

# Hidrofilno modificirani silikoni kao sredstva za disperziju u otapalima niske permitivnosti

---

**Brdarić, Jelena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:092431>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Diplomski studij kemije

Jelena Brdarić

# **Hidrofilno modificirani silikoni kao sredstva za disperziju u otapalima niske permitivnosti**

Diplomski rad

Mentor: doc.dr.sc.Berislav Marković

Osijek, 2016

*Zahvalila bih se mojim roditeljima, ocu Zdravku i majci Ljubinki, sestri Nikolini i njezinom mužu Alenu te dečku Milanu koji su mi bili oslonac tijekom studiranja, bodrili me i ohrabivali. Hvala Vam na strpljenju, razumijevanju i ljubavi koju ste mi pružili. Bez Vas ne bih postala ovo što sam danas.*

*Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Berislavu Markoviću koji me je vodio kroz studij, spašavao svojim savjetima, bio dostupan i na raspolaganju kada god mi je to bilo potrebno. Hvala Vam na poticaju i svim dobronamjernim primjedbama u cilju ostvarivanja veće uspješnosti diplomskog rada. Bez Vas ne bih uspjela*

*Zahvalila bih se kolegama s fakulteta, među kojima najviše mojoj kolegici i najboljoj prijateljici Nikolini Filipović s kojom sam ovo sve proživjela, koja me motivirala i ohrabivala. Bez tebe, draga moja, ne bih bila ovdje gdje sam sad.*

*I za kraj, zahvalila bih se svim profesorima, docentima, asistentima i djelatnicima Odjela za kemiju koji su mi pomogli na putu ostvarivanja svog cilja.*

**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**

**Odjel za kemiju**

**Diplomski studij kemije**

**Znanstveno područje: Prirodne znanosti**

**Znanstveno polje: Kemija**

## **Hidrofilno modificirani silikoni kao sredstva za disperziju u otapalima niske permitivnosti**

**Jelena Brdarić**

**Rad je izrađen na: Odjelu za kemiju, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**

**Mentor: Doc. dr. sc. Berislav Marković**

### **Sažetak**

Cilj i svrha ovoga rada je ispitati utjecaj dodatka hidrofilno modificiranih silikona male molarne mase na svojstva suspenzija nanočestica  $\text{TiO}_2$  i  $\text{ZnO}$  u otapalima niske permitivnosti. Korišteni su hidrofilno modificirani silikoni različitih proizvođača, Elkay<sup>®</sup> Silicones, Xiameter<sup>®</sup> Dow Corning. Silikoni su karakterizirani mjerenjem viskoznosti u tri otapala različite permitivnosti: u DMSO, etanolu i heksanu. Akustičkom spektroskopijom ispitivan je utjecaj dodatka različite količine silikona na svojstva suspenzija kao što je veličina čestica i zeta-potencijal, a adsorpcija na površini nanočestica testirana je termogravimetrijski. Rezultati istraživanja potvrđuju mogućnost korištenja hidrofilno modificiranih silikona u disperznim sustavima s otapalima visoke polarnosti. Metodčki dio rada sadrži pripremu za nastavnu jedinicu pod naslovom „Osnovna svojstva fluida“. Nastavni sat zamišljen je kao kombinacija frontalnog i grupnog rada uz izvođenje pokusa.

**Diplomski rad obuhvaća:** 84 stranice, 45 slika, 14 tablica i 26 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** silikoni/niska permitivnost/disperzija/viskoznost/reologija

**Rad prihvaćen:** 14. rujna 2016.

**Stručno povjerenstvo za ocjenu:** prof.dr.sc. Ivan Vicković, predsjednik; doc.dr.sc. Berislav Marković, mentor i član; doc.dr.sc. Martina Medvidović-Kosanović, član; doc. Elvira Kovač-Andrić, zamjena člana

**Rad je pohranjen:** u knjižnici Odjela za kemiju, Kuhačeva 20, Osijek

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

**Department of Chemistry**

**Graduate study of Chemistry**

**Scientific Area: Natural Sciences**

**Scientific Field: Chemistry**

## **Hidrophilically modified silicones as dispersants in low permittivity solvents**

**Jelena Brdarić**

**Thesis completed at:** Department of Chemistry, University of Osijek

**Supervisor:** assist. prof. Berislav Marković, Ph.D.

### **Abstract**

The aim of this work is to examine the influence of the small molecular weight hydrophilically modified silicones on the properties of the nanoparticle TiO<sub>2</sub> and ZnO suspensions. The silicones of two different manufacturers, Elkay<sup>®</sup> Silicones, Dow Corning<sup>®</sup> Performance Products were used. They were characterized by viscosity measurements in the three different permittivity solvent: DMSO, ethanol and hexane. Acoustic spectroscopy was used to examine the influence of silicone addition on the suspension properties (particle size, zeta-potential), and the absorption onto the nanoparticles was tested by thermogravimetry. The results confirm the potential use of hydrophilically modified silicones in dispersed systems containing solvents of high polarity. Methodical part of the work includes preparation for teaching unit entitled "Basic properties of fluids". Lesson is designed as a combination of teacher's frontal talk and group student's work with experimentation.

**Thesis includes:** 84 pages, 45 figures, 14 tables, 26 references

**Original in:** Croatian

**Keywords:** silicones/low permittivity/dispersion/viscosity/rheology

**Accepted:** 14. 09. 2016.

**Reviewers:** prof. Ivan Vicković, Ph.D. Chair; assist. prof. Berislav Marković, Ph.D., supervisor and member; assist. prof. Martina Medvidović-Kosanović, Ph.D. member; assist. prof. Elvira Kovač – Andrić, Ph.D. member.

**Thesis deposited:** Department of Chemistry library, Kuhačeva 20, Osijek, Croatia

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Literaturni dio.....	3
2.1. Silikoni.....	3
2.2. Silikoni kroz povijest.....	4
2.3. Fizikalna i kemijska svojstva polidimetilsiloksana (PDMS).....	7
2.4. Podjela silikona.....	8
2.4.1. Silikonske tekućine .....	8
2.4.2. Silikonske gume/elastomeri .....	10
2.4.3. Silikonski gelovi.....	11
2.4.4. Silikonske smole .....	12
2.5. Hidrofilno modificirani silikoni.....	13
2.6. Uzorci silikona.....	15
2.6.1. LK-Ag Platinum .....	15
2.6.2. LK-7300 .....	16
2.6.3. OFX-0190 FLUID .....	16
2.6.4. OFX-0193 FLUID.....	16
2.6.5. OFX-5330 FLUID .....	17
2.7. Viskoznost .....	17
2.7.1. Vremenski neovisne tekućine.....	20
2.7.2. Vremenski ovisne tekućine .....	22
2.7.3. Viskoelastični sustavi.....	22
2.8. Akustička spektroskopija.....	25
2.9. Elektronska mikroskopija .....	26
2.9.1. Transmisijski elektronski mikroskop - TEM .....	26
2.9.2. Pretražni (skenirajući) elektronski mikroskop - SEM.....	27
2.10. Rentgenska difrakcija.....	28
2.11. Termogravimetrijska analiza - TGA.....	29
2.12. Razlikovna pretražna kalorimetrija– DSC .....	30
3. Eksperimentalni dio.....	31
3.1. Materijali .....	31
3.2. Metode i uvjeti mjerenja.....	32
3.2.1. Određivanje viskoznosti .....	32
3.2.2. Određivanje parametara akustičke spektroskopije .....	33
3.2.3. Uvjeti mjerenja elektronske mikroskopije .....	33

3.2.4.	Uvjeti mjerenja rentgenske difrakcije .....	33
3.2.5.	Ispitivanje termičkih svojstava i faznih transformacija otopina uzoraka silikona s nanočesticama .....	34
3.3.	Priprema otopina za određivanje viskoznosti .....	34
3.3.1.	Priprema otopine LK-Ag Platinum .....	34
3.3.2.	Priprema otopine LK-7300.....	35
3.3.3.	Priprema otopine OFX-0190 .....	36
3.3.4.	Priprema otopine OFX-0193 .....	37
3.3.5.	Priprema otopine OFX-5330.....	38
3.4.	Priprema suspenzija za akustička mjerenja .....	39
3.4.1.	Priprema suspenzija sa silikonom LK-Ag Platinum .....	39
3.4.2.	Priprema suspenzija sa silikonom LK-7300.....	40
3.5.	Priprema uzorka za elektronsku mikroskopiju .....	40
3.6.	Priprema uzorka za TGA / DSC .....	41
4.	Rezultati i rasprava.....	43
4.1.	Elektronska mikrofotografija nanočestica TiO <sub>2</sub> .....	43
4.2.	Rentgenski difraktogram anatasa.....	44
4.3.	Grafički prikazi ovisnosti relativne viskoznosti o masenom udjelu.....	46
4.3.1.	Silikoni u otapalu etanolu, heksanu i DMSO .....	46
4.4.	Prikazi raspodjele veličine nanočestica u suspenzijama.....	53
4.5.	Prikaz TGA krivulje nanočestica i silikona u otapalu .....	57
5.	Metodička obrada nastavne jedinice „Osnovna svojstva fluida“ .....	58
5.1.	Priprema za nastavni sat .....	58
5.2.	Pokus: Škrob - Newtonovska ili ne-Newtonovska tekućina?.....	62
6.	Zaključak.....	64
7.	Literatura .....	65
8.	Dodatak .....	67
9.	Životopis.....	83

# 1. Uvod

U industriji, pojam "silikon" odnosi se na skupinu spojeva koji sadrže element silicij. Silicij je drugi najzastupljeniji element [1] u Zemljinoj kori (~ 25%). Silikoni su spojevi koji sadrže naizmjenično povezane atome kisika i silicija – siloksan (-O-Si-O-Si-O-). Taj lanac silikona može reagirati s različitim skupinama da bi se proizveli razni materijali s jedinstvenim karakteristikama. Većina silikona su nekompatibilni s vodom i kada se stave na površinu lako se formira tanki film. Zbog tog karakterističnog svojstva, silikoni su nevjerojatno skliski i glatki te su površine koje su prekrivene silikonima najčešće vodootporne. Kako silikoni daju prirodan sjaj na površinama na koje se stavljaju, idealni su za primjenu u kozmetici kao i u lakovima za nokte. Silikoni su prvi put predstavljani i korišteni u kozmetici 1950-ih [2]. Od sedamdesetih godina prošlog stoljeća, silikoni se ugrađuju i u proizvode za kosu, a danas se mogu pronaći u velikom broju najrazličitijih kozmetičkih i ostalih proizvoda. Nereaktivni su i netoksični. Područje primjene silikona je široko, a svojstva koja ograničavaju primjenu mogu se promijeniti modifikacijom polisiloksanskog lanca te se na taj način dobiva niz modificiranih organo-polisiloksana sa širokim rasponom primjene.

Cilj i svrha ovoga rada je ispitati utjecaj dodatka hidrofilno modificiranih silikona male molarne mase na svojstva suspenzije nanočestica u otapalima niske permitivnosti, odnosno u DMSO, etanolu i heksanu. Određen je fazni sastav i kristaliničnost rentgenskom difrakcijom te morfologija nanočestica TiO<sub>2</sub> i ZnO elektronskom mikroskopijom. Mjerenjem viskoznosti je izvršena karakterizacija silikona u spomenuta tri otapala. Nakon pripreme suspenzija uz dodatak silikona u različitim otapalima, određena je veličina čestica i na kraju termička svojstva i fazne transformacije uz pomoć TGA/DSC. Također, TGA/DSC je korišten da bi utvrdili je li došlo do adsorpcije silikona na površini nanočestica.



## **Popis korištenih kratica**

*MS* - metilsiloksani

*VMS* - hlapljivi metilsiloksani

*PDMS* - polidimetilsulfoksid

*Me* - metil,  $-(\text{CH}_3)-$

*TEM* - transmisijski elektronski mikroskop

*SEM* - pretražni (skenirajući) elektronski mikroskop

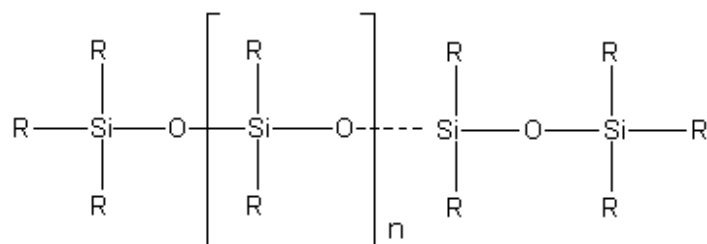
*TGA* - termogravimetrijska analiza

*DSC* - razlikovna (diferencijalna) pretražna (skenirajuća) kalorimetrija (eng. Differential Scanning Calorimetry)

## 2. Literaturni dio

### 2.1. Silikoni

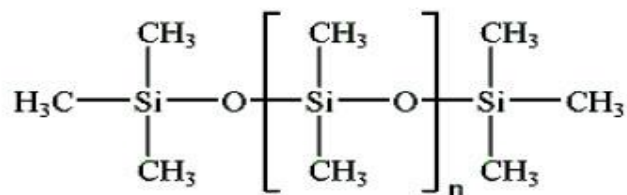
Silikoni, kemičarima poznati kao polidiorganosiloksani [3] su polimerni spojevi silicija koji imaju strukturu sličnu kvarcu modificiranom organskim skupinama. Takvi spojevi (Slika 1.) sadrže "anorganski" lanac koji je sastavljen od naizmjenično povezanih atoma silicija i atoma kisika - siloksana (-O-Si-O-Si-O) [4]. Kraći lanci nazivaju se siloksanima dok se duži lanci i umrežene strukture nazivaju silikonima [5]. Na svaki atom silicija vežu se dva atoma kisika, a preostalim dvjema vezama na atom silicija vežu se istovrsne ili raznovrsne organske skupine kao što su metilna (CH<sub>3</sub>-), vinilna (CH<sub>2</sub>CH-), fenilna (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-) itd.



Slika 1. Struktura silikona

Zbog svojih karakterističnih svojstava kao što su slaba reaktivnost, niska kompatibilnost s vodom, niska topljivost u polarnim i nepolarnim otapalima, termička stabilnost, mala promjena viskoznosti s temperaturom i hidrofobnost, njihova uporaba je široka. Silikoni se razlikuju od većine industrijskih polimera po tome što lanci povezanih atoma, koji čine okosnice svojih molekula ne sadrže ugljik, karakterističan element organskih spojeva. Zbog odsutnosti ugljika u polisiloksanom lancu, silikoni pripadaju skupini anorganskih polimera. Opća formula silikona je (R<sub>2</sub>SiO)<sub>n</sub> [6], u kojoj R može biti bilo koja od raznih organskih skupina.

Najčešći silikonski spoj je polidimetilsiloksan (Slika 2.)



Slika 2. Struktura polidimetilsiloksana

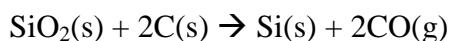
Polidimetilsiloksani su osnovni predstavnici [7] silikona. Njihov osnovni lanac čine  $[(\text{CH}_3)_2\text{SiO}]_n$  jedinice. Na svaki atom silicija povezane su dvije nepolarne metilne ( $\text{CH}_3$ -) skupine koje se mogu rotirati oko lanca silicij – kisik. Poznati su po svojim viskoznim i elastičnim svojstvima te se smatraju bezopasnim po ljudsko zdravlje.

## 2.2. Silikoni kroz povijest

Engleski kemičar Frederic Stanley Kipping je 1927. godine karakterizirao siloksane kao polimere. Zbog sličnosti s ketonima (silikoketoni), odnosno zbog slične opće formule (polimerni lanac koji se sastoji od atoma silicija povezanih s atomima kisika dvostrukom vezom), Kipping ih pogrešno naziva silikonima. Američki kemičar Eugene George Rochow u SAD-u je 1940. godine proizveo metilsiloksan procesom polimerizacije. U međuvremenu, istraživači u kompaniji Corning Glass su istraživali proizvodnju silikona, a 1943. Corning i kemijska tvrtka Dow Chemical formirali su Dow Corning Corporation za proizvodnju silikonskih proizvoda [6].

Proizvodnja silikona započinje od silicija [8]. Silicij je drugi najzastupljeniji element u Zemljinoj kori i u prirodi ga nema u elementarnom obliku. Zbog svoje molekularne strukture i niza kemijskih i fizikalnih svojstava, silikoni se mogu proizvesti u više od 2000 oblika; od krutina i guma (elastomera) sve do poluviskoznih pasti, masti, ulja i tekućina.

Čisti silicij dobiva se iz silicijeva dioksida redukcijom uz ugljik na vrlo visokoj temperaturi:



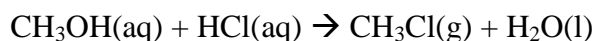
Ova reakcija odvija se u električnim pećima na temperaturi od oko 1900 °C [9]. Oslobađa se ugljikov monoksid kojeg je potrebno ukloniti iz peći tako da silicij ne može reagirati s njim u reverzibilnoj reakciji pri čemu bi ponovno nastao silicijev dioksid. Rastaljeni elementarni čisti silicij (~99 %) zatim se hladi i usitnjava u sitni prah da bi se povećala površina dostupna za reakciju.

Tako dobiveni silicij koristi se za pripremu silikona kroz tri koraka:

1. Sinteza klorosilana
2. Hidroliza klorosilana
3. Polimerizacija i polikondenzacija.

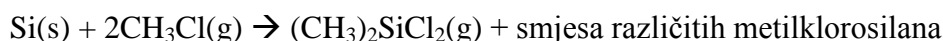
1. Sinteza klorosilana

Kondenzacijom metanola sa solnom (klorovodičnom) kiselinom dobiva se klormetan potreban za sintezu klorosilana



Klorosilani se sintetiziraju u reaktoru pri temperaturnom rasponu od 250 do 300 °C i pod tlakom od 1 bar do 5 bara.

Klormetan se propušta kroz fini prah silicija koji je dobiven u prethodnom postupku. Reakcijom u kojoj se kao katalizator koristi bakar nastaje smjesa različitih metilklorosilana:



Nastala smjesa različitih metilklorosilana sadrži:

- veliku količinu dimetildiklorosilana,  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$  koji je primarni građevni blok
- umjerenu količinu metiltriklorosilana,  $\text{CH}_3\text{SiCl}_3$
- trimetilklorosilan,  $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$
- male količine metildiklorosilana,  $\text{CH}_3\text{HSiCl}_2$
- male količine drugih silana.

Svaki od klorosilana koji su dobiveni ima specifičnu točku vrenja ovisno o broju povezanih atoma klora u molekuli. Na temelju toga, provodi se destilacija kako bi se klorosilani odvojili jedni od drugih. Budući da imaju bliska vrelišta, dimetildiklorosilan se od

preostalih klorosilana odvaja frakcijskom destilacijom. Kada se klorosilani odvoje, prevode se u siloksane procesom hidrolize i kondenzacije.

## 2. Hidroliza klorosilana

Hidrolizom dimetildiklorosilana u prisutnosti suviška vode, dobiva se disilanol koji u reakciji s klorovodičnom kiselinom daje smjesu cikličkih i linearnih polidimetilsiloksana u jednakom omjeru. Kondenziraju se u polidimetilsiloksane uz klorovodičnu kiselinu kao katalizator. Reakcije hidrolize i kondenzacije odvijaju se istovremeno te su brze i spontane.

Dobiva se smjesa:

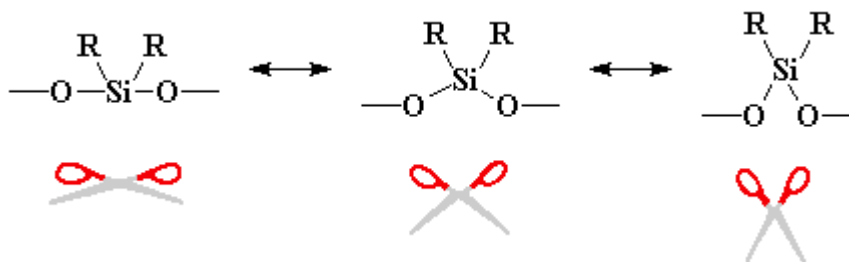
- cikličkih prstena s 3 - 6 ponavljajućih SiO jedinica
- linearnih lanaca koji mogu sadržavati od 30 do 50 ponavljajućih SiO jedinica.

## 3. Polimerizacija i polikondenzacija

S obzirom kako linearni i ciklički oligomeri dobiveni u procesu hidrolize dimetildiklorosilana imaju prekratke lance za razne primjene, potrebno je dobiti lance veće duljine i to tako da se linearni oligomeri polikondenziraju, a ciklički polimeriziraju. Tijekom procesa polimerizacije i polikondenzacije koriste se kiselobazni katalizatori. Nastaju makromolekule koje sadrže ponavljane jedinice prisutnih monomera, a svojstva nastalog polimera ovise o udjelu, vrsti i strukturi monomernih jedinica.

## 2.3. Fizikalna i kemijska svojstva polidimetilsiloksana (PDMS)

Veze između silicijevih atoma i dva kisikova atoma su vrlo fleksibilne [10] što silikone čini dobrim elastomerima. Kut koje tvore te veze može se otvarati i zatvarati (kao otvaranje i zatvaranje škara) (Slika 3).



Slika 3. Veze između silicijeva i kisikova atoma su fleksibilne

PDMS, zbog visoke energije veze siloksanske okosnice koja iznosi  $\sim 445$  kJ/mol i prisutne metilne ( $\text{CH}_3$ -) skupine [11], pokazuju zanimljiva fizikalna i kemijska svojstva kao što su:

- čvrstoća i stabilnost
- termička stabilnost
- otpornost na oksidacijska sredstva i UV zračenje
- niska površinska napetost
- otpornost na vlagu i vremenske utjecaje
- otpornost na mnoge kemikalije
- veoma niska temperatura ostakljivanja
- fleksibilnost
- propustljivost plinova i biokompatibilnost.

## 2.4. Podjela silikona

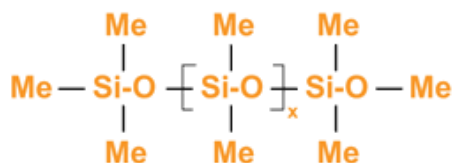
Silikoni se pojavljuju u dva najčešća tipa – linearni siloksani i umreženi siloksani. Bitno je za naglasiti kako se neki silikoni, na primjer silikonske tekućine, ulja, paste i masti svrstavaju u linearne siloksane dok su silikonske gume i smole umreženi siloksani [12]. Iz ove osnovne podjele silikonskih tipova proizvedeno je na tisuće i tisuće jedinstvenih silikonskih proizvoda kako bi se zadovoljile potrebe proizvođača i ljudi diljem svijeta.

### 2.4.1. Silikonske tekućine

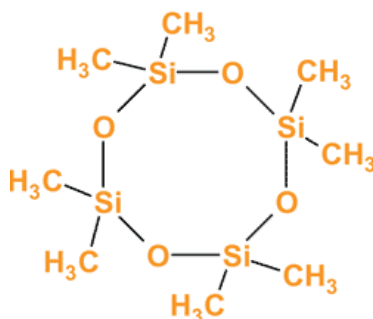
Silikonske tekućine imaju ravne lance PDMS. Mogu biti hlapljivi metilsiloksani (VMS) ili nehlapljivi polidimetilsiloksani (PDMS), reaktivni ili nereaktivni, sa širokim rasponom organskih i anorganskih funkcionalnosti, ali svi imaju zajedničku osobinu - dobru sposobnost tečenja.

Postoje dvije glavne strukture silikonske tekućine:

1. linearni nehlapljivi PDMS (Slika 4.)
2. ciklički hlapljivi MS (Slika 5.).



Slika 4. Linearni polidimetilsiloksan



Slika 5. Ciklički hlapljivi metilsiloksan

## 1. Linearne nehlapljive polidimetilsiloksanske tekućine

Lanci linearnih PDMS tekućina mogu sadržavati od 2 pa do više od 1000 atoma silicija. Što je lanac duži, stupanj polimerizacije bit će veći i veća je molekulska masa. S većom molekulskom masom bit će veća i viskoznost a što je viskoznost veća, to je protjecanje tekućine polaganije. Što su polimerni lanci dulji, veća je mogućnost da se "zapetljaju". To im omogućava da "uhvate" PDMS male molekulske mase i na taj način mu otežaju ili spriječe istjecanje. Također, moguće je pomiješati PDMS tekućine male i velike molekulske mase pri čemu nastaju novi silikoni koji pokazuju najbolja svojstva obje PDMS tekućine.

Svojstva:

- bistre, bezbojne i bez mirisa
- niska površinska napetost – moguće koristiti za premazivanje površina
- vrlo stabilne, otporne na razgradnju
- vrlo pokretljive, lako se prevode u tanke filmove
- nereaktivne
- netopljive u vodi, ali dobro topljive u ugljikovodicima
- teško oksidiraju.

## 2. Cikličke hlapljive metilsiloksanske tekućine

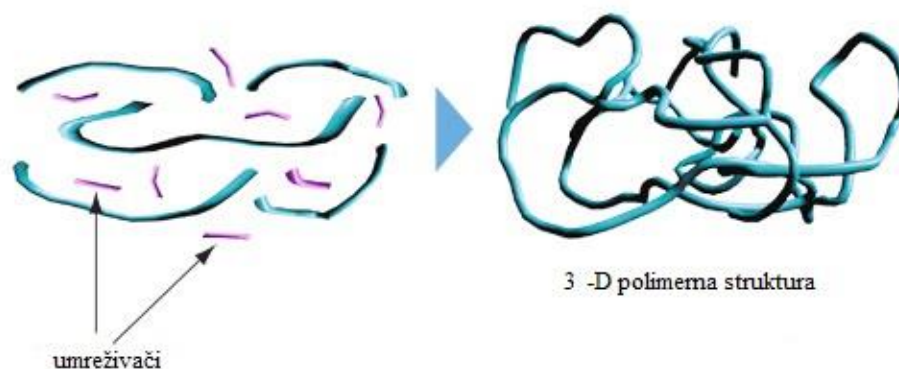
Svojstva:

- topljive u nepolarnim organskim otapalima
- imaju sposobnost zamijeniti vodu, alkohol ili estere
- niža temperatura isparavanja
- nereaktivne
- niske viskoznosti.



## 2.4.2. Silikonske gume/elastomeri

Silikonski elastomeri su umrežene linearne silikonske tekućine ili gume s trodimenzijskom strukturom (Slika 6.). Sastoje se od silikonskog polimera, punila i umreživača.



Slika 6. Trodimenzijska struktura silikonskih elastomera

Silikonski elastomeri sadrže punila za ojačavanje, kao što su silicijev dioksid koji reagira sa silikonskim polimerom i povećava snagu elastomera te punila za produljenje kao što su kvarc, dijatomeja ili metalni oksidi.

Silikonski elastomeri razlikuju se od linearnih silikonskih tekućina što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Razlike između silikonskih elastomera i linearnih silikonskih tekućina

Silikonski elastomeri	Linearne silikonske tekućine
stupanj umrežavanja određuje fizikalna svojstva	duljina lanca određuje fizikalna svojstva
krutine s neodređenom molekulskom masom	tekućine, viskoznost se povećava s molekulskom masom
nabubre u otapalima	topljive u otapalima

Svojstva:

- izvrsna termička stabilnost (stabilni na temperaturama od -40 do 200 °C)
- visoka toplinska vodljivost
- otpornost na UV zračenje i ozon
- otpornost na vremenske utjecaje
- izuzetno fleksibilni čak i promjenom temperature
- lako se proizvode
- izvrsna električna izolacijska svojstva
- otpornost na tekućine i kemikalije.

Primjena silikonskih elastomera je raznolika. Koriste se za izradu zaštitne opreme i maski, silikonskih maski za mobitele, kalupa za kolače, sportske opreme, u proizvodnji igračkama, za automobilske brtve, membrane i ventile, čizme, kablove, crijeva, kao visokonaponski izolator, u farmaciji i biomedicini, za izradu kalupa za repliciranje umjetničkih predmeta, za izradu zdravstvenih uređaja, itd.

### **2.4.3. Silikonski gelovi**

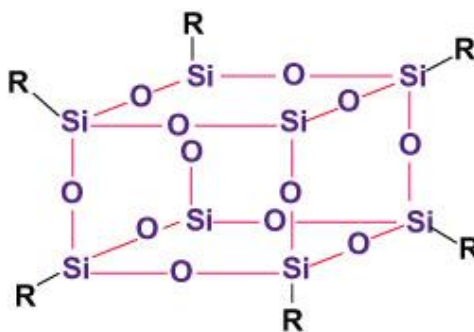
Silikonski gelovi koji se baziraju na polidimetilsiloksanima umrežene su silikonske tekućine te imaju trodimenzijsku strukturu [13]. Međutim, za razliku od silikonskih elastomera, silikonski gelovi imaju manje reaktivnih mjesta i veću molekulsku masu što im omogućuje višu isprepletenost. Osim toga, silikonski gelovi ne sadrže punila. Broj reakcija koje se odvijaju i duljina lanca polidimetilsiloksana određuje kakav gel će nastati. Kada polidimetilsiloksan ima malu molekulsku masu i visoku gustoću, reakcijom će nastati čvrsti gel, a kada polidimetilsiloksan ima veliku molekulsku masu i malu gustoću, nastat će mekši, više tekući gel.

Primjena silikonskih gelova: prvenstveno se koriste u kozmetičkoj industriji u proizvodima za osobnu njegu i higijenu. Oni povećavaju viskoznost, povećavaju stabilnost suspenzija, omogućavaju da se proizvod dobro razmazuje. Koriste se u proizvodima za sunčanje, šamponima, regenerativima, gelovima za tuširanje, dekorativnoj kozmetici, kremama te pružaju glatkoću i baršunast osjećaj na kosi i koži. Koriste se za izravnavanje i omekšavanje ožiljaka koji nastaju kao posljedica ozljeda, opekline, akni i kirurških zahvata te u kozmetičkoj (estetskoj) kirurgiji (implantati za grudi i ostale dijelove tijela). Osim toga, oni se

upotrebljavaju i u elektronici kao izolacijski materijali za zaštitu elektroničkih sklopova, koriste se u svjetlećim diodama, vanjskoj rasvjeti, visokonaponskim električnim dijelovima, itd.

#### 2.4.4. Silikonske smole

Silikonske smole (Slika 7.) su vrlo složene strukture s kompleksnim svojstvima. Povezane su, trodimenzijske mreže visoko razgranatih polimera siloksana. Za razliku od silikonskih elastomera, silikonske smole ne sadrže punila.



Slika 7. Struktura silikonske smole, R = Me, H, OH

Silikonske smole mogu se modificirati mijenjanjem omjera razgranatih i linearnih siloksana u svom sastavu te dodatkom različitih funkcionalnih skupina na atom silicija. U premazima, silikonske smole pojačavaju sjaj i boju te otpornost na koroziju, vlagu, vrijeme i toplinu.

Dodavanjem različitih organskih skupina mijenjaju se svojstva silikona koja ovise o prisutnosti organske skupine. Tako su, na primjer *silikonske smole koje sadrže puno metilnih skupina* savitljive, fleksibilne i pri niskim temperaturama, odbijaju vodu, brzo se stvrdnjavaju, otporne su na toplinu i UV zračenje. *Silikonske smole koje sadrže puno fenilnih skupina* otporne su na oksidaciju, žilavije su od smola koje sadrže više metilnih skupina, kompatibilne su s organskim polimerima i pigmentima i termički su stabilne. Kada se silikonske smole kombiniraju s odgovarajućim pigmentima, otporne su na temperature čak i do 760 °C.

Primjena silikonskih smola: premazi za zaštitu transformatora i zavojnice od vlage, lakovi za premaz staklenih materijala; impregnacija<sup>1</sup> i zaštita električnih zavojnica, zaštitni premazi za mostove, premazi za pribor za kuhanje, grijalice, ispušne cijevi automobila, glačala i sl.

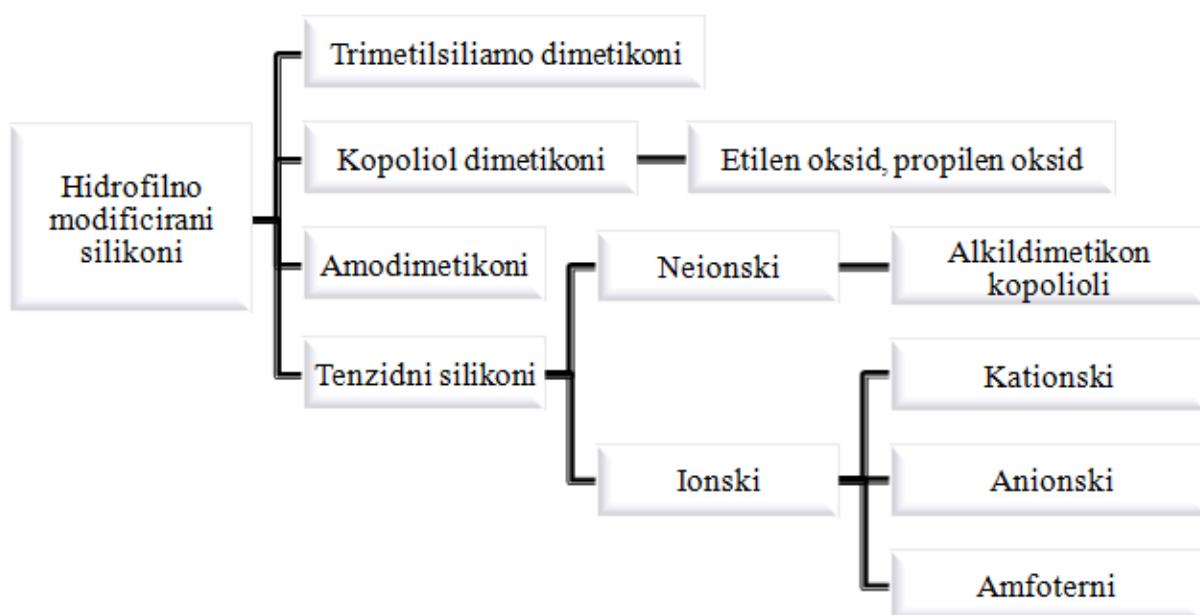
## **2.5. Hidrofilno modificirani silikoni**

Silikoni imaju široku uporabu, no zbog svojih karakterističnih svojstava kao što su slaba reaktivnost, niska kompatibilnost s vodom, niska topljivost u polarnim i nepolarnim otapalima, termička stabilnost, mala promjena viskoznosti s temperaturom i hidrofobnost nisu pogodni za svaku primjenu. Njihova svojstva mogu se mijenjati modifikacijom polisiloksanskog lanca, zamjenom metilnih skupina različitim organskim grupama čime silikoni postaju hidrofilni ili mijenjanjem duljine lanca [14]. Tako su, na primjer silikoni kojima se dodaju organske skupine mekši i fleksibilniji, a silikoni kojima se dodaju anorganske skupine tvrđi i lomljiviji. Modificiranjem silikona stvaraju se novi silikoni koji nalaze primjenu u tisućama proizvoda i mnogim granama današnje industrije (Slika 8.). Dodatkom različitih organskih skupina u molekulu polisiloksana mogu se postići različita svojstva silikona kao što su: bolja kompatibilnost s organskim materijalima, sposobnost reagiranja s organskim materijalima, mogu se povećati termičke sposobnosti silikona, smanjiti njihova zapaljivost, razviti otpornost na otapala, topljivost u vodi, poboljšati trajnost silikonskih svojstava kao što je mazivost.

---

<sup>1</sup>impregnacija (lat.), natapanje različitih materijala (drva, papira, tkanine) tekućinama (otopinama soli, katrana, smole) radi zaštite od vlage, truljenja, vatre, insekata itd.

Podjela hidrofilno modificiranih silikona:

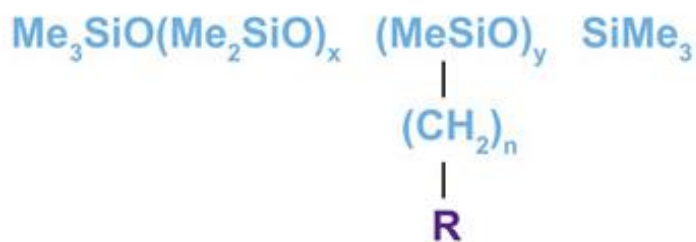


Slika 8. Prikaz podjele hidrofilno modificiranih silikona

Organske skupine koje se dodaju mogu biti reaktivne i nereaktivne. Reaktivne organske skupine mogu biti vezane na tri načina:

- kao "privjesak" na okosnicu siloksana (eng „rake“ - grablje ili češalj)
- na oba kraja siloksanskog polimernog lanca (ABA)
- na kraj siloksanskog polimernog lanca (AB).

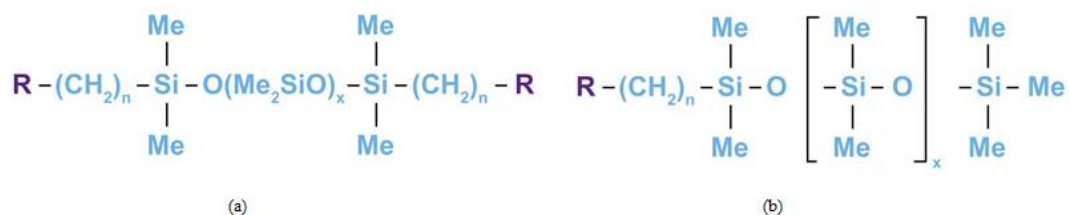
Kada je reaktivna organska skupina vezana kao "privjesak" na okosnicu siloksana („rake“), organska funkcionalnost se proteže duž polisiloksanskog lanca (Slika 9.). Takav način vezivanja koristi se za kemijsko povezivanje polisiloksanskog polimera na organski materijal.



Slika 9. Prikaz "Rake" vezivanja na okosnicu silikona

$R = \text{amin, karboksi, hidroksi, epoksi, itd. } n \geq 3, x = 0 \text{ do } 1,000, y = 1 \text{ do } 25$

Kada je reaktivna organska skupina vezana na oba (ABA) ili na jedan kraj (AB) siloksanskog polimernog lanca tada postoje samo jedno ili dva reaktivna mjesta (Slika 10.). ABA i AB vezivanje je idealno za povezivanje silikona i organskih struktura da bi se formirao silikon - organski ili silikon – organski - silikon blok kopolimer.



Slika 10. Prikaz vezivanja organskih skupina na oba kraja (a) i na jedan kraj siloksanskog polimernog lanca

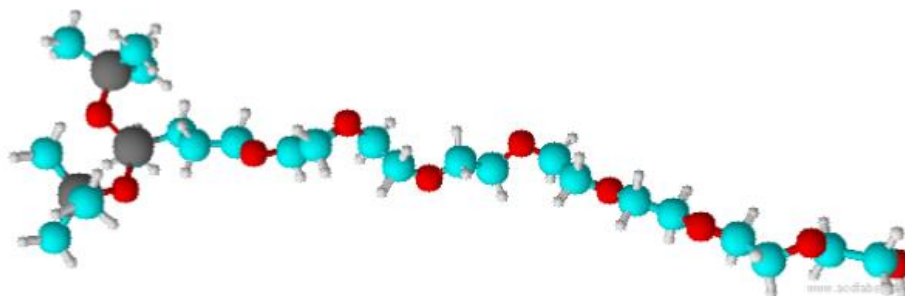
$R = \text{amin, karboksi, hidroksi, epoksi, itd. } n \geq 3, x = 0 \text{ do } 1,000, y = 1 \text{ do } 25$

## 2.6. Uzorci silikona

### 2.6.1. LK-Ag Platinum

Na temelju podataka tvrtke ELKAY SILICONES, uzorak LK-Ag Platinum je trisiloksanpolieter s formulom  $(\text{CH}_3)_3\text{Si}-\text{O}-\text{Si}(\text{CH}_3)\text{R}-\text{O}-\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ . Kako se može uočiti na Slici 11., molekula se sastoji od dva dijela:

- hidrofilnog dijela ( $\text{R} = \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})_n-\text{H}$  ( $n=7$ ))
- hidrofobnog dijela koji čini trisiloksanski lanac.



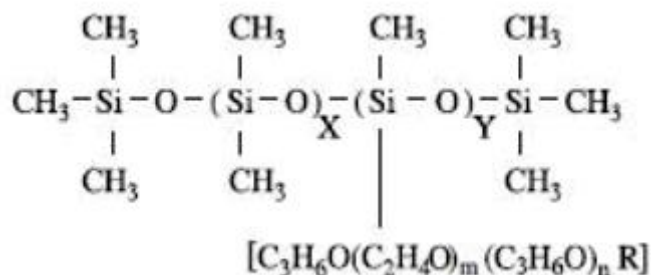
Slika 11. Molekulska struktura silikona LK-Ag Platinum

### 2.6.2. LK-7300

Uzorak LK-7300 je PEG-12 Dimetikon (PEG – polietilen glikol povezan s dimetikonom) na bazi silicija koji se koristi kao sredstvo za vlaženje, emulgator i uzrokuje stvaranje pjene u preparatima za osobnu njegu [15]. Za razliku od LK-Ag Platinum kojemu je poznata struktura, uzorku LK-7300 nije poznata struktura, ali se pretpostavlja da je građen slično kao LK-Ag Platinum.

### 2.6.3. OFX-0190 FLUID

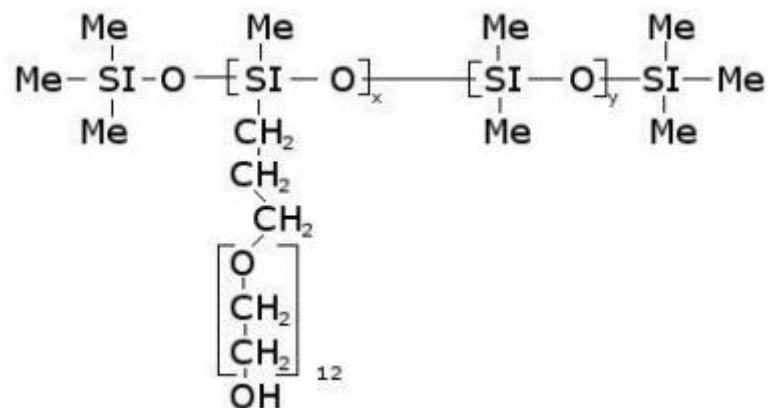
Prema podacima dobivenim od tvrtke Dow Corning Europe S. A., uzorak OFX-0190 je tekućina boje jantara i specifičnog mirisa, naziva dimetil, metil (propil (polietilen-polipropilen oksid)) acetat) siloksan (Slika 12.) [16]. Primjenjuje se u kozmetici, aditivima, omekšivačima, aktivnim površinskim sredstvima. Daje mekan i svilenkast osjećaj kosi te ne iritira kožu. OFX-0190 fluid je silikonski glikol kopolimer topljiv u vodi, alkoholu i hidroalkoholnim sustavima.



Slika 12. Kemijska formula za OFX-0190

### 2.6.4. OFX-0193 FLUID

Prema podacima dobivenim od tvrtke Dow Corning Europe S. A., uzorak OFX-0193 je tekućina boje jantara i specifičnog mirisa, naziva dimetil, metil (propil (polietilen oksid) hidroksi) siloksan. Uzorak OFX-0193 je silikonski polieter kopolimer (Slika 13.) topljiv u vodi, alkoholu i hidroalkoholnim sustavima. Stabilan je u vodenim otopinama.



Slika 13. Kemijska formula za OFX-0193

Ima širok raspon primjene u proizvodima za osobnu njegu kao što su šamponi, losioni za njegu kože, sredstva za brijanje, u kućanskim sredstvima za čišćenje te u sredstvima za čišćenje auomobila uključujući sredstva za brzo odmagljivanje stakla.

#### 2.6.5. OFX-5330 FLUID

Prema podacima dobivenim od tvrtke Dow Corning Europe S. A., uzorak OFX-5330 je tekućina naziva dimetil, metil (propil (polietilen-polipropilen oksid) acetat) siloksan. Uzorak OFX-5330 je polisiloksan polieter kopolimer topljiv u vodi. Koristi se u kozmetičkim proizvodima.

### 2.7. Viskoznost

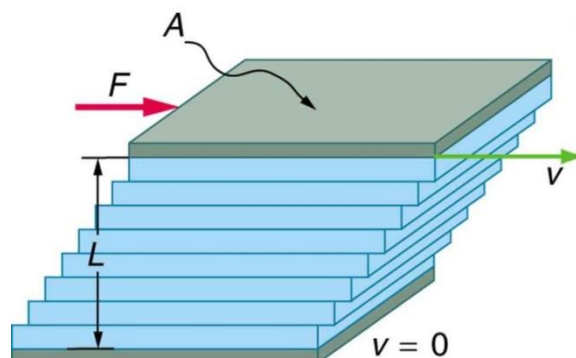
Viskoznost je unutarnje svojstvo fluida, odnosno tekućina i plinova koje pružaju otpor prema tečenju [17]. Predstavlja mjeru unutrašnjeg trenja koje se javlja kao otpor koji jedan sloj fluida pruža protjecanju drugog sloja fluida i ovisi o njegovoj prirodi i temperaturi. Taj otpor stvara sile trenja poznatije kao sile viskoznosti. Uzrok takvim silama su međumolekulske sile kojima se molekule tekućine međusobno privlače i tako opiru pomicanju susjednih slojeva. Kod plinova se također javlja viskoznost, ali za razliku od tekućina, uzrok takvih sila nisu međumolekulske veze već difuzija molekula među slojevima. Plinovi pokazuju znatno manju viskoznost od tekućina jer je utjecaj difuzije u plinovima mnogo manji nego međumolekulske sile kod tekućina. Također, kod tekućina viskoznost



opada s porastom temperature, a kod plinova raste. Kod plinova s porastom temperature raste i brzina gibanja molekula plina i povećava se vjerojatnost uzajamnih sudara molekula dok se kod tekućina porastom temperature smanjuju kohezijske sile među molekulama (koje su u tekućini mnogo bliže nego u plinu) tako da se time smanjuje viskoznost tekućine. Promjena viskoznosti kod ne-Newtonovskih tekućina je mnogo izraženija nego kod Newtonovskih, gdje se viskoznost mijenja u prosijeku za 2 % za svaki °C.

Proučavanjem viskoznosti bavi se znanost o protjecanju fluida – *reologija*. Ova znanost bavi se i svim pojavama koje nastaju kao posljedica pomicanja unutrašnjih slojeva pod utjecajem vanjskih sila. Prema tome, reologija je znanost koja proučava protjecanje i deformaciju materijala pod utjecajem primjenjene sile [18].

Na Slici 14. prikazane su dvije paralelne ploče od kojih je donja nepokretna, a gornja je pokretna.



Slika 14. Gibanje fluida između dvije paralelne ploče

Sloj tekućine koji se nalazi uz gornju, pokretnu ploču kretat će se istom brzinom  $v$  kojom se kreće i ploča dok će sloj tekućine koji se nalazi uz donju, nepokretnu ploču ostati nepokretan. Ako se pokretna ploča kreće brzinom  $v$  koja ovisi o primijenjenoj sili  $F$ , stvara se gradijent brzine protjecanja susjednih slojeva razmaka  $x$ ,  $(dv/dx)$ . Javlja se trenje između susjednih slojeva tekućine (unutarnje trenje). Unutarnje trenje ovisi o površini slojeva i njihovoj relativnoj brzini. Za primjer možemo uzeti cijev u kojoj se nalazi uska kapilara. Tekućina u kapilari imat će različite brzine kretanja. Slojevi koji se nalaze u sredini kapilare imat će najveću brzinu kretanja, dok slojevi koji se nalaze sve bliže cijevi imaju sve manju brzinu gibanja, dok na kraju sloj tekućine koji se nalazi uz samu stijenku cijevi ima brzinu jednaku nuli.

Empirijski je ustanovljeno (Newton) da je sila viskoznosti proporcionalna površini ploče  $S$  i gradijentu brzine  $dv/dx$ , te da ovisi o vrsti fluida, što je uključeno u koeficijentu viskoznosti  $\eta$ :

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dx}$$

gdje je;

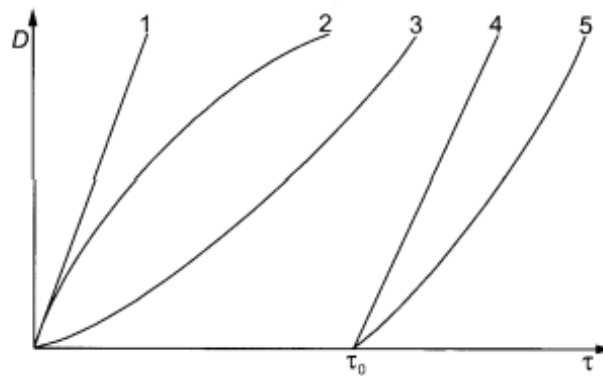
- $\eta$  – koeficijent viskoznosti koji ovisi o fluidu i temperaturi
- $A$  – površina slojeva tečnosti na koju djeluje sila unutrašnjeg trenja
- $dv/dx$  - gradijent brzine.

Lakše pokretljiva tekućina ima manji  $\eta$  i manju viskoznost  $F$ . Recipročna vrijednost koeficijenta viskoznosti,  $1/\eta$  zove se koeficijent fluidnosti. Mjerna jedinica za koeficijent viskoznosti je Pascal sekunda (Pas).

Fluidi za koje vrijedi Newtonov zakon neovisno o smičnoj sili i vremenu nazivaju se Newtonovski fluidi. Primjer Newtonovskog fluida je voda. Koliko god ju miješali, viskoznost joj je uvijek ista, teče jednako bez obzira na primijenjenu silu. Ne-Newtonovski fluidi su pak fluidi čija viskoznost nije konstantna ni pri konstantnoj temperaturi i tlaku. Za takve fluide koristi se izraz „prividna viskoznost“ ( $\tau / D$ ) gdje je  $\tau$  smično naprezanje a  $D$  smična brzina [19].

Na Slici 15. prikazan je odnos između smičnog naprezanja i brzine smicanja [20] za Newtonovske i ne-Newtonovske tekućine;

1. Newtonovski – smična brzina raste linearno s porastom smičnog naprezanja
2. Dilatantni fluidi (eng. shear-tickening) - prividna viskoznost  $\tau / D$  povećava se povećanjem smičnog naprezanja
3. Strukturno viskozni fluidi, pseudoplastični (engl. shear-thinning) - prividna viskoznost  $\tau / D$  smanjuje se povećanjem smičnog naprezanja
4. Idealni plastični fluidi (Binghamovi fluidi)
5. Neidealni plastični fluidi (ne-Binghamovi fluidi).



Slika 15. Karakteristični dijagram smicanja<sup>2</sup> za fluide

Ne-Newtonovske tekućine se dijele ovisno o vremenu smicanja na;

1. Vremenski neovisne tekućine gdje pripadaju dilatantni fluidi, pseudoplastični fluidi, idealni plastični fluidi (Binghamovi fluidi) i neidealni plastični fluidi (ne-Binghamovi fluidi)
2. Vremenski ovisne tekućine gdje pripadaju tiksotropne i reopektične
3. Viskoelastični sustavi.

### 2.7.1. Vremenski neovisne tekućine

Izraz dilatacija označava pojavu porasta krutosti koncentrirane suspenzije finih čestica kada se, djelovanjem neke vanjske sile na česticu naruši njezina unutrašnja struktura. *Dilatantni fluidi* su rijetke polimerne otopine i taline kod kojih s porastom sile raste viskoznost, odnosno s povećanjem brzine smicanja raste smično naprežanje tako da je otpor sustava puno veći pri većim brzinama smicanja nego pri manjim. Primjer za ove sustave je suspenzija škroba u vodi.

Kod *strukturno viskoznih fluida*, odnosno *pseudoplastičnih* koji pripadaju ne-Newtonovskim fluidima, smično naprežanje raste puno brže pri niskim brzinama smicanja nego kod većih.

Taj odnos opisuje se Oswald-Reinerov-im zakonom potencije:

<sup>2</sup>Smicanje - opterećenje čvrstoga tijela silama koje djeluju u ravnini nekoga presjeka tijela, a nastoje izazvati paralelno klizanje jednoga dijela presjeka (tankoga sloja) u odnosu na drugi.

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

gdje je;

$\tau$  – smično naprezanje (Pa)

$k$  – koeficijent konzistencije ( $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ )

$n$  – indeks tečenja (vrijednost varira od 0 do 1)

$D$  – gradijent brzine između dvije plohe, odnosno brzina smicanja ( $\text{s}^{-1}$ ).

Viskoznost pseudoplastičnih tekućina određuje se izrazom:

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

Karakteristika pseudoplastičnih fluida je ta da smično naprezanje mnogo brže raste pri nižim brzinama nego pri višim, odnosno veća je brzina protjecanja pri većem smičnom naprezanju nego pri nižem. Pseudoplastični fluidi sadrže prisutne visokomolekulske tvari u otopini ili dispergirane čvrste čestice u tekućoj fazi. Primjer za ovu vrstu fluida su majoneza, senf, juhe od povrća, itd.

Kod *plastičnih fluida* je karakteristično to što tečenje počinje u onom trenu kada je postignuto minimalno smično naprezanje. Ispod vrijednosti minimalnog smičnog naprezanja plastični sustavi neće biti tekući već će doći do njihove deformacije, odnosno promijene oblik poput čvrste plastične tvari, a nakon prestanka djelovanja sile ponovno poprime prvobitni oblik. Nakon što se postigne prag minimalnog smičnog naprezanja i kada započne tečenje, razlikujemo dva tipa tečenja; idealno plastično tečenje (Binghamovi fluidi) i neidealno plastično tečenje (ne-Binghamovi fluidi).

*Idealno plastično tečenje* dano je izrazom:

$$\tau = k \cdot D + \tau_0$$

Binghamovske tekućine ponašaju se kao krute, plastične tvari sve dok se ne postigne minimalni prag naprezanja kada postaju viskozne.

*Neidealno plastično tečenje* dano je izrazom:

$$\tau = k \cdot D^n + \tau_0$$

Svojstva plastičnih fluida pokazuju razne vrste masti, kreme, šamponi, regeneratori, otopljene čokoladne mase, itd.

### **2.7.2. Vremenski ovisne tekućine**

Spomenuto je kako kod vremenski neovisnih tekućina smično naprezanje ovisi samo o brzini smicanja. Kod vremenski ovisnih tekućina, osim o brzini smicanja, smično naprezanje ovisi i o vremenu djelovanja vanjske sile što znači da se prilikom mjerenja viskoznosti vrijednost smičnog naprezanja razlikuje od vrijednosti kod povratnog mjerenja. Vremenski ovisne tekućine su ne-Newtonovske tekućine koje se dijele na;

1. tiksotropne tekućine
2. reopektične tekućine.

Ukoliko se prividna viskoznost pri konstantnoj smičnoj brzini ili pri konstantnom smičnom naprezanju snižava u vremenu, tada se radi o tiksotropnim fluidima, a ukoliko raste, radi se o reopektičnim fluidima.

Kada se tiksotropni sustavi nalaze u stanju mirovanja, posjeduju gel strukturu koja se narušava pod djelovanjem smičnih sila što znači da konačna struktura zapravo ovisi o brzini smicanja. Kada se sustav vraća u stanje mirovanja, ponovno se stvara gel struktura. Pojavu tiksotropije pokazuju koloidni sustavi kod kojih su prisutne koloidne čestice vezane slabijim sekundarnim vezama. Uslijed mehaničkog djelovanja dolazi do pucanja slabih veza između koloidnih čestica i do narušavanja uspostavljene strukture. Koliko je sama struktura nekog sustava narušena ovisi od iznosa primijenjenog mehaničkog djelovanja i vremena njegovog trajanja. Što dulje traje mehaničko djelovanje, doći će do uspostavljanja ravnoteže između broja veza koje se raskidaju i broja veza koje se ponovno stvaraju. Sam proces narušavanja tiksotropne strukture je relativno brz proces, ali ponovno uspostavljanje strukture traje duže vrijeme (od nekoliko minuta do nekoliko tjedana).

### **2.7.3. Viskoelastični sustavi**

Koloidni sustavi (kao što su tijesta, različiti gelovi, prehrambeni proizvodi kao sir, kruh...) nisu niti idealno čvrsti niti idealno tekući i ovisno o uvjetima u kojima se nalaze posjeduju osobine i čvrstih i tekućih tijela. Ovakva tijela proizvode i viskozne i elastične deformacije pa se nazivaju viskoelastičnim sustavom.

Viskoelastični sustavi ovise o vremenu djelovanja vanjske sile i mijenjaju se njezinim prestankom. Međutim, kod viskoelastičnih sustava ne dolazi do potpunog narušavanja unutarnje strukture i prelaska u tekuće stanje kao kod tiksotropnih što znači da viskoelastični sustavi i uz promjene koje se odvijaju ostaju u manje – više čvrstom stanju.

Za određivanje viskoznosti koriste se viskozimetri koji se zasnivaju na određenim fizikalnim principima koji su prisutni tijekom mjerenja, dok se za određivanje prije opisanih reoloških svojstava koriste složeniji uređaji - reometri. Razlikujemo tri vrste viskozimetara: kapilarni viskozimetar, viskozimetar s padajućom kuglicom i rotacijski viskozimetar. Najviše primjenjivani viskozimetri za određivanje viskoznosti tekućina su kapilarni viskozimetri. Sama pojava kapilarnosti nastaje kao rezultat odnosa kohezijskih i adhezijskih sila. Kohezijske sile su sile koje djeluju između čestica fluida (drže kap vode na okupu) dok su adhezijske sile sile koje djeluju između čestica fluida i stijenke posude (kao na primjer između vode i stijenke posude u kojoj se voda nalazi). Ako je kohezija veća od adhezije, tekućina neće kvasiti stijenke i površina će poprimiti ispučen, konveksan oblik (tekućina se spušta niz stijenke posude), a ako je manja, tekućina će kvasiti stijenke i površina će poprimiti udubljen, konkavan oblik (tekućina se penje uz stijenke posude). Primjer kapilarnog viskozimetra je Ubbelohdeov viskozimetar (Slika 16.). Metoda mjerenja viskoznosti je uspoređujuća metoda u kojoj se viskoznost nepoznate tekućine uspoređuje s tekućinom čija je viskoznost poznata (najčešće voda ili neko drugo čisto otapalo). Najprije se odredi vrijeme istjecanja standardne tekućine u volumenu između oznaka A i B na Ubbelohdeovom viskozimetru, a zatim se odredi vrijeme istjecanja nepoznate tekućine u istom volumenu.



*Slika 16. Ubbelohdeov viskozimetar*

Kada se odredi vrijeme istjecanja standardne tekućine ( $t_0$ ) i vrijeme istjecanja ispitivane otopine ( $t$ ) može se izračunati relativna viskoznost pomoću relacije:

$$\eta_{rel} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0}$$

Ova viskoznost naziva se apsolutna ili dinamička viskoznost. Pored dinamičke, definirana je i kinematička viskoznost koja se koristi za definiranje osobina samo čistih (jednokomponentnih) sustava.

Osim spomenute, relativne viskoznosti, mogu se izračunati i sljedeće viskoznosti:

- specifična viskoznost:

$$\eta_{specifična} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \frac{t - t_0}{t_0} = \eta_{rel} - 1$$

- reducirana viskoznost:

$$\eta_{reducirana} = \frac{\eta_{specifična}}{c}$$

- inherentna viskoznost:

$$\eta_{inherentna} = \frac{\ln \eta_{relativna}}{c}$$

- intrinzična viskoznost

$$\eta_{intrinzična} = \left( \frac{\eta_{specifična}}{c} \right)_{c \rightarrow 0} = \left( \frac{\ln \eta_{relativna}}{c} \right)_{c \rightarrow 0} = [\eta]$$

Intrinzična viskoznost je granična vrijednost reducirane ili inherentne viskoznosti pri beskonačnom razrjeđenju otopine polimera i ovisi samo o građi molekula polimera i o odnosu polimer – otapalo. Uz pomoć intrinzične viskoznosti može se odrediti molekulska masa polimera.

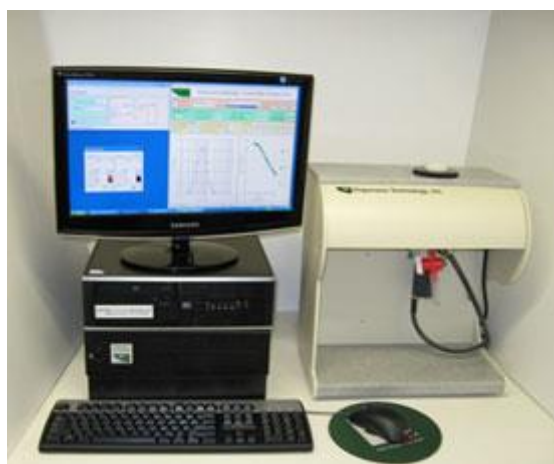
Veza između molekulske mase i intrinzične viskoznosti dana je Mark-Houwinkovom jednačinom:

$$[\eta] = KM^\alpha$$

gdje je  $[\eta]$  intrinzična viskoznost,  $K$  i  $\alpha$  su konstante otapala, a  $M$  molarna masa [21]. Parametri  $K$  i  $\alpha$  određeni su eksperimentalnim mjerenjem viskoznosti različitih otapala polimera. Ovisi o kvaliteti polimera u otapalu, odnosno o građi. Pomoću ta dva parametra može se doznati izgled i karakteristike molekule te njezina konformacija.

## 2.8. Akustička spektroskopija

Akustička spektroskopija<sup>3</sup> mjeri atenuaciju i brzinu ultrazvučnih impulsa kako oni prolaze kroz uzorak. Mjerenja su u širokom rasponu frekvencija, a dobiveni spektri se koriste za izračunavanje distribucije veličine čestica u rasponu od  $10^{-3}$  - 1000  $\mu\text{m}$ . Ona nam otkriva važne eksperimentalne podatke u karakterizaciji suspenzija [22] i to koristeći se samo ultrazvukom. Najčešće korišteni spektrometar je DT1200 koji je izradio Dispersion Technology Inc (Slika 17.). To je kombinirani akustički i elektroakustički spektrometar za karakterizaciju veličina čestica i zeta - potencijala disperzija. Određivanje veličine čestica temelji se na mjerenju ultrazvučne atenuacije (prigušenja) u uzorku na različitim frekvencijama [23]. Spektar dobiven ultrazvučnim prigušenjem definiran je svojstvima uzorka i služi kao osnova za izračunavanje distribucije veličine čestica. Zeta - potencijal određuje se mjerenjem koloidne struje vibracija koja proizlazi iz pomaka električnih dvostrukih slojeva nabijenih čestica pod utjecajem ultrazvuka. DT1200 sadrži akustički spektrometar (za određivanje veličine čestica), elektroakustičku probu (za zeta - potencijal), temperaturni senzor, pH elektrodu, mogućnost regulacije temperature (zagrijavanje). Velika prednost ove metode mogućnost je mjerenja bez razrjeđivanja i drugih vrsta priprema uzorka. Koristi se za mjerenje čestica veličina od  $10^{-3}$  - 1000  $\mu\text{m}$ , koncentracija manjih od 50%, potreban volumen uzorka je od 100 do 150 mL, viskoznosti manje od 20000 cP, pH vrijednost od 0,5 do 13, temperatura manja od 50 °C, ultrazvučna frekvencija od 1 MHz do 100 MHz.



Slika 17. Akustički spektrometar DT1200

<sup>3</sup> spektroskopija - metoda analize linija spektra svjetla koje emitira pobuđeni atom prolaskom njegova elektrona kroz orbitalu



## 2.9. Elektronska mikroskopija

Mikroskopi su instrumenti koji omogućavaju promatranje manjih predmeta uz pomoć povećanja slike. Da bi se lakše shvatio princip rada elektronskog mikroskopa, treba se prisjetiti prvo na koji način radi svjetlosni mikroskop. Da bi stvorio uvećanu sliku predmeta, svjetlosni mikroskop koristi snop svjetlosti koji osvjetljava predmet čiju uvećanu sliku se želi promatrati. To je moguće tako što snop svjetlosti prolazi kroz optički sustav mikroskopa koji omogućava stvaranje njegove povećane slike. Sličan je princip rada i elektronskog mikroskopa samo što elektronski mikroskop umjesto snopa svjetlosti koristi snop elektrona a umjesto staklenih koristi magnetske leće. Električno i magnetsko polje djeluju na elektrone na isti način kako djeluju staklene leće na svjetlost i to je dokazao H. Bosch 1924. godine. Zahvaljujući tom Boschovom otkriću konstruiran je prvi elektronski mikroskop (TEM - transmisijski elektronski mikroskop, 1931. godine). Daljnim razvojem i proučavanjem, nakon transmisijskog elektronskog mikroskopa konstruiran je i pretražni (skenirajući) elektronski mikroskop - SEM (1942. godine) [24].

Kako je spomenuto, razlikuju se dva osnovna tipa elektronskih mikroskopa;

- transmisijski elektronski mikroskop (TEM)
- pretražni elektronski mikroskop (SEM).

Transmisijski i pretražni elektronski mikroskopi su slični [17] jer oba primjenjuju zrake elektrona, no za stvaranje slike koriste različite mehanizme.

### 2.9.1. Transmisijski elektronski mikroskop - TEM

Transmisijski elektronski mikroskop -TEM (Slika 18.) se koristi za promatranje uzoraka koji su propusni za elektrone. Kao izvor elektrona upotrebljava se elektronski top kojeg sačinjavaju katoda, anoda i Wehneltov cilindar za fokusiranje elektronskoga snopa. Kao katoda koristi se volframska nit jer ona zagrijavanjem emitira elektrone. Dio elektrona prolazi kroz otvor na anodi koja ima veliku razliku potencijala prema katodi. Zbog te razlike potencijala elektroni se ubrzavaju i njihov se snop prvom elektronskom lećom (koja ima ulogu kondenzatora) usmjerava na uzorak. Prilikom prolaska kroz uzorak elektroni se susreću s atomima i pri tome raspršuju razmjerno debljini i gustoći područja na koje nailaze. Preostali, neraspršeni elektroni čine elektronsku sliku uzorka, koja se povećava sustavom elektronskih

leća. Konačna slika nastaje na fluorescentnom zaslonu, a njezini tamni dijelovi odgovaraju debljim i gušćim područjima uzorka.



*Slika 18. Transmisijski elektronski mikroskop*

### **2.9.2. Pretražni (skenirajući) elektronski mikroskop - SEM**

Pretražni (skenirajući) elektronski mikroskop - SEM (Slika 19.) pretražuje površinu uzorka kojeg je potrebno ispitati uz pomoć precizno fokusiranog snopa elektrona. Sam uzorak stavlja se u nosač koji se nalazi u komori mikroskopa. Kao izvor elektrona koristi se katoda smještena u emisijskoj komori. Kao i kod TEM-a, i ovdje se elektroni ubrzavaju na putu između katode i anode. Snop elektrona se fokusira i usmjerava pomoću magnetskih leća na površinu uzorka koju pretražuje (skenira). Pri tome se iz uzorka emitiraju sekundarni elektroni (elektroni koji se emitiraju s površine uzorka). Ti raspršeni, sekundarni elektroni se zatim skupljaju i detektiraju. Kako snop elektrona prelazi preko uzorka, na monitoru računala stvara se slika predmeta sastavljena od mnogo točaka.



*Slika 19. Pretražni elektronski mikroskop*

## **2.10. Rentgenska difrakcija**

Rentgenska difrakcija koristi se za ispitivanje strukture kristalnih tvari. Pomoću te nedestruktivne, analitičke metode određuje se kristalografska struktura, kemijski sastav i fizikalne osobine materijala raspršenjem rentgenskih zraka na elektronima [17]. Najčešće se koristi za identifikaciju nepoznate kristalne tvari, npr. minerala, anorganskih spojeva, itd. Koristi se za karakterizaciju kristalnih materijala, identifikaciju sitnozrnatih minerala kao što su gline i mješoviti slojevi gline koje je teško odrediti optički, određivanje dimenzija jedinične ćelije, mjerenje čistoće uzorka, određivanje kristalne strukture, određivanje količine minerala.

Tehnike se baziraju na promatranju intenziteta raspršenih rentgenskih zraka u funkciji upadnog kuta, polarizacije, valne duljine ili energije. Ovisno o stanju materijala, može se koristiti metoda monokristala ili metoda praha.

Kod metode monokristala uzorak je jedinični kristal. Snop rentgenskih zraka pada na kristal i zrake se raspršuju na ravninama kristalne rešetke te mijenjaju smjer i interferiraju. Dobije se difrakcijska slika koju je potrebno analizirati i njezinom analizom je moguće odrediti razmak između strukturnih dijelova kristala. Jedinični kristal pogodan za rentgensko istraživanje je reda veličine milimetara (mm).

Kod metode praha uzorak se sastoji od bezbroj čestica (reda veličine mikrometara) pravilne unutrašnje građe (kristalića od kojih svaki ima jediničnu ćeliju istu onakvu kakvu

ima i jedinični kristal te iste tvari) koje su u prostoru orijentirane na sve moguće načine. Rentgensko zračenje se usmjerava na površinu fino usitnjenog materijala smještenog na nosač uzorka. Mjeri se intenzitet rentgenskog zračenja difraktiranog s uzorka u ovisnosti o kutu difrakcije. Metoda se koristi za određivanje strukture materijala, u ovom slučaju za identifikaciju kristalnih faza. Praškasti uzorci se analiziraju uz pomoć rentgenskog difraktometra koji se sastoji od izvora rentgenskih zraka (obično rentgenske cijevi), mjesta za uzorak i detektora.

Spomenuto je kako se strukture kristala često identificiraju pomoću difrakcije rentgenskih zraka što se može objasniti Braggovim zakonom. Braggov zakon uvode W. L. Bragg i njegov otac W. H. Bragg i taj zakon objašnjava odnos između upadnog i reflektiranog rentgenskog zračenja s ravnina unutar kristala. Smjer upadnog zračenja dolazi pod kutem  $\theta$  na ravninu, a od ravnine se reflektira tako da upadna i reflektirana zraka čine kut  $2\theta$ .

Izraz za Braggov zakon:

$$2d \sin(\theta) = n\lambda$$

gdje je;

$\theta$  - kristalografski kut između upadne zrake i ravnine uzorka

$2d \sin(\theta)$  - razlika u putu između zraka reflektiranih na susjednim ravninama

$n$  – cijeli broj

$\lambda \leq 2d$  - uvjet za valnu duljinu [25].

## 2.11. Termogravimetrijska analiza - TGA

Termogravimetrijska analiza zasniva se na praćenju promjene mase kao funkcije temperature ili u funkciji vremena pri konstantnoj temperaturi tako da postoje izotermna ili statička termogravimetrija gdje se promjena mase uzorka promatra pri konstantnoj temperaturi i kvazistatična termogravimetrija gdje se promjena mase uzorka promatra porastom temperature tijekom vremena dok se ne dostigne konstantna masa ostatka [26].

TGA instrumenti sastoje se od:

- osjetljive analitičke vage

- peći
- posudice za uzorak
- sustava za kontrolu atmosfere oko uzorka
- uređaja za kontrolu i mjerenje temperature
- računala koje se koristi za automatsko snimanje promjena mase i temperature.

## **2.12. Razlikovna pretražna kalorimetrija – DSC**

Razlikovna pretražna kalorimetrija - DSC je metoda koja omogućava mjerenje protoka topline. Princip rada joj je takav da uspoređuje ispitivani uzorak s inertnim referentnim uzorkom koji ne smije prolaziti kroz fazne promjene u mjerenom temperaturnom području. Tijekom procesa dolazi do uspoređivanja temperature uzorka i temperature inertnog referentnog uzorka tijekom zadane promjene temperature. Temperature će biti jednake sve dok ne dođe do nekog termalnog procesa (topljenje, razlaganje ili promjena kristalne strukture). U tom trenutku, ako dođe do snižavanja temperature uzorka u odnosu na referentnu temperaturu, proces je endoterman, a ako dođe do povišenja temperature u odnosu na referentnu temperaturu, proces je egzoterman.

## 3. Eksperimentalni dio

### 3.1. Materijali

Prilikom izvođenja eksperimentalnog dijela korišteni su sljedeći materijali:

- Hidrofilno modificirani silikoni
  - Elkay Chemicals, Pune, Indija
    - LK-Ag-Platinum
    - LK-7300
  - Dow Corning Corporation, Michigan, SAD
    - Xiameter OFX-5330 (A)
    - Xiameter OFX-5330 (B)<sup>4</sup>
    - Xiameter OFX-0190
    - Xiameter OFX-0193
- Nanočestice
  - TiO<sub>2</sub>
    - Anatas, proizvođač nepoznat (uzorak iz Saponie)
    - Huntsman Corporation, SAD – RFC5 TiO<sub>2</sub>
    - EPRUI Nanoparticles, Nanjing, Kina – TiO<sub>2</sub> nanočestice
  - ZnO
    - EPRUI Nanoparticles, Nanjing, Kina – ZnO nanočestice
- Otapala (DMSO, etanol, heksan) p.a.  $\epsilon^5$  (DMSO) = 47,  $\epsilon$  (etanol) = 25,  $\epsilon$  (heksan)=2,0

---

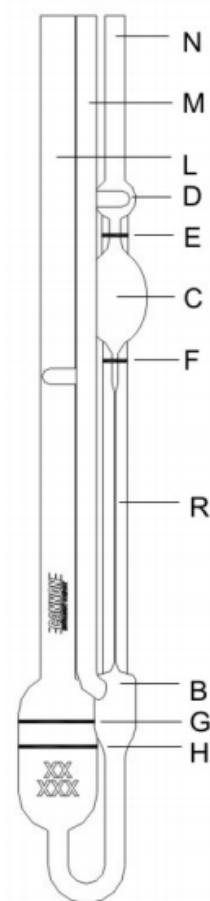
<sup>4</sup> (A) označava silikon OFX-5330 iz godine 2015., a (B) označava silikon OFX-5330 iz godine 2014. S obzirom kako se uzorci OFX-5330 (A) i OFX-5330 (B) razlikuju samo u godini proizvodnje, tijekom početnih mjerenja korištena su oba silikona da bi se utvrdilo postoji li razlika, no kada se ustanovilo da ne postoji, za daljnja mjerenja korišten je silikon OFX-5330 (A).

<sup>5</sup> Dielektrična konstanta ili permitivnost ( $\epsilon$ ) jest mjera sposobnosti tvari da smanji elektrostatske sile između dva nabijena tijela.

## 3.2. Metode i uvjeti mjerenja

### 3.2.1. Određivanje viskoznosti

Mjerena je viskoznost uz pomoć Ubbelohdeovog viskozimetra. Za mjerenja su korištena dva viskozimetra: 50103 i 50113. Razlika između ta dva viskozimetra je u promjeru kapilare. Ubbelohdeov viskozimetar 50103 ima manji promjer kapilare i korišten je samo za mjerenja otopine uzoraka silikona u heksanu. Za mjerenja otopine uzoraka silikona u etanolu i DMSO, korišten je viskozimetar 50113. Mjerenja su izvođena pri temperaturi od 22 °C. Viskozimetar je napunjen ulijevanjem otopine kroz cijev L u donji rezervoar tako da se otopina nalazi između oznaka G i H (Slika 20.).



Slika 20. Princip rada Ubbelohdeovog viskozimetra

Viskozimetar je pričvršćen na stalak. Stavljjen je prst na otvor cijevi M i pomoću propipete koja je stavljena na cijev N "usisana" je otopina u cijev N dok otopina nije ispunila polovinu balona D (između oznaka). Uklonjena je propipeta s cijevi N, uklonjen je prst s cijevi M i razina otopine spustila se do balona B. Započeto je mjerenje vremena istjecanja otopine. Da bi

mjerenje bilo relevantno, tekućina je nesmetano tekla kroz oznaku E. Vrijeme istjecanja mjereno je zapornim satom od trenutka kada je otopina tekla od oznake E do oznake F. Prije svakog mjerenja, viskozimetar je ispiran 2-3 puta usisavanjem ispitivane tekućine. Nakon mjerenja svakog uzorka, viskozimetar je ispiran vodom, etanolom i acetonom. Povremeno je viskozimetar ispiran i kromnom kiselinom.

Obavljeno je 10 mjerenja za svaki uzorak pri čemu je važno da ne bude većih odstupanja u vremenima. Za svako mjerenje izračunata je srednja vrijednost i standardna devijacija.

### **3.2.2. Određivanje parametara akustičke spektroskopije**

Određena je veličina čestica pripremljenog uzorka silikona te pripremljenog uzorka silikona sa spomenutim nanočesticama  $\text{TiO}_2$  i  $\text{ZnO}$  pomoću akustičkog spektroskopa, DT-1200, Dispersion Technology na Odjelu za kemiju u Osijeku. DT-1200 je akustički i elektroakustički spektrometar koji karakterizira veličine čestica i zeta - potencijal koncentriranih suspenzija. Mjerna komora DT-1200 sadrži i akustičke i elektroakustičke senzore. Kao rezultat toga, ovaj instrument je sposoban za mjerenje atenuacijskih spektara (za određivanje veličine čestica) i koloidne vibracije (za određivanje zeta - potencijala) istovremeno. Za određivanje veličine čestica potrebno je u operativni program spektrometra unijeti mase uzorka (vidi 3.4. Priprema suspenzija). Smjesa je prenesena u komoru instrumenta. Nakon određivanja veličine čestica, aparat je očišćen i spreman za novu suspenziju.

### **3.2.3. Uvjeti mjerenja elektronske mikroskopije**

Morfologija nanočestica titanijevog dioksida i cinkovog oksida ispitivana je pomoću pretražnog elektronskog mikroskopa (SEM), JEOL JSM 7000F, radni napon 10,0 kV na Institutu Ruđera Boškovića u Zagrebu. Uzorci nisu bili neparivani niti grafitom niti zlatom.

### **3.2.4. Uvjeti mjerenja rentgenske difrakcije**

Pomoću rentgenskog difraktometra praha, Philips PW1830 ispitan je fazni sastav i kristaliničnost nanočestica  $\text{TiO}_2$  i  $\text{ZnO}$  na Prirodoslovno - matematičkom fakultetu u Zagrebu, Kemijski odsjek.



### **3.2.5. Ispitivanje termičkih svojstava i faznih transformacija otopina uzoraka silikona s nanočesticama**

Ispitivana su termička svojstva i fazne transformacije otopine uzoraka silikona s nanočesticama termičkom analizom pomoću TGA/DSC System 1, Mettler Toledo na Odjelu za kemiju u Osijeku. Uzorci su ispitivani u atmosferi kisika i dušika, uz brzinu protoka plina 200 mL/min, s korakom snimanja 10 °C/min u temperaturnom području od 50 °C do 1100 °C.

## **3.3. Priprema otopina za određivanje viskoznosti**

### **3.3.1. Priprema otopine LK-Ag Platinum**

#### OTOPINA 1 (10 % otopina)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g silikona LK-Ag Platinum i 18 g otapala<sup>6</sup> te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 2 (5 % otopina)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 1 g silikona LK-Ag Platinum i 19 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 3 (2,5 % otopina)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 0,5 g silikona LK-Ag Platinum i 19,5 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 4 (1 % otopina)

Otopina je pripremljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 1 (10 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

---

<sup>6</sup>Korištena su tri otapala: DMSO, etanol i heksan. Sa sva tri navedena otapala način pripreme otopina je jednak.

#### OTOPINA 5 (0,5 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 2 (5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 6 (0,25 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 3 (2,5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 7 (0,1 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 4 (1 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

### **3.3.2. Priprema otopine LK-7300**

#### OTOPINA 1 (10 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g silikona LK-7300 i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 2 (5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 1 g silikona LK-7300 i 19 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 3 (2,5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 0,5 g silikona LK-7300 i 19,5 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 4 (1 % otopina)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 1 (10 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 5 (0,5 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 2 (5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 6 (0,25 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 3 (2,5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 7 (0,1 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 4 (1 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

### **3.3.3. Priprema otopine OFX-0190**

#### OTOPINA 1 (10 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g silikona OFX-0190 i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 2 (5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 1 g silikona OFX-0190 i 19 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 3 (2,5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvagano je 0,5 g silikona OFX-0190 i 19,5 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 4 (1 % otopina)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 1 (10 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 5 (0,5 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 2 (5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 6 (0,25 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 3 (2,5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 7 (0,1 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 4 (1 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

### **3.3.4. Priprema otopine OFX-0193**

#### OTOPINA 1 (10 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g silikona OFX-0193 i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 2 (5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvavano je 1 g silikona OFX-0193 i 19 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 3 (2,5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvavano je 0,5 g silikona OFX-0193 i 19,5 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 4 (1 % otopina)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 1 (10 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 5 (0,5 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 2 (5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

#### OTOPINA 6 (0,25 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 3 (2,5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

OTOPINA 7 (0,1 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 4 (1 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

### **3.3.5. Priprema otopine OFX-5330**

OTOPINA 1 (10 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g silikona OFX-5330 i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

OTOPINA 2 (5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvavano je 1 g silikona OFX-5330 i 19 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

OTOPINA 3 (2,5 % otopina)

Otopina je pripravljena vaganjem. U čašu od 50 mL izvavano je 0,5 g silikona OFX-5330 i 19,5 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

OTOPINA 4 (1 % otopina)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 1 (10 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

OTOPINA 5 (0,5 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 2 (5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

OTOPINA 6 (0,25 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvavano je 2 g otopine 3 (2,5 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

OTOPINA 7 (0,1 %)

Otopina je pripravljena razrjeđivanjem. U čašu od 50 mL izvagano je 2 g otopine 4 (1 %) i 18 g otapala te je otopina stavljena na miješanje magnetskom miješalicom kroz 10 minuta.

### **3.4. Priprema suspenzija za akustička mjerenja**

Suspenzija titanijevog dioksida u etanolu pripravljena je vaganjem. U čaši od 200 mL izvagano je ~3 g TiO<sub>2</sub> i dodano je otapala (etanola) do ukupne mase od ~130 g te je stavljeno na magnetsku miješalicu da se miješa kroz 20 minuta. Na isti način pripravljena je suspenzija s heksanom.

Suspenzija cinkovog oksida u etanolu pripravljena je vaganjem. U čaši od 200 mL izvagano je ~3 g ZnO i dodano je etanola do ukupne mase od ~130 g te je stavljeno na magnetsku miješalicu da se miješa kroz 20 minuta. Na isti način pripravljena je suspenzija s heksanom.

#### **3.4.1. Priprema suspenzija sa silikonom LK-Ag Platinum**

##### **SUSPENZIJA 1 (50 %)**

U suspenziju pripravljenu dodatkom 3 g nanočestica<sup>7</sup> u otapalo<sup>8</sup>, doda se 4 mL 10 %-tne otopine silikona LK-Ag Platinum pripravljene vaganjem 1 g silikona LK-Ag Platinum u 9 g otapala te se suspenzija miješa kroz 10 minuta.

##### **SUSPENZIJA 2 (10 %)**

U suspenziju pripravljenu dodatkom 3 g nanočestica u otapalo, doda se 0,9 mL 10 %-tne otopine silikona LK-Ag Platinum pripravljene vaganjem 1 g silikona LK-Ag Platinum u 9 g otapala te se suspenzija miješa kroz 10 minuta

##### **SUSPENZIJA 3 (1 %)**

U suspenziju pripravljenu dodatkom 3 g nanočestica u otapalo, doda se 0,9 mL 1 %-tne otopine silikona LK-Ag Platinum pripravljene vaganjem 1 g 10 % LK-Ag Platinum u 9 g otapala te se suspenzija miješa na magnetskoj miješalici kroz 10 minuta.

---

<sup>7</sup>Suspenzije su pripravljene s nanočesticama titanijevog dioksida i cinkovog oksida

<sup>8</sup> Kao otapalo korišteni su etanol i heksan te su sve suspenzije pripravljene s oba otapala

#### SUSPENZIJA 4 (0,1 %)

U suspenziju pripremljenu dodatkom 3 g nanočestica u otapalo, doda se 1 mL 0,1 %-tne otopine silikona LK-Ag Platinum pripremljene vaganjem 1 g 1 % LK-Ag Platinum u 9 g otapala te se suspenzija miješa na magnetskoj miješalici kroz 10 minuta.

### **3.4.2. Priprema suspenzija sa silikonom LK-7300**

#### SUSPENZIJA 1 (50 %)

U suspenziju pripremljenu dodatkom 3 g nanočestica u otapalo, doda se 4 mL 10 %-tne otopine silikona LK-7300 pripremljene vaganjem 1 g silikona LK-7300 u 9 g otapala te se suspenzija miješa kroz 10 minuta.

#### SUSPENZIJA 2 (10 %)

U suspenziju pripremljenu dodatkom 3 g nanočestica u otapalo, doda se 0,9 mL 10 %-tne otopine silikona LK-7300 pripremljene vaganjem 1 g silikona LK-7300 u 9 g otapala te se suspenzija miješa kroz 10 minuta

#### SUSPENZIJA 3 (1 %)

U suspenziju pripremljenu dodatkom 3 g nanočestica u otapalo, doda se 0,9 mL 1 %-tne otopine silikona LK-7300 pripremljene vaganjem 1 g 10 % 7300 u 9 g otapala te se suspenzija miješa na magnetskoj miješalici kroz 10 minuta.

#### SUSPENZIJA 4 (0,1 %)

U suspenziju pripremljenu dodatkom 3 g nanočestica u otapalo, doda se 1 mL 0,1%-tne otopine silikona LK-7300 pripremljene vaganjem 1 g 1 % LK-7300 u 9 g otapala te se suspenzija miješa na magnetskoj miješalici kroz 10 minuta.

## **3.5. Priprema uzorka za elektronsku mikroskopiju**

Uzorak koji se želi snimiti potrebno je usitniti na što sitnije kristaliće i homogenizirati. Zatim se uzorak stavi na nosač uzorka te se pomoću preše utisne u nosač. Nakon namještanja snage rentgenske cijevi i izbora optičkih elemenata, snimanje je započeto.

### **3.6. Priprema uzorka za TGA / DSC**

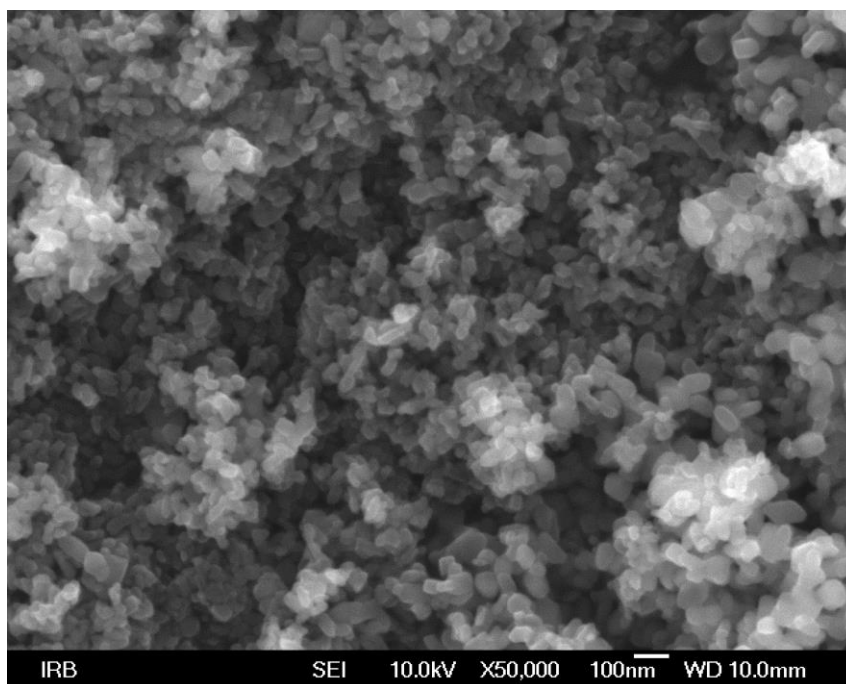
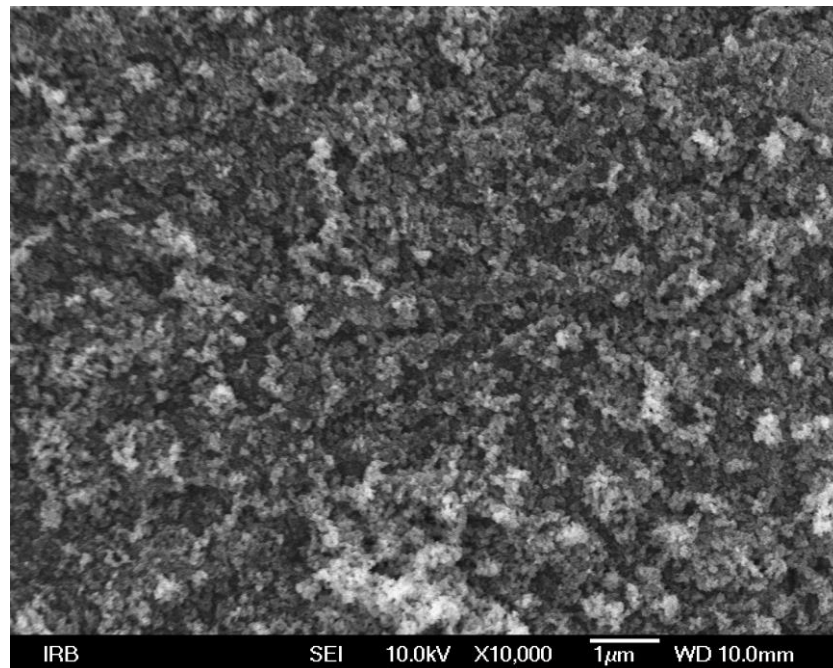
Priredene su otopine silikona (LK-Ag Platinum i LK-7300) u sljedećim koncentracijama: 0,1 % i 1 %. Izvavano je 2 g nanočestica ZnO i TiO<sub>2</sub> te je dodano u priređenu otopinu silikona. Priređena suspenzija je 20 min miješana na magnetskoj miješalici, a potom centrifugirana 10 min na 3000 okretaja/min. Nakon centrifugiranja, matičnica je dekantirana te je talogu dodano 20 mL etanola i promiješano je na vortex miješalici. Matičnica je ponovo dekantirana, talog je osušen te je uzorak spreman za TGA. Uzorak koji je prethodno usitnjen pomoću špatule i lijevka usipa se u izvaganu aluminijsku posudicu (količine uzorka su vrlo male, ~20-50 mg). Zatim se uzorak u posudici utisne pomoću posebnog malog tučka. Ponovno se izvaže posudicu s uzorkom kako bi se iz razlike masa posudice s uzorkom i prazne posudice mogla izračunati masa uzorka koju je potrebno unijeti u računalo prije početka snimanja. Posudicu se stavi u TGA/DSC uređaj i uzorak je spreman za analizu.





## 4. Rezultati i rasprava

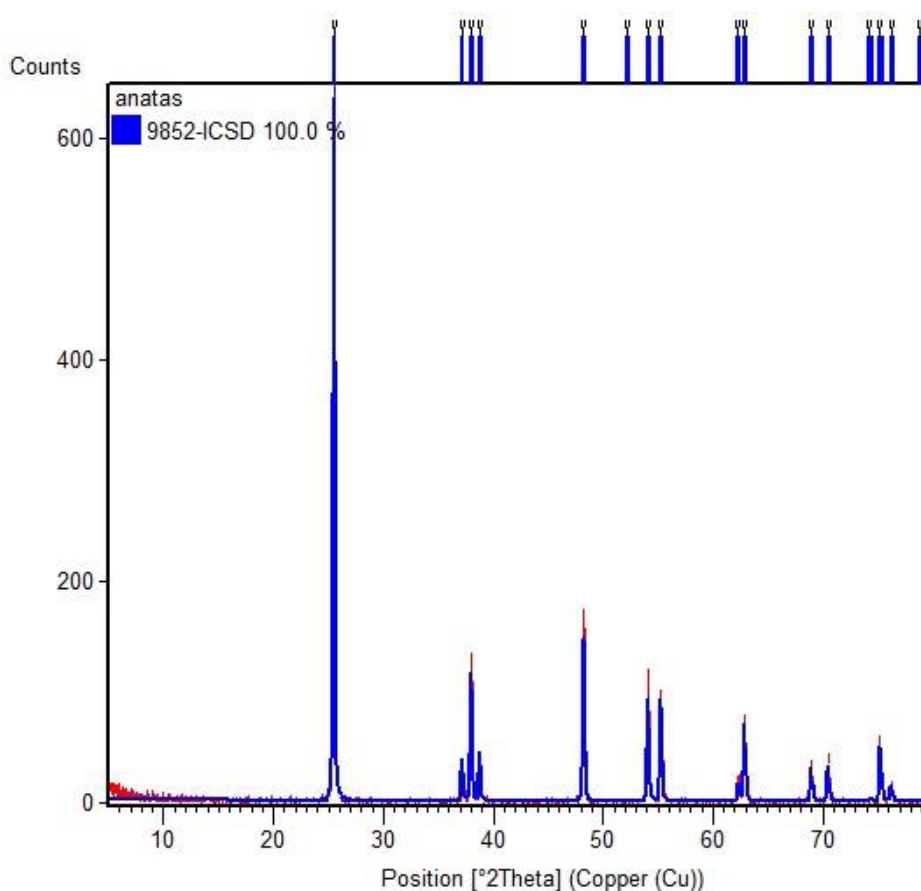
### 4.1. Elektronska mikrofotografija nanočestica $\text{TiO}_2$



Slika 21. Elektronske mikrofotografije nanočestica  $\text{TiO}_2$  pri različitim povećanjima (10000x, 50000x)

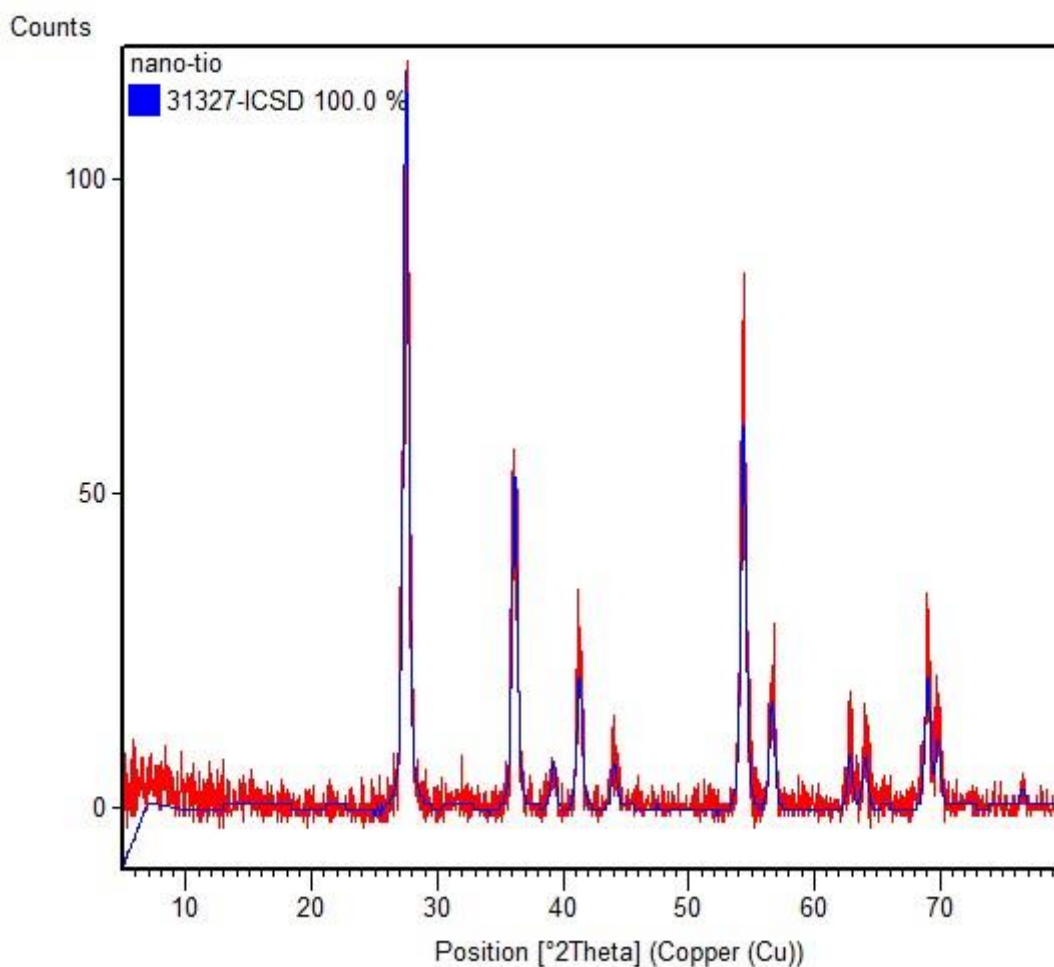
Slika 21. prikazuje elektronsku mikrofotografiju nanočestica  $\text{TiO}_2$  snimljenu na SEM-u uz povećanje od 10000 puta i 50000 puta. Uočena je približna veličina čestica koja odgovara podacima proizvođača (24 nm). Apsolutna veličina čestica ovisi o metodi mjerenja. Prema tome, izmjereni rezultati SEM-om ne mogu biti istovjetni rezultatima dobivenim od proizvođača (EPRUI).

## 4.2. Rentgenski difraktogram anatas



Slika 22. Rentgenogram uzorka anatas (Saponia), crveno označava mjereni anatas, plavo anatas iz baze podataka (1972)

Slika 22. prikazuje usporedbu rentgenograma praha uzorka anatas (Saponia) s podacima za anatas iz ICSD baze podataka. Vidljivo je da se maksimumi podudaraju kako u položajima ( $^{\circ}2\Theta$ ) tako i po intenzitetima te se može zaključiti da uzorak sadrži gotovu čistu fazu - anatas  $\text{TiO}_2$ .

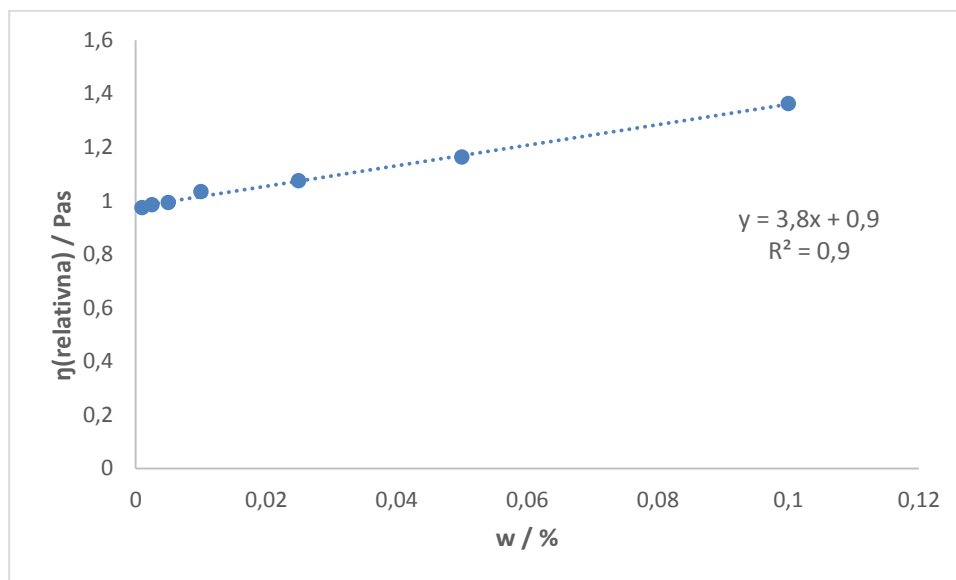


*Slika 23. Rentgenogram uzorka nanočestica TiO<sub>2</sub>, nanočestice TiO<sub>2</sub> označene crveno, nanočestice rutila označene plavo*

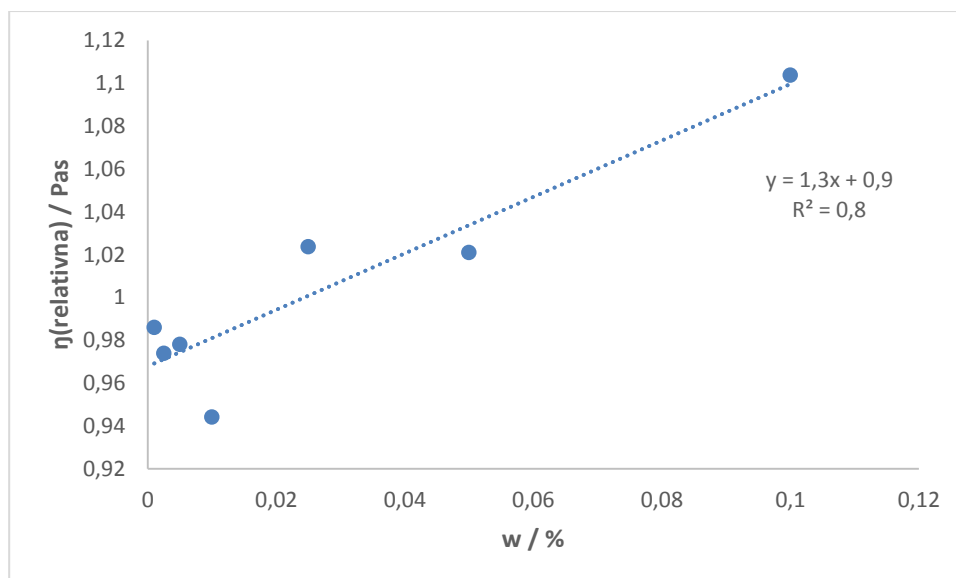
Slika 23. prikazuje usporedbu rentgenograma praha uzorka nanočestica TiO<sub>2</sub> EPRUI s rentgenogramom rutila iz baze podataka (ICSD 31327). Može se uočiti da se intenziteti (refleksi) uzorka i standarda poklapaju i po kutu i po intenzitetu što ukazuje na prisutnost samo jedne faze - rutila TiO<sub>2</sub>. Vidljivo je da je osnovno zračenje uzorka (background) mnogo izraženije za uzorak nanočestica što je i posredni dokaz o vrlo maloj veličini tih čestica.

### 4.3. Grafički prikazi ovisnosti relativne viskoznosti o masenom udjelu

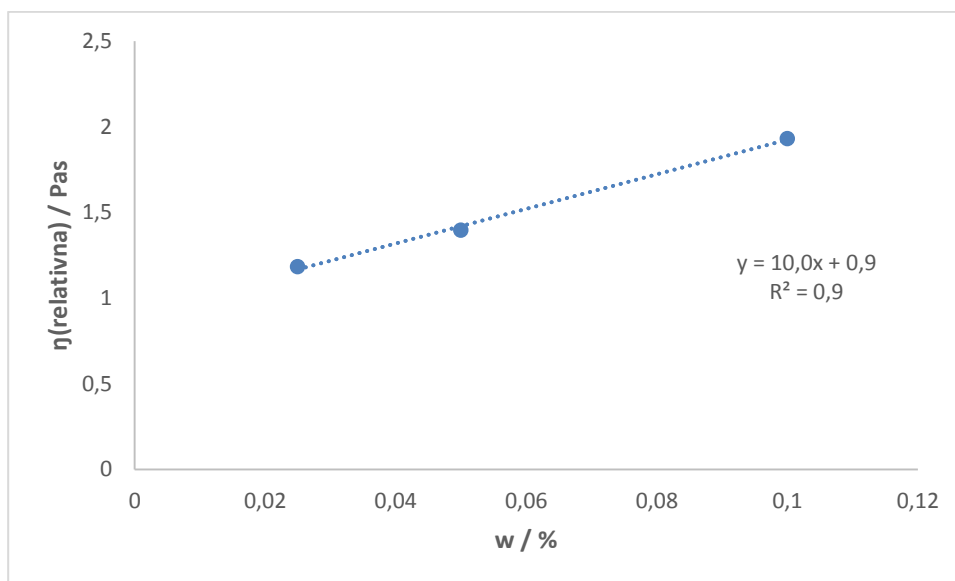
#### 4.3.1. Silikoni u otapalu etanolu, heksanu i DMSO



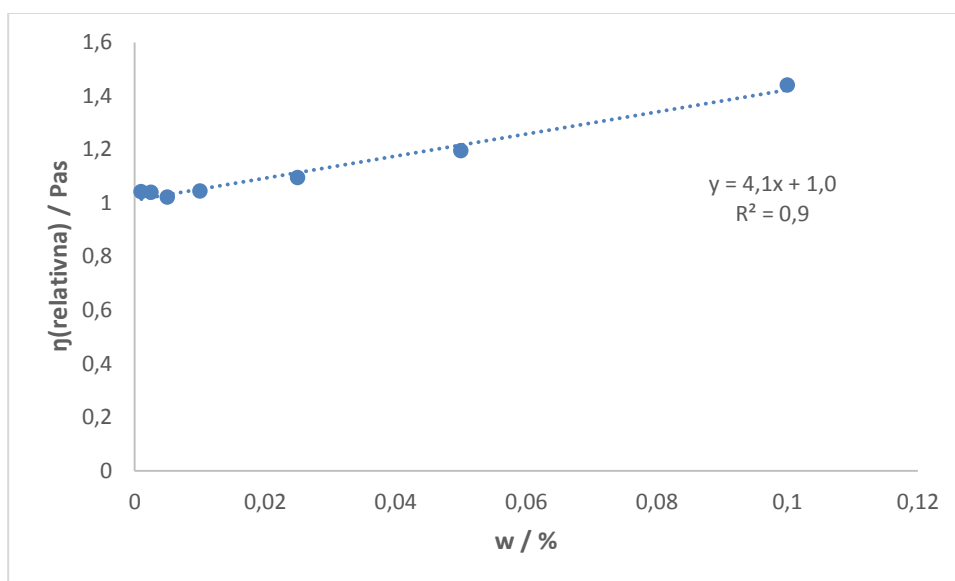
Slika 24. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona LK-7300 u etanolu o masenom udjelu



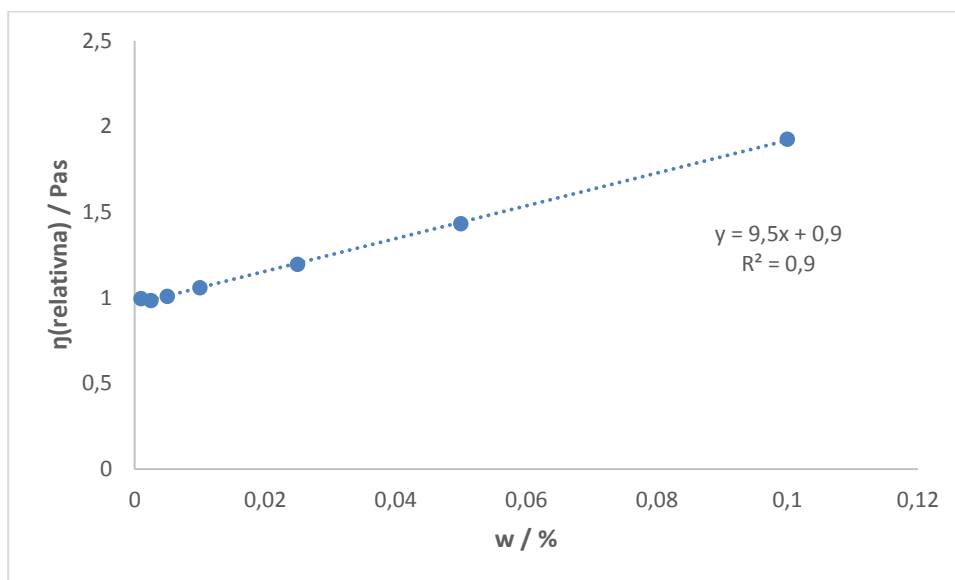
Slika 25. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona LK-Ag Platinum u etanolu o masenom udjelu



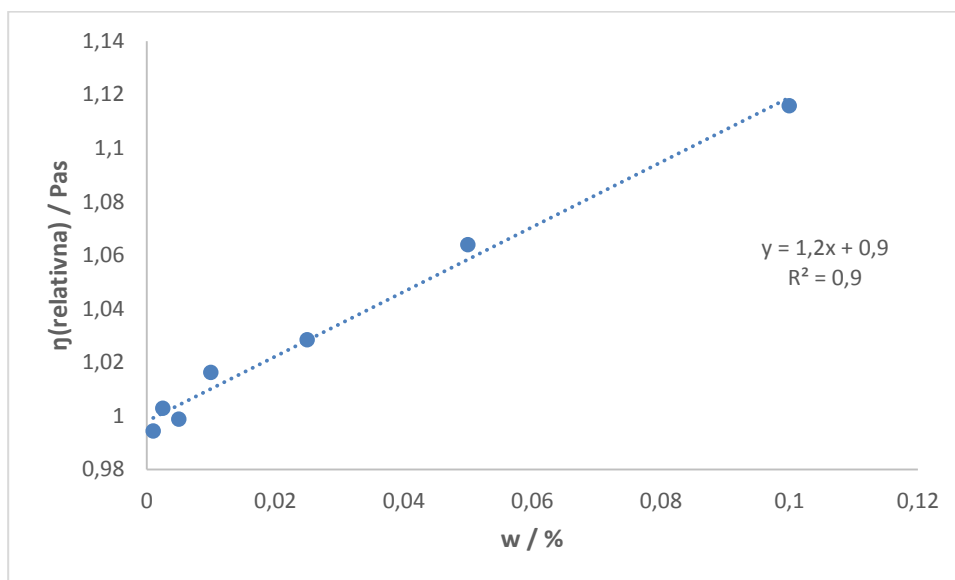
Slika 26. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-0190 u etanolu o masenom udjelu



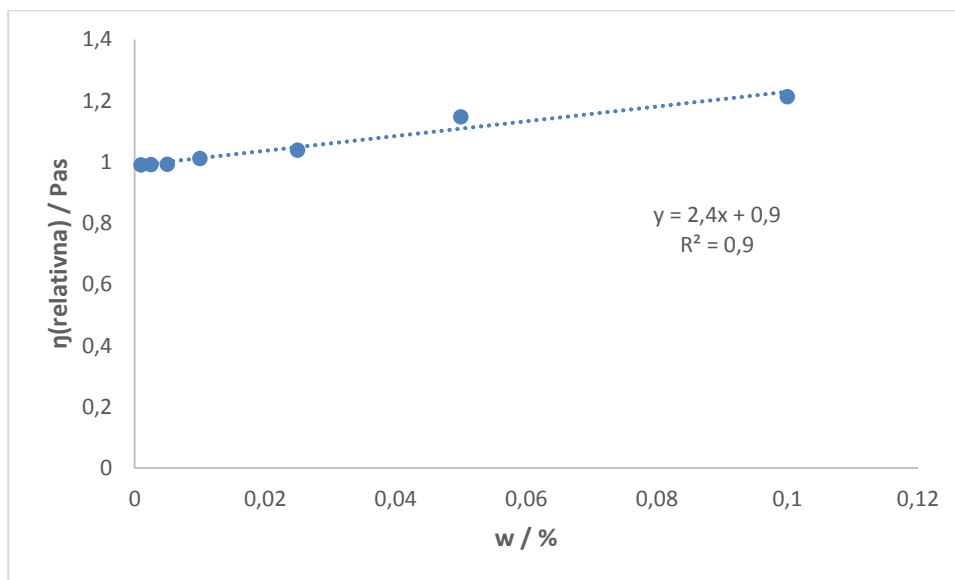
Slika 27. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-0193 u etanolu o masenom udjelu



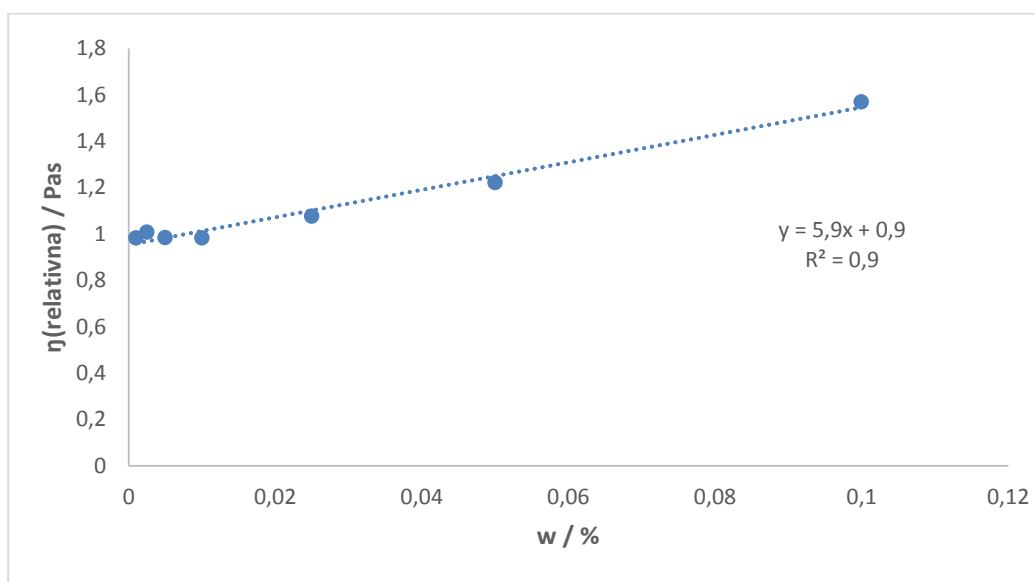
Slika 28. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-5330 u etanolu o masenom udjelu



Slika 29. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-5330(A) u heksanu o masenom udjelu

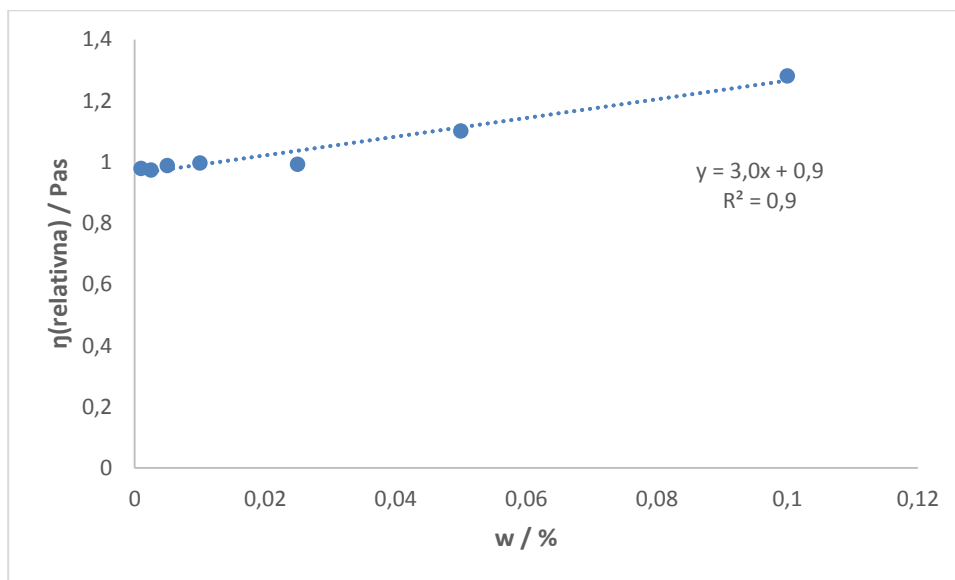


Slika 30. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-5330(B) u heksanu o masenom udjelu

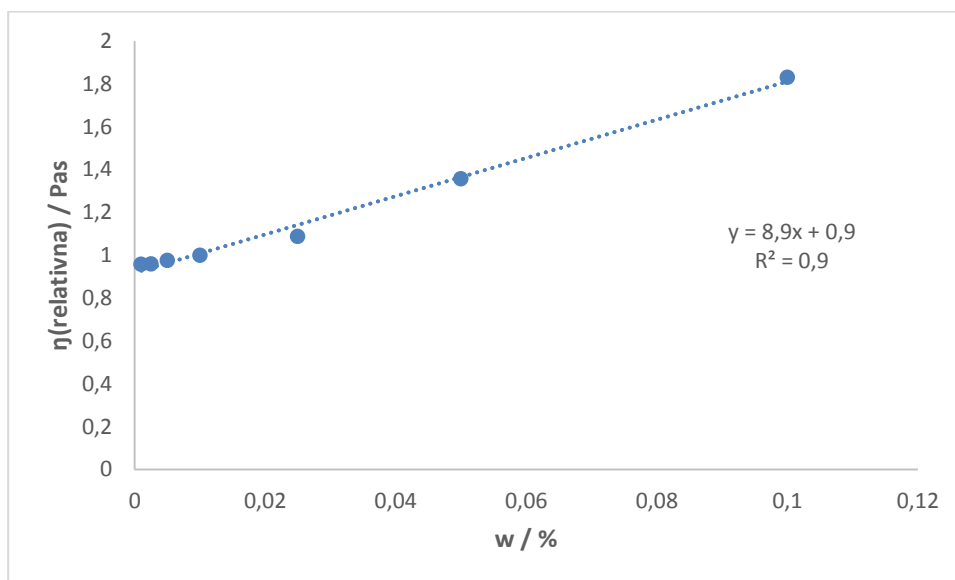


Slika 31. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona LK-7300 u DMSO o masenom udjelu

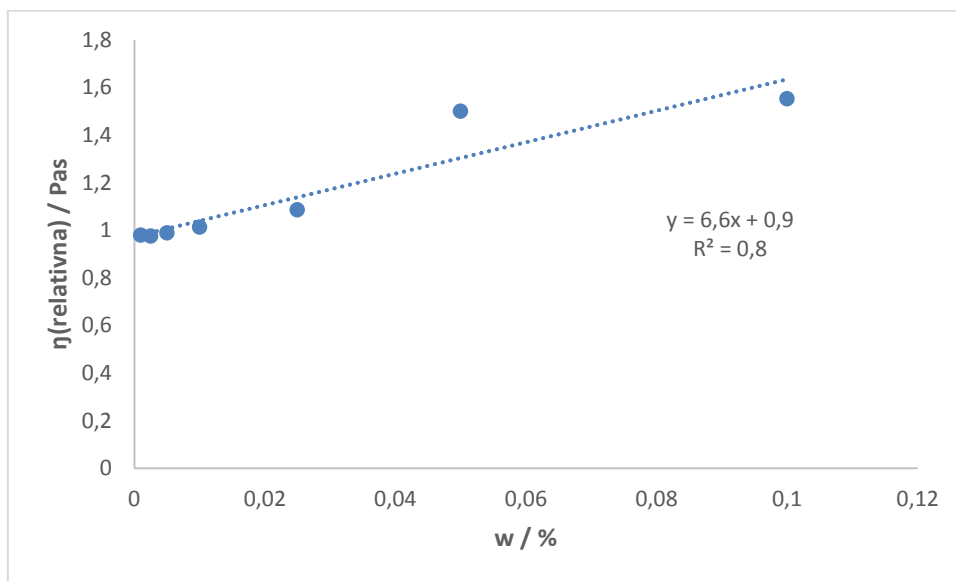




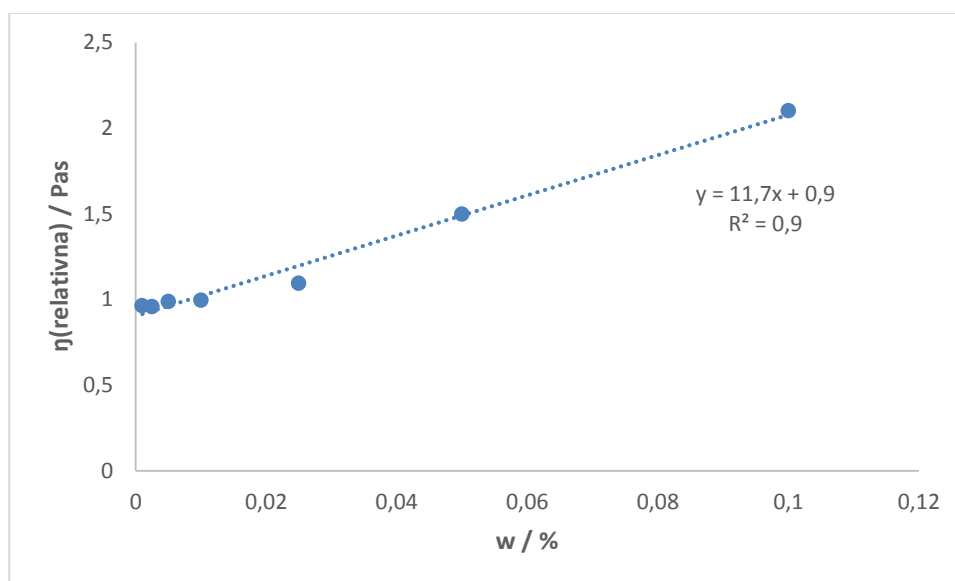
Slika 32. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona LK-Ag Platinum u DMSO o masenom udjelu



Slika 33. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-0190 u DMSO o masenom udjelu



Slika 34. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-0193 u DMSO o masenom udjelu



Slika 35. Prikaz ovisnosti relativne viskoznosti silikona OFX-5330(A) u DMSO o masenom udjelu

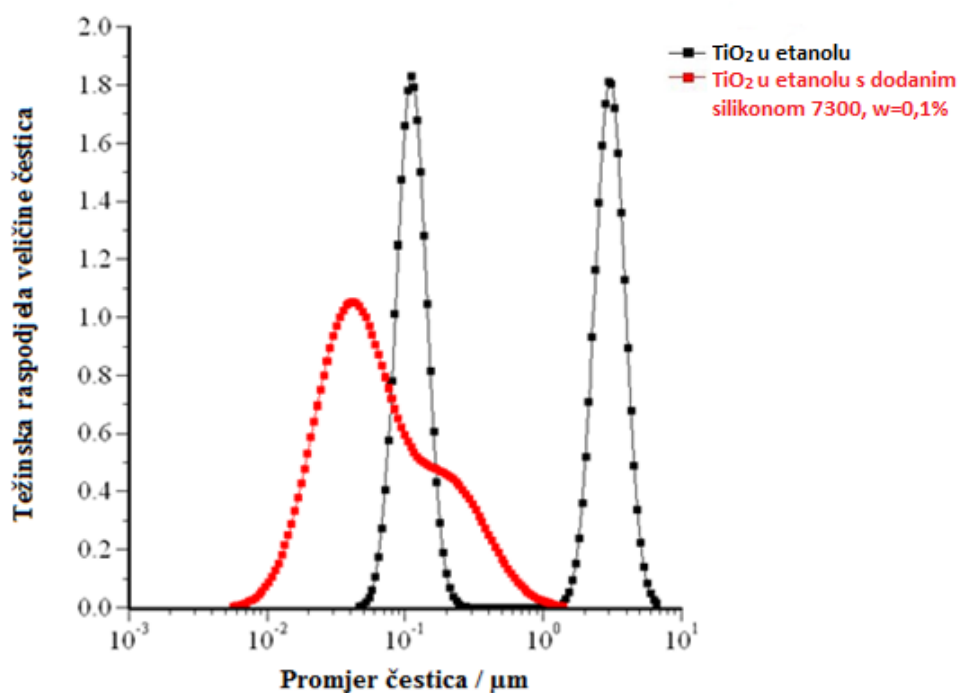
Na grafičkim prikazima relativne viskoznosti silikona u tri različita otapala (vidi od Slike 24. do Slike 35.) može se uočiti da se povećanjem masenog udjela silikona u otopini linearno povećava i relativna viskoznost. To znači da se otopina silikona ponaša kao Newtonovska tekućina, odnosno smična brzina raste linearno s porastom smičnog napreznja. Usporede li se grafovi za viskoznost silikona LK-7300 u etanolu i DMSO koji imaju različitu permitivnost ( $\epsilon$  (DMSO) = 47,  $\epsilon$  (etanol) = 25), može se uočiti kako je nagib pravca silikona LK-7300 u DMSO veći nego u etanolu, odnosno kako raste polarnost (permitivnost) otapala, raste i viskoznost, veći je stupanj solvatacije i moguće su međumolekulske interakcije. Kada se prouče i preostali grafovi, može se uočiti kako to vrijedi i za ostale silikone (LK-Ag Platinum, OFX-0190, OFX-0193, OFX-5330).

Određivanje viskoznosti omogućava uočavanje eventualne razlike u međumolekularnoj građi silikona. Što je veća molarna masa nekog silikona i što mu je građa razgranatija, vrijednost viskoznosti bit će veća i obratno. Na temelju toga, ako se usporede grafički prikazi relativne viskoznosti silikona LK-Ag Platinum i LK-7300, može se uočiti kako LK-7300 ima veću molarnu masu koja proizlazi iz njegove građe koja nam je poznata. Ako se molekule silikona bolje slažu s otapalom, raste viskoznost, ali ako molekula „bježi od otapala“ u kojem se nalazi, tada nema međumolekulskih interakcija i viskoznost pada. To je slučaj za silikone LK-7300, OFX-0193 i OFX-5330. Za LK-Ag Platinum viskoznost je izrazito veća u vodi, stvaraju se vodikove veze i pojavljuju se jake međumolekulske sile dok je u etanolu i DMSO izrazito manja jer ne dolazi do stvaranja vodikovih veza.

Što je manje polarno organsko otapalo i međumolekulske sile su slabije, manja je solvatacija a tako i viskoznost. Silikon OFX-0190 ima najveću solvataciju u vodi, a približno je jednako solvatiziranje iste molekule u etanolu i DMSO jer je porast viskoznosti gotovo jednak. Usporede li se grafičke prikaze relativne viskoznosti triju silikona OFX-0190, OFX-0193 i OFX-5330 u otapalu etanolu, s obzirom kako silikon OFX-0190 ima najveći nagib pravca, možemo zaključiti kako ima najveću molarnu masu, nakon njega silikon OFX-5330 i onda OFX-0193. Mjerenja u heksanu nisu rađena jer je došlo do zamućenja odnosno taloženja (fazna separacija) što je za očekivati jer se radi o hidrofilno modificiranim silikonima.

#### 4.4. Prikazi raspodjele veličine nanočestica u suspenzijama

Slika 36. prikazuje usporedbu raspodjele veličine nanočestica u suspenziji titanijevog dioksida u etanolu s i bez dodanog silikona LK-7300 (0,1 %)

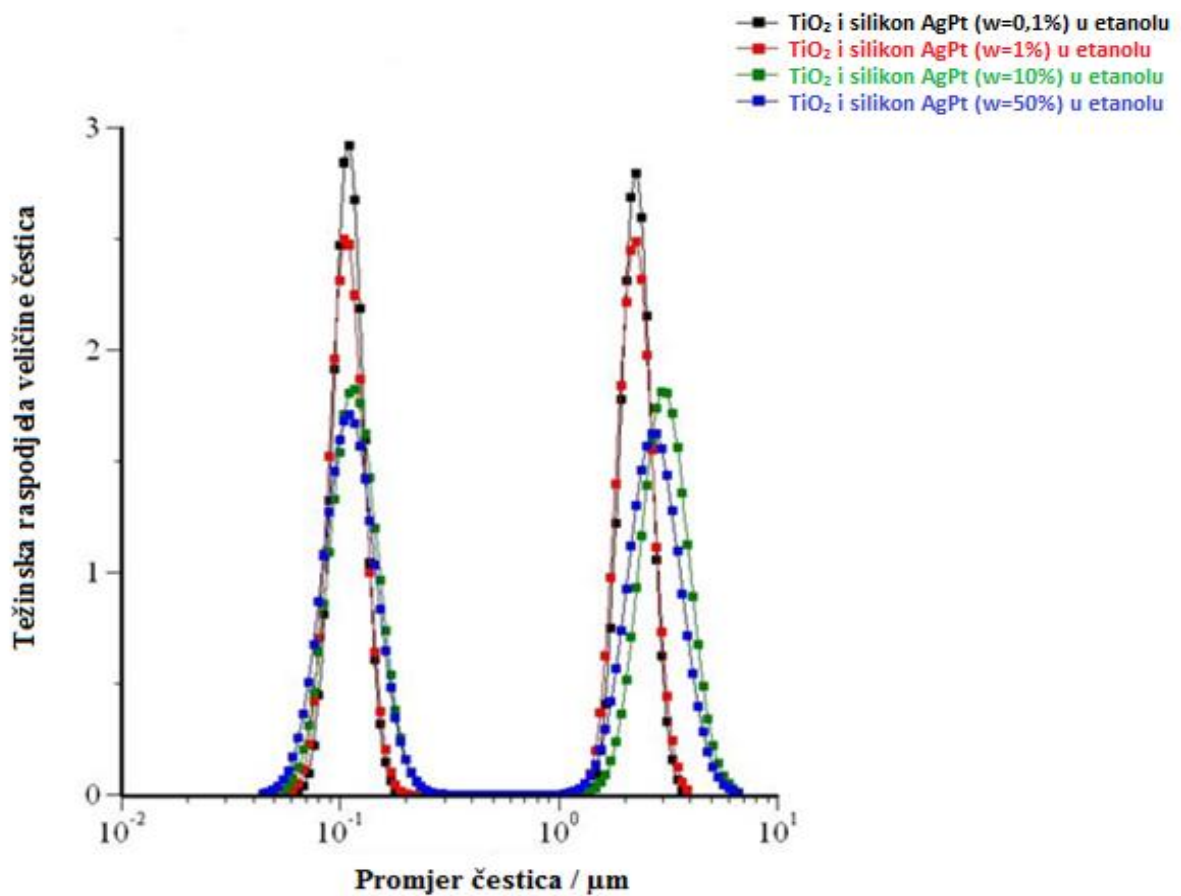


Slika 36. Prikaz raspodjele veličine čestica titanijevog dioksida s i bez silikona LK-7300 ( $w=0,1\%$ ) u etanolu

Kako je vidljivo iz prikaza, raspodjela veličine čestica u etanolnoj suspenziji je bimodalna prije dodavanja silikona LK-7300. Budući da je primarna veličina čestica dvadesetak nanometara (prema podacima proizvođača ali i zapažanjima pomoću SEM-a), očito je da u etanolu te čestice agregiraju i to u nešto manje (oko 100 nm) ali i znatno veće (oko 3  $\mu\text{m}$ ) agregate. Dodatkom silikona dolazi do pomaka distribucijske krivulje u lijevo što znači da dolazi do raspršenja čestica i čestice su manje. Maksimalna distribucijske krivulje odgovara veličini čestica koju navodi proizvođač i kakva je izmjerena elektronskom mikroskopijom: 20 - 30 nm. Može se uočiti i nešto agregata veličine od 100 nm - 200 nm, ali su oni značajno manjih veličina i ima ih manje nego u suspenziji bez dodanog silikona. Površina oksidnih čestica ( $\text{TiO}_2$ ) je jako hidrofilna, a budući da je etanol manje polaran od vode čestice se slabije raspršuju, odnosno dolazi do agregacije. Dodani silikon se adsorbira na površinu čestica najvjerojatnije svojim hidrofilnim dijelom - etilenoksidnim lancem. Takva adsorpcija djeluje

tada na dva načina: površina čestica postaje manje hidrofilna te se povećava solvatacija u etanolu i čestice se međusobno počinju odbijati (zbog sličnosti površine). Posljedica je značajno povećanje raspršenosti suspenzije (smanjenje broja i veličine agregata).

Slika 37. prikazuje usporedbu raspodjele veličine nanočestica u suspenzijama titanijevog dioksida u etanolu bez i s dodanim silikonom LK-Ag Platinum u različitim masenim udjelima (0,1 %, 1 %, 10 %, 50 %).

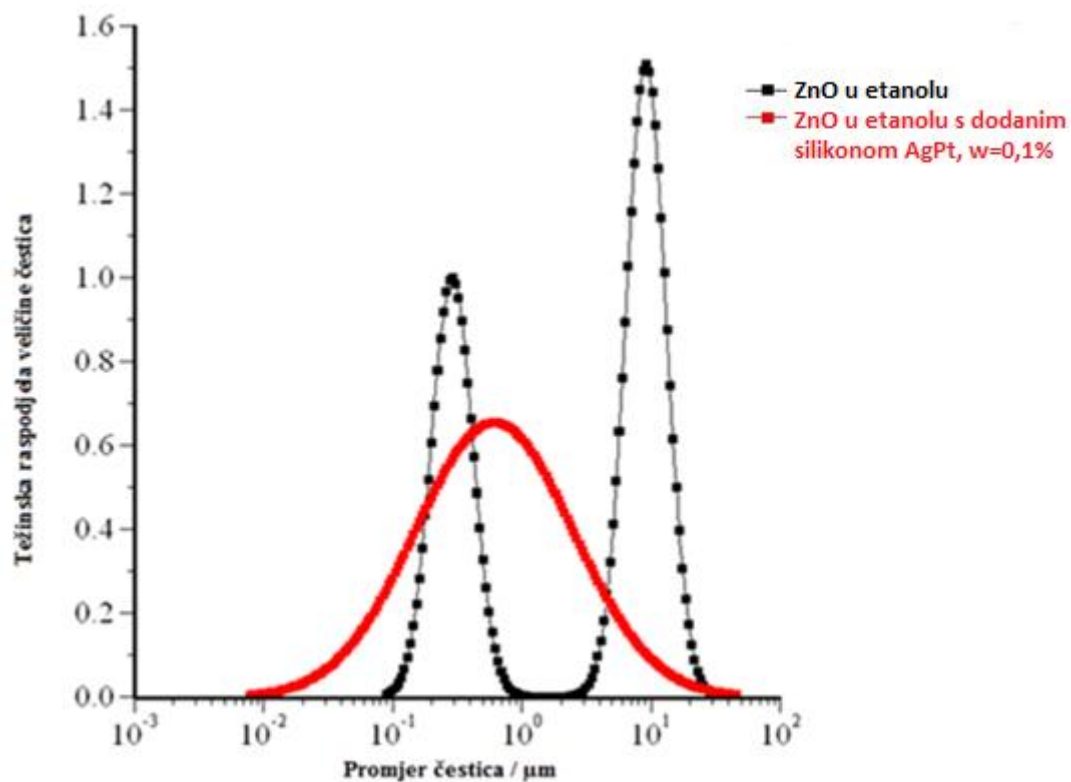


Slika 37. Prikaz raspodjele veličine čestica titanijevog dioksida s i bez dodanog silikona AgPt (w=0,1 %, 1 %, 10 %, 50 %) u etanolu

Kako je vidljivo iz grafičkog prikaza, u suspenziji bez dodanog silikona i kod svih masenih udjela silikona LK-Ag Platinum, raspodjela čestica je bimodalna s približno istim srednjim vrijednostima. Ovi rezultati ukazuju na značajne razlike između silikona LK-7300 i LK-Ag Platinum, iako bi prema podacima proizvođača oni trebali biti vrlo slični (usporedba Slika 36. i 37.). Već pri mjerenju viskoziteta ovih silikona, značajno veći nagib pravca ovisnosti relativne viskoznosti o koncentraciji ukazuje ili na manju molarnu masu, ili na značajnu

razliku u solvataciji molekula u etanolu (Slike 24. i 25.). Prema podacima dobivenim mjerenjem raspodjele veličine čestica suspenzija moguća su dva zaključka: ili se silikon LK-Ag Platinum uopće ne adsorbira na površini nanočestica ili njegova apsorpcija ne mijenja značajno karakteristike površine.

Slika 38. prikazuje raspodjelu veličine nanočestica u suspenziji cinkovog oksida s i bez silikona LK-Ag Platinum masenog udjela 0,1 % u etanolu.

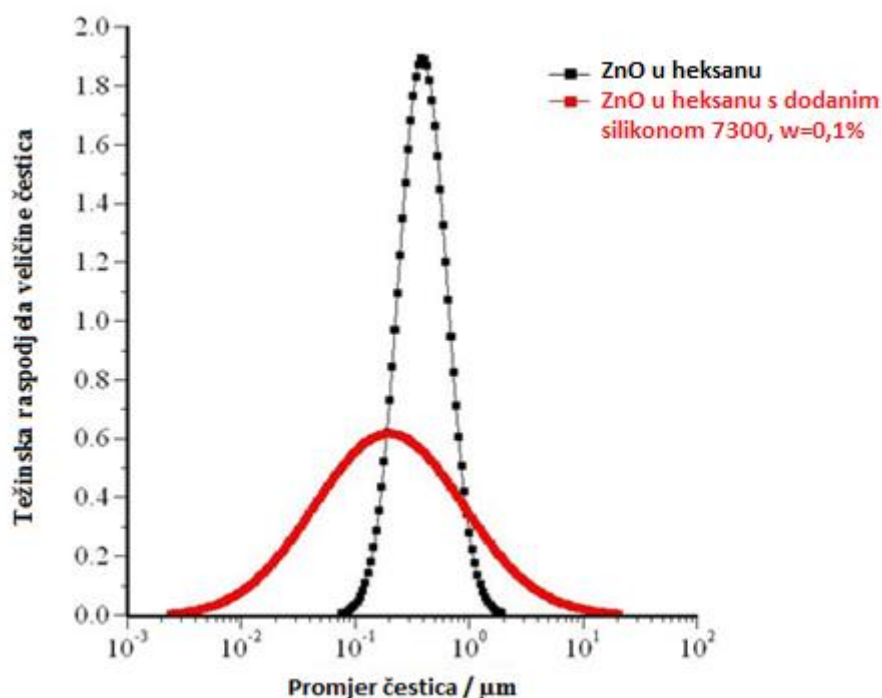


Slika 38. Prikaz raspodjele veličine čestica cinkovog oksida s i bez dodatnog silikona LK-Ag Platinum ( $w=0,1\%$ ) u etanolu

Kako je vidljivo iz grafičkog prikaza, raspodjela veličine čestica je bimodalna prije dodavanja silikona LK-Ag Platinum. Prisutni su i manji i veći agregati, ali bez primarnih nanočestica (prema podacima proizvođača - oko 30 nm). Dodavanjem silikona u suspenziju, raspodjela veličine čestica postaje unimodalna, ali i mnogo šira. Srednja veličina čestica (agregata) je oko 600 nm što je značajno niže od srednje veličine čestica veće frakcije prije dodavanja silikona, ali istovremeno i nešto veće nego srednja veličina čestica manje frakcije. Raspodjela veličine čestica obuhvaća i veličine od samo dvadesetak nanometara, tako da se može reći da suspenzija cinkovog oksida uz dodani silikon LK-Ag Platinum sadrži manji broj

primarnih čestica i veliki broj agregata vrlo širokog raspona veličina (više od dva reda veličine). Uočena značajna razlika u ponašanju suspenzija titanijevog i cinkovog oksida u etanolu uz dodavanje silikon LK-Ag Platinum ukazuje na značajne razlike u karakteristikama ova dva oksida odnosno u karakteristikama površine njihovih nanočestica.

Slika 39. prikazuje raspodjelu veličine nanočestica u suspenzijama cinkovog oksida s i bez silikona LK-7300 masenog udjela 0,1 % u heksanu.



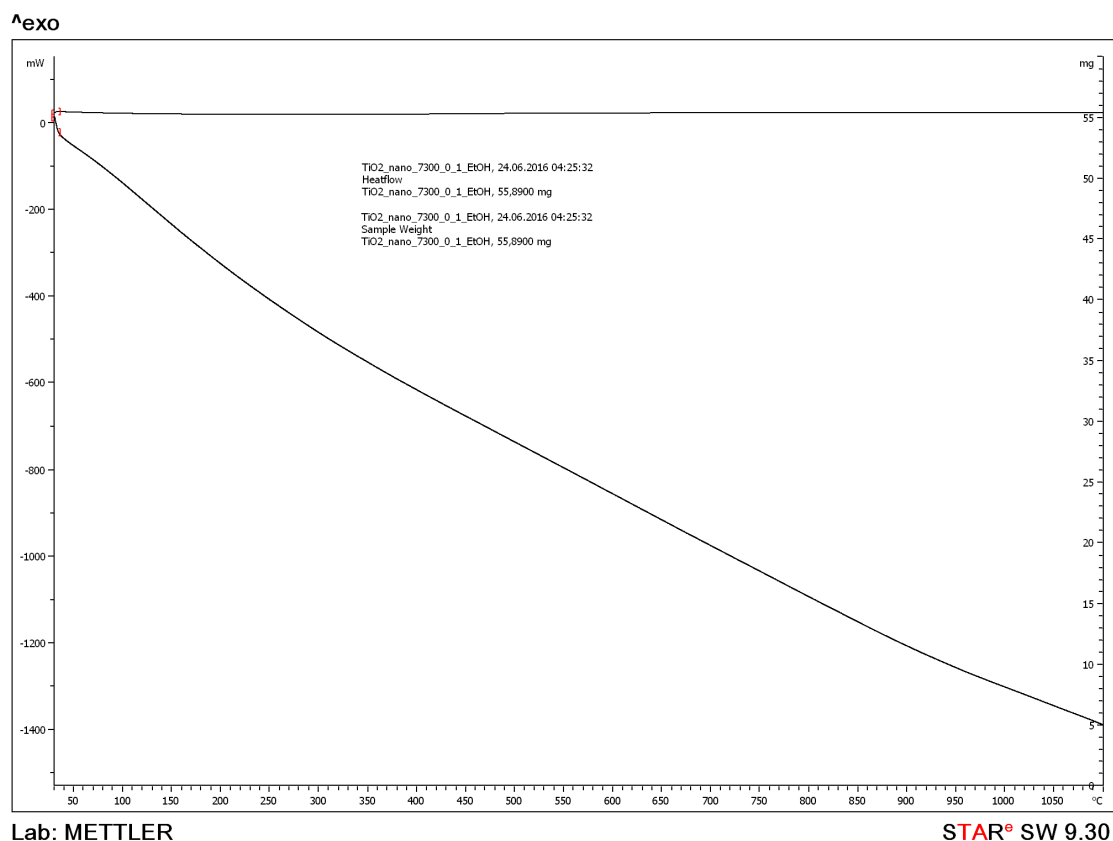
Slika 39. Prikaz raspodjele veličine čestica cinkovog oksida s i bez dodanog silikona LK-7300 ( $w=0,1\%$ ) u heksanu

Kako je vidljivo iz grafičkog prikaza, raspodjela veličine čestica ZnO u heksanu je unimodalna s prosječnom veličinom čestica od 389 nm dok se s dodanim silikonom LK-7300 prosječna veličina čestica smanjuje (200 nm) ali istovremeno se raspodjela veličine čestica značajno proširila.

Prilikom komentiranja ovih rezultata, treba napomenuti dva bitna momenta: hidrofilno modificirani silikoni se slabo miješaju (otapaju) u heksanu i oksidni prahovi koji su korišteni ( $\text{TiO}_2$  i ZnO) ne raspršuju se dobro u otapalu s vrlo malom permitivnošću te dolazi do agregacije i sedimentacije. Iako je efekt zamijećen (moglo je doći do sedimentacije silikona na površini čestica što bi donekle poboljšalo njihovu disperziju), teško je u ovom sustavu donijeti zaključke o egzaktnim uzrocima za taj i takav učinak.

## 4.5. Prikaz TGA krivulje nanočestica i silikona u otapalu

Na slici 40. prikazana je termogravimetrijska krivulja nanočestica cinkovog oksida i silikona LK-7300 masenog udjela 1 % u etanolu



Slika 40. Prikaz TGA krivulje čestica  $\text{TiO}_2$  i silikona 7300 ( $w=1\%$ ) u etanolu

Termogravimetrijska krivulja nanočestica cinkovog oksida i silikona LK-7300,  $w=1\%$  u etanolu ne pokazuje gubitak mase uzorka u cijelom rasponu temperatura od  $50\text{ }^\circ\text{C}$  do  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ . Iz ovih rezultata ne možemo potvrditi adsorpciju silikona na česticama u ovom sustavu.

Mjerenja akustičkom spektroskopijom su pokazala izražen utjecaj dodatka ovog silikona na suspenziju titanijevog oksida u etanolu što ukazuje kako rezultat termogravimetrije ne dokazuje da adsorpcija ne postoji već je moguće da je to fizikalna adsorpcija te da je prilikom pripreme uzorka došlo do uklanjanja molekula silikona s površine čestica.



## 5. Metodička obrada nastavne jedinice „Osnovna svojstva fluida“

Cilj ove nastavne jedinice je upoznati učenike s osnovnim svojstvima tekućina kao što je viskoznost. Za obradu ove nastavne jedinice predviđen je jedan školski sat, a detaljna razrada sata opisana je u pripremi. Prije sata potrebno je namjestiti učionicu a kada učenici dođu u razred potrebno ih je uputiti gdje stoje pribor i kemikalije koji su im potrebni za izvođenje pokusa s obzirom da će pokus izvoditi samostalno.

### 5.1. Priprema za nastavni sat

<b>SREDNJA ŠKOLA:</b> Gimnazija	<b>PREDMETNI PROFESOR / NASTAVNIK:</b> Jelena Brdarić
<b>PREDMET:</b> Kemija	<b>RAZRED:</b> 2. razred
<b>NASTAVNA CJELINA:</b> Fluidi	<b>NASTAVNA JEDINICA / TIP SATA:</b> Osnovna svojstva fluida / obrada novih sadržaja, grupni rad, ponavljanje
<b>KLJUČNI POJMOVI:</b> fluidi, viskoznost, međumolekulske sile, unutarnje trenje	<b>KORELACIJA:</b> Fizika <b>POTREBNO PREDZNAJJE:</b> Tvari i njihove promjene
<b>ISHODI UČENJA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Objasniti što su fluidi</li> <li>- Kroz primjer objasniti viskoznost i sile koje ju uzrokuju (na primjer voda – med)</li> <li>- Usvojiti razliku između Newtonovskih i ne-Newtonovskih tekućina</li> <li>- Navesti neke primjere ne-Newtonovskih tekućina</li> <li>- Objasniti zašto se viskoznost mijenja s promjenom temperature</li> <li>- Objasniti kako se viskoznost mijenja kod plinova, a kako kod tekućina</li> </ul>	<b>PITANJA ZA PROVJERU ISHODA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Što su fluidi</li> <li>- Što je viskoznost?</li> <li>- Znati razliku između Newtonovskih i ne-Newtonovskih fluida</li> <li>- Zašto je med viskozniji od vode?</li> <li>- Uočiti kako se mijenja viskoznost s promjenom temperature kod tekućina, a kako kod plinova</li> </ul>

AKTIVNOSTI UČITELJA:	AKTIVNOSTI UČENIKA:
<p><b>UVOD</b> (10 minuta)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ponoviti vrste kemijskih veza</li> <li>- prisjetiti se što su međumolekulske veze</li> <li>- agregacijska stanja tvari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sudjelovanje i odgovaranje na postavljena pitanja</li> </ul>
<p><b>GLAVNI DIO</b> (25 minuta)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- objasniti što su fluidi</li> <li>- upoznati ih kako postoje Newtonovski i ne-Newtonovski fluidi</li> <li>- objasniti što je viskoznost i koje sile uzrokuju unutarnje trenje</li> <li>- objasniti o čemu sve ovisi viskoznost</li> <li>- objasniti što uzrokuje viskoznost kod tekućina, a što kod plinova</li> <li>- ukazati na to kako je škrob polisaharid, a da su polisaharidi makromolekule, odnosno spojevi velike molekulske mase</li> <li>- na temelju pokusa objasniti razliku između Newtonovskih i ne-Newtonovskih tekućina te im navesti primjer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prepisivanje s ploče</li> <li>- praćenje nastavnika</li> <li>- postavljanje pitanja ukoliko je nešto nejasno</li> <li>- povezivanje nastavne jedinice sa prethodno usvojenim gradivom</li> <li>- prikupljanje pribora i kemikalija potrebnih za izvođenje pokusa</li> <li>- praćenje nastavnikovih uputa</li> <li>- odgovaranje na pitanja koje nastavnik postavlja tijekom izvođenja pokusa</li> <li>- donošenje vlastitih zaključaka</li> </ul>
<p><b>ZAVRŠNI DIO</b> (10 minuta)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- obrađeno gradivo usmeno ponoviti s učenicima</li> <li>- radni listić riješiti za domaću zadaću i donijeti na pregled</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- učenici sudjeluju u ponavljanju</li> </ul>

<p><b>NASTAVNA SREDSTVA I POMAGALA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ploča</li> <li>- Kreda</li> <li>- Projektor</li> <li>- Računalo</li> <li>- Knjiga</li> <li>- Radni listići</li> </ul>	<p><b>METODE I OBLICI RADA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frontalni rad</li> <li>- Grupni rad</li> <li>- Usmeno izlaganje</li> </ul>
<p><b>MATERIJALI ZA PRIPREMU UČITELJA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Internet</li> <li>• Dunja Hus, Mira Herak: Opća kemija 2: udžbenik za II. Razred gimnazije, Školska knjiga, 2003., Zagreb</li> </ul>	

## PLAN PLOČE

### Ne-Newtonovski fluidi

Fluidi –tekuća ili plinovita tvar koja poprima oblik posude u kojoj se nalazi

Viskoznost – unutarnje svojstvo fluida, mjeri se viskozimetrom

Kod tekućina, uzrok sila viskoznosti – međumolekulske sile

Kod plinova, uzrok difuzija molekula među slojevima

Privlačne sile među česticama u fluidu slabije od sila među česticama čvrste tvari, ali još uvijek dovoljno velike da izazovu viskoznost

Newtonovska tekućina- viskoznost konstantna s promjenom sile kojom djelujemo na njih

Ne-Newtonovska tekućina- viskoznost se mijenja s promjenom sile koji se vrši nad tekućinom

POKUS: Škrob - Newtonovska ili ne-Newtonovska tekućina?

Opažanja:

Objašnjenje:

Zaključak:

## 5.2. Pokus: Škrob - Newtonovska ili ne-Newtonovska tekućina?

Drugi razred gimnazije

*Nastavnik:* Jelena Brdarić

*Nadnevak:* \_\_\_\_\_

### POKUS 1:

**Pribor i kemikalije:** posuda za miješanje, štapić za miješanje, čaša za vodu, kukuruzni škrob, voda

**Postupak:** u posudu za miješanje uspite 1/4 kutije kukuruznog škroba i polako dodajte oko 1/2 šalice vode i promiješajte. Nastavite dodavati kukuruzni škrob i vodu u malim količinama dok ne dobijete smjesu koja ima konzistenciju meda. Prelijte smjesu u drugu posudu. Miješajte smjesu prvo sporo pa onda brzo. Uronite svoju šaku u posudu sa smjesom te pokušajte uhvatiti fluid i izvući ga van. Opišite opažanja i objašnjenje. Primijenite naučeno gradivo i donesite zaključak.

### Opažanja:

---

---

### Objašnjenje:

---

---

### Zaključak:

---

---

**Radni listić**  
**2. razred gimnazije**

**Ime i prezime učenika:** \_\_\_\_\_

**Nadnevak:** \_\_\_\_\_

1. Na koji način se mjeri viskoznost tekućine?

---

---

2. Šećerni je sirup mnogo viskozniji od maslinovog ulja. Sirup se otapa u vodi dok se maslinovo ulje ne otapa u vodi. Koje sile djeluju u sirupu, a u maslinovu ulju ih nema?

---

---

3. Koji zakon vrijedi za Newtonovske tekućine?

---

---

4. Osim škroba, navedi još neke tekućine / smjese koje imaju svojstvo ne-Newtonovske tekućine.

---

---

5. Ako se u jednoj čaši nalazi voda, a u drugoj med i istovremeno se čaše okrenu, istjecanje meda iz čaše bit će brže ili sporije? Objasni!

---

---

6. Zaokruži točan odgovor!

Viskoznost je:

- a) gustoća tekućine
- b) toplina tekućine
- c) unutarnje trenje u fluidu
- d) količina vode u tekućini

**Pripremila:** Jelena Brdarić

## 6. Zaključak

Primjena silikona je vrlo široka, od sredstava za ljepotu i osobnu njegu do primjene u automobilske industriji, građevinarstvu, elektronici, tekstilu, itd. Iako su silikoni i njihovo ponašanje u sustavima dobro proučeni, jako je malo dostupnih podataka o njihovom ponašanju u otapalima niske permitivnosti.

Primarni cilj ovoga rada bio je pripremiti otopine silikona te otopine suspenzija oksida s dodanim silikonima. Mjerenjem viskoznosti otopina šest silikona pri sedam različitih koncentracija u dva različita otapala niske permitivnosti (DMSO i etanol) uočeno je kako se otopine silikona u etanolu i DMSO ponašaju kao Newtonovske tekućine (relativna viskoznost linearno raste u ovisnosti o masenom udjelu). Na isti način su pripremljene otopine silikona za mjerenje viskoznosti u heksanu koji ima najmanju permitivnost, ali ta mjerenja nisu rađena jer je došlo do zamućenja, odnosno taloženja što je za očekivati jer se radi o hidrofilno modificiranim silikonima. Određene su veličine čestica u suspenzijama s dodanim silikonima akustičkom spektroskopijom koja je pokazala da postoji efekt silikona na disperznost suspenzija nanočestica u etanolu i heksanu. Oksidni prahovi koji su korišteni ( $\text{TiO}_2$  i  $\text{ZnO}$ ) ne raspršuju se dobro u otapalu s vrlo malom permitivnošću (heksan) te dolazi do agregiranja i sedimentiranja. Na sustavima koji su ispitani termogravimetrijom nije primjećen efekt gubitka mase ni na  $\text{TiO}_2$  ni na  $\text{ZnO}$  iz suspenzija s etanolom, odnosno nije dokazana adsorpcija silikona na nanočesticama. Ovaj rezultat ne dokazuje da adsorpcija ne postoji već je moguće da je to fizikalna adsorpcija te da je prilikom pripreme uzorka došlo do uklanjanja molekula silikona s površine čestica.

U metodičkom dijelu ovog rada učenike 2. razreda gimnazije se želi upoznati s važnošću poznavanja viskoznosti u svakodnevnom životu. Tijekom pokusa učenici razvijaju samostalnost, uče se donositi zaključke i razmišljati o onome što rade. S obzirom da pokus izvode u paru, tijekom rada izmjenjuju mišljenja i zajedno dolaze do zaključaka.

## 7. Literatura

- [1] [www.scientificspectator.com](http://www.scientificspectator.com)  
([http://www.scientificspectator.com/documents/silicone%20spectator/Silicone\\_Spectator\\_January\\_2009.pdf](http://www.scientificspectator.com/documents/silicone%20spectator/Silicone_Spectator_January_2009.pdf)), 06.08.2016.
- [2] [chemistscorner.com](http://chemistscorner.com)  
(<http://chemistscorner.com/silicones-cosmetic-science-in-300-seconds/>), 03.08.2016.
- [3] [www.wacker.com](http://www.wacker.com)  
([https://www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6415\\_EN.pdf](https://www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6415_EN.pdf)),  
02.08.2016.
- [4] [chemwiki.ucdavis.edu](http://chemwiki.ucdavis.edu)  
([http://chem.libretexts.org/Core/Inorganic\\_Chemistry/Descriptive\\_Chemistry/Elements\\_Organized\\_by\\_Block/2\\_p-Block\\_Elements/Group\\_14%3A\\_The\\_Carbon\\_Family/Chemistry\\_of\\_Silicon](http://chem.libretexts.org/Core/Inorganic_Chemistry/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/2_p-Block_Elements/Group_14%3A_The_Carbon_Family/Chemistry_of_Silicon)),  
18.07.2016.
- [5] [globalsilicones.org](http://globalsilicones.org) (<http://globalsilicones.org/silicones-chemistry/>), 18.07.2016.
- [6] [www.britannica.com](http://www.britannica.com) (<https://www.britannica.com/science/silicone>), 18.07.2016.
- [7] [www.dowcorning.com](http://www.dowcorning.com)  
(<http://www.dowcorning.com/content/discover/discoverchem/si-molecule.aspx?e=Chemistry+Corner>), 18.07.2016.
- [8] [siliconesinfo.com](http://siliconesinfo.com) (<http://siliconesinfo.com/about-silicones/silicones-chemistry>),  
18.07.2016.
- [9] [www.dowcorning.com](http://www.dowcorning.com)  
(<http://www.dowcorning.com/content/discover/discoverchem/si-production.aspx?e=Silicone+Manufacturing>), 18.07.2016.
- [10] [www.pslc.ws](http://www.pslc.ws) (<http://www.pslc.ws/macrog/kidsmac/rubber.htm>), 18.07.2016.
- [11] [www.dowcorning.com](http://www.dowcorning.com)  
(<http://www.dowcorning.com/content/discover/discoverchem/properties.aspx>),  
18.07.2016.
- [12] [www.dowcorning.com](http://www.dowcorning.com)  
(<http://www.dowcorning.com/content/discover/discovertoolbox/forms.aspx>),  
19.07.2016.



- [13] <http://www.essentialchemicalindustry.org>  
(<http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/silicones.html>), 19.07.2016.
- [14] <http://www.dowcorning.com>  
(<http://www.dowcorning.com/content/discover/discoverchem/organically-modified.aspx>), 18.07.2016.
- [15] [www.aicma.com](http://www.aicma.com)  
(<http://www.aicma.com/products/Silicone%20LK%207300%20SFLK73.pdf>),  
03.08.2016.
- [16] [www.xiameter.com](http://www.xiameter.com) (<https://www.xiameter.com/en/Pages/LandingPage.aspx>),  
03.08.2016.
- [17] Lj. Đaković, Koloidna hemija, Tehnološki fakultet , Zavod za izdavanje u  
Novom Sadu, Novi Sad, 1985.
- [18] R. J. Hunter, Foundations of Colloid Science, 2nd edition, Oxford, New York,  
2001.
- [19] [bib.irb.hr](http://bib.irb.hr) ([https://bib.irb.hr/datoteka/565201.965\\_Ivana\\_Vrani\\_dipl.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/565201.965_Ivana_Vrani_dipl.pdf)),  
29.07.2016.
- [20] [www.fkit.unizg.hr](http://www.fkit.unizg.hr)  
([https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/REOLOGIJA.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/REOLOGIJA.pdf)), 29.07.2016.
- [21] P. C. Hiemenz, R. Rajagopalan, Principles of colloid and surface chemistry, 3rd  
edition, Marcel Dekker, New York, 1997.
- [22] A. S. Dukhin, P. J. Goetz, Characterization of Liquids, Nano- and  
Microparticulates, and Porous Bodies Using Ultrasound, 2nd edition, Elsevier,  
Amsterdam, 2002.
- [23] [www.nanocenter.si](http://www.nanocenter.si) ([http://www.nanocenter.si/index.php?page=zetasizer-  
dt1200](http://www.nanocenter.si/index.php?page=zetasizer-dt1200)), 23.07.2016.
- [24] [repozitorij.fsb.hr](http://repozitorij.fsb.hr)  
([http://repozitorij.fsb.hr/2891/1/16\\_09\\_2014\\_ZAVRSNI\\_RAD\\_-  
\\_Simeg\\_\(konacna\\_verzija\).pdf](http://repozitorij.fsb.hr/2891/1/16_09_2014_ZAVRSNI_RAD_-_Simeg_(konacna_verzija).pdf)), 23.07.2016.
- [25] [bib.irb.hr](http://bib.irb.hr) ([https://bib.irb.hr/datoteka/607244.Juriscic\\_Mia\\_Zavrski\\_rad.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/607244.Juriscic_Mia_Zavrski_rad.pdf)),  
24.07.2016.
- [26] P. Haines, Principles of thermal analysis and calorimetry, The royal society of  
Chemistry, Velika Britanija, 2002.

## 8. Dodatak

Tablica 2. Prikaz vremena istjecanja etanola i ispitivane otopine silikona LK-7300 različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerjenja	EtOH	0,1%7300	0,25%7300	0,5%7300	1%7300	2,5%7300	5%7300	10%7300
1	51,46	51,16	50,87	50,44	53,28	55	60,25	69,06
2	51,72	50,16	50,34	51	52,98	55,59	59,81	68,94
3	51,37	50,05	50,31	51	53,03	55,31	59,98	69,37
4	51,5	49,95	50,44	51,34	53,22	55,22	59,62	69,4
5	51,15	49,95	50,6	51,03	52,97	55,32	59,87	70,63
6	51,35	49,59	50,89	50,97	53,12	55,22	59,96	70,38
7	51,5	49,44	50,75	51,12	53,27	55,25	60,5	70,28
8	51,55	50,69	50,78	51,25	52,82	55,23	59,28	70,91
9	51,43	50,22	50,62	51,16	53,88	55,44	59,28	70,44
10	51,55	49,95	50,97	51,31	53,52	55,29	59,5	71,41
x	51,458	50,116	50,657	51,062	53,209	55,287	59,805	70,082
$\sigma$	0,150614	0,50031546	0,23428615	0,25628977	0,3085252	0,15377111	0,3969957	0,83840855
$\eta$ (relativna)		0,9739	0,9844	0,9923	1,034	1,0744	1,1622	1,3619
$\eta$ (specifična)		-0,0261	-0,0156	-0,0077	0,034	0,0744	0,1622	0,3619
( $\eta$ reducirana)		-26,1	-6,24	-1,54	3,4	2,976	3,244	3,619
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-26,45	-6,29	-1,55	3,34	2,87	3,01	3,08

*Tablica 3. Prikaz vremena istjecanja etanola i ispitivane otopine silikona LK-Ag Platinum različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti*

<b>Broj mjerjenja</b>	<b>EtOH</b>	<b>0,1%AgPt</b>	<b>0,25%AgPt</b>	<b>0,5%AgPt</b>	<b>1%AgPt</b>	<b>2,5%AgPt</b>	<b>5%AgPt</b>	<b>10%AgPt</b>
1	51,46	51,31	49,72	49,91	48,19	53,34	51,72	54,03
2	51,72	50,9	49,72	50,82	49,06	52,78	52,94	55,6
3	51,37	51	49,75	50,31	48,53	52,4	52,47	56,44
4	51,5	50,96	49,78	50,16	48,47	52,94	52,37	56,49
5	51,15	51	49,78	50,35	48,44	52,63	52,59	57,47
6	51,35	50,28	50,6	50,22	48,5	52,91	52,6	57,94
7	51,5	50,28	50,54	50,28	48,65	52,31	52,44	57,75
8	51,55	50,28	50,03	50,32	48,66	52,4	52,65	57,28
9	51,43	51,03	50,81	50,47	48,69	52,28	53	57,68
10	51,55	50,36	50,44	50,44	48,66	52,72	52,56	57,3
x	51,458	50,74	50,117	50,328	48,585	52,671	52,534	56,798
$\sigma$	0,150614	0,39403892	0,432230648	0,23394206	0,2242642	0,3371597	0,3505615	1,21309338
$\eta$ (relativna)		0,986	0,9739	0,978	0,9442	1,0236	1,0209	1,1037
$\eta$ (specifična)		-0,014	-0,0261	-0,022	-0,0558	0,0236	0,0209	0,1037
( $\eta$ reducirana)		-14	-10,44	-4,4	-5,58	0,944	0,418	1,037
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-14,099	-10,578	-4,449	-5,742	0,933	0,414	0,986

Tablica 4. Prikaz vremena istjecanja etanola i ispitivane otopine silikona OFX-0190 različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerenja	EtOH	0,1%0190	0,25%0190	0,5%0190	1%0190	2,5%0190	5%0190	10%0190
1	51,46	49,01	50,34	52,79	53,41	61,1	72,84	99,15
2	51,72	48,95	50,98	51,19	53,13	60,72	71,97	99,23
3	51,37	49,1	50,94	51,07	53,35	62,47	72,5	99,15
4	51,5	48,8	50,96	52,09	53,2	60,5	72,1	99,33
5	51,15	48,97	50,89	51,13	53,71	61,3	71,81	99,45
6	51,35	48,99	51,03	51,19	53,66	60,25	71,25	99,57
7	51,5	48,2	51,14	52,07	53,7	60,9	71,78	99,15
8	51,55	49,15	51,62	50,1	53,56	60,47	71,78	99,67
9	51,43	49,1	51,5	51,28	53,63	60,47	71,35	99,35
10	51,55	48,69	51,5	51,12	53,78	60,56	71,35	99,53
x	51,458	48,896	51,09	51,403	53,513	60,874	71,873	99,358
$\sigma$	0,150614	0,28166963	0,376710912	0,73860304	0,2271588	0,64622322	0,5105128	0,19071794
$\eta$ (relativna)		0,9502	0,9928	0,9989	1,0399	1,1829	1,3967	1,9308
$\eta$ (specifična)		-0,0498	-0,0072	-0,0011	0,0399	0,1829	0,3967	0,9308
( $\eta$ reducirana)		-49,8	-2,88	-0,22	3,99	7,316	7,934	9,308
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-51,0828	-2,891	-0,2201	3,9125	6,7188	6,6822	6,5793

Tablica 5. Prikaz vremena istjecanja etanola i ispitivane otopine silikona OFX-0193 različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerenja	EtOH	0,1%0193	0,25%0193	0,5%0193	1%0193	2,5%0193	5%0193	10%0193
1	51,46	53,85	53,07	52,37	54,13	56,72	62,44	74,53
2	51,72	53,75	53,35	52,5	53,78	56,34	61,29	74,03
3	51,37	53,95	53,87	52,19	53,63	56,65	61,62	74,6
4	51,5	53,84	53,03	52,56	53,95	56,13	61,94	74,2
5	51,15	53,06	53,98	52,21	53,8	56,3	62,1	74,03
6	51,35	53,47	53,45	52,2	53,63	56,7	61,97	74,35
7	51,5	53,35	53,5	52,9	53,62	56,44	60,88	74,16
8	51,55	53,45	53,6	52,95	53,6	55,75	60,78	73,94
9	51,43	53,8	53,98	52,99	53,66	56,04	60,99	73,53
10	51,55	53,6	53	52,8	53,66	56,03	60,88	73,37
x	51,458	53,612	53,483	52,567	53,746	56,31	61,489	74,074
$\sigma$	0,150614	0,27832036	0,377949144	0,32290521	0,1738582	0,3250641	0,6020973	0,39404455
$\eta$ (relativna)		1,0418	1,0394	1,0215	1,0445	1,0943	1,1949	1,4395
$\eta$ (specifična)		0,0418	0,0394	0,0215	0,0445	0,0943	0,1949	0,4395
( $\eta$ reducirana)		41,8	15,76	4,3	4,45	3,772	3,898	4,395
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		40,95	15,46	4,25	4,35	3,61	3,56	3,64

Tablica 6. Prikaz vremena istjecanja etanola i ispitivane otopine silikona OFX-5330(A) različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerenja	EtOH	0,1%5330 A	0,25%5330A	0,5%5330A	1%5330A	2,5%5330A	5%5330A	10%5330A
1	51,46	50,97	50,68	51,94	55,81	61,91	74,88	98,4
2	51,72	51	50,84	52,9	54,94	62,75	74,13	98,96
3	51,37	51,12	50,37	51,38	55,25	61,09	73,56	99,28
4	51,5	51,16	50,34	51,98	54,15	61,34	73,6	98,99
5	51,15	51,1	50,47	51,99	54,2	61,8	74,02	99,12
6	51,35	51,2	50,9	52,1	54,25	61,98	73,4	99,1
7	51,5	51,13	50,98	52,01	53,87	60,94	73,35	99,15
8	51,55	51,4	50,56	51,8	54,13	61,15	73,19	99,2
9	51,43	51,16	50,8	51,3	54,2	61,1	73,2	98,97
10	51,55	51,15	50,5	51,6	54,2	60,18	73,56	99,81
x	51,458	51,139	50,644	51,9	54,5	61,424	73,689	99,098
$\sigma$	0,150614	0,11675710	0,22804483	0,447039645	0,62012544	0,709102719	0,52178007	0,347684404
$\eta$ (relativna)		0,9938	0,9842	1,0086	1,0591	1,1937	1,432	1,9258
$\eta$ (specifična)		-0,0062	-0,0158	0,0086	0,0591	0,1937	0,432	0,9258
$\eta$ (reducirana)		-6,2	-6,32	1,72	5,91	7,75	8,64	9,258
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-6,2193	-6,3705	1,7126	5,7419	7,0823	7,1814	6,5534

Tablica 7. Prikaz vremena istjecanja heksana i ispitivane otopine silikona OFX-5330(A) različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerjenja	heksan	0,1%5330A	0,25%5330A	0,5%5330A	1%5330A	2,5%5330A	5%5330A	10%5330A
1	147,57	147,03	148,53	147,72	150,47	152,19	156,99	166,4
2	147,9	147,05	147,93	147,72	150,5	152,22	159,72	165,38
3	148,3	147,03	148,2	147,97	150,19	152,2	158,4	166,2
4	148,5	147,04	147,99	147,66	150,16	152,19	157,46	165,44
5	148,6	147,19	148,56	147,7	150,2	151,88	156,4	164,99
6	147,69	147,2	148,2	147,79	150,19	152,09	156,81	163,98
7	147,9	146,9	148,9	147,9	150,5	152,08	157,12	163,97
8	147,5	147,1	149,01	147,4	150,3	152,05	157,1	163,98
9	147,9	147,37	148,6	147,8	150,29	151,99	156,97	165,25
10	147,5	146,99	147,63	147,8	150,5	152,4	156,99	165,1
x	147,936	147,09	148,355	147,746	150,33	152,129	157,396	165,069
$\sigma$	0,404151	0,132497379	0,440485843	0,153565042	0,1467424	0,143639209	0,96743877	0,875892561
$\eta$ (relativna)		0,9943	1,0028	0,9987	1,0162	1,0283	1,0639	1,1158
$\eta$ (specifična)		-0,0057	0,0028	-0,0013	0,0162	0,0283	0,0639	0,1158
( $\eta$ reducirana)		-5,7	1,12	-0,26	1,62	1,132	1,278	1,158
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-5,72	1,12	-0,26	1,61	1,12	1,24	1,09

Tablica 8. Prikaz vremena istjecanja heksana i ispitivane otopine silikona OFX-5330(B) različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerenja	heksan	0,1%5330B	0,25%5330B	0,5%5330B	1%5330B	2,5%5330B	5%5330B	10%5330B
1	147,57	146,39	146,7	146,79	149,69	153,41	169,66	179,8
2	147,9	146,06	146,63	146,78	149,19	153,91	169,72	179,6
3	148,3	145,99	146,25	146,9	149,66	153,34	169,71	179,9
4	148,5	146,01	146,3	146,98	149,45	153,55	169,65	178,98
5	148,6	146,44	146,46	146,99	149,77	153,45	169,33	179,5
6	147,69	146,5	146,5	146,46	149,62	153,67	169,73	179,6
7	147,9	146,87	146,55	146,6	149,75	153,43	169,81	179,4
8	147,5	146,85	146,93	146,98	149,66	153,52	169,25	179,3
9	147,9	146,75	146,8	146,95	149,72	153,65	169,67	178,6
10	147,5	146,8	146,78	146,8	149,66	153,47	169,59	179,3
x	147,936	146,466	146,59	146,823	149,617	153,54	169,612	179,398
$\sigma$	0,404151	0,351163147	0,220050499	0,177704499	0,17410406	0,166132477	0,18029605	0,385336794
$\eta$ (relativna)		0,9901	0,9909	0,9925	1,0114	1,0378	1,1465	1,2127
$\eta$ (specifična)		-0,0099	-0,0091	-0,0075	0,0114	0,0378	0,1465	0,2127
$\eta$ (reducirana)		-9,9	-3,64	-1,5	1,14	1,512	2,93	2,127
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-9,95	-3,66	-1,51	1,13	1,48	2,73	1,93



Tablica 9. Prikaz vremena istjecanja DMSO i ispitivane otopine silikona LK-7300 različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerjenja	DMSO	0,1%7300	0,25%7300	0,5%7300	1%7300	2,5%7300	5%7300	10%7300
1	68,29	67	68,94	66,12	66,38	73,43	83,54	107,31
2	68,31	66,75	69,15	66,93	66,41	73,41	83,25	107,25
3	68,19	67,09	68,9	66,44	67,37	73,57	83,3	107,3
4	68,2	67,31	68,95	67,94	67,12	73,51	83,35	107,4
5	68,3	67,3	68,94	67,15	67,2	73,5	83,5	107,35
6	68,29	67,15	68,98	67,2	67,3	73,52	83,45	107,2
7	68,25	66,99	68,09	67,5	66,99	73,55	83,2	107,15
8	68,31	67,2	68,15	66,99	67,4	73,52	83,3	107,22
9	68,3	67,3	69,01	67,13	67,35	73,4	83,4	107,3
10	68,6	67,19	68,9	67,9	67,5	73,5	83,54	106,34
x	68,304	67,128	68,801	67,13	67,102	73,491	83,383	107,182
$\sigma$	0,11296	0,17687409	0,36625583	0,57222762	0,4003276	0,05820462	0,1219335	0,3048424
$\eta$ (relativna)		0,9827	1,0073	0,9828	0,9824	1,0759	1,2207	1,5692
$\eta$ (specifična)		-0,0173	0,0073	-0,0172	-0,0176	0,0759	0,2207	0,5692
( $\eta$ reducirana)		-17,3	2,92	-3,44	-1,76	3,036	4,414	5,692
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-17,45	2,91	-3,47	-1,77	2,93	3,98	4,51

*Tablica 10. Prikaz vremena istjecanja DMSO i ispitivane otopine silikona LK-Ag Platinum različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti*

Broj mjerenja	DMSO	0,1 % AgPt	0,25 % AgPt	0,5 % AgPt	1 % AgPt	2,5 % AgPt	5 % AgPt	10 % AgPt
1	68,29	66,88	67,35	67	68,25	67,72	75,31	88,57
2	68,31	66,87	66,31	66,54	67,81	67,04	75,15	88,07
3	68,19	66,91	66,34	68,31	68,1	67,97	75,2	88,22
4	68,2	66,91	66,5	67,34	67,99	67,5	75,15	87,6
5	68,3	66,7	66,38	68,15	68,15	67,72	75,03	87,16
6	68,29	66,75	66,41	67,99	68,1	68,01	75,1	87,2
7	68,25	66,8	66,35	67,89	68,18	67,47	75,15	86,84
8	68,31	66,83	66,5	67,28	68,01	68,02	75,22	87,03
9	68,3	66,9	66,55	67	67,97	67,98	75,25	87,1
10	68,6	66,85	66,32	67,3	68,38	67,99	75,3	86,99
x	68,304	66,84	66,501	67,48	68,094	67,742	75,186	87,478
$\sigma$	0,11296	0,07102425	0,309854805	0,57758116	0,1600833	0,32413303	0,0878382	0,60328361
$\eta$ (relativna)		0,9785	0,9736	0,9879	0,9969	0,9917	1,1007	1,2807
$\eta$ (specifična)		-0,0215	-0,0264	-0,0121	-0,0031	-0,0083	0,1007	0,2807
( $\eta$ reducirana)		-21,5	-10,56	-2,42	-0,31	-0,33	2,014	2,807
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-21,73	-10,7	-2,43	-0,31	-0,33	1,92	2,47

Tablica 11. Prikaz vremena istjecanja DMSO i ispitivane otopine silikona OFX-0190 različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

Broj mjerenja	DMSO	0,1%0190	0,25%0190	0,5%0190	1%0190	2,5%0190	5%0190	10%0190
1	68,29	65,28	65,31	66,6	68,88	74	91,31	125,62
2	68,31	65,32	65,41	66,82	68,15	74,19	93,69	123,5
3	68,19	65,5	65,5	66,3	68,1	74,2	92,38	123,98
4	68,2	65,3	65,48	66,38	68,12	74,38	93,13	125,1
5	68,3	65,28	65,6	66,8	68,14	73,98	91,99	124,99
6	68,29	65,3	65,65	66,65	67,99	74	92,6	125,13
7	68,25	65,5	65,43	66,43	67,98	73,99	92,98	125,18
8	68,31	65,38	65,49	66,4	68,18	73,99	92,36	125,28
9	68,3	65,4	65,53	66,8	68,13	74,13	92,99	125,32
10	68,6	65,19	65,43	66,78	68,53	75,16	93,01	125,48
x	68,304	65,345	65,483	66,596	68,22	74,202	92,644	124,958
$\sigma$	0,11296	0,099694	0,097188	0,202879	0,276405	0,361411	0,671354	0,67723
$\eta$ (relativna)		0,9567	0,9587	0,9749	0,9988	1,0863	1,3563	1,8294
$\eta$ (specifična)		-0,0433	-0,0413	-0,0251	-0,0012	0,0863	0,3563	0,8294
( $\eta$ reducirana)		-43,3	-16,52	-5,02	-0,12	3,452	7,126	8,294
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-44,2654	-16,8708	-5,0841	-0,1201	3,3111	6,0952	6,0399

Tablica 12. Prikaz vremena istjecanja DMSO i ispitivane otopine silikona OFX-0193 različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

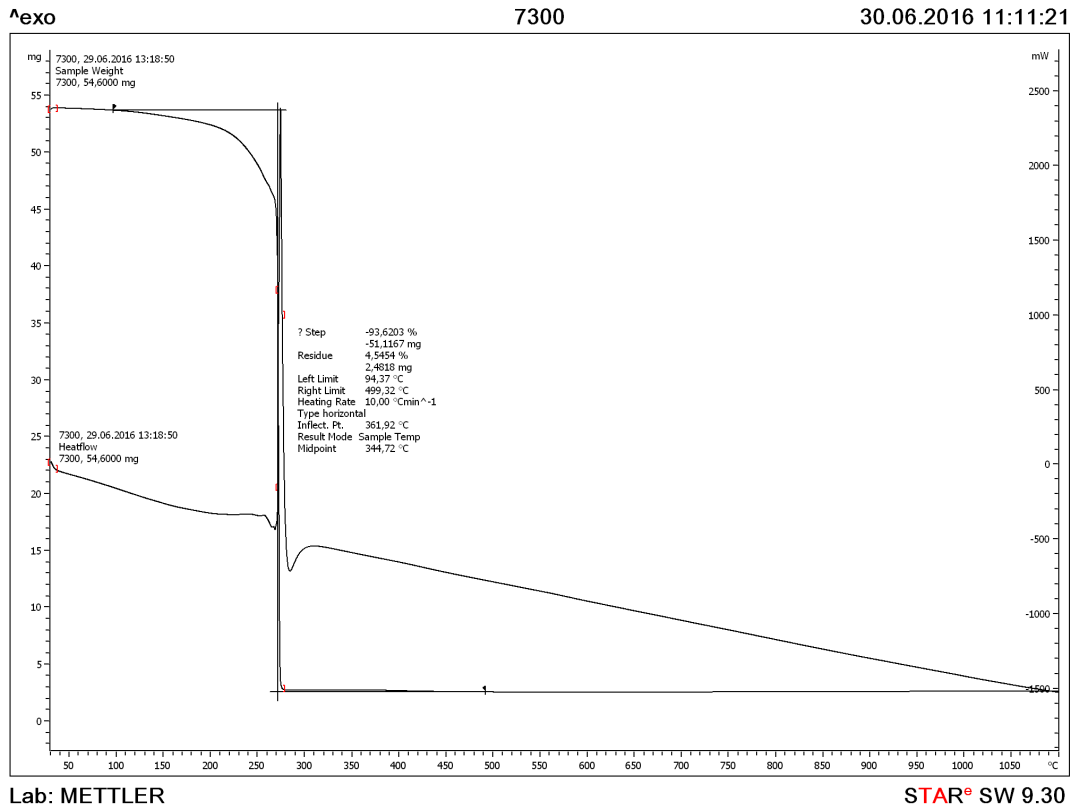
Broj mjerjenja	DMSO	0,1%0193	0,25%0193	0,5%0193	1%0193	2,5%0193	5%0193	10%0193
1	68,29	67,03	66,38	67,9	69,25	73,75	103,28	106,79
2	68,31	66,63	66,5	67,4	68,97	74,35	101,97	105,56
3	68,19	67,01	66,75	67,5	69,11	73,98	102,38	106,01
4	68,2	66,7	66,8	67,48	68,99	74,12	102,99	106,1
5	68,3	66,8	66,6	67,83	69,01	74,1	101,98	105,98
6	68,29	66,85	66,38	67,9	69,03	74,13	102,39	105,83
7	68,25	66,9	66,38	67,38	69,53	73,99	102,54	105,8
8	68,31	67,13	66,7	67,4	69,4	74,47	103,01	105,97
9	68,3	66,83	66,85	67,35	69,38	74,38	102,3	106,54
10	68,6	66,98	66,73	67,43	69,5	74,4	102,38	106,38
x	68,304	66,886	66,607	67,557	69,217	74,167	102,522	106,096
$\sigma$	0,11296	0,15514867	0,184574586	0,22573583	0,2213619	0,22930087	0,4393885	0,37145958
$\eta$ (relativna)		0,9792	0,9751	0,9891	1,0134	1,0858	1,5009	1,5533
$\eta$ (specifična)		-0,0208	-0,0249	-0,0109	0,0134	0,0858	0,5009	0,5533
( $\eta$ reducirana)		-20,8	-9,96	-2,18	1,34	3,432	10,018	5,533
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-21,02	-10,08	-2,19	1,33	3,29	8,12	4,4

Tablica 13. Prikaz vremena istjecanja DMSO i ispitivane otopine silikona OFX-5330(A) različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

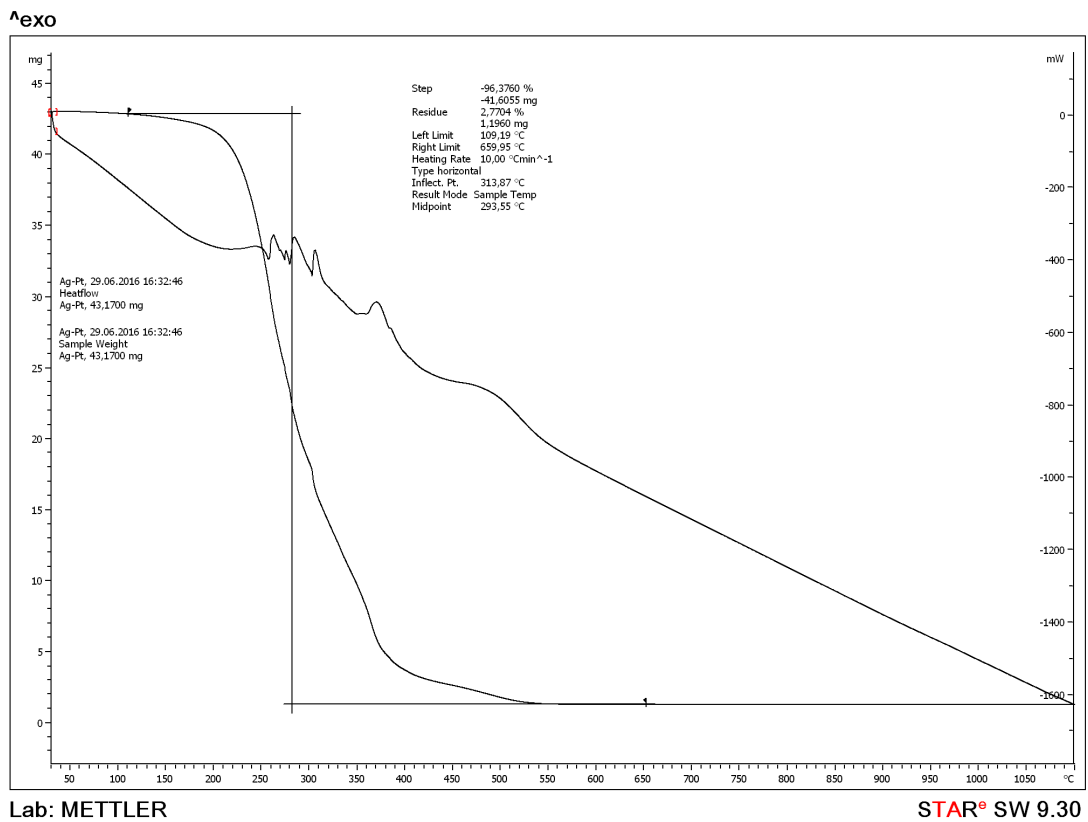
Broj mjerenja	DMSO	0,1%5330A	0,25%5330A	0,5%5330A	1%5330A	2,5%5330A	5%5330A	10%5330A
1	68,29	65,69	65,19	67,78	67,6	74,47	102,1	143,9
2	68,31	65,75	65,18	67,13	68,1	74,62	102,01	143,68
3	68,19	65,5	65,57	67,1	67,97	74,75	102,5	143,22
4	68,2	65,97	65,5	67,91	68	74,6	102,34	143,53
5	68,3	65,84	65,25	67,5	67,99	74,49	102,2	143,47
6	68,29	65,78	65,38	67,25	68,01	74,5	102,1	143,19
7	68,25	65,9	65,4	67,3	68,03	74,6	102,03	143,29
8	68,31	65,48	65,53	67,48	67,96	74,9	102,14	143,3
9	68,3	65,75	65,68	67,5	67,9	74,53	102,8	143,58
10	68,6	65,7	65,42	67,63	68,1	75,03	102,13	143,79
x	68,304	65,736	65,41	67,458	67,966	74,649	102,235	143,495
$\sigma$	0,11296	0,156148078	0,166332999	0,267822495	0,14222049	0,187879985	0,24739757	0,245639754
$\eta$ (relativna)		0,9624	0,9576	0,9876	0,9951	1,0929	1,4968	2,1008
$\eta$ (specifična)		-0,0376	-0,0424	-0,0124	-0,0049	0,0929	0,4968	1,1008
( $\eta$ reducirana)		-37,6	-16,96	-2,48	-0,49	3,716	9,936	11,008
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-38,33	-17,33	-2,49	-0,49	3,55	8,06	7,42

Tablica 14. Prikaz vremena istjecanja DMSO i ispitivane otopine silikona OFX-5330(B) različitih koncentracija te izračun vrijednosti različitih vrsta viskoznosti

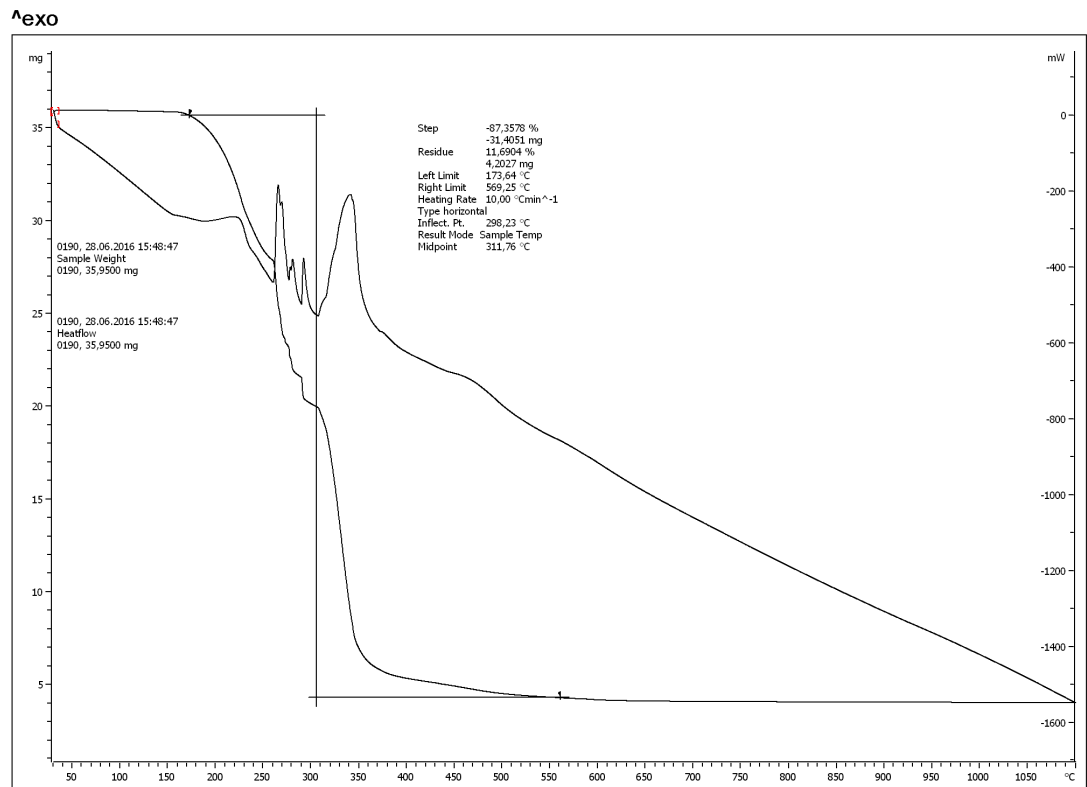
Broj mjerjenja	DMSO	0,1%5330B	0,25%5330B	0,5%5330B	1%5330B	2,5%5330B	5%5330B	10%5330B
1	68,29	62,25	67,03	62,31	70,91	86,53	95,59	144,84
2	68,31	62,38	66,56	62,34	70,85	86,03	95,6	144,94
3	68,19	62,31	66,25	62,35	70,8	86,3	95,38	143,98
4	68,2	62	65,56	62,3	70,9	86,4	95,68	144,56
5	68,3	62,91	66,13	62,35	70,95	86,45	95,46	144,38
6	68,29	63,03	66,25	62,38	70,68	86,3	95,83	144,83
7	68,25	62,8	66,3	62,75	70,65	86,35	95,38	144,39
8	68,31	63,01	66,15	62,3	70,78	86,1	95,46	144,86
9	68,3	62,9	66,18	62,5	70,67	86,35	95,5	144,68
10	68,6	62,99	65,53	62,3	70,75	86,4	95,83	144,53
x	68,304	62,658	66,194	62,388	70,794	86,321	95,571	144,599
$\sigma$	0,11296	0,381890037	0,434541904	0,140696679	0,10720696	0,152348285	0,16663	0,295049902
$\eta$ (relativna)		0,9173	0,9691	0,9134	1,0365	1,2637	1,3992	2,1169
$\eta$ (specifična)		-0,0827	-0,0309	-0,0866	0,0365	0,2637	0,3992	1,1169
( $\eta$ reducirana)		-82,7	-12,36	-17,32	3,65	10,548	7,984	11,169
w		0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
$\eta$ (inherentna)		-86,32	-12,55	-18,12	3,58	9,36	6,72	7,49



Slika 41. Prikaz TGA/DSC krivulje silikona LK-7300



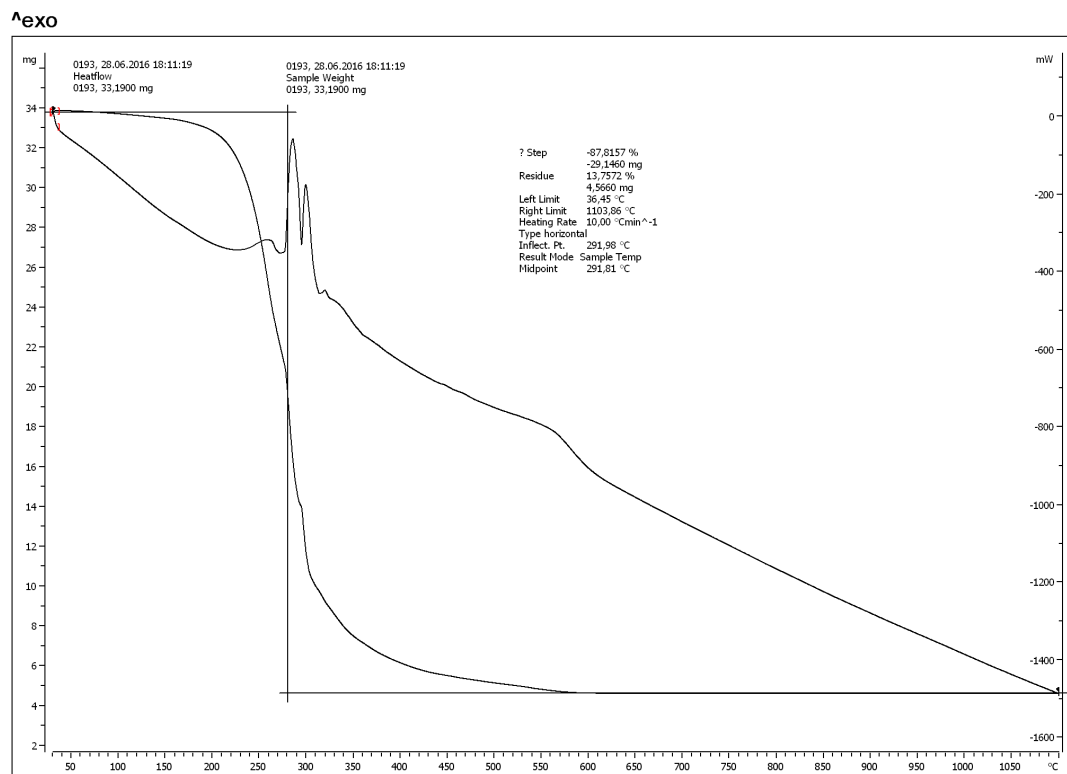
Slika 42. Prikaz TGA/DSC krivulje silikona LK-Ag Platinum



Lab: METTLER

STAR<sup>®</sup> SW 9.30

Slika 43. Prikaz TGA/DSC krivulje silikona OFX-0190

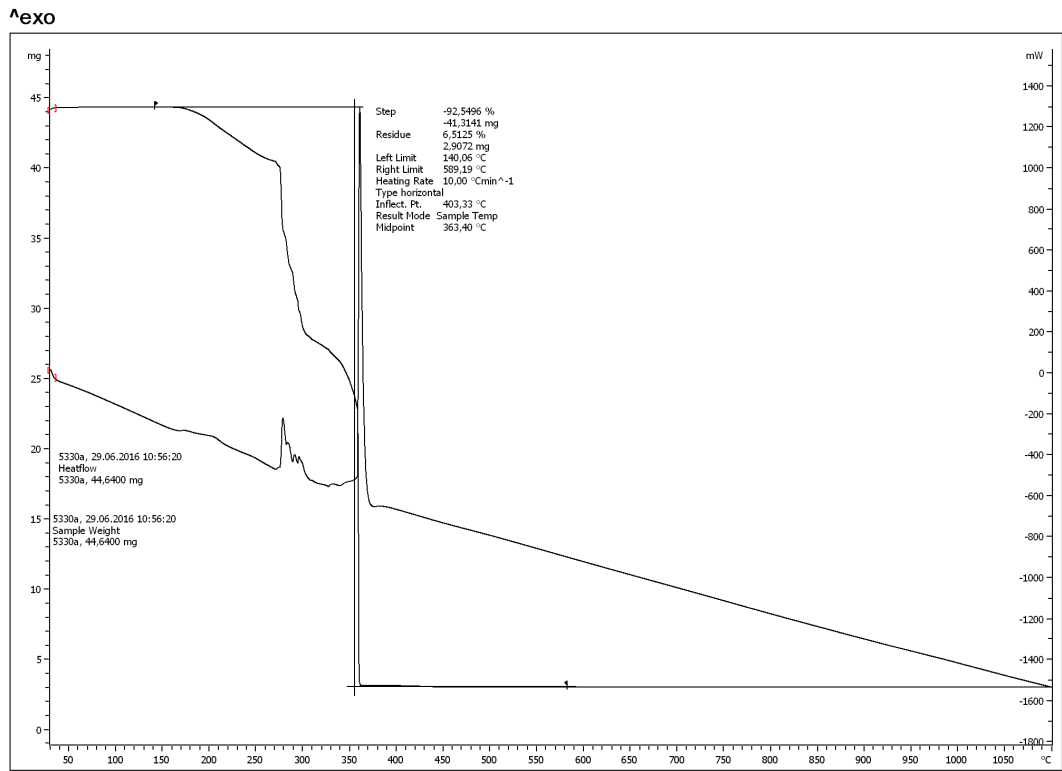


Lab: METTLER

STAR<sup>®</sup> SW 9.30

Slika 44. Prikaz TGA/DSC krivulje silikona OFX-0193





Lab: METTLER

STAR<sup>®</sup> SW 9.30

Slika 45. Prikaz TGA/DSC krivulje silikona OFX-5330(A)

## 9. Životopis

### **OSOBNI PODATCI**

**Ime i prezime:** Jelena Brdarić

**Datum i mjesto rođenja:** 11. studeni 1991., Zrenjanin, Srbija

**Adresa:** Antuna Augustinčića 10, Vukovar

**Broj telefona:** 032/414-070

**Broj mobitela:** +385981984758

**e-mail:** jelenabrdaric91@gmail.com

### **ŠKOLSKA NAOBRAZBA:**

- 1998. – 2005. Osnovna škola Julija Benešića u Iloku
- 2005. – 2006. Osnovna škola Antuna Bauera u Vukovaru
- 2006. - 2010. Srednja Ekološka škola u Vukovaru, stečeno zvanje Ekološki tehničar
- 2010. godine postajem redovni student Odjela za kemiju na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
- 2013. završavam preddiplomski studij kemije na Odjelu za kemiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
- 2013. upisujem diplomski nastavnički studij kemije na Odjelu za kemiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

### **STRANI JEZICI:**

- engleski jezik - aktivno u govoru i pismu

### **USAVRŠAVANJE I DOKVALIFIKACIJE:**

- 2009. položen vozački ispit B kategorije
- 2015. godine dodjeljena rektorova nagrada za najbolji seminarski rad

**DODATNA ZNANJA I VJEŠTINE:** vrlo dobro poznavanje rada na računalu i poznavanje Microsoft Office paketa:

- Word – izvrsno
- PowerPoint – izvrsno
- Excel – vrlo dobro

- Access – dobro
- Internet preglednici – izvrsno

***OSOBNE KARAKTERISTIKE:***

- izražene komunikacijske sposobnosti, spremna na daljnje učenje, razvoj i dulju suradnju, spremna na timski rad, odgovorna i organizirana, diskretna.