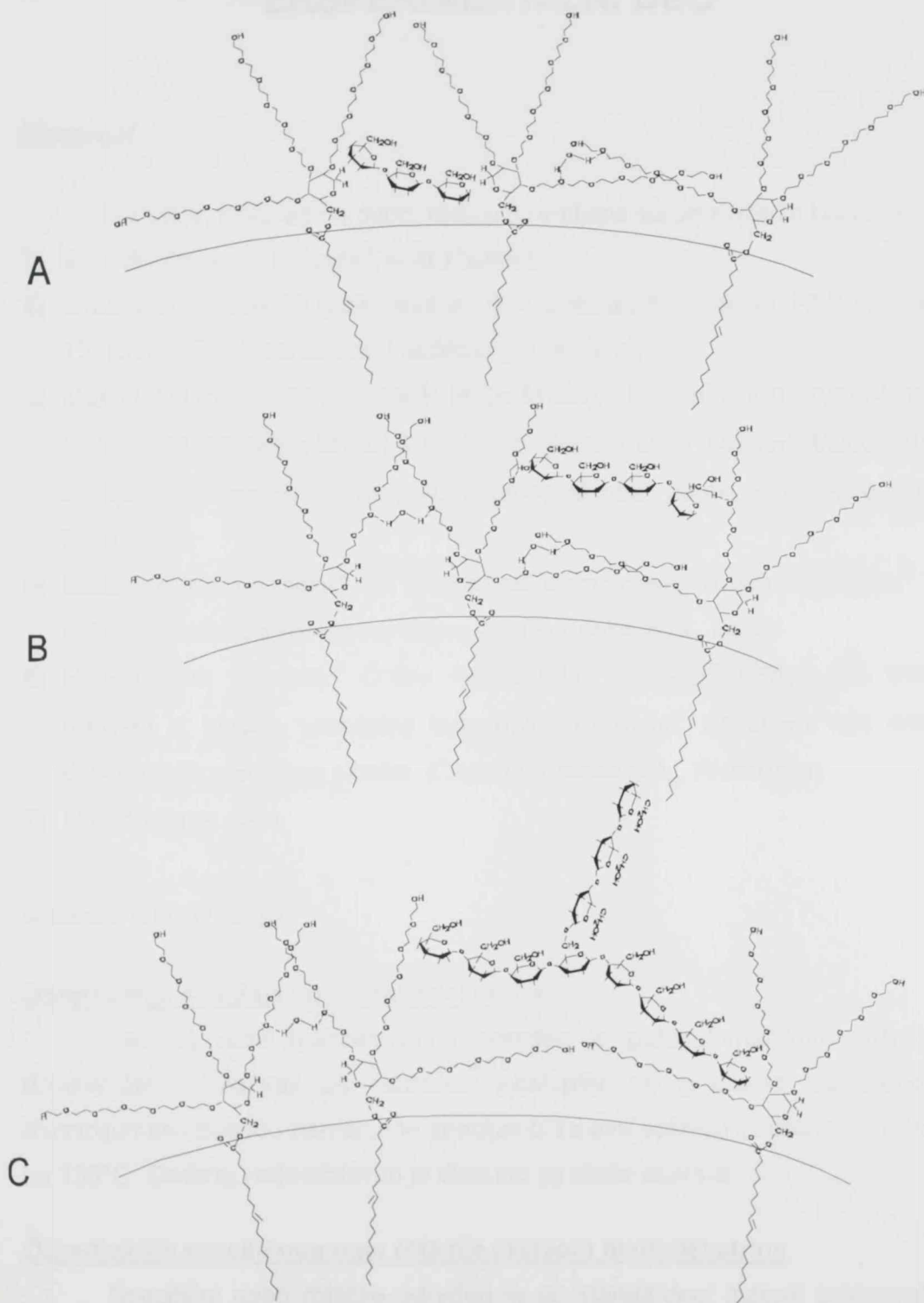
### **Istraživanje interakcija molekula maltodekstrina i molekula emulgatora**

Maltodekstrini ne samo što stupaju u međusobne interakcije nego svojim funkcionalnim grupama stupaju u interakcije sa funkcionalnim grupama emulgatora.

Pretpostavka je da se formiranjem vodoničnih veza između maltodekstrina i molekula emulgatora polioksietilen sorbitan monooleata (Tween 80) molekuli maltodekstrina ugrađuju u adsorpcini sloj emulgatora oko kapljica ulja čime doprinose formiranju manje ili više stabilnih emulzija.

Viskozimetrijskim merenjem utvrdiće se postojanje interakcija između molekula maltodekstrina i emulgatora.

Pretpostavljeni model vezivanja maltodekstrina dat je na Šemi 2. Na šemi 2 A, B i C dat je model vezivanja kratkih, srednjih i dugih saharidnih lanaca koji ulaze u sastav maltodekstrina



Šema 2. Model vezivanja molekula maltodekstrina (A-kratkih; B-srednjih i C-dugih lanaca) za molekule emulgatora i njihova ugradnja u adsorbzioni sloj oko kapljice ulja

## EKSPERIMENTALNI DEO

### **Materijal**

Emulzije, ispitivane u ovom radu pripremljene su od sledećih komponenti:

- ☒ suncokretovo ulje ("Sunce", uljara Sombor)
- ☒ emulgator Tween 80 (polioksietilen (20) sorbitan monooleat), HLB vrednosti 15, (Serva Feinbiochemica, Heidelberg, Germany)
- ☒ Maltodekstrini Maltrin<sup>®</sup> M040 (MDx-M100), Maltrin<sup>®</sup> M100 (MDx-M100), Maltrin<sup>®</sup> M150 (MDx-M150) i praškasti skrobni sirup Maltrin<sup>®</sup> M200 (MDx-M200), dobijeni od nativnog kukuruznog skroba, (Grain Processing Corp., Iowa, USA)
- ☒ Maltodekstrini Glucidex<sup>®</sup> G1 dobijen od krompirovog skroba i Glucidex<sup>®</sup> G2 dobijen od skroba voskastog kukuruza, (Roquette Spa., Italija)
- ☒ Maltodextrini Cerestar<sup>®</sup> C\*Dry MD 01955, Cerestar<sup>®</sup> C\*Dry MD 01958 dobijeni iz skroba voskastog kukuruza i Cerestar<sup>®</sup> C\*deLight MD 01970 dobijen iz krompirovog skroba, (Cerestar France S.A., Francuska)
- ☒ bidestilovana voda

### **Metode istraživanja**

#### **Određivanje sadržaja vode maltodekstrina**

Sadržaj vode maltodekstrina određen je poluautomatskom sušnicom (Brabender, Nemačka), po sledećem postupku: 10 g uzorka odmereno je aluminijumsku posudu namenjenu specijalno za ovu sušnicu i sušeno 45 minuta na 135°C. Sadržaj vode očitavan je direktno sa skale aparata.

#### **Određivanje specifičnog ugla rotacije rastvora maltodekstrina**

Specifični ugao rotacije određen je po standardnoj metodi automatskim polarimetrom Perkin-Elmer 141 (56).

**Određivanje dekstroznog ekvivalenta (DE vrednosti) maltodekstrina**

Dekstrozni ekvivalent određen je standardnom metodom po Luff-Schoorl-u (57)

**Merenje viskoziteta razblaženih rastvora maltodekstrina i Tween 80**

Viskozitet razblaženih rastvora:

- maltodekstrina koncentracije 0,2; 0,25; 0,40; 0,50; 0,67 i 1g SM/100cm<sup>3</sup>
- Tween-a 80 (polioksietilen sorbitan monooleat) koncentracije 0,003; 0,006; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 1; 2; 3 i 4 g/100cm<sup>3</sup>,

meren je na konstantnoj temperaturi od 20°C kapilarnim viskozimetrom sa visećim nivoom, (Cannon, USA).

Osnovni rastvor, 1g SM/100cm<sup>3</sup> maltodekstrina odnosno 4g/100cm<sup>3</sup> Tween 80, je sipan u viskozimetar i ostale koncentracije su dobijene direktnim razblaživanjem bidestilovanom vodom u balonu viskozimetra.

Gustine rastvora i rastvarača određene su automatskim gustomerom DMA46, (Paar, Austrija).

Viskoziteti su izračunati po sledećim formulama:

- relativni viskozitet

$$\eta_{rel} = \frac{\eta_{rastvor}}{\eta_{rastvar ač}} = \frac{t \cdot d}{t_0 \cdot d_0}$$

gde su: t i t<sub>0</sub> vreme isticanja rastvora i rastvarača

d i d<sub>0</sub> gustine rastvora i rastvarača

- specifični i redukovani viskozitet

$$\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1$$

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c}$$

**Merenje viskoziteta smeše rastvora maltodekstrina i Tween 80**

Za određivanje viskoziteta smeše maltodekstrina i Tween 80 pripremljeni su osnovni rastvor maltodekstrina M040 koncentracije 10g SM/100cm<sup>3</sup> i osnovni rastvori Tween 80 koncentracija 0,1; 0,2; 0,4; 1; 2 i 3 g/100cm<sup>3</sup>.

U balon viskozimetra odmereno je 10 g osnovnog rastvora maltodekstrina M040 i u ovaj rastvor je dodato 0,01; 0,02; 0,04; 0,1; 0,2; i 0,3g Tween 80. Tako su dobijene početne smeše za ispitivanje viskoziteta sledećih koncentracija

- 10% MDx-0,1% T80
- 10% MDx-0,2% T80
- 10% MDx-0,4% T80
- 10% MDx-1% T80
- 10% MDx-2% T80
- 10% MDx-3% T80.

Ove smeše su direktno u balonu Ubelodeovog viskozimetra sa visećim nivoom razblaživane odgovarajućim osnovnim rastvorima Tween 80, tako da je koncentracija Tween 80 u smeši bila konstantna dok se koncentracija maltodekstrina menjala i to: 0,2; 0,5; 0,667; 1; i 5%. Viskozitet je meren na 20°C.

Gustine rastvora i rastvarača određene su automatskim gustinomerom DMA 46, (Paar, Austrija).

Relativni, specifični i redukovani viskozitet računati su po predhodno datim formulama.

### **Merenje viskoziteta kontinualne faze**

Viskozitet kontinualne faze sa 5% maltodekstrina meren je kapilarnim viskozimetrom sa visećim nivoom (Ubelode viskozimetar) na temperaturama 25°C.

Gustina rastvora određena je piknometrom zapremine 5,106 ml.

Viskozitet kontinualne faze sa 25%-nim rastvorom maltodekstrina je izmeren na rotacionom viskozimetru Rotovisco RV 20 (Haake, Nemačka).

### **Priprema emulzija**

Spravljanje su emulzije ulje u vodi (U/V) u količini od 100 g mehaničkim putem, dispergovanjem uljne faze postupkom "emulgator rastvoren u vodi", pri čemu je koncentracija emulgatora u svim slučajevima bila konstantna i iznosila je 3 %, računato na masu ulja.

Za pripremu takozvane nulte emulzije (0%MDx) kontinualna faza je bila bidestilovana voda, a koncentracija ulja iznosila je 10, 20, 30, 40, 50, 60, i 70%. Za ostale emulzije sastav kontinualne faze variran promenom količine

rastvorenog maltodekstrina, odnosno vrste maltodekstrina imajući u vidu različite DE vrednosti ispitivanih maltodekstrina.

Pripremane su emulzije različitog sadržaja ulja i sa 25% maltodekstrina M040, M100, M150 i M200, računato na masu kontinualne faze. Sastav emulzija dati su u tabeli 2.

**Tabela 2.** Sastav emulzija sa 25% maltodekstrina u kontinualnoj fazi

	70%	60%	50%	40%	30%
<b>Ulje (g)</b>	70	60	50	40	30
<b>Tween 80 (g)</b>	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9
<b>maltodekstrin (g)</b>	6,98	9,55	12,12	14,7	17,27
<b>Voda (g)</b>	20,92	28,65	36,38	44,1	51,83

Pripremljene su i emulzija sa 30% ulja i 5% maltodekstrina u kontinualnoj fazi, što je iznosilo 3,45g maltodekstrina u emulziji..

Takođe, pripremljene su i emulzije sa 10g M040 i M100 i 20 g M100 u kontinualnoj fazi što je preračunato na procenete iznosi 26,2 i 41,2% maltodekstrina u kontinualnoj fazi, respektivno. Sastavi ovih emulzija dati su u Tabeli 3.

**Tabela 3.** Sastav emulzija sa 10g i 20g maltodekstrina u kontinualnoj fazi

	60%	50%
<b>Ulje (g)</b>	60	50
<b>Tween 80 (g)</b>	1,8	1,5
<b>maltodekstrin (g)</b>	10	20
<b>Voda (g)</b>	28,2	28,5

Kontinualnoj fazi u kojoj je predhodno rastvoren emulgator je dodavano pri pripremi emulzija sa 50, 60 i 70% ulja, 30g ulja pre početka emulgovanja, te je ova smeša postavljena u termostat podešen na željenu temperaturu. Preostala količina ulja je dodata u toku prvog minuta emulgovanja. Celokupna količina ulja je dodavana pre početka emulgovanja pri pripremi emulzija sa 30 i 40% ulja.

Sistem je emulgovan homogenizerom Ultraturaks T-25 (Janke-Kunkel, Nemačka), podešen na rad u režimu od 6000 o/min, Ukupno vreme

homogenizovanja iznosilo je 30 minuta. Uzorci za određivanje raspodele veličina kapi uzimani su nakon 5, 10, 15, 20, 25 i 30 minuta, a za viskozimetrijska merenja nakon završetka emulgovanja. Sve emulzije su po završenom emulgovanju stajale 10 minuta na sobnoj temperaturi da bi prisutni mehurići vazduha u emulziji izašli na površinu.

Temperatura emulgovanja je iznosila 25°C i kontrolisana je tokom celog procesa.

### Određivanje veličine i raspodele veličina kapi

Veličina i raspodela veličina dispergovanih kapi ulja određeni su elektronskim brojačem Coulter-Counter, TA II (Coulter Electronics Ltd, Engleska), korišćenjem merne cevi prečnika 50  $\mu\text{m}$ . Raspodela veličina kapi ispitivana je u uzorcima razblaženim rastvorom elektrolita 0.9% NaCl, u koji je dodat 2% rastvor Tween 80 u količini od 2 ml na 150 ml rastvora NaCl. Rastvor elektrolita filtriran je kroz membranu prečnika pora od 50  $\mu\text{m}$ .

### Određivanje parametara raspodele veličina kapi

Rezultati određivanja raspodele veličina kapi elektronskim brojačem statistički su obrađeni Hewlett Packard 9830 A računarnom sa X-Y pisačem prema sopstvenom programu. Dobijeni podaci, izračunati putem formula za momente raspodele i dati su tabelarno u Prilogu.

### Merenje viskoziteta emulzija

Viskozitet emulzija meren je na rotacionom viskozimetru Rotovisco RV20, (Haake, Nemačka), koji je povezan sa termostatom (Haake, Nemačka) radi održavanja temperature na konstantnoj vrednosti od 20°C. Merenje viskoziteta nultih emulzija, kao i 30 i 40% emulzija sa maltodekstrinima vršeno je korišćenjem mernog pribora NVST, dok je za određivanje viskoziteta 50, 60 i 70% emulzija sa maltodekstrinima merenje izvršeno priborom SV II.

Parametri jednačine viskoziteta  $\eta_0$ ,  $\eta_N$ ,  $m$  i parametri jednačine proticanja  $\tau_0$ ,  $K$ ,  $n$  određeni su fitovanjem odgovarajućim funkcijama i dati u Prilogu, za šta je korišćen programski paket Origin 5.0, (Microcal Software Inc., USA).

**Viskoelastično ponašanje emulzija**

Viskoelastično ponašanje ispitivano je određivanjem relaksacionih krivih, tj. zavisnosti napon-vreme rotacionim viskozimetrom Rotovisco RV20, (Haake, Nemačka). Emulzije su najpre bile podvrgnute dejstvu slabe sile smicanja (brzina smicanja  $D=0,07s^{-1}$ ) nakon uklanjanja dejstva sile kontinualno je praćeno iščezavanje unutrašnjeg napona pri konstantnoj deformaciji.





## REZULTATI I DISKUSIJA

### *Nova metoda za određivanje dekstroznog ekvivalenta (DE vrednosti) maltodekstrina viskozimetrijskom metodom*

#### Određivanje molekulskih karakteristika maltodekstrina

U cilju karakterisanja maltodekstrina određeni su sadržaj vode, dekstrozni ekvivalent (DE vrednost) hemijskom metodom, ugao specifične rotacije  $[\alpha]_D^{20}$  i iz jednačina [1] i [2] izračunati stepen polimerizacije (DP) i molekulska masa (M) i rezultati su dati u Tabeli 4.

Tabela 4. Osnovne karakteristike maltodekstrina

Uzorak maltodekstrina	Karakteristike				
	H <sub>2</sub> O (%)	DE	DP	M	$[\alpha]_D^{20}$
M040	6,22	5,1	22	3550	199,25
M100	6,01	12,6	9	1450	185,95
M150	5,83	18,4	6	1000	181,90
M200	6,84	27,0	4	700	171,50
G2	5,79	1,8	61	9850	205,47
G1	6,48	3,1	36	5850	195,58
C*Dry 01995	7,18	7,3	15	2500	198,51
C*Dry 01998	7,18	7,1	16	2550	198,95
C*delight	7,84	3,5	31	5050	n.m.

Svi ispitivani uzorci pripadali su prema DE vrednosti grupi maltodekstrina (DE < 20) osim uzorka Maltrin 200 (M200) koji je imao DE = 27 i prema tome spada u grupu čvrstih skrobnih sirupa.

Ugao specifične rotacije  $[\alpha]_D^{20}$  u skladu je sa izračunatim DE vrednostima i za istu grupu uzoraka (Maltrin 040, 100, 150 i 200) opada sa porastom dekstroznog ekvivalenta maltodekstrina obzirom na povećanje sadržaja saharida nižeg stepena polimerizacije u smeši. Kod uzorka C\*delight zbog mutnoće rastvora ugao specifične rotacije nije bio merljiv. Ovaj uzorak je proizveden od

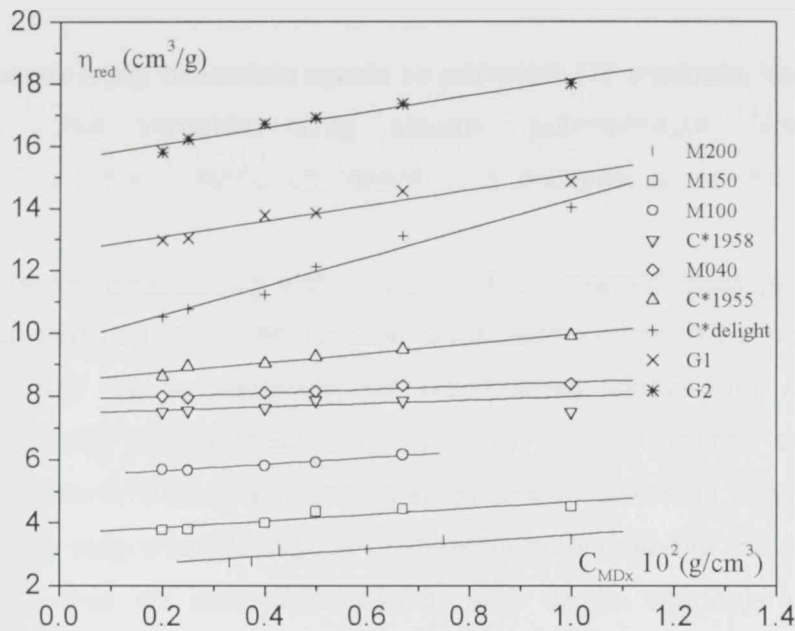
krompirovog skroba sa specifičnim osobinama povećane moći želiranja pri niskim koncentracijama, za korišćenje u proizvodima smanjenog sadržaja masti.

Svi uzorci bili su rastvorljivi na sobnoj temperaturi, ali se kod onih sa niskom DE vrednosti ( $DE \leq 5$ ) po dodatku vode formiraju grudvice i trebalo je, uz intenzivno mešanje, duže vreme za njihovo potpuno rastvaranje. Rastvori ovih maltodekstrina su tokom stajanja u dužem vremenskom periodu (24 časa i više) postajali mutni, što je rezultat procesa retrogradacije molekula visokog stepena polimerizacije. Kod rastvora maltodekstrina Maltrin M040 usled ovog efekta došlo je do pojave precipitata na dnu posude.

### Određivanje viskoziteta razblaženih rastvora maltodekstrina različitog dekstroznog ekvivalenta

Maltodekstrini, kao proizvodi niskog stepena hidrolitičke razgradnje sadrže, u zavisnosti od DE vrednosti, veliki procenat saharida visokog stepena polimerizacije (dekstrinske frakcije). U razblaženim rastvorima maltodekstrini ponašaju se kao linearni makromolekuli i njihove molekulske, čisto frikционе karakteristike, izražene su putem unutrašnjeg viskoziteta. Zavisnost redukovano viskoziteta od koncentracije rastvora maltodekstrina na 20°C data je na slici 1. Vrednosti redukovano viskoziteta, vremena isticanja i gustine rastvora maltodekstrina za sve uzorke i ceo opseg koncentracija date su u tabeli I u Prilogu.

Maltodekstrin	DE	Redukovano viskozitet	
		10 <sup>-2</sup> g/dl	10 <sup>-1</sup> g/dl
Maltodekstrin 1	1	0,15	0,18
	2	0,15	0,18
Maltodekstrin 2	1	0,15	0,18
	2	0,15	0,18
Maltodekstrin 3	1	0,15	0,18
	2	0,15	0,18
Maltodekstrin 4	1	0,15	0,18
	2	0,15	0,18
Maltodekstrin 5	1	0,15	0,18
	2	0,15	0,18



Slika 1. Zavisnost redukovanog viskoziteta od koncentracije rastvora maltodekstrina

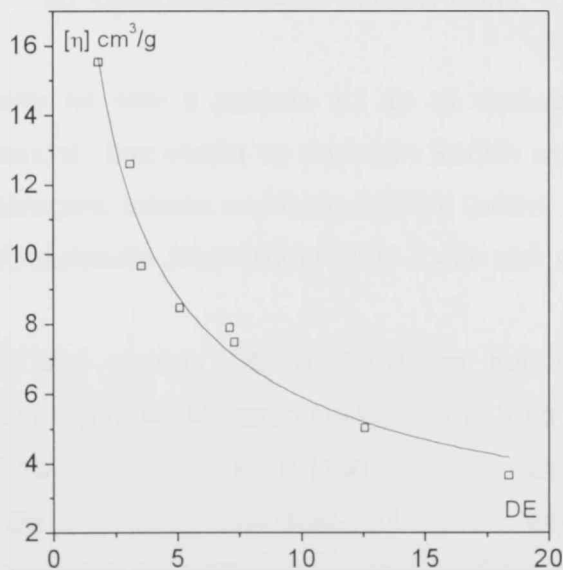
Sa slike 1 vidi se da redukovani viskozitet rastvora maltodekstrina linerno opada sa smanjenjem koncentracije maltodekstrina i iz preseka sa ordinatnom osom, ekstrapolacijom na nulu koncentracije maltodekstrina dobijene vrednosti unutrašnjeg viskoziteta  $[\eta]$  date su u tabeli 5.

Tabela 5. Vrednosti unutrašnjeg viskoziteta  $[\eta]$  ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) maltodekstrina

	DE	$[\eta]$
<b>G2</b>	1,8	15,52
<b>G1</b>	3,1	12,58
<b>C*delight</b>	3,5	9,64
<b>M040</b>	5,1	8,44
<b>C*1958</b>	7,1	7,87
<b>C*1955</b>	7,3	7,45
<b>M100</b>	○	12,6
	△	12
<b>M150</b>	○	18,4
	△	19
<b>M200</b>	27	2,48

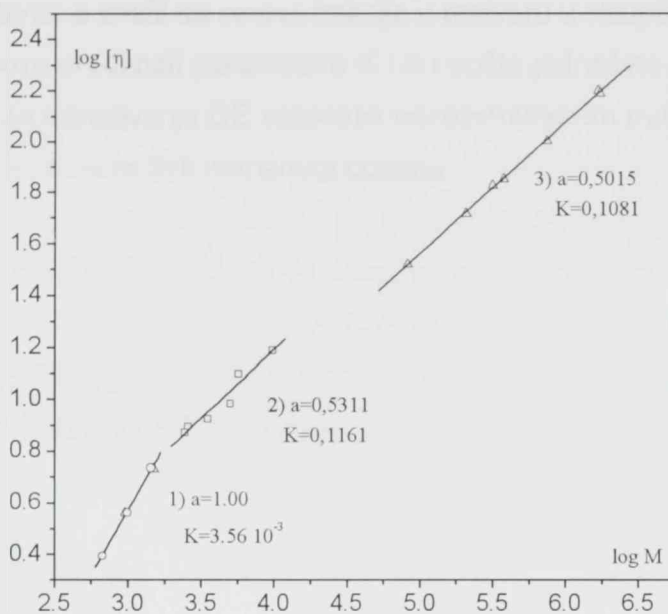
Vrednost unutrašnjeg viskoziteta opada sa porastom DE vrednosti kao posledica povećanja udela saharida nižeg stepena polimerizacije. Vrednosti za maltodekstrine M100 i M150 obeležene  $\circ$   $\Delta$  dobijene su iz dva nezavisna merenja.

Zavisnost unutrašnjeg viskoziteta od DE vrednosti data je na slici 2. Vrednost unutrašnjeg viskoziteta rezultat je frikcionih karakteristika molekula i sa slike 2 se vidi da je zavisnost od dekstroznog ekvivalenta krivolinijska. Maltodekstrini niže DE vrednosti, zbog prirode procesa hidrolize i delovanja  $\alpha$ -amilaze na skrobni molekul, ne samo da imaju veći udeo frakcija visokog stepena polimerizacije i razgranatosti nego je i saharidna raspodela šira. Sa povećanjem DE vrednosti ova se raspodela sužava, tako da je opadanje unutrašnjeg viskoziteta za veće vrednosti DE manje izraženo nego kod maltodekstrina nižih DE vrednosti.



Slika 2. Zavisnost unutrašnjeg viskoziteta maltodekstrina od dekstroznog ekvivalenta

Pošto se promena unutrašnjeg viskoziteta sa molekulskom masom makromolekula pokorava Štaudingerovoj zavisnosti, za vrednosti  $[\eta]$  i molekulske mase  $M$ , za ispitivane maltodekstrine, izračunate logaritamske vrednosti date su na slici 3.



**Slika 3.** Zavisnost unutrašnjeg viskoziteta  
od molekulske mase maltodekstrina

Prave dobijene na slici 3 potvrđuju da se maltodekstrini pokoravaju Štaudingerovoj zavisnosti bez obzira na prisustvo kratkih molekula nižih šećera jer predstavljaju heterogenu smjesu molekula različite dužine. Efekti dugih lanaca visokog stepena polimerizacije preovlađuju te se može reći da se ponašaju kao polimeri.

Utvrđena su dva opsega DE vrednosti za koji se mogu definisati pravolinijske zavisnosti  $\log [\eta]$   $\log M$  i izračuna konstante K i a i to:

1. DE = 0,5-10                      K= 0,1161                      a= 0,5311
2. DE = 10-20                      K=  $3,56 \cdot 10^{-3}$                       a= 1

Vrednosti parametra a= 1 za prvi opseg i a= 0,5311 za drugi opseg 2, pokazuju da se molekuli maltodekstrina u razblaženim rastvorima nalaze u opruženom stanju za niže prosečne vrednosti molekulske mase (viši stepen hidrolitičke razgradnje) tj u sklopčanom stanju za više prosečne molekulske mase (niži stepen hidrolitičke razgradnje), respektivno.

Treća prava na slici 3 daje literaturne vrednosti za frakcije amiloze koje su dugi makromolekularni lanci (59). Na osnovu ove prave izračunate su konstante

Štaudingerove jednačine sa sledećim vrednostima:  $K=0,1081$  i  $a=0,5015$ . Vrednost konstante  $a$  znači da su ove frakcije u rastvoru u sklopčanom stanju.

Na osnovu vrednosti parametara  $K$  i  $a$  i opšte jednačine [5], izvedene su dve jednačine za određivanje DE vrednosti viskozimetrijskim putem za ispitivane uzorke maltodekstrina za dva pomenuta opsega:

### 1. DE = 0,5 –10

$$DE = \frac{0,1161^{1,883} \cdot 10^3}{0,055[\eta]^{1,883} - 0,1161^{1,883}}$$

$$DE = \frac{17,341}{0,055[\eta]^{1,883} - 0,0173}$$

$$DE = \frac{1}{3,17 \cdot 10^{-3} [\eta]^{1,883} - 0,0001}$$

### 2. DE = 10-20

$$DE = \frac{3,56}{0,055[\eta] - 3,56 \cdot 10^{-3}}$$

$$DE = \frac{1}{0,0155[\eta]^{1,883} - 0,001}$$

Iz prethodne dve formule izračunate su vrednosti dekstroznog ekvivalenta i u tabeli 6 date uporedo sa vrednostima dobijenim hemijskom titrimetrijskom metodom, kao i onim deklariranim od proizvođača za komercijalne svrhe.

**Tabela 6.** Dekstrozni ekvivalenti maltodekstrina

	G2	G1	C*delight	M040	C*1958	C*1955	M100	M150	M200
DE <sup>1</sup>	1,8	3,1	3,5	5,1	7,1	7,3	12,6	18,4	27,0
DE <sup>2</sup>	1,8	2,7	4,4	5,6	6,5	7,2	12,0	18,0	27,1
DE <sup>3</sup>	max.5	max.5	-	4-7	8	6,9	9-12	13-17	20-23

<sup>1</sup> hemijskom metodom

<sup>2</sup> viskozimetrijskom metodom

<sup>3</sup> po proizvođačkoj specifikaciji

Iz tabele 6 vidi se da se vrednosti dobijene našom viskozimetrijskom metodom dobro slažu sa onima dobijenim hemijskom metodom pogotovo ako se uzme u obzir priroda procesa hidrolize skrobnog molekula gde i sami proizvođači za određene maltodekstrine kao referentne vrednosti daju opseg dekstroznog ekvivalenta. Takođe treba napomenuti da se ovi maltodekstrini iako dobijeni od skrobova različitih botaničkih vrsta (kukuruzni, krompirov i voskasti kukuruzni) i od različitih proizvođača načelno pokoravaju istoj matematičkoj zavisnosti. Takođe na slici 3 tačke za M100 i M150 obeležene  $\Delta$  i  $\circ$ , iako određene u dva nezavisna merenja pokazuju dobru reproduktivnost što ovu metodu kvalifikuje kao pouzdanu i preciznu za određivanje dekstroznog ekvivalenta maltodekstrina.

**Ispitivanje disperzionih i reoloških karakteristika emulzija****Disperzione karakteristike emulzija**

Disperzione karakteristike emulzija određene su preko parametara raspodele veličine kapi: srednjeg prečnika kapi  $d_{vs}$  ( $\mu\text{m}$ ), specifične površine  $S$  ( $\text{m}^2/\text{cm}^3$ ) i varijanse  $\sigma^2$  za emulzije pripravljene bez i sa maltodekstrinom. Vrednosti ovih parametara za sve emulzije date su u Prilogu tabelama III-VII.

**Emulzije bez maltodekstrina**

Vrednosti srednjeg prečnika za emulzije bez maltodekstrina (nulte) za koncentracije ulja ( $C_0$ ) 10, 20, 30, 40, 50, 60 i 70% i vreme emulgovanja 5, 10, 15, 20, 25 i 30 minuta date su u Tabeli 7.

**Tabela 7.** Srednji prečnik kapi  $d_{vs}$  ( $\mu\text{m}$ ) emulzija bez maltodekstrina

vreme emulgovanja $t$ (min)	Koncentracija ulja $C_0$ (%)						
	10	20	30	40	50	60	70
5	7,47	9,98	10,6	11,10	11,99	8,58	9,43
10	7,14	10,37	10,18	11,11	10,88	7,77	6,49
15	7,90	10,36	10,29	10,86	10,88	7,54	5,71
20	7,49	9,68	11,43	12,48	11,08	7,86	5,36
25	7,44	10,63	11,55	12,10	11,15	8,08	5,10
30	7,64	9,90	11,38	12,65	11,08	8,14	5,12

Tokom vremena emulgovanja 5-30 min, za koncentraciju uljai 70% dolazi do usitnjavanja kapi ulja i smanjenja njihovog srednjeg prečnika kao posledica visokog sadržaja ulja u emulziji koje doprinosi povećanju viskoziteta emulzije. Za emulzije sa nižim sadržajem ulja (10–60%) za date uslove emulgovanja (broj obrtaja homogenizera i zapremina emulzije) tokom vremena emulgovanja nije dolazilo do smanjenja prečnika kapi. Prečnik kapi dobijen posle pet minuta emulgovanja, tokom daljeg procesa emulgovanja, varirao je oko neke srednje



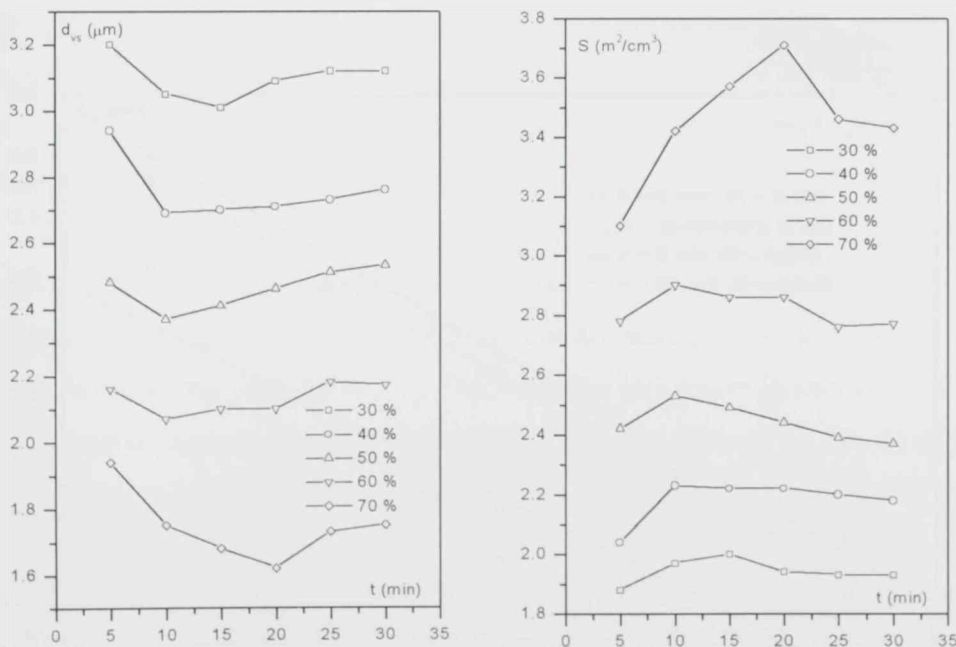
vrednosti i to 7,51; 10,15; 10,91 11,72, 11,18 i 7,98 za 10%; 20%; 30%; i 40%, 50% i 60% respektivno.

Sa smanjenjem koncentracije od 70 do 40% ulja, prečnik kapi raste zbog smanjenja viskoziteta emulzije. Međutim, sa daljim smanjenjem koncentracije ulja od 40 do 10% prečnik kapi se smanjuje. Ovo nastaje kao posledica niskog viskoziteta emulzije i velikog unosa energije po jedinici zapremine ulja što za date uslove homogenizovanja dovodi do usitnjavanja kapi.

### Emulzije sa maltodekstrinima

Emulzije sa 25% maltodekstrina i različitim koncentracijama ulja pripremljene su sa dva maltodekstrina, Maltrin M040 (DE 5) i Maltrin M100 (DE 12).

Promene srednjeg prečnika i specifične površine sa vremenom emulgovanja sa maltodekstrinom M100 u emulziji date su na slici 4.



Slika 4. Promena srednjeg prečnika  $d_{vs}$  i specifične površine kapi  $S$  emulzije sa maltodekstrinom različitog sadržaja ulja tokom emulgovanja

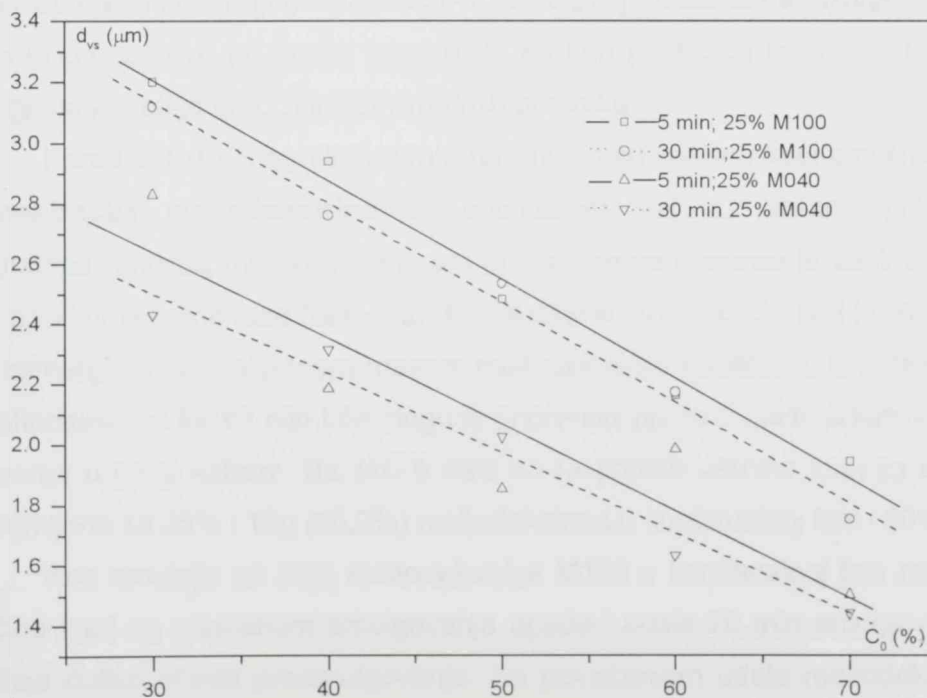
Tokom emulgovanja, za sve koncentracije ulja, srednji prečnik kapi je prvo opadao dok je u sistemu preovlađivao efekat dispergovanja, da bi se potom

povećavao kao posledica preemulgovanja kada prevlađuje efekat koalescencije usled velikog unosa energije u sistem.

Dodatkom maltodekstina u emulzije, dobijeni su manji prečnici kapi u odnosu na emulzije bez maltodekstrina i to za sve koncentracije ulja. Smanjenje prečnika kapi za iste koncentracije ulja, posledica je efekta povećanja viskoziteta kontinualne faze usled dodatka maltodekstrina.

**Preemulgovanje** kod emulzije sa srednje visokom sadržajem ulja javljalo se posle 15 minuta emulgovanja dok se kod emulzije sa visokim sadržajem ulja (70%) pojavilo posle 25 minuta emulgovanja. Kod emulzija sa visokim sadržajem ulja prostor između oformljenih kapi je manji pa do izražaja dolazi efekat povećanja viskoziteta kontinualne faze usled prisustva maltodekstrina koji doprinosi efikasnijem emulgovanju, formiranju sitnijih kapi i kasnijem ispoljavanju efekta preemulgovanja.

Uticaj **koncentracije ulja** na srednji prečnik kapi na početku (5 min) i na kraju emulgovanja (30 min) za maltodekstrine M040 i M100 dat je na slici 5.



Slika 5. Uticaj koncentracije ulja na srednji prečnik kapi

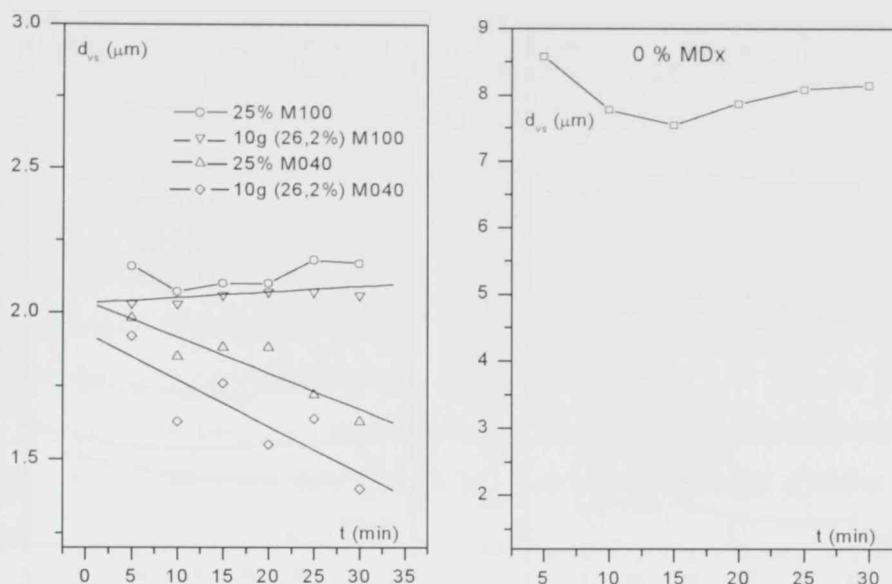
Srednji prečnik kapi opada sa povećanjem koncentracije ulja za isto vreme emulgovanja. Pošto je koncentracija maltodekstrina za sve emulzije bila

konstantna i iznosila 25% na masu kontinualne faze smanjenje srednjeg prečnika posledica je većeg udela disperzne faze u sistemu koja doprinosi povećavanju viskoziteta emulzije. Po završetku emulgovanja emulzije pripremljene sa 60 % i 70% ulja čije su kapi bile sitnije, bile su stabilne u dužem vremenskom periodu i nije dolazilo do formiranja kapljica ulja na njihovoj površini. Emulzije spravljene sa 30, 40 i 50 % ulja koje imaju krupnije kapljice ulja su bile nestabilne i došlo je do pojave efekata razdvajanja isplivavanjem na površinu (creaming). Ovaj efekat je došao do izražaja usled postojanja velikog broja kapi većih prečnika koje se kreću ka površini i isplivavaju. Kao rezultat nastaje emulzija kod koje se razlikuju dve faze, jedna bogatija disperznom fazom kod koje su kapljice ulja većih prečnika i druga sa kapima ulja manjih prečnika, a da pri tome ne dolazi do promene raspodele veličine kapi i ponovnim mešanjem dobija se homogena emulzija.

Takođe, sa slike 5 može se videti da su prečnici kapi u emulziji pripremljenoj sa maltodekstrinom M040 generalno niži nego kod emulzije sa M100 zbog prirode samog maltodekstrina. Maltodekstrin M040 je niže DE vrednosti i molekuli u njegovom sastavu su duži, tj. viskozitet kontinualne faze u čijem je on sastavu je samim tim viši, te se kao posledica toga za iste uslove emulgovanja dobija emulzija nižih srednjih prečnika.

Pored dekstroznog ekvivalenta na raspodelu veličine kapi emulzije utiče i **koncentracija maltodekstrina** u kontinualnoj fazi. U dosada prikazanim rezultatima sadržaj maltodekstrina bio je konstantan i iznosio je 25% u odnosu na masu kontinualne faze (tabela 2). Pripremljene su i emulzije kod kojih je masa ulja zamenjena ekvivalentnom masom maltodekstrina (tabela 3). Emulziju sa 20 g maltodekstrina M040 nije bilo moguće pripremiti, jer ovaj maltodekstrin nije bio rastvorljiv u datoj količini. Na slici 6 date su raspodele veličina kapi za emulzije pripremljene sa 25% i 10g (26,2%) maltodekstrina u kontinualnoj fazi i 60% ulja.

Kod emulzija sa 25% maltodekstrina M100 u kontinualnoj fazi raspodela veličina kapi sa vremenom emulgovanja opada i posle 20 min emulgovanja do izražaja dolazi efekat preemulgovanja. Sa povećanjem udela maltodekstrina u kontinualnoj fazi (26,2%) dobijaju se sitnije kapi u celom toku emulgovanja, i najmanji prečnik kapi dobija se odmah na početku emulgovanja.

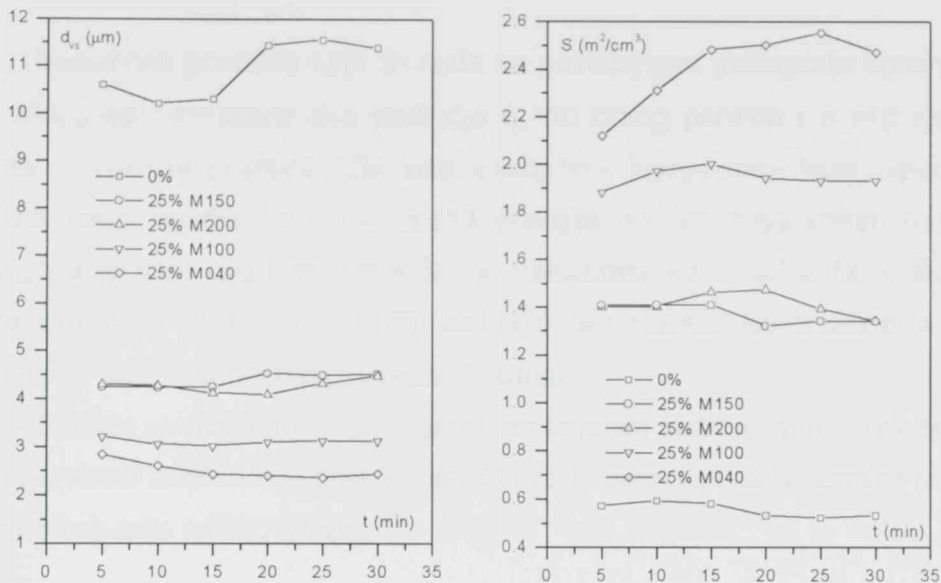


Slika 6. Raspedela veličina kapi 60% emulzija sa i bez maltodekstrina

Srednji prečnik kapi, emulzija koje su u sastavu kontinualne faze imale M040 zbog njenog visokog viskoziteta, opadao je konstantno tokom procesa emulgovanja. U poređenju sa 60% emulzijom bez maltodekstrina, srednji prečnici kapi emulzija pripremljenih sa maltodekstrinom, za iste uslove emulgovanja bili su oko 4 puta manji.

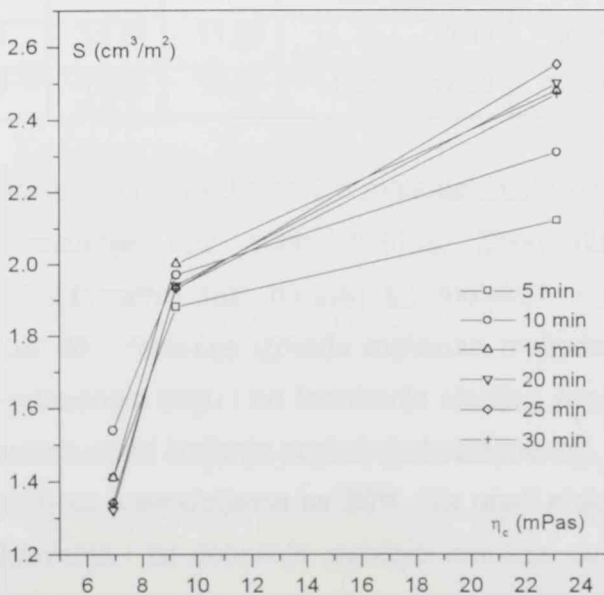
Praćen je **efekat maltodekstrina različitih DE vrednosti** na dinamiku emulgovanja emulzija sa manjim sadržajem ulja. Pripremljene su emulzije sa 30% ulja i zavisnost srednjeg prečnika od vremena emulgovanja data je na slici 7.

Sa slike 7. vidi se da srednji prečnik kapi raste sa porastom DE vrednosti tj. sa povećanjem stepena hidrolitičke razgradnje i udelom nižih šećera u saharidnoj smeši maltodekstrina. Sve emulzije pripremljene sa maltodekstrinima bile su nestabilne, a posebno one pripremljene sa 25% M150 (DE=18) i M200 (DE=27) pokazivale su izrazitu nestabilnost i efekat isplivavanja na površinu je dolazio do izražaja već nekoliko minuta nakon završetka emulgovanja. Emulzija pripremljena bez maltodekstrina, iako sa većim srednjim prečnicima kapi, bila je stabilna jer ima užu raspodelu veličina kapi.



Slika 7. Promena srednjeg prečnika kapi i specifične površine kapi 30% emulzija tokom emulgovanja

Pošto se viskozitet kontinualne faze menjao primenom maltodekstrina različitog dekstroznog ekvivalenta, utvrđen je **uticaj viskoziteta kontinualne faze** na promenu specifične površine kapi  $S$  emulzija tokom emulgovanja i dat je na slici 8. Vrednosti viskoziteta kontinualne faze date su u tabeli II u Prilogu.



Slika 8. Promena specifične površine kapi u zavisnosti od viskoziteta kontinualne faze

Specifična površina kapi  $S$ , raste sa povećanjem viskoziteta kontinualne faze. Mogu se uspostaviti dva područja  $\eta_c < 10$  brzog porasta i  $\eta_c > 10$  sporijeg porasta specifične površine. Za više viskozitete kontinualne faze, specifična površina raste sporije jer se unesena energija emulgovanja koristi osim na dispergovanje kapi ulja i na savlađivanje viskoziteta kontinualne faze, što je u skladu sa ranijim istraživanjima (58) kod kojih je viskozitet kontinualne faze bio manjan promenom koncentracije maltodekstrina.

Takođe spravljene su i emulzije sa smanjenim sadržajem maltodekstrina i to 5% na masu kontinualne faze (tabela 2) i sadržajem ulja 30%. Srednji prečnici kapi ovih emulzija dati su u tabeli 8.

**Tabela 8.** Srednji prečnik kapi  $d_{vs}$  ( $\mu\text{m}$ ) emulzija sa 30% ulja tokom emulgovanja

Konc. MDx.	Vreme emulgovanja (min)					
	5	10	15	20	25	30
0%	10,60	10,18	10,29	11,43	11,55	11,38
25% M040	2,83	2,60	2,42	2,40	2,36	2,43
25% M100	3,20	3,05	3,01	3,09	3,12	3,12
25% M150	4,25	4,23	4,25	4,53	4,49	4,52
25% M200	4,29	4,29	4,12	4,08	4,32	4,47
5% M040	11,72	11,08	11,15	10,86	10,18	10,10
5% M100	12,54	11,66	11,73	12,33	12,55	12,70
5% M150	13,75	13,96	14,31	17,56	17,88	18,20

Srednji prečnici kapi emulzija sa 5% maltodekstrina u kontinualnoj fazi su veći nego kod emulzije bez maltodekstrina. Zbog niske koncentracije maltodekstrina u kontinualnoj fazi njegovi su molekuli, pogotovo oni kraći, pokretljiviji te dolazi do interakcije između molekula maltodekstrina i molekula emulgatora u adsorbacionom sloju i do formiranja slabijeg adsorbacionog sloja pa su kapi prilikom sudara usled kretanja podložnije koalescenciji.

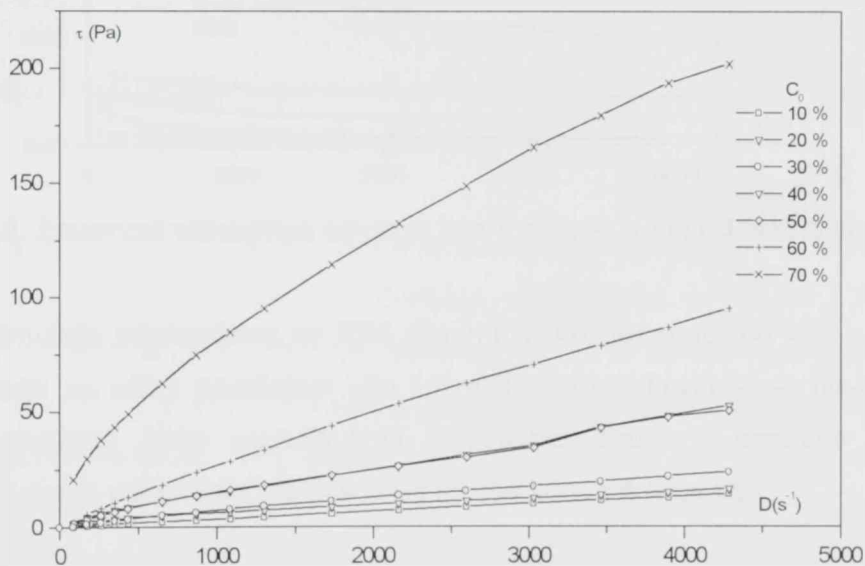
Maltodekstrini su u emulzijama sa 30% ulja uneli efekat nestabilnosti za date uslove emulgovanja i za dobijanje stabilnih emulzija ovog sadržaja ulja u ovaj sistem je potrebno uneti neke stabilizujuće komponente na bazi hidrokoloida ili koristiti mešane emulgatore.

## Reološke karakteristike emulzija

Emulzije po svojim reološkim osobinama predstavljaju nenjutnovske sisteme. Reološke osobine emulzija zavise od većeg broja različitih faktora. Posmatran je uticaj sastava emulzija, količine ulja i maltodekstrina kao i molekularna priroda maltodekstrina (DE vrednost).

### Emulzije bez maltodekstrina

Reološke karakteristike emulzija bez maltodekstrina (nulte) pripremljenih sa 10, 20, 30, 40, 50, 60, i 70% ulja date su na slikama 9 i 10.

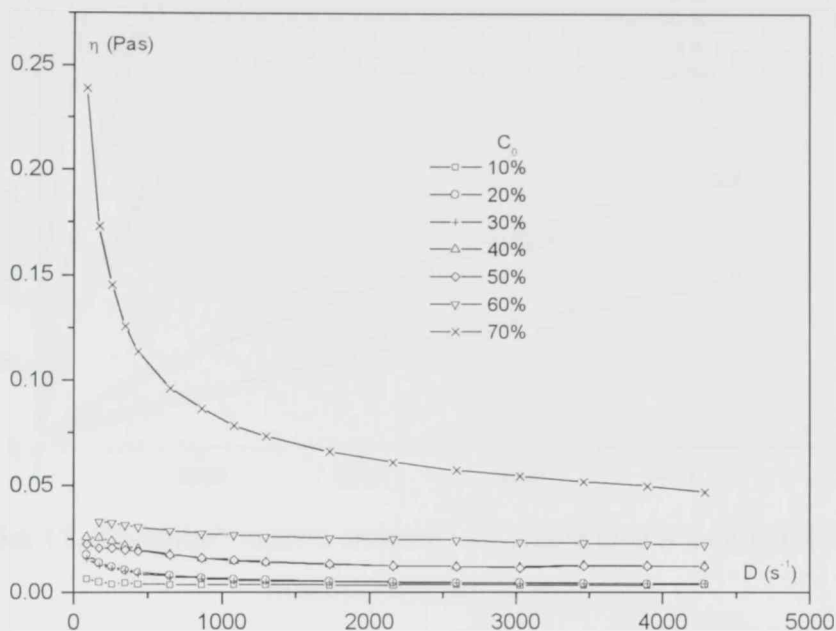


**Slika 9.** Zavisnost napona smicanja emulzija bez maltodekstrina od brzine smicanja

Sve emulzije bez obzira na sadržaj ulja pokazivale su pseudoplastičan tip proticanja. Emulzije sa 70% ulja su pseudoplastične sa prinosnim naponom,  $\tau_0$ . Sve krive su fitovane jednačinama proticanja [7] i parametri su dati u tabeli XII u Prilogu. Na osnovu dobijenih vrednosti izračunata je srednja vrednost koeficijenta  $m=0,80$  koji je pokazatelj nenjutnovskog ponašanja sistema, a za njutnovske sisteme iznosi  $m=1$ .

Krive zavisnosti viskoziteta od brzine smicanja date su na slici 10.

Sve krive fitovane su jednačinom viskoziteta [6] koja daje zavisnost viskoziteta od primenjenih brzina smicanja i vrednosti za granične uslove  $\eta_0$  ( $D=0$ ) i  $\eta_N$  ( $D \rightarrow \infty$ ), kao i parametar  $n$  date su u tabeli VIII u Pilogu.



Slika 10. Zavisnost viskoziteta emulzija bez maltodekstrina od brzine smicanja.

Emulzija pripremljena sa 70% ulja ima viskozitet značajno veći u odnosu na emulzije sa nižim sadržajem ulja i izrazitiji pad viskoziteta sa povećanjem brzine smicanja zbog razrušavanja unutrašnje strukture emulzije koja je posledica gusto pakovanih kapljica zbog visoke koncentracije ulja.

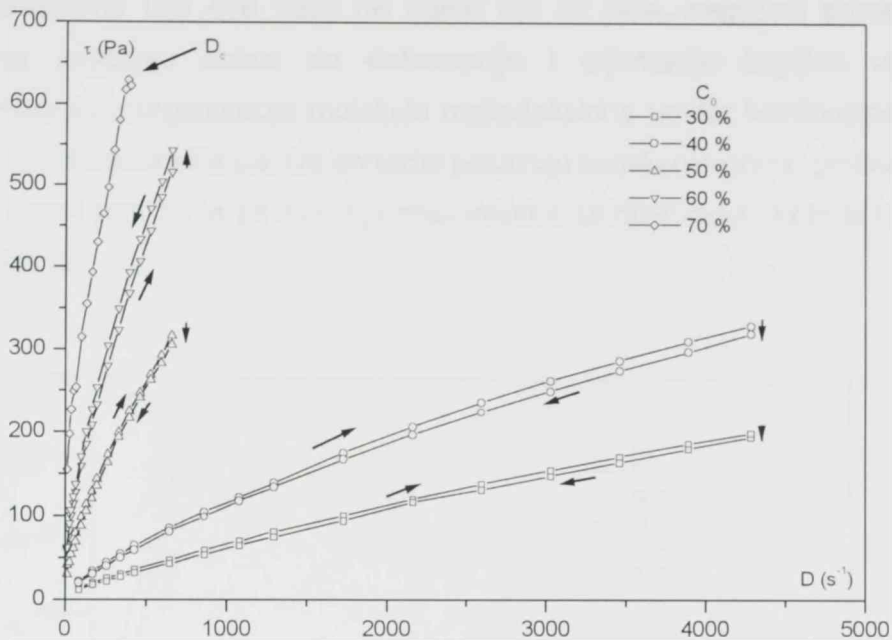
### Emulzije sa maltodekstrinima

Reološke osobine emulzija sa maltodekstrinima ispitivane su posle 30 minuta, po završetku emulgovanja. Pripremljene su emulzije sa 25% maltodekstrina M040 i M100 u kontinualnoj fazi, sa sadržajem ulja 30, 40, 50, 60, i 70 %.

Emulzije pripremljene sa maltodekstrinima, za razliku od emulzija bez maltodekstrina koje su sve bile pseudoplastične, pokazuju različite tipove proticanja.

Na slici 11. data je zavisnost napona smicanja od brzine smicanja za emulzije pripremljene sa maltodekstrinom M040 sa različitim sadržajem ulja.





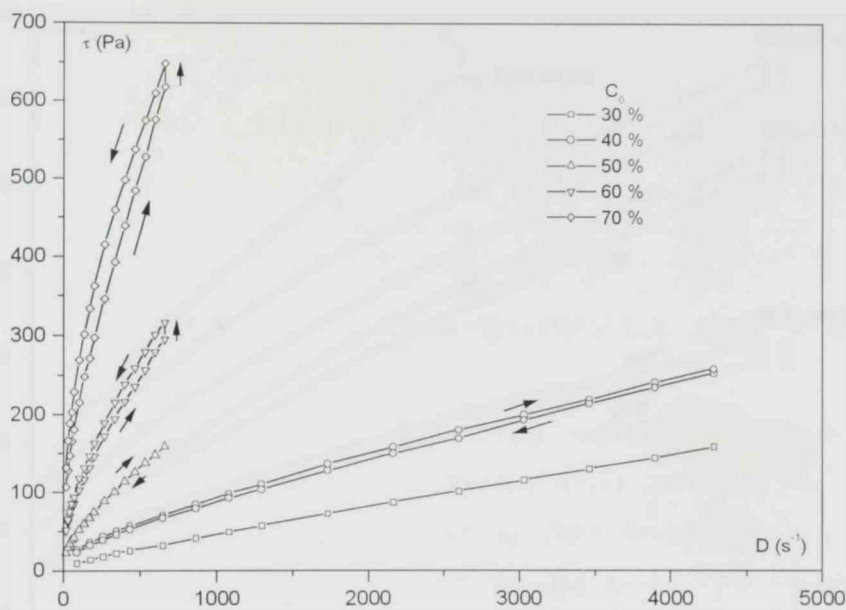
Slika 11. Zavisnost napona smicanja od brzine smicanja emulzija sa maltodekstrinom M040

Sa slike 11 vidi se da napon smicanja tj. viskozitet emulzija raste sa porastom sadržaja ulja u emulziji. Emulzije pripremljene sa 30, 40 i 50% ulja pokazuju tiksotropan tip proticanja, emulzija sa 60 % ulja je reopektična, dok emulzija sa 70% pokazuje Vajsenbergov efekat koji je karakterističan za viskoelastične sisteme. Ovaj efekat javlja se kada pri nekoj brzini smicanja obeleženoj kao kritična brzina ( $D_c$ ) normalni napon u emulziji postane veći od tangencijalnog, te dovodi do penjanja emulzije uz cilindar viskozimetra i do izlaska emulzije iz cilindra.

Ove promene u tipu proticanja za različite koncentracije ulja, posledica su formiranja unutrašnje strukture emulzije usled prisustva maltodekstrina. Saharidni lanci različitih dužina i razgranatosti koji nastaju procesom hidrolize međusobno se povezuju slabim vodoničnim mostovima i grade unutrašnju mrežu kontinualne faze. Pored toga oni se povezuju i sa molekulima emulgatora u adsorbicionom sloju oko kapi i tako povezuju kapi dajući kompleksnu unutrašnju strukturu emulzije. U zavisnosti od koncentracije ulja tj. veličine prostora između kapljica ulja u strukturi emulzije ove veze mogu biti jače ili slabije izražene. Kod emulzija sa nižom koncentracijom ulja ove veze se pri primenjenim visokim brzinama smicanja razrušavaju i emulzije su tiksotropne. Kod emulzija sa višim

koncentracijama ulja ove veze ne samo što su jače, nego pri primenjenim brzinama smicanja dolazi do deformacije i orijentacije kapljica ulja, do usmeravanja i reorganizacije molekula maltodekstrina unutar kontinualne faze i do dodatne strukturacije pa ove emulzije pokazuju antitiksotropni tip proticanja.

Tipovi proticanja za emulzije pripravljene sa maltodekstrinom M100 date su na slici 12.

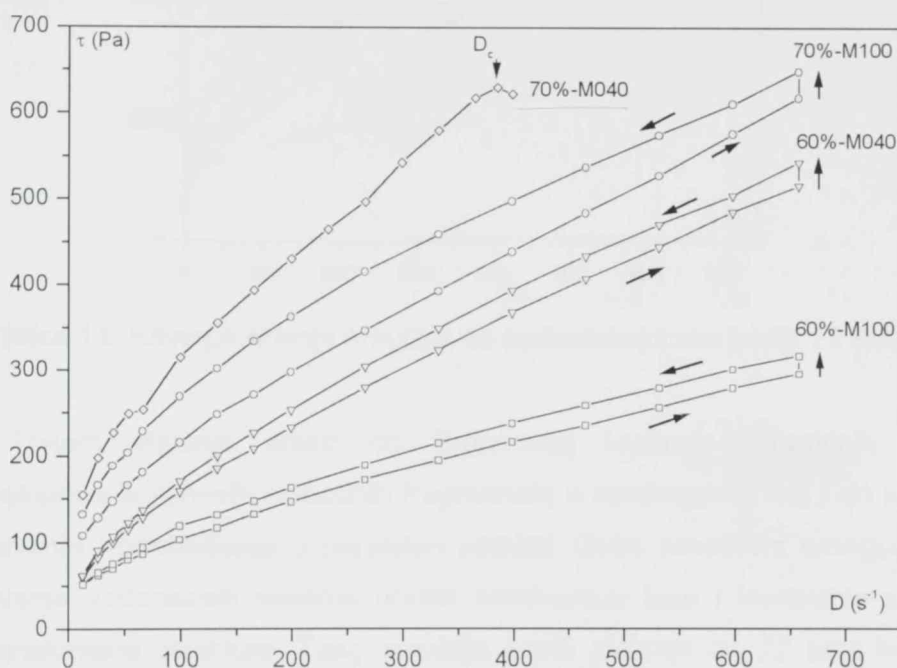


Slika 12. Zavisnost napona smicanja od brzine smicanja emulzija sa maltodekstrinom M100

Emulzije pripravljene sa maltodekstrinom M100 takođe pokazuju različite tipove proticanja. Poređenjem slika 11 i 12 vidi se da postoje razlike u proticanju ovih emulzija što znači da pored koncentracije ulja i prisustva maltodekstrina i vrsta, odnosno **DE vrednost**, samog maltodekstrina ima uticaja na osobine finalne emulzije. Emulzija sa 30% ulja i maltodekstrinom M100 je pseudoplastična i za razliku od emulzije sa M040 iste koncentracije ulja, nije pokazivala postojanje unutrašnje strukturacije. Pošto je maltodekstrin M100 višeg stepena hidrolitičke razgradnje njegovi saharidni lanci su kraći i pri niskoj koncentraciji ulja nije dolazilo do formiranja unutrašnje strukture. Pri višim koncentracijama ulja 40 i 50% emulzije su bile tiksotropne, a za 60 i 70% ulja pokazivale su efekat antitiksotropije.

Sve emulzije pripravljene sa M040 i M100 imale su prinosnu vrednost napona smicanja  $\tau_0$  koja se povećavala sa povećanjem koncentracije ulja i vrednosti su date u tabelama XIII i XIV u Prilogu.

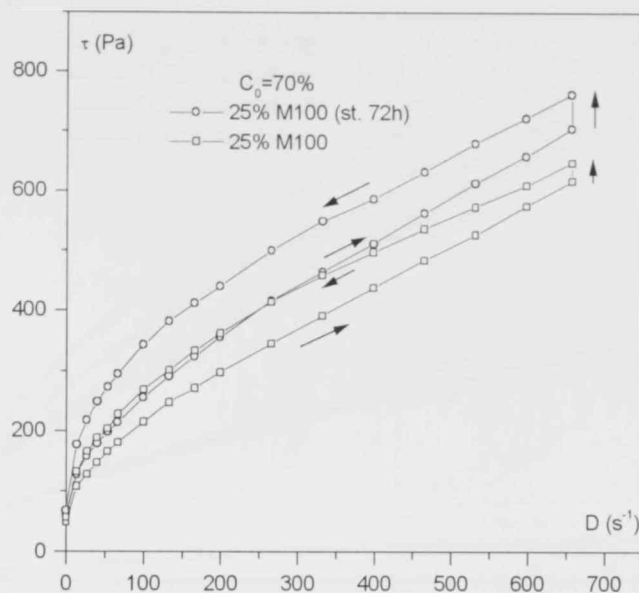
Uticaj koncentracije ulja i tipa maltodekstrina na pojavu stukturacije još bolje se vidi sa slike 13, na kojoj ju prikazane krive sa 60 i 70% ulja za oba maltodekstrina M040 i M100.



**Slika 13.** Zavisnost napona smicanja od brzine smicanja emulzija sa 60 i 70% ulja i maltodekstrinom

Emulzije sa 70% ulja imaju veći viskozitet od emulzija sa 60% ulja, kao i emulzije sa maltodekstrinom M040 u odnosu na one sa M100 za istu koncentraciju ulja. Zbog visokog sadržaja ulja kapljice u emulziji su gušće pakovane, pa je manja pokretljivosti molekula unutar kontinualne faze i omogućeno je lakše formiranje vodoničnih mostova između molekula. Ovo se ogleda i u veličini antitiksotropne petlje koja je za maltodekstrin M100 i 70% ulja najveća, iako su molekuli ovog maltodekstrina kraći i manje razgranati.

Efekat stukturacije ne samo da se dešava pri primenjenim velikim brzinama smicanja nego se dešava i u vremenu tokom stajanja emulzije. Na slici 14. date su krive proticanja emulzije sa 25% maltodekstrina M100 merene po spravljanju emulzije i posle 72 sata stajanja na sobnoj temperaturi.

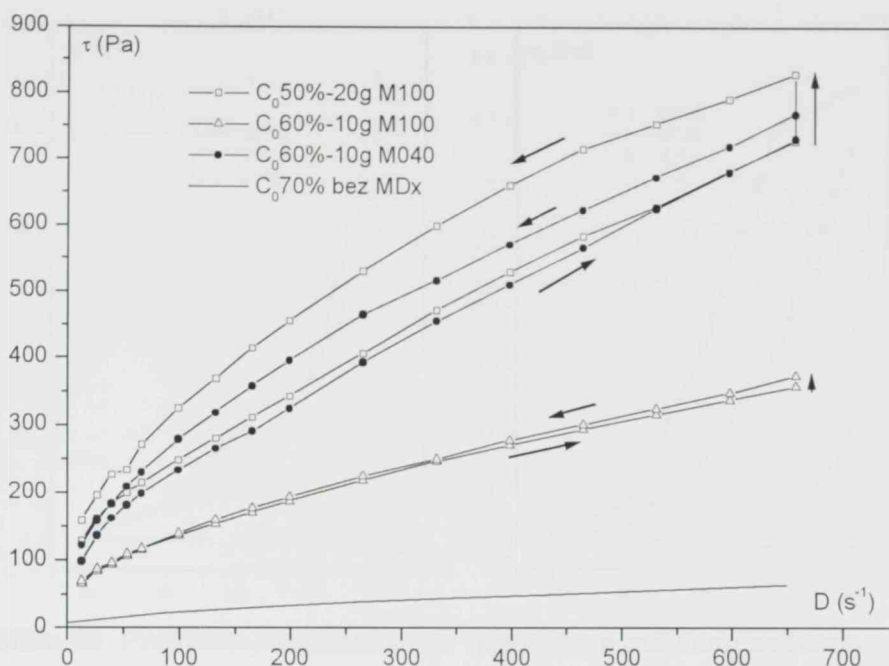


Slika 14. Krive proticanja emulzija sa maltodekstrinom posle 72 sata

Tokom stajanja dolazi do Braunovog kretanja saharidnih lanaca maltodekstrina ili njihovih slobodnih fragmenata u kontinualnoj fazi i do njihovog usmeravanja i postavljanja u paralelan položaj. Ovim procesom omogućeno je povezivanje vodoničnim vezama unutar kontinualne faze i formiranje uređene trodimenzionalne strukture. Tako emulzija posle stajanja od 72 sata ima veći viskozitet, a pri primenjenim brzinama smicanja daje veću površinu antitiksotropne petlje. Vremenske strukturacione promene pokazuju da smicanjem nastaju permanentne prostorne strukture.

Predhodno razmatrane krive proticanja bile su za emulzije kod kojih je koncentracija maltodekstrina u kontinualnoj fazi bila konstantna i iznosila je 25%.

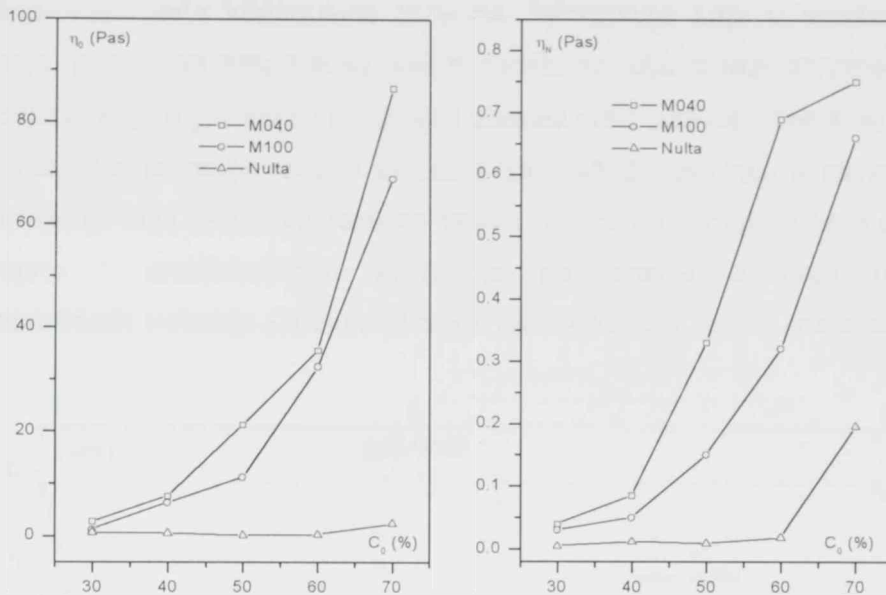
Pripremljene su i emulzije u kojima je količina ulja zamenjena ekvivalentnom količinom maltodekstrina po principu "gram za gram". Emulzije su sadržale 10g maltodekstrina M100 i M040 što je iznosilo 26,2% u kontinualnoj fazi i 60g ulja. Takođe, pripremljena je i emulzija sa 20g, što je iznosilo 41,2% u kontinualnoj fazi, maltodekstrina M100 i 50g ulja. Emulzija ovog sastava sa maltodekstrinom M040 nije bilo moguće pripremiti jer je koncentracija od 41,2% iznad granice rastvorljivosti za ovaj maltodekstrin. Na slici 15 date su krive proticanja ovih emulzija.



Slika 15. Krive proticanja emulzija sa 50 i 60% ulja i 20g i 10g maltodekstrina

Sve emulzije su bile antitiksotropne i pokazivale već definisanu zavisnost od vrste maltodekstrina i koncentracije ulja. Ovde takođe, do izražaja dolazi i efekat koncentracije maltodekstrina. Za razliku od krive proticanja na slici 12 za 25% M100 i 50g(%) ulja koja je tiksotropna, kriva proticanja na slici 15 za istu koncentraciju ulja i 41,2% maltodekstrina je antitiksotropne sa izrazito velikom površinom petlje. Ovako visoka koncentracija maltodekstrina omogućila je da u emulziji, i pored niže koncentracije ulja, dođe do formiranja unutrašnje strukture usled proticanja.

Za sve emulzije izračunate su vrednosti **viskoziteta**  $\eta$  i dobijeni  $\eta$ -D dijagrami fitovani su jednačinom [6] u prilogu. Dobijene su granične vrednosti viskoziteta  $\eta_0$  za  $D=0$  i  $\eta_N$  za  $D \rightarrow \infty$ . Promene ovih parametara emulzija sa i bez maltodekstrina za različite koncentracije ulja date su na slici 16.



Slika 16. Promene parametara  $\eta_0$  i  $\eta_N$  emulzija različitog sadržaja ulja

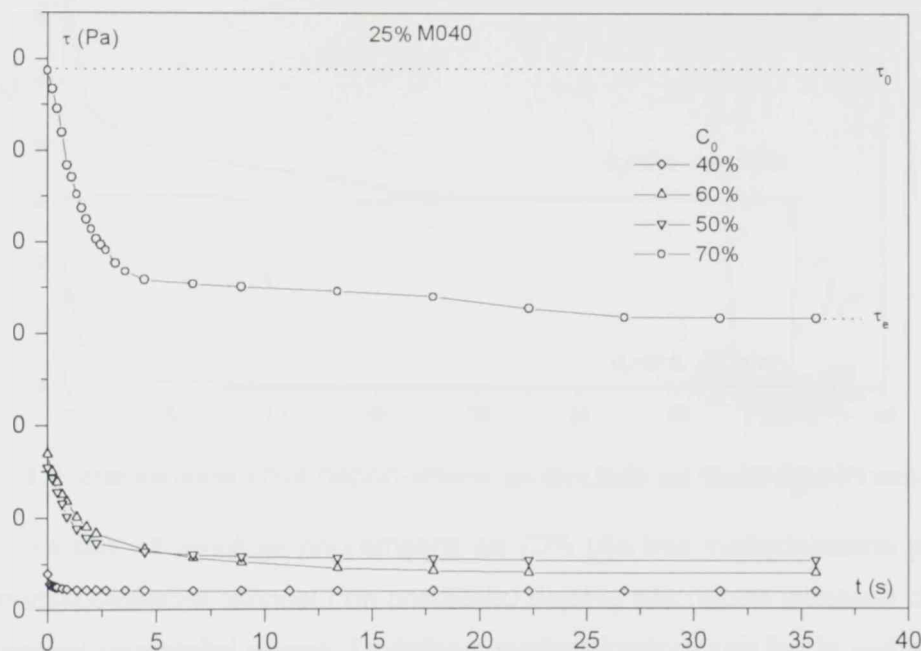
Oba ova parametra su pokazatelji stanja unutar emulzije. Parametar  $\eta_0$  pokazuje stanje sistema koji nije podvrgnut dejstvu napona smicanja, i zavisi samo od specifične površine dispergovanih kapi. Sa promenom koncentracije ulja kod emulzija bez maltodekstrina povećanje specifične površine nije toliko da bi dovela do znatne promene parametra  $\eta_0$ . Usled prisustva maltodekstrina, sa povećanjem koncentracije ulja, dobijaju se emulzije sitnijih kapi i specifična površina dobijenih kapi raste, što dovodi do izrazitog povećanja parametra  $\eta_0$ . Specifična površina se menja od 1,93 za 30% do 3,43 za 70% ulja za M100 i 2,47 za 30% do 4,14 za 70% ulja za M040. Vrednosti parametra  $\eta_0$  emulzija sa maltodekstrinom M040 su veće zbog efekta većeg viskoziteta kontinualne faze na proces emulgovanja predhodno datog i opisanog.

Parametar  $\eta_N$  pokazuje stanje sistema pri velikim brzinama smicanja i posledica je uticaja viskoziteta kontinualne faze i deformacije kapi u gradijentu brzine smicanja. Promena parametra za nulte emulzije sa povećanjem koncentracije ulja od 30-60% je neznatna, dok je izrazito povećanje koje se javlja kod emulzije sa 70% ulja posledica deformacije i međudejstva kapljica ulja usled njihovog gustog pakovanja u emulziji.

Za emulzije sa maltodekstrinima parametra  $\eta_N$  raste sa povećanjem koncentracije ulja u celom opsegu koncentracija od 30-70% i nastaje usled

delovanja viskoziteta kontinualne faze na deformacije kapi u emulziji tokom proticanja, gde i kod emulzija sa malim sadržajem ulja dolazi do deformacije i međudejstva kapi u gradijentu smicanja i porasta vrednosti parametra  $\eta_N$ .

Kao što je ranije rečeno emulzije sa maltodekstrinima u zavisnosti od **koncentracije ulja** pokazuju različite tipove proticanja. Emulzije koje pokazuju tiksotropno i antitiksotropno proticanje po pravilu spadaju u grupu **viskoelastičnih** sistema. Karakteristične krive relaksacije date su na slici 17.

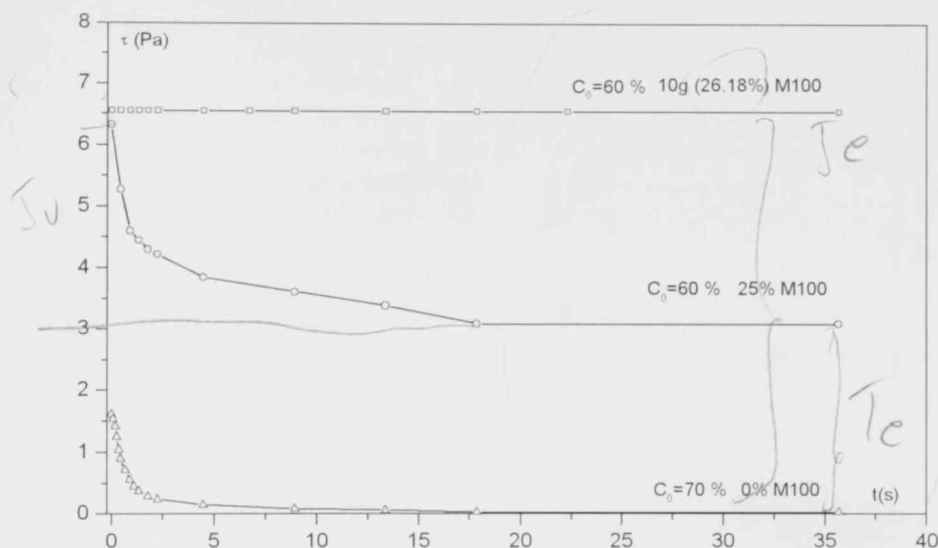


Slika 17. Relaksacione krive napon-vreme za emulzije sa maltodekstrinom M040

Emulzije su bile izložene dejstvu slabe sile smicanja i po prestanku dejstva sile kontinualno je praćeno je postojanje i iščezavanje unutrašnjeg napona pri konstantnoj deformaciji. Sve emulzije su pokazivale karakteristične relaksacione krive. Ovo viskoelastično ponašanje karakterišu promene unutrašnjeg otpora koji je proizveden u elastično deformisanom elementu unutrašnje prostorne rešetke. U vremenu  $t=0$  po prestanku dejstva spoljne sile, unutrašnji napon ima vrednost  $\tau_0$ . Ovaj napon iščezava postepeno u vremenu i kada je vreme dovoljno veliko napon postaje jednak nekoj ravnotežnoj vrednosti,  $\tau_e$ . Viskoelastično ponašanje posledica je formiranja unutrašnje strukture emulzije i u zavisnosti od kompleksnosti strukture viskoelastičnost je više izražena kod

emulzija sa većim sadržajem ulja. Postojanje napona  $\tau_e$  pokazuje da isvesni delovi strukture prostorne rešetke sistema ostaju trajno elastično deformisani.

Da je uticaj maltodekstrina na viskoelastično ponašanje emulzija od najvećeg uticaja može se videti sa slike 18 na kome su date krive za maltodekstrin M100.



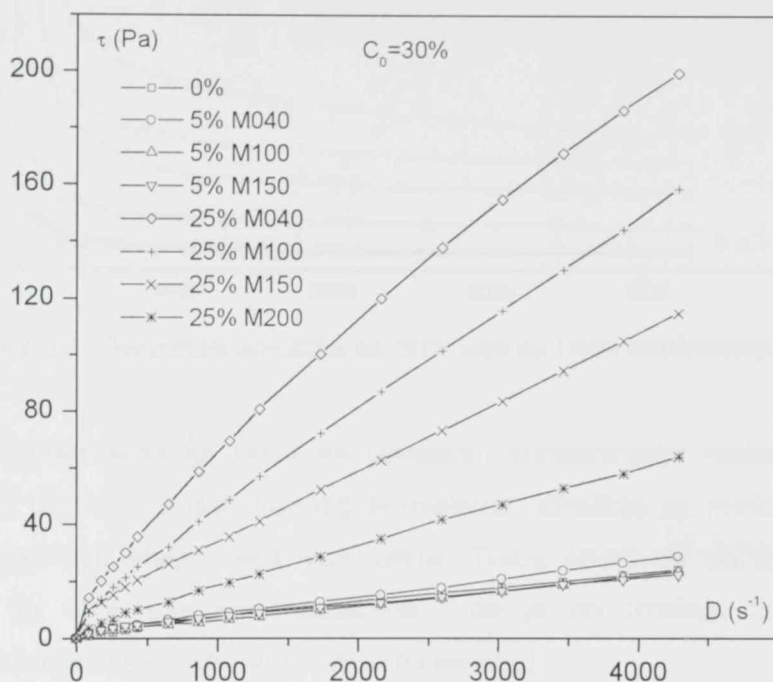
Slika 18. Relaksacione krive napon-vreme za emulzije sa maltodekstrinom M100

Na slici 18 emulzija pripremljena sa 70% ulja bez maltodekstrina ponaša se kao viskoelastična tečnost i po prestanku dejstva sile napon iščezava do nule tj. ne postoji ravnotežni napon. Dodatkom maltodekstrina, kao što je već rečeno, formira se kompleksna unutrašnja struktura emulzije i relaksaciona kriva za emulziju sa 25% maltodekstrina ima karakterističan izgled za viskoelastična čvrsta tela sa postojanjem ravnotežnog napona. Sa povećanjem koncentracije maltodekstrina sa 25 na 26,2%, emulzija pokazuje ponašanje idealnog elastičnog tela i ne pokazuje osobine relaksacije. Po prestanku dejstva sile na sistem, ne dolazi do promene u unutrašnjem naponu u emulziji. Treba istaći da je do ove promene dovelo veoma malo povećanje koncentracije maltodekstrina od samo 1,2% što znači da je njegova uloga u formiranju unutrašnje trodimenzionalne strukture emulzije od izuzetnog značaja. Ovo je bitno pre svega sa praktičnog aspekta formulisanja realnih emulzionih sistema sa maltodekstrinima gde bi i male promene u koncentraciji maltodekstrina mogle da dovedu do formiranja



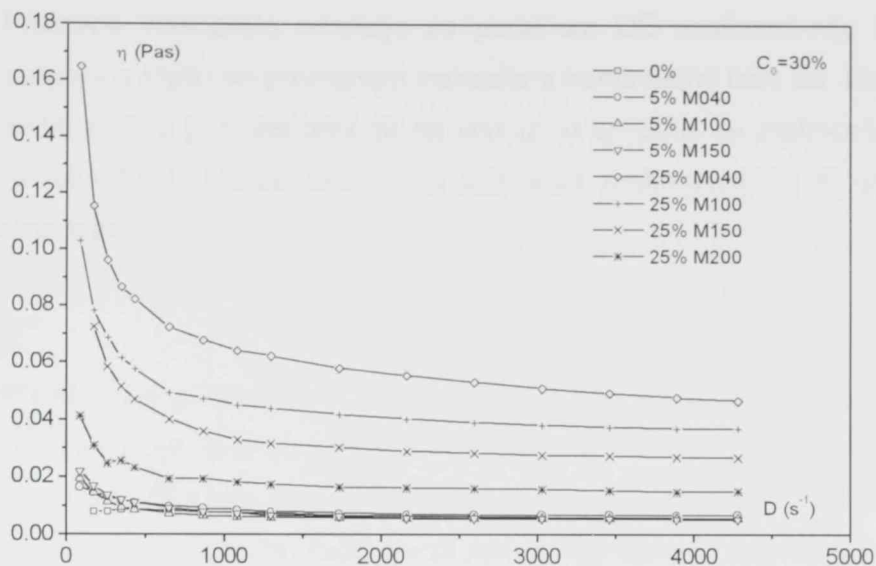
proizvoda potpuno različitih reoloških karakteristika i dovedu do ozbiljnih poteškoća sa aspekta proizvodnje i manipulacije u tehnološkom procesu.

Takođe pripremljene su emulzije sa 30% ulja i sa maltodekstrinima različitog dekstroznog ekvivalenta. Krive proticanja date su na slici 19.



Slika 19. Krive proticanja emulzija sa 30% ulja, sa i bez maltodekstrinima

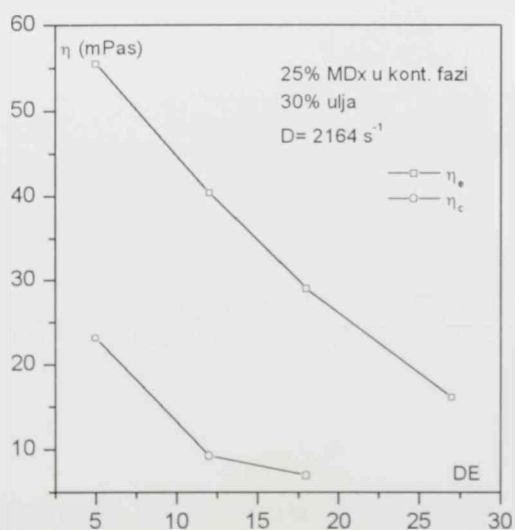
Sve emulzije koncentracije ulja 30% bez obzira na koncentraciju i vrstu maltodekstrina u kontinualnoj fazi pokazivale su pseudoplastičan tip proticanja. Vrednosti napona smicanja za emulzije sa 5% maltodekstrina viših DE vrednosti (M100 i M150) praktično se ne razlikuju od vrednosti za emulziju bez maltodekstrina. Povećanje vrednosti napona smicanja javlja se kod emulzija sa 25% maltodekstrina, zbog povećanja viskoziteta kontinualne faze i smanjenja prečnika kapljica ulja u emulziji. Promene viskoziteta ovih emulzija sa povećanjem brzine smicanja date su na slici 20.



Slika 20. Viskoziteti emulzija sa 30% ulja sa i bez maltodekstrina

Viskoziteti emulzija rastu sa porastom koncentracije maltodekstrina u emulziji i sa promenom dekstroznog ekvivalenta. Emulzije sa maltodekstrinima niže DE vrednosti imaju veće viskozitete. Treba istaći da su sve emulzije spravljene sa 30% ulja bile nestabilne i da je do izražaja došao efekat isplivavanja krupnih kapljica na površinu (creaming).

Promene viskoziteta emulzije sa 25% maltodekstrina u kontinualnoj fazi sa promenom DE vrednosti za brzinu smicanja od  $2164 s^{-1}$  date su na slici 21.



Slika 21. Opadanje viskoziteta emulzije sa porastom dekstroznog ekvivalenta maltodekstrina

Promena viskoziteta emulzija sa porastom DE vrednosti nije linearna nego se menja u skladu sa promenom viskoziteta kontinualne faze za iste uzorke maltodekstrina. Ovo je pokazatelj da na viskozitet emulzija sa maltodekstrinima osim prečnika kapi, ključni uticaj ima prisustvo maltodekstrina tj. viskozitet kontinualne faze.

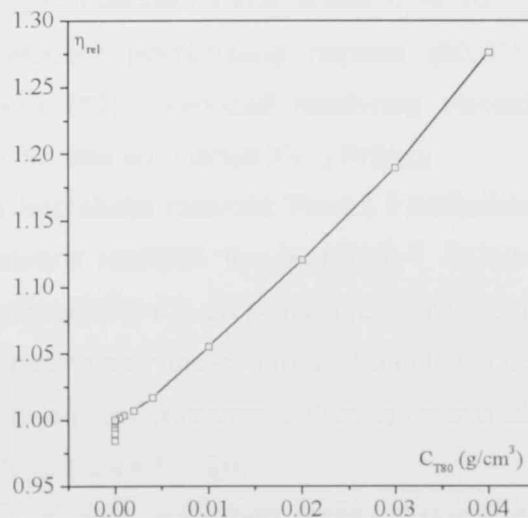
### Istraživanje interakcija molekula maltodekstrina i molekula emulgatora

Iz predhodnih razmatranja rezultata reoloških karakteristika emulzija zaključeno je da u emulzijama koje su spravljene sa maltodekstrinom dolaze do izražaja različiti efekti i interakcije koje dovode do formiranja unutrašnje strukture emulzije.

Pored toga primećeno je da se u zavisnosti od vrste maltodekstrina i njihove koncentracije, javljaju različiti efekti nestabilnosti emulzija bilo kao efekat koalescencije kod emulzija sa većim sadržajem ulja (70%), ili kao isplivavanje na površinu faze bogate krupnim kapima ulja (creaming) kod emulzija sa 30% ulja.

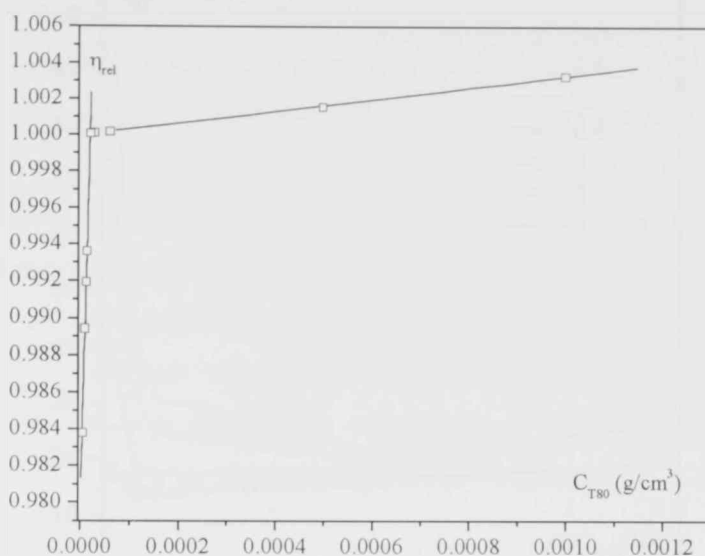
S obzirom da bi maltodekstrini trebali da unesu efekat stabilnosti u emulzije jer povećavaju viskozitet kontinualne faze pretpostavka je da dolazi do interakcija između molekula maltodekstrina i Tween molekula u adsorbcijskom sloju emulgatora na površini kapi, čime se ovaj sloj slabi i kapi lakše koalesciraju.

Određen je viskozitet rastvora Tween 80 u širokom opsegu koncentracija i na slici 22 data je promena relativnog viskoziteta



Slika 22. Relativni viskozitet rastvora Tween 80

Prelomna tačka koja se javlja na slici nastaje u kritičnoj micelarnoj koncentraciji kada sa razblaženjem rastvora Tween, nestaju micidele iz rastvora. Uvećanje ovog područja dato je na slici 23.

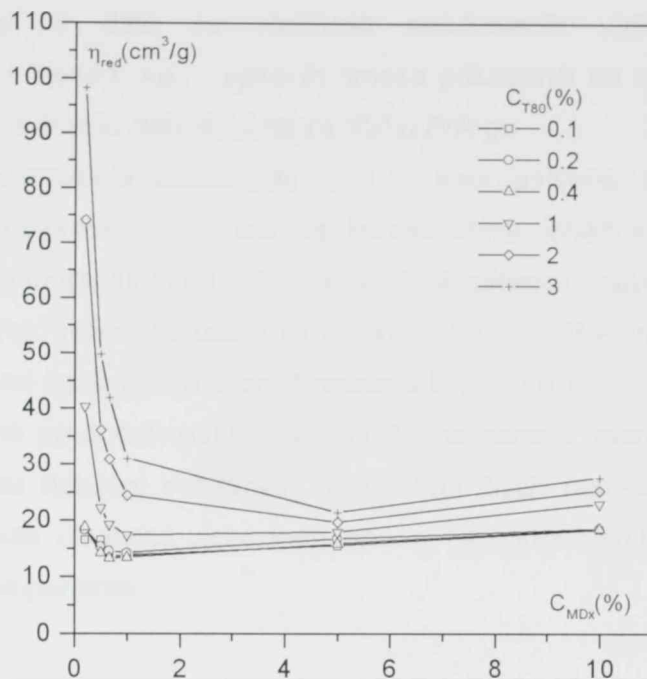


**Slika 23.** Relativni viskozitet rastvora Tween 80 u oblasti kritične micelarne koncentracije

Sa slike 23 očitana vrednost kritične micelarne koncentracije iznosi  $C_{KMK}=0,2 \cdot 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup>, što je u skladu sa poznatim literaturnim podacima određenim nekim drugim metodama koji iznose  $0,14 \cdot 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup>, odnosno  $0,25-0,27 \cdot 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup> metodom površinskog napona (60,61) i  $0,144 \cdot 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup> merenjem florescencije (62). Vrednosti relativnog viskoziteta za čitav opseg koncentracija Tween 80 date su u tabeli XV u Prilogu

Za ispitivanje interakcija rastvora Tween i maltodekstrina napravljene su smeše ova dva rastvora različitih koncentracija i određen im je redukovani viskozitet. Treba napomenuti da je pri pravljenju smeša, ova dva rastvora koji su bisti i bezbojni, neposredno po njihovom mešanju dolazilo do pojave zamućenosti koja je bila prisutna tokom celog merenja. Ova je pojava bila primetna i prilikom pripreme kontinualnih faza za emulzije.

Vrednosti redukovanih viskoziteta smeša rastvora maltodekstrina M040 i Tween 80 date su na slici 24. Promena redukovanog viskoziteta smeše sa porastom koncentracije maltodekstrina je krivolinijska i za niske koncentracije maltodekstrina primetno je odstupanje od očekivane zavisnosti.



Slika 24. Redukovani viskozitet smeše rastvora maltodekstrina i Tween 80

Za visoke koncentracije rastvora maltodekstrina i Tween 80, viskoziteti rastvora rastu sa porastom koncentracija, što je i očekivana zavisnost. Međutim, sa opadanjem koncentracije maltodekstrina, viskozitet prvo opada, da bi zatim u opsegu niskih koncentracija maltodekstrina od 1-0,2 imao nagli skok. Ovo je verovatno posledica interakcija koje se javljaju između molekula Tween 80, pre svega njegovih polioksietilenskih lanaca i molekula maltodekstrina. Naime molekuli koji ulaze u sastav maltodekstrina, po svojoj strukturi saharidi različite dužine, mogu da se preko vodonika i hidroksilnih grupa glukozidnih ostataka vodoničnim mostovima vezuju za Tween molekule kako je dato na šemi 2 u poglavlju Zadatak rada sa teorijskim postavkama i dovedu do porasta viskoziteta smeše. I za visoke koncentracije maltodekstrina ovaj efekat je verovatno prisutan, ali nije toliko izražen nego zbog visoke koncentracije viskozitet samog rastvora maltodekstrina preovlađuje. Verovatno su ove interakcije, u emulzijama sa 30% ulja i smanjenim sadržajem maltodekstrina (5%), dovele do pojave izrazite nestabilnosti ovih emulzija. Takođe sa slike 24 se vidi da je ovaj efekat daleko izraženiji za smeše koje su imale veću koncentraciju rastvora Tween 80.

U tabeli 9 date su vrednosti redukovanih viskoziteta rastvora maltodekstrina i Tween, kao i njihovih smeša prikazanih na slici 24. Vremena isticanja i gustine smeša data su u tabeli XVI u Prilogu.

Za izračunavanje viskoziteta, iako su kao rastvarač korišćeni rastvori Tween 80, s obzirom da se oni za koncentracije iznad kritične micelarne koncentracije ne mogu smatrati pravim niskomolekularnim rastvorima, kao vreme isticanja i gustina rastvarača uzete su vrednosti za bidestilovanu vodu sa kojom su pripremljeni svi ispitivani rastvori. Vrednosti koje su u zasenčenim poljima su stvarno dobijene vrednosti viskoziteta smeša na osnovu merenja, a podaci u poljima ispod su dobijeni sabiranjem viskoziteta čistih rastvora i predstavljaju teorijske računске vrednosti viskoziteta smeše, na osnovu aditivnost viskoziteta obe prisutne komponente.

**Tabela 9.** Redukovani viskoziteti smeše maltodekstrina i Tween 80

		Tween 80					
$C(g/cm^3) \rightarrow$		0,1	0,2	0,4	1	2	3
$\downarrow \eta_{red}$		3,27	3,31	4,15	5,50	5,99	6,31
M040	10	18,40	18,49	18,53	22,98	25,31	27,64
	17,68	20,95	20,99	21,83	23,18	23,67	23,99
	5	15,40	16,72	15,81	17,94	19,62	21,47
	13,37	16,64	16,68	17,52	18,87	19,36	19,68
	1	13,78	14,19	13,30	17,31	24,38	30,99
	9,93	13,20	13,24	14,08	15,43	15,92	16,24
	0,667	13,58	14,52	13,21	19,21	30,81	41,89
	9,49	12,76	12,80	13,64	14,99	15,48	15,80
	0,5	16,48	15,27	14,14	22,20	36,09	49,83
	9,25	12,52	12,56	13,40	14,75	15,24	15,56
	0,2	16,54	16,98	18,68	40,26	74,08	98,27
	9,03	12,30	12,34	13,18	14,53	15,02	15,34

Na osnovu dobijenih podataka može se pretpostaviti da se ovakvi mehanizmi vezivanja dešavaju i prilikom pripreme emulzija pogotovo ako se zna da je kontinualna faza pripremana mešanjem rastvora maltodekstrina i Tween.

Pretpostavljeni mehanizam vezivanja i ugradnja u adsorbicioni sloj kapi prilikom procesa emulgovanja dati su na šemi 2 u poglavlju Zadatak rada sa teorijskim pretpostavkama. Tokom emulgovanja molekuli Tween 80 koji se vezuju na površini kapi imaju za sebe vezane molekule maltodekstrina, te je verovatno onemogućeno njihovo gusto pakovanje na graničnoj površini kapi i formiranje kompaktnog adsorbicionog sloja. Kapi ovakvih emulzija podložne su koalescenciji pa se zbog toga dobijaju emulzije većih prečnika kapi uz porast gustine adsorbicionog sloja, pogotovo za niže koncentracije maltodekstrina (5%) i za emulzije sa maltodekstrinima višeg dekstrinznog ekvivalenta čiji su lanci kraći i pokretljiviji i lakše se vezuju.



## ZAKLJUČAK

1. Redukovani viskozitet razblaženih rastvora maltodekstrina linearno opada sa smanjenjem koncentracije i ekstrapolacijom ove vrednosti viskoziteta dobijene vrednosti unutrašnjeg viskoziteta  $[\eta]$  opadaju sa porastom dekstroznog ekvivalenta bez obzira na botaničku vrstu skroba od kojeg je maltodekstrin dobijen ili primenjenog procesa/uslova hidrolitičke razgradnje.
2. Rastvori maltodekstrina ponašaju se kao polimeri i pokoravaju se Štaudingerovoj zavisnosti unutrašnjeg viskoziteta od molekulske mase. U zavisnosti od dekstroznog ekvivalenta utvrđene su dve oblasti: niskih DE vrednosti ( $DE < 10$ ) kada su maltodekstrini u rastvoru sklopčani i visokih DE vrednosti ( $DE > 10$ ) kada su opruženi.
3. Izvedena je opšta jednačina za određivanje dekstroznog ekvivalenta viskozimetrijskim putem

$$DE = \frac{1000 \cdot K^{1/a}}{0,055[\eta]^{1/a} - K^{1/a}}$$

Uvrštavanjem eksperimentalnih reoloških podataka u jednačinu, izračunate DE vrednosti dobro se slažu sa onima određenim standarnom titrimetrijskom metodom.

4. Srednji prečnik kapi emulzije sa 25% maltodekstrina u kontinualnoj fazi niži je u odnosu na emulzije bez maltodekstrina za sve koncentracije ulja i opadao je sa vremenom emulgovanja i povećanjem koncentracije ulja.

Efekat preemulgovanja uočen je kod svih emulzija i sa povećanjem koncentracije ulja javljao se kasnije.

5. Emulzije sa niskim sadržajem ulja (30%) i 25% maltodekstrina u kontinualnoj fazi, iako manjeg srednjeg prečnika kapi nego emulzije bez maltodekstrina, imale su široku raspodelu veličina kapi, bile su nestabilne i ispoljavao se efekat isplivavanja na površinu.

Emulzije sa niskim sadržajem ulja i 5% maltodekstrina u kontinualnoj fazi imale su srednje prečnike kapi veće od emulzija bez maltodekstrina i bile izrazito nestabilne.

6. Na disperzione osobine emulzija, osim koncentracije, utiče i dekstrozni ekvivalent maltodekstrina i što je on veći, veći su i bili srednji prečnici kapi u emulzijama.
7. Sa povećanjem koncentracije maltodekstrina i koncentracije ulja, i smanjenjem DE vrednosti maltodekstrina emulzije menjaju tip proticanja od pseudoplastičnog preko tiksotropnog do antitiksotropnog.
8. Antitiksotropno proticanje nastaje kao posledica formiranja unutrašnje strukture emulzije, paralelnim usmeravanjem molekula maltodekstrina unutar kontinualne faze u gradijentu brzine smicanja. Molekuli maltodekstrina povezuju se međusobnim i sa molekulima emulgatora vodoničnim vezama i grade trodimenzionalnu prostornu rešetku. Strukturacija se odvija i u vremenu, pa se stajanjem emulzijama povećava viskozitet.
9. Kao posledica formiranja unutrašnje strukture, emulzije su bile viskoelastične i ovaj efekat je bio izraženiji za više koncentracije maltodekstrina i ulja. Veoma mala promena u koncentraciji maltodekstrina (povećanje od 1,2%) dovela je do promene emulzije iz viskoelastične u idealno elastične.
10. Maltodekstrin i emulgator Tween 80 (polioksietilen sorbitan monooleat) kada se nalaze u smeši, stupaju u interakcije i vezuju se vodoničnim mostovima, direktno ili preko molekula vode. Ovako povezani, doprinose da u procesu emulgovanja formirani adsorbicioni sloj emulgatora oko kapljice ulja, nije dovoljno gusto pakovan pa su kapi podložnije koalescenciji i formiraju se emulzije manje stabilnosti. Ovaj efekat je izraženiji za više koncentracije emulgatora i niže koncentracije maltodekstrina.
11. Maltodekstrini zbog svoje specifične polimerne strukture, u zavisnosti od primenjene koncentracije i dekstorznog ekvivalenta, povećavaju viskozitet kontinulane faze i doprinose da se formiraju sitnije kapi za kraće vreme i tako smanjuju vreme potrebno za proces emugovanja.
12. Formirane emulzije mogu biti potpuno različitih reoloških osobina i stabilnosti, pa je potrebno odrediti optimalnu koncentraciju maltodekstrina i dekstrozni ekvivalent da bi dobijene prehrambene emulzije bile zadovoljavajućeg kvaliteta. Za formulisanje stabilnih niskoenergetskih emulzija potrebno je koristiti maltodekstrine niske DE vrednosti u kombinaciji sa drugim hidrokoloidima.

## LITERATURA

1. Chronakis I. S.: On the molecular characteristics, compositional properties and structural- functional mechanisms of maltodextrins: A Review, *Crit. Rev. Food. Sci.* **38** (1998) 599-673
2. Kennedy J. F., Noy R. J., Stead J. A. and White C. A.: Oligosaccharide component composition and storage properties of commercial low DE maltodextrins and their further modification by enzymatic treatment, *Starch/Starke* **37** (1985) 343-351
3. Jakovljević J., Nikolov Ž. and Boškov Ž.: Some analytical aspects of enzyme degradation of starch and inulin into malto- and fructooligosaccharides, *Die Nahrung*, **30** (1986) 171-176
4. Anon.: Using MALTRIN® maltodextrins to reduce or replace the fat in food formulations, Technical bulletin No. M-TB10-022390. Grain Processing Corporation, Iowa, USA, 1990
5. Radeloff M.: Starches-The natural solution, *Speciality Chemicals* **18** (1998) 103-109
6. Dokić Lj.: Prilog ispitivanju nekih fizikohemijskih osobina maltodekstrina kukuruznog skroba, diplomski rad, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1992
7. Jakovljević J., Dokić P. and Dokić-Baucal Lj.: An investigation on viscous characteristics of maltodextrin solutions, *Proceedings of 7<sup>th</sup> Conference on Colloid Chemistry*, Eger, Eds. Horvölgyi Z., Németh Zs., Pásyli I., Hungarian Chemical Society, Budapest 1997, 94-97
8. Wang Y-J. and Wang L.: Structures and properties of commercial maltodextrins from corn, potato and rice starches, *Starch/Starke* **52** (2000) 296-304
9. Murray D. and Luff L.: Low-D.E. corn starch hydrolysates *Food Technology* **27** (1973) 32-40
10. Dokić P., Jakovljević J. and Dokić-Baucal Lj.: Molecular characteristics of maltodextrins solutions and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions, *Colloids and Surfaces A*: **141** (1998) 435-440
11. ROQUETTE, Glucidex® maltodextrins amd dried glucose syrups, food and dietetic food, Technical bulletin

12. ROQUETTE, Products and services for the food and drink industry, Technical bulletin
13. Alexander R. J.: Fat replacers based on starch, *Cereal Foods World*, **40** (1995) 366-368
14. CERESTAR, Spray-dried maltodextrins and glucose syrups, website: [www.cerestar.com](http://www.cerestar.com)
15. Summerkamp B. and Hesser M.: Fat substitute update, *Food Technology*, **44** (1990) 92-97
16. Chun J., Lim S., Takeda Y. and Shoki M.: Properties of high-crystalline rice amyloextrins prepared in acid-alcohol media as fat replacers, *Cereal Foods World* **42** (1997) 813-819
17. McPherson A.E. and Seib P.A.: Preparation and properties of wheat and corn starch maltodextrins with a low dextrose equivalent, *Cereal Chem.* **74** (1997) 424-430
18. Marchal L.: Towards a rational design of commercial maltodextrins: a mechanistic approach, Ph.D., Wageningen University, Holland, WU dissertation summary no. 2676, website: [www.agralin.nl/wau](http://www.agralin.nl/wau)
19. Walstra P.: Formation of emulsions, In: *Encyclopaedia of emulsion technology*, Vol I, Ed.: Becher P., Dekker, New York, (1983) 57-127
20. Walstra P. and Smulders P.: Formation of emulsions, *Proceedings of 2<sup>nd</sup> World Congress on Emulsions*, Vol IV, Bordeaux, France, (1997) 67-74
21. Đaković Lj., Dokić P. and Radivojević P.: Investigation on the particle size distribution of O/W emulsion, *Kolloid-Z. u. Z. Polymere* **244** (1971) 324-332
22. Prudhomme R. K. and Khan S. A.: Emulsions as models of foams, In: *Foams*, Marcel Dekker, New York, 1996, 232-242
23. Dokić P., Đaković Lj., Radivojević P., Sovilj V. and Šefer I.: Dynamics of emulsion formation, *J. Disper Sci. Technol.* **20** (1999) 215-234
24. Princen H. M. and Kiss A. D.: Rheology of foams and highly concentrated emulsions, *J. Colloid Interf. Sci.* **128** (1989) 176-187
25. Dokić P., Dimić E. i Dokić-Baucal Lj.: Reološke i disperzione osobine emulzija majoneza različite stabilnosti, U: *Proizvodnja i prerada uljarica*, Zbornik radova sa 39. savetovanja industrije ulja, Budva, Jugoslavija, (1998) 259-263
26. Steffe J.F.: Chapter 4. Viscoelasticity in: *Rheological methods in food process engineering*, Freeman Press, USA, 1992

27. Chenxu Y. and Gunasekaran S.: Correlation of dynamic and steady flow viscosities of food materials, *Applied Rheology*, **11** (2001) 134-140
28. Tadros Th. F.: Fundamental principles of emulsion rheology and their applications, *Colloids and Surfaces A*: **91** (1994) 39-55
29. Dokić P., Đaković Lj. and Sovilj V.: The adsorption of an anionic surfactant at the oil water interface during emulsion homogenization, *J. Disper. Sci. Technol.* **3** (1982) 379-394
30. Lucassen-Reynders E.H.: Interfacial viscoelasticity in emulsions and foams, *Food Structure*, **12** (1993) 1-12
31. Hartland S. and Jelanni S. A. K.: Effect of interfacial tension gradients on emulsion stability, *Colloids and Surfaces A*: **88** (1994) 289-302
32. Friberg S. E.: A few common sense observations on emulsion stability, *Proceedings of 2<sup>nd</sup> World Congress on Emulsions, Vol IV, Bordeaux, France, 1997*, 43-64
33. Dokić P., Sovilj V., Šefer I. and An investigation on the adsorption behaviour of the emulsifier in the emulsification process, *Proceedings of 7<sup>th</sup> Conference on Colloid Chemistry, Eger, Eds. Horvölgyi Z., Németh Zs., Pásyli I., Hungarian Chemical Society, Budapest 1997*, 233-236
34. Pilpel N. and Rabbani M.E.: Interfacial films in the stabilisation of sunflower oil in water emulsions with nonionics *J. Colloid Interf. Sci.*, **122** (1988) 266-273
35. Pilpel N. and Rabbani M.E.: Formation of liquid crystals in sunflower oil in water emulsions, *J. Colloid Interf. Sci.*, **119** (1987) 550-558
36. Dokić P., Sovilj V., Petrović L. and Dokić-Baucal Lj.: Influence of viscosity changes during emulsification process on dispersion and rheological properties of O/W emulsions, *Proceedings of 2<sup>nd</sup> World Congress on Emulsions, Vol I, Bordeaux, France, 1997*, paper No: 1-2-188
37. Hidaka H., Nono S., Takamura A. and Koishi M.: A consideration on the energy efficiency of agitation in emulsification, *Bulletin of Chemical Society of Japan*, **49** (1976) 2981-2985
38. Đaković Lj., Dokić P. and Šefer I.: Mathematical and experimental essentials of the emulsification process: optimal parameters determination, *J. Disper. Sci. Technol.* **10** (1989) 59-76

39. Pandolfe W. D.: Effect of premix condition, surfactant concentration and oil level on the formation of oil-in-water emulsions by homogenisation, *J. Disper. Sci. Technol.*, **16** (1995) 633-650
40. Inglet G. E. and Grisamore S. B.: Maltodextrin fat substitute lowers cholesterol, *Food Technology*, **45** (1991) 104
41. Sanchez C., Klopfenstein C. F. and Walker C. E.: Use of carbohydrate-based fat substitutes and emulsifying agents in reduced-fat shortbread cookies, *Cereal Chem.* **72** (1995) 25-29
42. Akoh C.C.: Fat replacers, *Food Technology*, **52** (1998) 47-53
43. Koch M.: Austausch von Fetten durch Kohlenhydrate in Kalorien-reduzierten Lebensmitteln, *ZFL* **41** (1990) 326-330
44. Bath D. E., Shelke K. and Hosney R. C.: Fat replacers in high-ratio layer cakes, *Cereal Foods World*, **37** (1992) 495-500
45. Peressini D., Sensidoni A. and de Cindio B.: Rheological characterisation of traditional and light mayonnaises, *J. Food Eng.*, **35** (1998) 409-417
46. McClements J. and Demetriades K.: An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions, *Crit. Rev. Food Sci.* **36** (1998) 511-536
47. Nonaka H. H.: Plant carbohydrate-derived products as fat replacers and calorie reducers, *Cereal Foods World* **42** (1997) 377-378
48. Wendin K. et al.: Low fat mayonnaise: influences of fat content, aroma compounds and thickeners, *Food Hydrocolloid* **11** (1997) 87-99
49. Clegg S.M., Moore A.K. and Jones S.A.: Low-fat margarine spreads as affected by aqueous phase hydrocolloids, *J. Food Sci.*, **61** (1996) 1073-1079
50. Kasapis S., Morris E.R., Norton I.T. and Clark A.H.: Phase equilibria and gelation in gelatin/maltodextrin system-Part I: Gelation of individual components, *Carbohydr. Polym.* **21** (1993) 243-248
51. Kasapis S., Morris E.R., Norton I.T. and Clark A.H.: Phase equilibria and gelation in gelatin/maltodextrin system-Part II: Polymer incompatibility in solutions, *Carbohydr. Polym.* **21** (1993) 249-259
52. Kasapis S., Morris E.R., Norton I.T. and Clark A.H.: Phase equilibria and gelation in gelatin/maltodextrin system-Part III: Phase separation in mixed gels, *Carbohydr. Polym.* **21** (1993) 261-268

53. Kasapis S., Morris E.R., Norton I.T. and Clark A.H.: Phase equilibria and gelation in gelatin/maltodextrin system-Part IV: Composition-dependence of mixed-gel moduli, *Carbohydr. Polym.* **21** (1993) 269-276
54. Harris D. W. and Day G.A.: Structure versus functional relationships of a new starch-based fat replacer, *Starch/Starke* **45** (1993) 221-226
55. Pons M., Galotto M. J. and Subirats S.: Composition of the steady rheological characterisation of normal and light mayonnaises, *Food Hydrocolloid*, **8** (1994) 389-400
56. Corn Syrup Analysis-Specific Rotation, E-58, Standard analytical methods of the member companies of Corn Refiners Association, INC., Corn Refiners Association, 6<sup>th</sup> edition, Washington D.C., USA
57. Determination of reducing sugars calculated as dextrose in starch hydrolysates (Luff-Schoorl method), Report on 6<sup>th</sup> kroyer glucose conference, Dublin, Ireland, 1964, 320-324
58. Dokić-Baucal Lj., Jakovljević J., Dokić P. and Lukić B.: Study of influence of maltodextrins on some physical properties of O/W emulsions, *Proceedings*, Vol 1., 5<sup>th</sup> World surfactant congress, Florence, Italy, 2000, 571-578
59. Banks W. and Greenwood C.T.: Conformation of amylase in dilute solutions, in: *Starch and its components*, Edinburgh University Press, Edinburgh, UK, 1975, p.146
60. Wan L.S.C.: The limiting solubilizing capacity of some non-ionic surfactants, *J. Colloid Interf. Sci.* **78** (1980) 401-406
61. Carless J.E. and Hollworth G. W.: The viscosity of emulsifying agents at oil-water interfaces, *J. Colloid Interf. Sci.* **26** (1968) 75-88
62. Haque E., Das A.R. and Moulik S.P.: Mixed micelles of sodium deoxycholate and polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween 80), *J. Colloid Interf. Sci.* **217** (1999) 1-7

## PRILOG

Vreme isticanja vode  $t_0 = 244,9s$  ;  $245s$  za M200

Gustina vode  $d_0 = 0,9978g/cm^3$  ;  $0,9962 g/cm^3$  za M200

**Tabela I.** Vreme isticanja, gustine i redukovani viskoziteti rastvora maltodekstrina

Maltodekstrin	c (g/100cm <sup>3</sup> )	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )	$\eta_{red}$ (cm <sup>3</sup> /g)
Maltrin M040	1,00	267,9	1,0016	9,93
	0,67	259,8	1,0004	9,49
	0,50	255,8	0,9995	9,25
	0,40	253,4	0,9992	9,03
	0,25	250,2	0,9985	8,94
	0,20	249,0	0,9983	8,62
Maltrin M100	1,00	262,4	1,0016	7,55
	0,67	254,0	1,0004	6,17
	0,50	250,7	0,9997	5,93
	0,40	250,2	0,9994	5,82
	0,25	248,1	0,9987	5,67
	0,20	247,5	0,9985	5,70
Maltrin M150	1,00	255,0	1,0016	4,52
	0,67	251,6	1,0003	4,45
	0,50	249,6	0,9995	4,37
	0,40	248,5	0,9991	4,00
	0,25	247,0	0,9986	3,80
	0,20	246,6	0,9984	3,77
Maltrin M200	1,00	252,2	1,0016	3,49
	0,75	250,17	1,0011	3,48
	0,60	248,56	1,0006	3,17
	0,428	247,39	1,0000	3,16
	0,375	246,75	0,9994	2,77
	0,333	246,44	0,9994	2,74
Cerestar C*dry 1955	1,00	263,3	1,0016	7,92
	0,67	258,3	1,0003	7,86
	0,50	254,6	0,9996	7,88
	0,40	252,0	0,9993	7,63
	0,25	249,3	0,9987	7,55
	0,20	248,7	0,9985	7,50
Cerestar C*dry 1958	1,00	264,5	1,0015	8,40
	0,67	258,0	1,0001	8,34
	0,50	254,4	0,9995	8,17
	0,40	252,4	0,9992	8,11
	0,25	249,6	0,9985	7,96
	0,20	248,7	0,9983	8,00
Cerestar C*delight 1970	1,00	278,2	1,0016	14,03
	0,67	265,9	1,0002	13,12
	0,50	259,3	0,9995	12,12
	0,40	255,5	0,9994	11,24
	0,25	251,3	0,9986	10,78
	0,20	249,9	0,9984	10,51



Tabela I. nastavak

Maltodekstrin	c (g/100cm <sup>3</sup> )	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )	$\eta_{red}$ (cm <sup>3</sup> /g)
Glucidex G1	1,00	280,2	1,0016	14,85
	0,67	268,1	1,0003	14,54
	0,50	261,4	0,9995	13,84
	0,40	258,0	0,9993	13,77
	0,25	252,7	0,9985	13,03
	0,20	251,1	0,9984	12,97
Glucidex G2	1,00	280,2	1,0016	14,85
	0,67	268,1	1,0003	14,54
	0,50	261,4	0,9995	13,84
	0,40	258,0	0,9993	13,77
	0,25	252,7	0,9985	13,03
	0,20	251,1	0,9984	12,97

Tabela II. Viskoziteti kontinualnih faza

Kont. faza (MDx+3%T80)	5% M040	5% M100	5% M150	25% M040	25% M100	25% M150
$\eta_c$ (mPas)	2,07	1,59	1,45	23,1	9,23	6,93
$\eta_d / \eta_c$	24,49	31,89	34,96	2,19	5,49	7,32

Viskozitet disprezne faze (suncokretovo ulje) na 20°C

$$\eta_d = 50,7 \text{ mPas}$$

Tabela III. Prečnik kapi, specifična površina i varijansa  
emulzije bez maltodekstrina

	t (min)	d ( $\mu\text{m}$ )	S ( $\text{m}^2/\text{cm}^3$ )	$\sigma^2$
10%	5	7.47	0.80	42.90
	10	7.14	0.84	40.45
	15	7.90	0.75	49.98
	20	7.49	0.80	44.09
	25	7.44	0.86	44.22
	30	7.64	0.78	46.79
20%	5	9.98	0.60	62.88
	10	10.37	0.58	67.73
	15	10.36	0.58	67.24
	20	9.68	0.62	62.25
	25	10.63	0.56	69.22
	30	9.90	0.61	64.96
30%	5	10.6	0.57	65.27
	10	10.18	0.59	63.17
	15	10.29	0.58	62.72
	20	11.43	0.53	69.23
	25	11.55	0.52	69.07
	30	11.38	0.53	67.30
40%	5	11.10	0.54	55.50
	10	11.11	0.54	56.25
	15	10.86	0.55	56.10
	20	12.48	0.48	62.57
	25	12.10	0.50	61.47
	30	12.65	0.47	65.45
50%	5	11.99	0.50	44.76
	10	10.88	0.55	40.32
	15	10.88	0.55	39.94
	20	11.08	0.54	40.32
	25	11.15	0.54	42.90
	30	11.08	0.54	42.90
60%	5	8.58	0.70	21.16
	10	7.77	0.77	16.97
	15	7.54	0.80	16.89
	20	7.86	0.76	19.01
	25	8.08	0.74	19.01
	30	8.14	0.74	19.54
70%	5	9.43	0.64	18.92
	10	6.49	0.93	8.82
	15	5.71	1.10	6.50
	20	5.36	1.12	5.86
	25	5.10	1.18	4.97
	30			

**Tabela IV.** Prečnik kapi, specifična površina i varijansa  
emulzija sa 25% M100 u kontinualnoj fazi

	t (min)	d ( $\mu\text{m}$ )	S ( $\text{m}^2/\text{cm}^3$ )	$\sigma^2$
30%	5	3.20	1.88	3.03
	10	3.05	1.97	2.62
	15	3.01	1.2	2.66
	20	3.09	1.94	2.89
	25	3.12	1.93	2.79
	30	3.12	1.93	2.79
40%	5	2.94	2.04	1.85
	10	2.69	2.23	1.46
	15	2.70	2.22	1.82
	20	2.71	2.22	1.51
	25	2.73	2.20	1.56
	30	2.76	2.18	1.59
50%	5	2.48	2.42	0.92
	10	2.37	2.53	0.77
	15	2.41	2.49	0.88
	20	2.46	2.44	1.08
	25	2.51	2.39	1.06
	30	2.53	2.37	1.06
60%	5	2.16	2.78	0.52
	10	2.07	2.90	0.53
	15	2.10	2.86	0.61
	20	2.10	2.86	0.56
	25	2.18	2.76	0.67
	30	2.17	2.77	0.69
70%	5	1.94	3.10	0.72
	10	1.75	3.42	0.61
	15	1.80	3.33	0.71
	20	1.62	3.71	0.62
	25	1.73	3.46	0.66
	30	1.75	3.43	0.72

Tabela V. Prečnik kapi, specifična površina i varijansa  
emulzija sa 25% M040 u kontinualnoj fazi

	t (min)	d ( $\mu\text{m}$ )	S ( $\text{m}^2/\text{cm}^3$ )	$\sigma^2$
30%	5	2.83	2.12	1.12
	10	2.60	2.31	0.97
	15	2.42	2.48	0.88
	20	2.40	2.50	0.86
	25	2.36	2.55	0.84
	30	2.43	2.47	0.89
40%	5	2.18	2.75	0.83
	10	2.24	2.68	0.84
	15	2.26	2.65	0.89
	20	2.30	2.61	0.88
	25	2.31	2.59	0.89
	30	2.31	2.59	0.89
50%	5	1.85	3.24	0.74
	10	1.92	3.12	0.76
	15	1.95	3.08	0.76
	20	1.97	3.05	0.77
	25	2.02	2.97	0.79
	30	2.02	2.97	0.79
60%	5	1.98	3.03	0.91
	10	1.85	3.25	0.92
	15	1.88	3.20	0.87
	20	1.88	3.20	0.89
	25	1.72	3.49	0.85
	30	1.63	3.68	0.94
70%	5	1.50	4.14	0.78
	10	1.49	4.03	0.78
	15	1.51	3.98	0.79
	20	1.48	4.06	0.79
	25	1.43	4.20	0.78
	30	1.44	4.14	0.77

**Tabela VI.** Prečnik kapi, specifična površina i varijansa emulzija sa  
10g i 20g maltodekstrina M040 i M 100 u kontinualnoj fazi

	<b>t</b> (min)	<b>d</b> ( $\mu\text{m}$ )	<b>S</b> ( $\text{m}^2/\text{cm}^3$ )	$\sigma^2$
<b>M040 10g 60g ulja</b>	5	1.92	3.12	0.87
	10	1.63	3.69	0.85
	15	1.76	3.41	0.87
	20	1.55	3.86	0.83
	25	1.64	3.66	0.88
	30	1.40	4.28	0.80
<b>M100 10g- 60g ulja</b>	5	2.03	2.95	0.77
	10	2.03	2.95	0.77
	15	2.06	2.91	0.79
	20	2.14	2.80	0.82
	25	2.07	2.90	0.81
	30	2.06	2.92	0.77
<b>M100 20g- 50g ulja</b>	5	1.79	3.35	0.87
	10	1.54	3.90	0.82
	15	1.57	3.82	0.83
	20	1.53	3.83	0.84
	25	1.47	4.07	0.83
	30	1.51	3.982	0.82

Tabela VII. Prečnik kapi, specifična površina i varijansa  
emulzije sa 30% ulja u disperznoj fazi

	t (min)	d ( $\mu\text{m}$ )	S ( $\text{m}^2/\text{cm}^3$ )	$\sigma^2$
25%M150	5	4.25	1.41	6.42
	10	3.90	1.54	5.71
	15	4.25	1.41	7.70
	20	4.53	1.32	9.64
	25	4.49	1.34	8.81
	30	4.52	1.34	10.63
25%M200	5	4.29	1.40	9.87
	10	4.29	1.40	7.64
	15	4.12	1.46	6.42
	20	4.08	1.47	6.71
	25	4.32	1.39	7.21
	30	4.47	1.34	7.76
5%M040	5	11.72	0.51	58.48
	10	11.08	0.54	63.16
	15	11.15	0.54	59.67
	20	10.86	0.55	58.64
	25	11.18	0.54	63.17
	30	10.1	0.59	62.83
5%M100	5	12.54	0.48	60.60
	10	11.66	0.52	57.53
	15	11.73	0.51	70.16
	20	12.33	0.49	67.03
	25	1.72	3.49	68.96
	30	1.63	3.68	68.37
5% M150	5	13,75	0,32	41.06
	10	13,95	0,30	53.40
	15	14,31	0,29	56.61
	20	17,56	0,24	80.87
	25	13,88	0,31	42.15
	30	18,20	0,24	42.15

Promene prividnog viskoziteta kao funkcija brzine smicanja mogu se opisati sledećom funkcijom:

$$\eta = \eta_N + \frac{\eta_0 - \eta_N}{(D + 1)^n} \quad [6]$$

gde su  $\eta_0$  i  $\eta_N$  viskoziteti za granične uslove  $D=0$  i  $D \rightarrow \infty$ ,  
n je parametar koji pokazuje stepen nenjutnovskog ponašanja datog sistema

Tabela VIII. Parametri jednačine viskoziteta za emulzije bez maltodekstrina

% Ulja	$\eta_n$ (Pas)	$\eta_0$ (Pas)	n
10	0.0032	0.324	1.049
20	0.0039	0.636	0.827
30	0.0038	0.520	0.809
40	0.0118	0.4935	0.728
50	0.0092	0.0946	0.4075
60	0.0182	0.1393	0.3897
70	0.1952	2.279	0.5217

Tabela IX. Parametri jednačine viskoziteta za emulzije sa M040

% Ulja	$\eta_n$ (Pas)	$\eta_0$ (Pas)	n
30	0,04	2,72	0,69
40	0,085	7,56	0,83
50	0,33	21,23	0,76
60	0,69	35,5	0,81
70	0,75	86,48	0,77
60 10g M (26,18%)	0,50	40,71	0,66

Tabela X. Parametri jednačine viskoziteta za emulzije sa M100

% ulja	$\eta_n$ (Pas)	$\eta_0$ (Pas)	n
30	0,03	1,17	0,61
40	0,05	6,27	0,71
50	0,15	11,13	0,74
60	0,32	32,47	0,83
70	0,66	69,02	0,84
60 10g M (26,18%)	0,28	32,43	0,66
50 20g M (41,24%)	0,68	77,19	0,80

Tabela XI. Parametri viskoziteta za emulzije sa 30% ulja

% Ulja 30%	$\eta_n$ (Pas)	$\eta_0$ (Pas)	n
25% M040	0,04	2,72	0,69
25% M100	0,03	1,17	0,61
25% M150	0,025	2,91	1,59
25% M200	0,013	0,58	0,67
5% M040	0,008	0,595	0,92
5% M100	0,004	0,498	0,773
5% M150	0,002	0,218	0,535

Zavisnost napona smicanja od brzine smicanja data je jednačinom:

$$\tau = \tau_0 + kD^m \quad [7]$$

gde su  $\tau_0$  – prinosna vrednost,

m-eksponent koji zavisi od stepena nenjutnovskog ponašanja.

Tabela XII. Parametri jednačine proticanja za emulzije bez maltodekstrina

% Ulja	$\tau_0$ (Pa)	K	m
10		0,004	0,97
20		0,08	0,63
30		0,025	0,82
40		0,04	0,85
50		0,044	0,84
60		0,07	0,86
70	6,22	0,75	0,66

Tabela XIII. Parametri jednačine proticanja za emulzije sa M040

% Ulja	$\tau_0$ (Pa)	K	m
30	3,62	0,27	0,78
40	11,5	0,84	0,71
50	27,96	2,13	0,75
60	39,22	3,72	0,75
70	118,29	7,14	0,72
60 10g M (26,18%)	88,18	3,40	0,81

Tabela XIV: Parametri jednačine proticanja za emulzije sa M100

% Ulja	$\tau_0$ (Pa)	K	m
30		0,15	0,83
40	15,57	0,35	0,78
50	15,87	1,20	0,74
60	36,27	2,41	0,72
70	85,83	3,74	0,76
60 10g M (26,18%)	40,17	5,06	0,64
50 20g M (41,24%)	110,47	3,53	0,80

Tabela XV. Vreme isticanja, gustina i viskozitet rastvora Tween 80

C (g/cm <sup>3</sup> )	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )	$\eta_{red}$ (cm <sup>3</sup> /g)
0,04	311,20	1,0018	6,89
0,03	290,40	1,0007	6,30
0,02	273,70	0,9998	5,99
0,01	258,00	0,9992	5,49
0,004	248,90	0,9981	4,14
0,002	246,50	0,9979	3,27
0,001	245,70	0,9978	3,17
0,0005	245,30	0,9977	2,87
0,00006	245,04	0,9974	2,84



Tabela XVI Vreme isticanja i gustine ratvora smeše maltodekstrina M040 i  
Tween-a 80

koncentracija M040 (g/100cm <sup>3</sup> )	koncentracija Tween 80 (g/100cm <sup>3</sup> )					
	0,1		0,2		0,3	
	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )
10	110	1,0384	110,5	1,0369	110,8	1,0356
5	70	1,0183	70,2	1,0170	70,8	1,0170
1	277,7	1,0012	290,6	1,0018	276,4	1,0017
0,667	266,55	0,9998	275,6	1,0005	265,7	1,0007
0,500	264,60	0,9996	271,4	0,9997	261,6	1,0004
0,200	260,8	0,9986	268,2	0,9903	253,8	0,9988

Tabela XVI Vreme isticanja i gustine ratvora smeše maltodekstrina M040 i Tween-  
a 80 (nastavak)

koncentracija M040 (g/100cm <sup>3</sup> )	koncentracija Tween 80 (g/100cm <sup>3</sup> )					
	1		2		3	
	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )	t (s)	d (g/cm <sup>3</sup> )
10	127,8	1,0377	136,8	1,0379	145,8	1,0380
5	75	1,0172	78,2	1,0186	81,4	1,0188
1	286	1,0023	303,1	1,0028	319,1	1,0031
0,667	275,4	1,0010	293,9	1,0023	311,9	1,0024
0,500	271,3	1,0007	288	1,0016	304,7	1,0018
0,200	264,2	0,9994	280,4	1,0006	292,8	1,0008

Vreme isticanja i gustine vode

za 10 i 5% maltodekstrina  $t_0 = 40,3s$ za 0,2 – 1% maltodekstrina  $t_0 = 244,9s$  $d_0 = 0,9978g/cm^3$ 