

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET

Gorica R. Ivaniš

**TERMODINAMIČKA I TRANSPORTNA SVOJSTVA
BIODIZELA I NJIHOVIH SMJEŠA SA DIZEL GORIVOM
NA VISOKIM PRITISCIMA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF TECHNOLOGY AND METALLURGY

Gorica R. Ivaniš

**THERMODYNAMIC AND TRANSPORT PROPERTIES
OF BIODIESEL AND BIODIESEL AND PETRO-DIESEL
BLENDS AT HIGH PRESSURES**

Doctoral Dissertation

Beograd, 2016.

Mentor:

.....

Dr Mirjana Kijevčanin, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Članovi komisije:

.....

Dr Ivona Radović, vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....

Dr Vlada Veljković, redovni profesor

Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet u Leskovcu

.....

Dr Emila Živković, vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....

Dr Zoran Višak, docent,

Aston University School of Engineering and Applied Sciences,

Birmingham, UK

Datum odbrane:.....

Termodinamička i transportna svojstva biodizela i njihovih smješa sa dizel gorivom na visokim pritiscima

Rezime

U doktorskoj disertaciji je prikazano uspostavljanje nove aparature i uvođenja procedure za mjerenje gustina tečnosti na visokim pritiscima. Rad nove aparature se zasniva na upotrebi mjerne ćelije Anton Paar DMA HP i gustinomjera Anton Paar DMA 5000, koji služi za unošenje i očitavanje podataka. Kalibracija uređaja DMA HP je izvršena primjenom klasične metode u kojoj su kao kalibracioni fluidi korišćeni vakuum, voda i *n*-dekan. Da bi se ispitale mogućnosti preciznog mjerenja korišćenjem nove aparature mjerene su gustine *n*-heksana, toluena i dihlor-metana u temperaturnom opsegu 288.15-413.15 K na pritiscima 0.1-60 MPa.

Gustine *n*-heksana, toluena i dihlor-metana na temperaturama 288.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa su zatim korelisane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom stanja. U disertaciji su predstavljene i odgovarajuće jednačine za računanje koeficijenta izoternskog sabijanja, koeficijenta izobarskog toplotnog širenja, unutrašnjeg pritiska i razlika između specifičnog toplotnog kapaciteta pri konstantnom pritisku i pri konstantnoj zapremini, kao i vrijednosti izračunate za *n*-heksan, toluen i dihlor-metan na gore navedenim intervalima temperature i pritiska. Da bi se ocjenila predložena metodologija obrade podataka, proračunate vrijednosti koeficijenata izoternskog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja su poređene sa literaturnim vrijednostima i dobijena odstupanja su bila veoma zadovoljavajuća.

Pored mjerenja gustina na visokim pritiscima navedenih fluida, izvršeno je i određivanje svojstava biodizela, imajući u vidu da je poznavanje osnovnih termodinamičkih svojstava biodizela pri različitim uslovima veoma bitno pošto se oni koriste kao zamjena za fosilna goriva. Viskoznosti i indeksi refrakcije metil i etil estara viših masnih kiselina iz suncokretovog ulja, metil estara masnih kiselina iz svinjske masti i dizel goriva su mjereni na atmosferskom pritisku. Gustine pomenutih biodizela i dizela su mjerene na temperaturama do 413.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa. Pored toga, iste termodinamičke i

transportne veličine su određene i za binarne smješe dizela sa metil ili etil estrima suncokretovog ulja, pri udjelima od 10 vol% i 20 vol% biodizela. Takođe su ispitivane i ternerne smješe dizela sa metil i etil estrima suncokretovog ulja, po 5 vol% i po 10 vol%, kao i ternerne smješe dizel goriva sa metil estrima suncokretovog ulja, 10 vol% i etanolom, 5 vol% i 10 vol%, mjerenjem njihove viskoznosti i indeksa refrakcije na atmosferskom pritisku i gustina na visokim pritiscima pri različitim temperaturama.

Gustine određene na visokim pritiscima su korelisanje pomoću modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine i na osnovu dobijenih parametara su izračunata izvedena termodinamička svojstva, kao što su koeficijent izoternskog sabijanja, koeficijent izobarskog toplotnog širenja, unutrašnji pritisak i razlike između specifičnih toplotnih kapaciteta određenih pri konstantnom pritisku i pri stalnoj zapremini.

Za određene uzorke, kao što su: dizel gorivo, metil estre suncokretovog ulja i njihove binarne smješe, kao i za etanol i pomenute ternerne smješe sa njim, mjerena je i brzina prostiranja zvuka kroz uzorak. Ta mjerenja su vršena na DSA 5000 M uređaju za određivanje gustine i brzine zvuka. Iz podataka o gustini i brzini zvuka, kao i iz izvedenih volumetrijskih svojstava, za navedene sisteme su proračunati i koeficijent izentropskog sabijanja, izobarski specifični toplotni kapacitet i izohorski specifični toplotni kapacitet.

Ključne riječi: gustine na visokim pritiscima, viskoznost, indeks refrakcije, brzina zvuka, modifikovana Tammann-Tait-ova jednačina, koeficijent izoternskog sabijanja, koeficijent izobarskog toplotnog širenja, biodizeli suncokretovog ulja, dizel gorivo

Naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Hemijsko inženjerstvo

UDK broj: 536.7:665.75:66-987

Thermodynamic and transport properties of biodiesel and biodiesel and petro-diesel blends at high pressures

Resume

In the doctoral dissertation the establishment of a new apparatus and the introduction of the procedure for the high pressure density measurements in the compressed liquid regions was presented. The operation of the apparatus is based on the use of the Anton Paar DMA HP density measuring cell and the Anton Paar DMA 5000 densimeter as reading device. Calibration of DMA HP device was performed by applying the classical method where a vacuum, water and *n*-decane were used as calibration fluids. In order to examine the possibilities for accurate measurements using the new apparatus, the densities of *n*-hexane, toluene and dichloromethane were measured in the temperature interval 288.15-413.15 K and at the pressure range 0.1-60 MPa.

Density data of *n*-hexane, toluene and dichloromethane at temperatures 288.15-413.15 K and at pressures 0.1-60 MPa were then fitted to the modified Tammann-Tait equation of state. The appropriate equations for calculating the isothermal compressibility, the isobaric thermal expansivity, the difference between specific heat capacity at constant pressure and at constant volume, and the internal pressure are presented in this work and also the values of the mentioned derived properties are given over the entire temperature and pressure intervals specified above. In order to assess the proposed modelling procedure, a comparison of the obtained values for the isothermal compressibility and the isobaric thermal expansivity with the corresponding literature data were performed and the obtained deviations values were very satisfactory.

Besides the high pressure density measurements for the mentioned compounds, the determination of biodiesel properties was performed having in mind that the knowledge of the basic thermodynamic properties of biodiesel under different conditions is necessary because of its wide use as a substitute for fossil fuels. The viscosities and refractive indices of the methyl and ethyl esters of the fatty acids from sunflower oil, the methyl esters of the fatty acids from lard and of diesel were measured at atmospheric pressure. The densities of

the mentioned biodiesel and diesel samples were measured at temperatures up to 413.15 K and at pressures 0.1-60 MPa. In addition to pure substances, the same thermodynamic and transport properties were measured for binary blends of petro-diesel and sunflower methyl esters or sunflower ethyl esters, in the ratio of 10 vol% and 20 vol% of the biodiesel. Ternary mixtures of petro-diesel with sunflower oil methyl and ethyl esters, 5 vol% and 10 vol% each, were also examined in this doctoral dissertation by measuring its viscosity and refractive index at atmospheric pressure and density at high pressure. Besides that, the behavior of the ternary mixtures of petro-diesel with sunflower oil methyl esters, 10 vol%, and ethanol, 5 vol% and 10% were studied at various temperature and pressure conditions.

The experimental high pressure density values were correlated using the modified Tammann-Tait equation. Based on the obtained results, thermodynamic properties, such as the isothermal compressibility, the isobaric thermal expansivity, the internal pressure and the difference between the specific heat capacity at constant pressure and at constant volume, were calculated.

Speed of sound was measured for selected samples, such as: petro-diesel, sunflower oil methyl esters, their binary mixtures, ethanol and mentioned ternary mixtures containing ethanol. These measurements were performed at density and sound velocity meter DSA 5000 M. From sound velocity and density data, as well as from derived volumetric properties, the isentropic compressibility, the specific thermal capacity at constant pressure and the specific thermal capacity at constant volume were calculated for the above mentioned samples.

Keywords: high pressure density, viscosity, refractive index, speed of sound, Tammann-Tait equation, isothermal compressibility, isobaric thermal expansivity, sunflower oil biodiesels, petro-diesel,

Scientific area: Technological Engineering
Field: Chemical Engineering

UDC number: 536.7:665.75:66-987

SADRŽAJ:

1. Uvod.....	1
2. Termodinamička svojstva ispitivanih sistema.....	9
2.1. Termodinamička i transportna svojstva.....	10
2.2. Izvedena volumetrijska svojstva.....	12
3. Eksperimentalni dio.....	18
3.1. Određivanje termodinamičkih svojstava na atmosferskom pritisku.....	19
3.2. Određivanje gustine na višim pritiscima.....	24
3.2.1. Pregled metoda.....	24
3.2.2. Uspostavljanje aparature za mjerenje gustine na visokom pritisku.....	26
3.3. Ravnoteža tečnost-tečnost.....	50
3.4. Izbor supstanci za mjerenje.....	52
3.5. Pravljenje smješe.....	54
4. Rezultati i diskusija eksperimentalnih mjerenja.....	56
4.1. Određivanje parametara aparature.....	57
4.2. Testiranje aparature.....	63
4.3. Eksperimentalno određivanje termodinamičkih i transportnih svojstava čistih supstanci.....	73
4.4. Eksperimentalno određivanje termodinamičkih i transportnih svojstava binarnih smješa.....	84

4.5. Eksperimentalno određivanje termodinamičkih i transportnih svojstava ternernih smješa.....	94
5. Modelovanje eksperimentalnih podataka.....	109
5.1. Modelovanje viskoznosti na atmosferskom pritisku.....	110
5.2. Modelovanje gustina na visokim pritiscima i proračun izvedenih veličina.....	113
5.2.1. Test supstance.....	113
5.2.2. Čiste supstance.....	124
5.2.3. Binarne smješe.....	135
5.2.4. Ternerne smješe.....	149
6. Zaključci.....	167
7. Literatura.....	176
Prilog – Tabele.....	187
Biografija.....	292

UVOD

1.

Gustina, ρ , zajedno sa viskoznošću, η , predstavlja jedno od najbitnijih svojstava fluida, kako sa teorijske, tako i sa praktične tačke gledišta. Pouzdani podaci o gustini pomažu u rasvjetljavanju molekulske strukture čistih supstanci ili smješa određenog sastava na definisanim temperaturama, T , i pritiscima, p . Takođe, iz podataka za gustinu moguće je proračunati i izvedene termodinamičke veličine, kao što su koeficijent izotermnog sabijanja, κ_T , i koeficijent izobarskog toplotnog širenja, α_p , a iz njih dalje unutrašnji pritisak, p_{int} , koji je bitan za utvrđivanje privlačnih i odbojnih sila unutar uzorka. Iz pomenutih podataka moguće je odrediti i razliku izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta, $c_p - c_v$, što omogućava računanje specifičnog toplotnog kapaciteta pri konstantnoj zapremini, c_v , ukoliko je onaj pri konstantnom pritisku, c_p , izmjeren ili izveden iz brzine prostiranja zvuka kroz uzorak, u .

Sa druge strane, podaci o gustini i viskoznosti različitih uzoraka na raznim uslovima temperature i pritiska su izuzetno bitni za određivanje novih i provjeru postojećih jednačina stanja, koje su veoma značajane pri projektovanju i analizi rada proizvodnih postrojenja u hemijskoj i srodin industrijama. Oni se koriste u proračunima visina kolona, pri skladištenju i transportu raznih supstanci, u separacionim i procesima miješanja, kao i pri projektovanjima cjevovoda, kotlova, kondenzatora i drugih uređaja.

Upravo zbog ogromnog značaja pomenutih termodinamičkih i transportnih svojstava, njihovo pouzdano određivanje pri različitim uslovima, kao i modelovanje, je odavno postalo predmet istraživanja. Prvo su mjerenja vršena na atmosferskim uslovima, a kasnije, sa razvojem novih istraživačkih tehnika, ona se proširuju i na više pritiske. Tako se i u Laboratoriji za određivanje termodinamičkih parametara na Tehnološko-metalurškom fakultetu duži niz godina vrše mjerenja pomenutih veličina na različitim temperaturama na atmosferskom pritisku, a, takođe, razvijen je i veliki broj modela za njihovo predskazivanje [1-5]. Pored toga konstruisana je i aparatura za mjerenje gustina na visokim pritiscima koja će posebno biti predstavljena u ovom radu. Osnovni dio aparature predstavlja mjerna ćelija DMA HP koja ima mogućnost mjerenja gustina na temperaturama 263.15-473.15 K i pritiscima do 70 MPa. Pošto je ovo nova aparatura u našoj laboratoriji, i jedina te vrste u Republici Srbiji, bilo je potrebno, pored povezivanja i puštanja u rad, izvršiti i kalibraciju uređaja i provjeriti ispravnost dobijenih rezultata. Za kalibraciju uređaja korištena je

klasična metoda koju je predložio Lagourette sa saradnicima [6], a dodatno razvio Comuñas sa svojim kolegama [7]. Radi testiranja aparature i provjere dobijenih rezultata mjerene su gustine *n*-heksana, toluena i dihlor-metana na temperaturama 288.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa i poređene sa literaturnim vrijednostima. Pošto se pokazalo da se poređeni podaci veoma dobro slažu utvrđeno je da je procedura mjerenja ispravna i da je metoda kalibracije dobro izabrana i primjenjena, što dalje rezultira visokom pouzdanošću određenih gustina.

Posljednjih decenija se sve više pažnje posvećuje proizvodnji i upotrebi biogoriva, pogotovo biodizela, zbog opštepoznatih nedostataka upotrebe tradicionalnih fosilnih goriva i njihovih ograničenih zaliha. Biodizeli se obično proizvode reakcijom transesterifikacije gdje triacilgliceroli iz biljnih ulja ili životinjskih masti reaguju sa nekim od alkohola kratkog niza u prisustvu katalizatora, koji je najčešće baza [8,9]. Proizvodi reakcije su alkil estri viših masnih kiselina iz polazne sirovine. Gotovo od početka upotrebe dizel motora javila se ideja o upotrebi biljnih ulja ili masti kao goriva, ali se pokazalo da njihova visoka viskoznost i niska isparljivost mogu dovesti do raznih problema u radu dizel motora pa to nije preporučljivo [8,10,11]. Upravo zbog toga se i izvodi reakcija transesterifikacije da bi se triacilgliceroli iz masti i ulja preveli u alkil estre masnih kiselina čija je viskoznost mnogo sličnija onoj kod fosilnog dizel goriva [8-12]. Zaključuje se da biodizel predstavlja smještu estara viših masnih kiselina, međutim, ne može se svaka takva smješa nazivati biodizelom. Naime, postoje standardi kvaliteta koje smješe estara moraju da zadovolje da bi se smatrale biodizelom i mogle koristiti kao gorivo u dizel motorima, u Evropi je to EN 14214 [13] standard za metil estre, dok se ASTM D6751 [14] u Americi primjenjuje i na metil i na etil estre viših masnih kiselina. Ovi standardi definišu razna ograničenja po pitanju sastava, stabilnosti, termodinamičkih svojstava i veličina vezanih za sagorjevanje, a sve u cilju sigurnije upotrebe biodizela u dizel motorima.

Biodizeli su zanimljivi najviše zbog mogućnosti njihove upotrebe kao alternativnog goriva u dizel motorima, čistih ili pomješanih sa dizel gorivom, bez dodatnih ispravki u samoj konstrukciji motora. Neki od razloga za zamjenu dizel goriva biodizelom su smanjenje emisije raznih štetnih gasova koji dovode do efekta staklene bašte, kao što su ugljen dioksid, ugljen monoksid i nesagorjeli ugljovodonici, mada, u većini slučajeva, dolazi

do povećane emisije oksida azota, u odnosu na upotrebu fosilnog dizel goriva [10,15,16]. Značajne prednosti biodizela u odnosu na dizel gorivo, pored toga što nisu otrovni, su i njihova obnovljivost, biorazgradljivost, to što ne sadrže sumpor i bolji su podmazivači [10]. Biodizeli, takođe, imaju i viši cetanski broj, u zavisnosti od udjela pojedinačnih alkil estara viših masnih kiselina, pa se prema tome brže pale, tj. manje je kašnjenje paljenja pri sabijanju nego kod dizel goriva [8,15]. S druge strane, biodizel sadrži oko 10 mas% kiseonika što mu smanjuje kalorijsku vrijednost i dovodi do povećanja potrošnje goriva [12,17]. Zbog njihovog povoljnog uticaja na životnu sredinu, u poređenju sa dizel gorivom, mnoge zemlje su donijele zakone kojima se zahtijeva zamjena bar nekog dijela dizel goriva biodizelom i u tom cilju su pooštrene mjere protiv emisije izduvnih gasova i uvedene olakšice i podsticajne cijene za upotrebu obnovljivih izvora energije, pogotovo u saobraćaju. Biodizeli dobijeni iz masti životinja imaju višu temperature topljenja nego oni iz biljnih ulja zbog značajnog udjela zasićenih masnih kiselina pa se čisti ne mogu koristiti kao gorivo u dizel motorima, posebno pri nižim temperaturama. Ipak, oni imaju višu kalorijsku vrijednost i cetanski broj nego biodizeli iz biljnih ulja i u izvornom obliku se mogu koristiti u kotlovima za dobijanje toplote koja se dalje koristi prema potrebama [18-21].

Iako se mnogi autori slažu da se biodizeli mogu koristiti čisti u dizel motorima novije generacije, bez ispravki u konstrukciji motora, ipak postoje i drugačija mišljenja pa se njihove smješe sa dizel gorivom češće preporučuju za korišćenje u transportu [22,23]. Biodizel ima veću gustinu i viskoznost od fosilnog dizel goriva što utiče na proces atomizacije goriva i dovodi do slabijeg sagorjevanja i smanjenja korisne snage motora. Za niže smješe dizela sa biodizelom, gdje je udio biodizela do 20 % taj pad korisne snage motora je znatno manji nego pri upotrebi čistog biodizela [24,25]. Kao što je spomenuto, biodizel sadrži određeni dio kiseonika što dovodi do niže kalorijske vrijednosti i veće potrošnje goriva po dobijenom radu motora, ali kod nižih smješa sa dizel gorivom to povećanje nije toliko uočljivo [24,25]. Isti zaključak se izvodi i za toplotnu efikasnost dizel motora koja opada kako raste količina biodizela u smješi sa dizel gorivom, ali je za smješe sa do 20 % biodizela veoma bliska toplotnoj efikasnosti motora koji pokreće čisto dizel gorivo [22-25]. Što se tiče izduvnih gasova, koji su i jedan od glavnih razloga za zamjenu

dizel goriva biodizelom, emisija ugljen monoksida, kao i temperatura izduvnih gasova, se smanjuje upotrebom smješa dizela sa biodizelom u poređenju sa čistim dizel gorivom zbog potpunijeg sagorjevanja. Međutim, kod smješa sa višim udjelom biodizela može doći do povećanja emisije CO u odnosu na rad motora na čisto dizel gorivo, najvjerojatnije zbog već spomenute lošije atomizacije goriva [22-25]. Emisija ugljen dioksida opada sa porastom udjela biodizela u smješama, ali istovremeno raste i emisija oksida azota pa je potrebno izabrati neku optimalnu količinu biodizela u smješama sa dizel gorivom [22-24]. CO₂ troše biljke pri procesu fotosinteze stoga on i nije toliko bitan sa aspekta zagađenja životne sredine pa bi pažnju trebalo usmjeriti ka smanjenju emisije NO_x što ide u prilog upotrebi smješa sa manjim udjelom biodizela.

U cilju promovisanja upotrebe obnovljivih izvora energije Evropski parlament i Savjet Evropske Unije su usvojili Direktivu 2009/28/EC [26] koja je ustanovila nacionalni cilj o podizanju udjela energije iz obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije u sektoru transporta na 10% do 2020. godine. Najizvodljiviji način da se ovo postigne, pored upotrebe električne energije i vodonika, jeste povećanje upotrebe biodizela [27]. Miješanje biodizela sa dizel gorivom je već postalo praksa u većini razvijenih zemalja tako da i standard za goriva za automobile EN 590/2009 [28] dozvoljava dodavanje do 7 vol% biodizela u fosilno dizel gorivo bez posebnog naglašavanja.

Tokom rada dizel motora javljaju se promjene pritiska goriva, stvara se tzv. talas pritiska, u ulaznoj cijevi za ubrizgavanje goriva, koje mogu da promjene maseni protok goriva [29]. Ubrizgavanje i sagorjevanje goriva se odvijaju na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima i pod velikim su uticajem volumetrijskih i transportnih svojstava goriva, pogotovo gustine i viskoznosti [30-32]. Pored njih i izvedene termodinamičke veličine, kao što su koeficijent izotermnog sabijanja i koeficijent izobarskog toplotnog širenja, veoma utiču na proces atomizacije, a samim tim i na potrošnju goriva u dizel motorima [33-35]. Prema tome, poznavanje ovih svojstava na različitim pritiscima i temperaturama je od najvišeg značaja pri korišćenju biodizela u cilju predviđanja i unaprijeđenja rada dizel motora.

Uticaj raznih zamjena za fosilna dizel goriva, pogotovo biodizela i njegovih smješa sa dizelom, na rad i dizajn dizel motora je predmet istraživanja mnogih studija poslednjih

godina [12,16,17,22-24,36-38]. Da bi se ispitala upotreba biodizela u dizel motorima i njihova stabilnost, transport, skladištenje ili mješljivost, potrebno je odrediti optimalan model za predskazivanje volumetrijskih i transportnih svojstava goriva [39-45]. Za sve to su neophodni pouzdani podaci o pomenutim veličinama pri različitim temperaturama, pritiscima i sastavima. Podaci o gustinama čistih biodizela koji se mogu naći u literaturi su većinom mjereni na atmosferskom pritisku [46-48], a tek poslednjih desetak godina se objavljuju radovi koji daju gustine raznih estara viših masnih kiselina na visokim pritiscima [30,33,49-51]. Njihove smješe sa dizel gorivom su, takođe, najčešće ispitivane u užim opsezima temperature na atmosferskom pritisku [31,39,40,44,52-56], a samo u nekoliko radova se mogu naći njihove gustine i viskoznosti na višim temperaturama i pritiscima [33,57].

Pored sojinog ulja, koje se najčešće koristi za proizvodnju biodizela u SAD, i ulja uljane repice, najviše zastupljenog u Evropi, postoje mnoga biljna ulja i životinjske masti koje se mogu iskoristiti u svrhu dobijanja biodizela, kao što su suncokretovo ulje, palmino ulje, kukuruzno ulje, ulje jatrofe ili sjemena pamuka [53]. Suncokretovo ulje je dobar izbor zbog svog visokog sadržaja ulja i mogućnosti da se suncokret uzgaja između žetvi [58]. Ipak postoji samo nekoliko studija o gustinama biodizela dobijenih iz suncokretovog ulja na višim pritiscima [59], a njegove smješe sa dizelom su većinom ispitivane na atmosferskom pritisku [53,58,60,61]. Većina literaturnih podataka na atmosferskom pritisku je data samo na 288.15 K za gustine ili 313.15 K za viskoznosti [53,60] pošto su to vrijednosti koje se porede sa standardima [13,14,28], a u velikom broju radova čak nije ni naveden tačan sastav biodizela. Parente je sa saradnicima [58] objavio gustine i viskoznosti samo za smješe metil estara suncokretovog ulja sa dizel gorivom na temperaturama 293.15-373.15 K na atmosferskom pritisku na svim sastavima, dok su Rajagopal i njegove kolege [61] uradili isto samo na užem opsegu temperature, 303.15-318.15 K.

Ispitivanja mogućnosti upotrebe alkohola u dizel motorima datiraju još od 70-ih godina prošlog vijeka [62,63], a zbog već spomenutih težnji da se smanji upotreba fosilnih goriva, posljednjih godina su znatno intenzivirana [62-70]. Pokazalo se da se alkoholi ne mogu čisti koristiti u postojećim dizel motorima, već samo u obliku smješa sa dizel gorivom. Etanol je, u odnosu na metanol, rastvorljiviji u dizel gorivima i može se dobiti iz biomase

što ga čini obnovljivim gorivom pa se on najčešće spominje kao dodatak dizel gorivima [63,64]. Upotreba etanola u dizel motorima dovodi do smanjenja količine prašine i čađi u vazduhu, smanjuje se emisija CO i NO_x, ali se isto tako smanjuje i efikasnost dizel motora i povećava potrošnja goriva, u odnosu na rad motora kada se koristi dizel gorivo [62-70]. Rastvorljivost anhidrovanog etanola u dizelu je prilično dobra, ali znatno opada već pri prisustvu i 0.5 % vode [64], Stoga se pri miješanju etanola sa dizel gorivom dodaje i biodizel koji znatno povećava njihovu mješljivost [65,67]. Dok etanol ima veći oktanski broj, ali nižu viskoznost i gustinu u odnosu na dizel gorivo, biodizel ima veći cetanski broj, gustinu i viskoznost u odnosu na dizel i etanol pa će uticati na svojstva smješa etanola sa dizelom u dovoljnoj mjeri da se usklade sa standardima za automobilska goriva [64,65]. Kao i kod dodavanja biodizela dizelu i ovdje se preporučuje upotreba smješa sa nižim udjelom etanola da bi se iskoristile njegove prednosti, a opet da dobijene smješe imaju slična termodinamička svojstva kao dizel gorivo. Da bi se takve ternerne smješe mogle koristiti u dizel motorima potrebno je poznavati njihovo ponašanje na različitim uslovima, što se ne može naći u literaturi za biodizel dobijen iz suncokretovog ulja.

Zbog očiglednog manjka podataka o termodinamičkim i transportnim svojstvima biodizela dobijenih iz suncokretovog ulja i iz svinjske masti, kao i njihovih smješa sa dizel gorivom i etanolom, u okviru ove doktorske teze pažnja je posvećena upravo ovim supstancama. Tako su mjerene viskoznosti i indeksi refrakcije čistih metil i etil estara masnih kiselina iz suncokretovog ulja, metil estara svinjske masti i dizel goriva na atmosferskom pritisku, kao i njihove gustine na visokim pritiscima. Nakon toga su ispitivane niže binarne smješe metil i etil estara suncokretovog ulja sa dizel gorivom, pri udjelima biodizela od 10 vol% i 20 vol%, i mjerene su njihove viskoznosti i indeksi refrakcije na atmosferskom, kao i gustine na višim pritiscima. Pored smješa pojedinačnih biodizela sa dizelom, pravljene su i ternarne smješe dva biodizela dobijena iz suncokretovog ulja sa dizel gorivom, sa ukupnim udjelom biodizela u smješi od 10 vol% i 20 vol%, i za njih su određivane iste veličine kao i za već pomenute uzorke. Osim biodizela, provjeren je i uticaj dodavanja alkohola u dizel goriva, kroz mjerenja viskoznosti i indeksa refrakcije na atmosferskom pritisku i gustina na višim pritiscima za ternerne

smješe metil estara suncokretovog ulja sa dizel gorivom i etanolom, gdje je udio biodizela bio 10 vol%, a etanola 5 vol% i 10 vol%.

Izmjerene vrijednosti viskoznosti ispitivanih uzoraka su obrađene Vogel-Fulcher-Tammann modelom i dobijeni su parametri koji omogućuju računanje viskoznosti kako čistih biodizela i dizel goriva, tako i njihovih binarnih i ternernih smješa na različitim temperaturama pri atmosferskom pritisku. Kod posmatranih binarnih i ternernih smješa, uticaj udjela biodizela u smješi je opisan pravilom miješanja koje su predložili Grunberg i Nissan [71].

Gustine mjerene na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima su obrađene modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom, empirijskim modelom koji se veoma mnogo koristi u korelisanju gustina na visokim pritiscima [72-76]. Na osnovu dobijenih parametara proračunate su i vrijednosti izvedenih volumetrijskih veličina, kao što su koeficijent izotermnog sabijanja, koeficijent izobarskog toplotnog širenja, unutrašnji pritisak i razlika izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta na širokim opsezima pritiska i temperature. Zavisnost gustine i izvedenih termodinamičkih svojstava binarnih i ternernih smješa od udjela pojedinačnih komponenti u njima ispitana je primjenom Kay-ovog jednostavnog pravila miješanja [77].

Pored navedenih termodinamičkih veličina, za čist etanol, dizel gorivo i metil estre viših masnih kiselina suncokretovog ulja, kao i njihove binarne i ternerne smješe, mjerene su i brzine zvuka na atmosferskom pritisku. To je, uz prethodno određena svojstva, omogućilo računanje i koeficijenta izentropskog sabijanja, κ_s , kao i specifičnog toplotnog kapaciteta pri konstantnom pritisku i onog pri konstantnoj zapremini.

***TERMODINAMIČKA SVOJSTVA
ISPITIVANIH SISTEMA***

2.

2.1. Termodinamička i transportna svojstva

Predmet istraživanja ove doktorske teze jeste termodinamičko ponašanje raznih biodizela, dizel goriva i njihovih smješa pri različitim uslovima temperature i pritiska. U skladu sa tim su mjerene gustina, viskoznost, indeks refrakcije i brzina zvuka u pomenutim uzorcima na različitim temperaturama na atmosferskom pritisku i njihove gustine na nešto širem opsegu temperatura i visokim pritiscima. U ovom poglavlju će biti date osnovne definicije pomenutih veličina.

Gustina, ρ

Gustina je po definiciji odnos mase i zapremine tijela tj. masa jedinice zapremine nekog uzorka [78].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1.1)$$

gdje je ρ gustina uzorka, m njegova masa, a V zapremina. Jedinica je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Ona zavisi od temperature, pritiska, agregatnog stanja, za smješe od sastava i od drugih parametara. Standardno opada sa porastom temperature, osim u slučaju vode kada raste na temperaturama do 277.15 K, kada ima najvišu vrijednost, i dalje sa porastom temperature opada - anomalija vode. Sa porastom pritiska rastu i gustine supstanci.

Recipročna vrijednost gustine se naziva specifična zapremina.

Viskoznost, η

Viskoznost predstavlja silu trenja među slojevima fluida ili između fluida i tijela koje se kreće kroz njega. Ona zavisi od pritiska, temperature, međumolekulskih interakcija, veličine i oblika molekula u uzorku. Prema Njutnovom zakonu koeficijent viskoznosti, η , je brojno jednak sili koja između slojeva jedinične površine A održava jedinični gradijent brzine dw/dx :

$$F = -\eta \cdot A \cdot \frac{dw}{dx} \quad (2.1.2)$$

Fluidi koji zadovoljavaju Njutnov zakon viskoznosti su njutnovski ili normalni fluidi dok je kod nenjutnovskih fluida zavisnost između primjenjene sile po jedinici površine i gradijenta brzine nelinearna [79].

Dinamička viskoznost je trenje između slojeva fluida koji klize jedan preko drugog:

$$\eta = -\frac{F/A}{dw/dx} \quad (2.1.3)$$

i jedinica je poaz, 1 P=0.1 Pa·s.

Recipročna vrijednost viskoznosti je fluidnost koja pokazuje lakoću kojom se fluid kreće.

Kinematska viskoznost je odnos dinamičke viskoznosti i gustine:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.1.4)$$

i jedinica za ovaj tip viskoznost je stoks, 1 St = 10⁻⁴ m²·s⁻¹.

Kod tečnosti su izraženije kohezivne sile i viskoznost opada sa porastom temperature, a kod gasova dominira prenos impulsa sudarima i viskoznost raste sa porastom temperature.

Indeks refrakcije, n_D

Indeks refrakcije (prelamanja) je veličina koja pokazuje koliko je puta brzina prostiranja svjetlosti u nekom uzorku manja u odnosu na brzinu prostiranja svjetlosti u vakuumu:

$$n_D = \frac{c_0}{c} \quad (2.1.5)$$

To je bezdimenzionalna veličina i zavisi od frekvencije svjetlosti.

Brzina zvuka, u

Brzina zvuka predstavlja brzinu prostiranja nekog malog mehaničkog poremećaja kroz homogenu sredinu. Zavisi od promjena pritiska i gustine uzorka:

$$u = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (2.1.6)$$

i jedinica je m·s⁻¹.

2.2. Izvedena volumetrijska svojstva

Tait je još 1888. godine predložio jednačinu koja prikazuje zavisnost specifične zapremine od pritiska da bi je Tammann 1895. godine malo izmjenio i objavio kao Tammann-Tait-ovu jednačinu [80,81]. Pomenuta jednačina je vremenom pretrpjela još ispravki pa se poslednjih decenija zavisnost gustine od temperature i pritiska najčešće predstavlja modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom:

$$\rho(T, p) = \frac{\rho^{\text{ref}}(T)}{1 - C(T) \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right)} \quad (2.2.1)$$

gdje su $B(T)$ i $C(T)$ temperaturno zavisni parametri, s tim što se za C veoma često pretpostavi da ne zavisi od temperature. Ovi parametri se mogu izračunati iz kvadratnih polinoma:

$$B(T) = \sum_{i=0}^2 b_i T^i \quad (2.2.2)$$

$$C(T) = \sum_{i=0}^2 c_i T^i \quad (2.2.3)$$

gdje je $\rho^{\text{ref}}(T)$ gustina na referentnom pritisku, p^{ref} , a može se predstaviti kvadratnim polinomom:

$$\rho^{\text{ref}}(T) = \sum_{i=0}^2 a_i T^i \quad (2.2.4)$$

U jednačinama (2.2.2)-(2.2.4) a_i , b_i i c_i su parametri koji određuju optimizacijom.

Optimizacija parametara se vrši primjenom neke optimizacione metode, na primjer Marquardt-ovog algoritma za minimizovanje funkcije cilja, za koju se najčešće bira standardna devijacija (jednačina (2.2.8)). Prvo se određuju parametri a_i tako što se podaci izmjereni na referentnom pritisku, koji je najčešće 0.1 MPa ili 1 MPa u zavisnosti od uzorka, obrade polinomom u jednačini (2.2.4) tako da se dobije najmanje odstupanje mjerenih od izračunatih podataka. Nakon toga se određuju parametri b_i i c_i . Ako je se za referentni pritisak izabere 0.1 MPa za određivanje b_i i c_i parametara se koriste gustine na pritisacima iznad atmosferskog, a ako je p^{ref} 1 MPa onda se sve mjerene gustine za dati

uzorak koriste za njihovu optimizaciju. Kriterijumi poređenja koji se koriste za procjenu obrade gustina su: srednja apsolutna procentualna greška, *AAD*, maksimalna apsolutna procentualna greška, *MD*, standardna devijacija, σ , i srednja procentualna greška, *Bias* [7]:

$$AAD = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\rho_i^{\text{exp}} - \rho_i^{\text{cal}}}{\rho_i^{\text{exp}}} \right| \quad (2.2.5)$$

$$MD = \max \left(100 \left| \frac{\rho_i^{\text{exp}} - \rho_i^{\text{cal}}}{\rho_i^{\text{exp}}} \right| \right), i=1, N \quad (2.2.6)$$

$$Bias = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i^{\text{exp}} - \rho_i^{\text{cal}}}{\rho_i^{\text{exp}}} \quad (2.2.7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\rho_i^{\text{exp}} - \rho_i^{\text{cal}})^2}{N - m}} \quad (2.2.8)$$

gdje ρ^{exp} predstavlja eksperimentalno određene gustine na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima, ρ^{cal} označava vrijednosti gustina izračunate iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine korišćenjem optimizovanih parametara, N je broj eksperimentalnih podataka, a m broj parametara koji se optimizuju prilikom korelisanja mjerenih gustina.

Kada se gustina predstavi u obliku modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine moguće je njeno diferenciranje po pritisku i temperaturi, što je potrebno za računanje izvedenih veličina.

Koeficijent izoternskog sabijanja, κ_T , predstavlja mjeru osjetljivosti gustine na promjenu pritiska pri konstantnoj temperaturi i zavisi od unutrašnje strukture fluida [82]. Može se izraziti kao [83]:

$$\kappa_T = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T \quad (2.2.9)$$

Kada se gustina predstavi jednačinom (2.2.1) i diferencira po pritisku dobijaju se izrazi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial p} = \frac{\rho^{\text{ref}}(T) \cdot C(T) \cdot \frac{B(T) + p^{\text{ref}}}{B(T) + p} \cdot \frac{B(T) + p^{\text{ref}}}{(B(T) + p^{\text{ref}})^2}}{\left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]^2} \quad (2.2.10)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial p} = \frac{\rho^{\text{ref}}(T) \cdot C(T) \cdot \frac{1}{B(T) + p}}{\left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]^2} \quad (2.2.11)$$

Kada se jednačina (2.2.11) uvrsti u jednačinu (2.2.9), dobija se:

$$\kappa_T = \frac{\left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right] \cdot \rho^{\text{ref}}(T) \cdot C(T) \cdot \frac{1}{B(T) + p}}{\rho^{\text{ref}}(T) \cdot \left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]^2} \quad (2.2.12)$$

da bi konačan izraz za računanje koeficijenta izotermnog sabijanja bio:

$$\kappa_T = \frac{C(T)}{(B(T) + p) \left(1 - C(T) \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right)} \quad (2.2.13)$$

Koeficijent izobarskog toplotnog širenja, α_p , je mjera relativne promjene gustine koja se javlja kao odgovor na promjenu temperature pri konstantnom pritisku [82,83]:

$$\alpha_p = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_T^{-1} = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2.2.14)$$

Diferenciranje jednačine (2.2.1) po temperaturi daje izraze:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial T} = & \frac{\rho^{\text{ref}}(T) \cdot \left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]}{\left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]^2} + \\ & + \frac{\rho^{\text{ref}}(T) \cdot \left[C'(T) \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} + C(T) \cdot \frac{B(T) + p^{\text{ref}}}{B(T) + p} \cdot \frac{B'(T) \cdot (B(T) + p^{\text{ref}}) - B'(T) \cdot (B(T) + p)}{(B(T) + p^{\text{ref}})^2} \right]}{\left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]^2} \end{aligned} \quad (2.2.15)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial T} = \frac{\rho^{\text{ref}'}(T) \cdot \left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right] + \rho^{\text{ref}}(T) \cdot \left[C'(T) \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} + C(T) \cdot \frac{B'(T) \cdot (p^{\text{ref}} - p)}{(B(T) + p) \cdot (B(T) + p^{\text{ref}})} \right]}{\left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]^2} \quad (2.2.16)$$

Kad se izraz (2.2.16) uvrsti u jednačinu (2.2.14) dobija se:

$$\alpha_p = - \frac{1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right)}{\rho^{\text{ref}}(T)} \cdot \frac{\rho^{\text{ref}'}(T) \cdot \left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right] + \rho^{\text{ref}}(T) \cdot \left[C'(T) \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} + C(T) \cdot \frac{B'(T) \cdot (p^{\text{ref}} - p)}{(B(T) + p) \cdot (B(T) + p^{\text{ref}})} \right]}{\left[1 - C(T) \cdot \ln \left(\frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right) \right]^2} \quad (2.2.17)$$

koji može da se transformiše do konačnog izraza za računanje koeficijenta izobarskog toplotnog širenja:

$$\alpha_p = \frac{-\rho^{\text{ref}'}(T)}{\rho^{\text{ref}}(T)} - \frac{C(T) \cdot \frac{B'(T)(p^{\text{ref}} - p)}{(B(T) + p)(B(T) + p^{\text{ref}})} + C'(T) \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}}}{\left(1 - C(T) \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right)} \quad (2.2.18)$$

gdje su $\rho^{\text{ref}'}(T)$, $B'(T)$ i $C'(T)$ prvi izvodi po temperaturi parametara ρ^{ref} , $B(T)$, odnosno $C(T)$ modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine:

$$\rho^{\text{ref}'}(T) = \sum_{i=0}^2 ia_i T^{i-1} \quad (2.2.19)$$

$$B'(T) = \sum_{i=0}^2 ib_i T^{i-1} \quad (2.2.20)$$

$$C'(T) = \sum_{i=0}^2 ic_i T^{i-1} \quad (2.2.21)$$

Termodinamička veličina, koja se, takođe, može proračunati iz gore navedenih jednačina, je odnos koeficijenata izobarskog toplotnog širenja i izotermnog sabijanja - *toplotni koeficijent pritiska*, γ [83]:

$$\gamma = \frac{\alpha_p}{\kappa_T} \quad (2.2.22)$$

On je povezan sa *unutrašnjim pritiskom*, p_{int} , koji predstavlja promjenu unutrašnje energije mjerenog uzorka pri izotermnom širenju ili skupljanju, odnosno, opisuje interakcije unutar molekula. Unutrašnji pritisak se veoma jednostavno može izračunati kada su poznati koeficijenti izoternskog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja [83]:

$$p_{\text{int}} = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho - p = T\gamma - p = \frac{T\alpha_p}{\kappa_T} p \quad (2.2.23)$$

gdje U označava unutrašnju energiju, a V je zapremina uzorka.

Veoma značajno termodinamičko svojstvo, koje se može izračunati na osnovu definisanih veličina je *razlika između izobarskog*, c_p , *i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta*, c_v [83]:

$$c_p = c_v + T \frac{\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_\rho^2}{\rho^2 \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T} \quad (2.2.24)$$

Povezivanje jednačina (2.2.9) i (2.2.14) sa jednačinom (2.2.24) daje izraz:

$$c_p - c_v = \frac{\alpha_p^2 T}{\rho \kappa_T} \quad (2.2.25)$$

Posljednja relacija je izuzetno značajna jer se može koristiti za računanje toplotnog kapaciteta pri konstantnoj zapremini, c_v , čije je eksperimentalno određivanje prilično složeno. Toplotni kapacitet pri konstantnom pritisku, c_p , se može izmjeriti ili izračunati iz podataka o brzini prostiranja zvuka kroz uzorak, ukoliko su dostupni, i gore navedenih svojstava, što, dalje, omogućuje proračun i izohorskog toplotnog kapaciteta.

Koeficijent izentropskog sabijanja, κ_S , se definiše kao [84]:

$$\kappa_S = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_S \quad (2.2.26)$$

i može se izračunati iz jednačine:

$$\kappa_S = \frac{1}{\rho u^2} \quad (2.2.27)$$

gdje je u brzina prostiranja zvučnih talasa kroz uzorak.

Dalje se *izobarski specifični toplotni kapacitet* dobija iz sljedećeg izraza:

$$c_p = \frac{\alpha_p^2 T}{\rho(\kappa_T - \kappa_S)} \quad (2.2.28)$$

Kombinovanjem jednačina (2.2.25) i (2.2.28) na jednostavan način se proračunava *izohorski specifični toplotni kapacitet*.

$$c_v = \frac{\alpha_p^2 T \kappa_S}{\rho \kappa_T (\kappa_T - \kappa_S)} \quad (2.2.29)$$

Poznavanje koeficijenta izentropskog sabijanja omogućava računanje još jednog bitnog svojstva tečnosti – *međumolekulske slobodne dužine*, L_f [85-87]:

$$L_f = K_j \cdot \sqrt{\kappa_S} \quad (2.2.30)$$

gdje je K_j Jakobsonova konstanta [86]. Jakobson je objavio vrijednosti pomenute konstante na nekoliko temperatura u opsegu 273.15-323.15 K da bi kasnije te vrijednosti bile korelisane i izvedene zavisnost Jakobsonove konstante od temperature [85-87]:

$$K_j = (93.875 + 0.375 \cdot T) \cdot 10^{-8} \quad (2.2.31)$$

Privlačne međumolekulske sile unutar tečnosti zavise od udaljenosti centara privlačenja molekula, a odbojne sile od udaljenosti površina molekula. Dok je razdaljinu između centara privlačenja molekula teško odrediti, pogotovo jer se oni ne poklapaju sa geometrijskim centrima molekula, udaljenost površina molekula unutar ispitivanog uzorka se može lakše odrediti i to je upravo gore definisana međumolekulska slobodna dužina [87].

EKSPERIMENTALNI DIO

3.

3.1. Određivanje termodinamičkih svojstava na atmosferskom pritisku

Mjerenje gustine

Tokom rada na ovoj doktorskoj tezi gustine na atmosferskom pritisku su mjerene na DMA 5000 gustinomjeru proizvođača Anton Paar (Slika 3.1.1.a). Ovaj gustinomjer pruža mogućnost mjerenja gustina sa veoma velikom preciznošću na različitim temperaturama u intervalu 273.15-363.15 K i na pritiscima 0-10 bar. Ono što je značajno pomenuti jeste i širok opseg gustina koje se mogu mjeriti $0-3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ sa preciznošću od $1\cdot 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, kao i veoma kratko vrijeme za koje se određuju pojedinačne gustine, od 40 s. Podešavanje temperatura se vrši automatski, tako što se željena temperatura ili opseg temperatura na kojima se izvode mjerenja zadaju preko ekrana uređaja, a Peltier element sa dva integrisana Pt 100 termometra održavaju temperaturu sa preciznošću od 0.001 K.

DMA 5000 je po tipu gustinomjer sa oscilirajućom U cijevi, koja je u ovom slučaju napravljena od borosilikatnog stakla i omogućava posmatranje uzorka tokom mjerenja. Uređaj automatski vrši pretvaranje mjerenih perioda oscilovanja U cijevi ispunjene uzorkom u gustine uzorka i rezultate prikazuje na svom ekranu. Rezultati se čuvaju i u memoriji uređaja što znatno olakšava proces mjerenja gustina. Uređaj, takođe, automatski vrši i ispravljanje mjerenih gustina zbog uticaja viskoznosti ispitivanih uzoraka.

Detaljan princip rada, postupak kalibracije uređaja i sama procedura mjerenja gustina na atmosferskom pritisku su dati u literaturi [1,2,88,89]. Osnovna svojstva uređaja su data u Tabeli 1 u Prilogu.



a)

b)

Slika 3.1.1. a) DMA 5000 gustinomjer i b) SVM 3000/G2 viskometar

Mjerenje viskoznosti

Dinamičke viskoznosti na atmosferskom pritisku su mjerene na SVM 3000/G2 viskometru proizvođača Anton Paar (Slika 3.1.1.b). Ovaj uređaj pored dinamičke viskoznosti u intervalu 0.2-20000 mPa·s mjeri i kinematsku viskoznost u opsegu 0.2-20000 mm²·s⁻¹ i gustine 0.65-3 g·cm⁻³. Opsjeg temperatura na kojima je moguće izvoditi mjerenja bez dodatnog spoljašnjeg hlađenja je od 20 °C ispod temperature u prostoriji do 105 °C. Reproductivnost mjerenih viskoznosti je ±0.35 % mjerene vrijednosti u pomenutom opsegu mjerenja, reproductivnost gustine određene na ovom uređaju je ±0.0005 g·cm⁻³ u prijavljenom opsegu mjerenja, a reproductivnost temperature ±0.02 °C unutar pomenutog intervala temperatura. Ponovljivost viskoznosti, gustine i temperature je redom ±0.1 %, ±0.0001 g·cm⁻³ i 0.005 °C. Ono što je velika prednost određivanja viskoznosti primjenom ovog uređaja jeste mala količina uzorka potrebna za mjerenje i kratko vrijeme trajanja samog mjerenja.

Uređaj SVM 3000/G2 pripada grupi rotacionih viskometara i radi na modifikovanom Kuetovom principu sa dva cilindra od kojih je jedan smješten unutar drugog i sporije se rotira, dok se spoljašnji rotira većom brzinom. Mjere se obrtni moment rotirajućeg magneta i brzina rotora smještenih unutar unutrašnjeg cilindra. Pored cilindra za mjerenje dinamičke viskoznosti u uređaj je ugrađena i oscilirajuća U cijev koja služi za mjerenje

gustine. Detaljan opis rada uređaja i procedure mjerenja je dat u literaturi [89,90], a specifikacioni podaci u Tabeli 2 u Prilogu.

Mjerenje indeksa refrakcije

Indeksi refrakcije uzoraka predstavljenih u ovom radu su mjereni na atmosferskom pritisku pomoću RXA 156 refraktometra, proizvođača Anton Paar (Slika 3.1.2.a). Opsjeg indeksa refrakcije koji se mogu mjeriti na ovom uređaju je 1.32-1.56 na temperaturama 10-70 °C. Dva integrisana Pt 1000 platinumska termometra obezbjeđuju izuzetno preciznu kontrolu temperature preko ugrađenog termostata. Ponovljivost mjerenja indeksa refrakcije koju je prijavljena od strane proizvođača je $2 \cdot 10^{-5}$, a temperature 0.03 °C.

Princip rada ovog refraktometra se zasniva na mjerenju ugla skretanja svjetlosti talasne dužine 589.3 nm, koju emituje LED lampa, pri prolasku kroz prizme između kojih je ubrizgan uzorak. Senzor visoke osjetljivosti detektuje ugao skretanja i ugrađeni softver uređaja vrši proračun indeksa refrakcije, a cijela procedura traje veoma kratko.

RXA 156 refraktometar ne posjeduje sopstveni ekran pa, da bi mogao da se koristi, mora biti povezan sa odgovarajućim gustinomjerom ili uređajem za mjerenje gustine i brzine zvuka preko čijeg ekrana se zadaje temperatura ili opseg temperatura na kojima se vrše mjerenja i na kome se bilježe dobijeni rezultati. Ako se mjerenje indeksa refrakcije izvodi istovremeno sa mjerenjem gustine uzorka potrebna je nešto veća količina uzorka da se ispune mjerni dijelovi oba uređaja, ali postoji i mogućnost odvojenog mjerenja indeksa refrakcije kada se uzorak ubrizgava samo u refraktometar i tada su dovoljne vrlo male količine uzorka, 0.3-1 ml. Procedura mjerenja i rada na refraktometru je detaljnije objašnjena u literaturi [88-90], a precizniji podaci o uređaju su prikazani u Tabeli 3 u Prilogu.



a)



b)

Slika 3.1.2. a) RXA 156 refraktometar i b) DSA 5000 M uređaj za mjerenje gustine i brzine zvuka
Mjerenje brzine zvuka

U toku rada na ovoj doktorskoj disertaciji Laboratorija za hemijsko inženjerske parametre Tehnološko metalurškog fakulteta u Beogradu je nabavila i uređaj za istovremeno mjerenje gustine i brzine prostiranja zvuka u uzorku na atmosferskom pritisku – DSA 5000 M proizvođača Anton Paar pa su neki uzorci ispitivani i na njemu (Slika 3.1.2.b). DSA 5000 M ima mogućnost mjerenja gustina u intervalu $0\text{-}3\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ i brzina prostiranja zvuka kroz uzorak od $1000\text{-}2000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a sve to na temperaturama $273.15\text{-}343.15\text{ K}$. Ponovljivost mjerenja gustina koju prijavljuje proizvođač je $0.000001\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, za brzine zvuka ponovljivost je $0.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a za temperaturu 0.001 K .

Uređaj posjeduje dvije mjerne ćelije, jednu od nerđajućeg čelika koja služi za mjerenje brzine prolaska zvuka kroz uzorak i druge U cijevi od borosilikatnog stakla u kojoj se određuje gustina uzorka. Temperatura u obje ćelije ispunjene uzorkom se kontroliše pomoću dva ugrađena Pt 1000 termometra od platine koji zajedno sa Peltier elementom obezbjeđuju izuzetno preciznu termičku stabilnost uzorka.

Pri ubrizgavanju uzorka u DSA 5000 M on prvo prolazi kroz ćeliju u kojoj se mjeri brzina zvuka pa zatim ulazi u U cijev za mjerenje gustine. Sa jedne strane ćelije za mjerenje brzine zvuka je postavljen ultrazvučni predajnik, koji šalje zvučne talase poznatog perioda kroz uzorak, dok je sa druge strane postavljen prijemnik. Brzina prostiranja zvuka se računa određivanjem perioda primljenih zvučnih talasa, imajući u vidu udaljenost između predajnika i prijemnika.

$$u = \frac{l \cdot (1 + 1.6 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T)}{\frac{P_S}{512} - K_S \cdot f_3} \quad (3.1.1)$$

gdje je l originalna dužina puta zvučnog talasa (5000 μs), ΔT je odstupanje temperature od 293.15 K, P_S period oscilovanja primljenog zvučnog talasa, K_S je konstanta aparature za brzinu zvuka, a f_3 korekcionni faktor za temperaturu.

Kada se uzorak ubaci u mjernu U ćeliju i pokrene mjerenje ona se elektronski pobudi na oscilovanje karakterističnom frekvencijom koja se mijenja u zavisnosti od temperature. Preciznim određivanjem te frekvencije i daljim kalibracionim proračunima se dobija gustina ubrizganog uzorka. Gustine se računaju iz količnika perioda oscilovanja U cijevi ispunjene uzorkom i referentnog oscilatora:

$$\rho = K_A \cdot Q^2 \cdot f_1 - K_B \cdot f_2 \quad (3.1.2)$$

gdje su K_A i K_B konstante aparata, Q je period oscilovanja U cijevi podjeljen sa periodom oscilovanja referentnog oscilatora, a f_1 i f_2 su korekcionni faktori za temperaturu, viskoznost i nelinearnost. Velikoj preciznosti uređaja doprinosi i to što se periodi oscilovanja U cijevi mjere optički, kao i postojanje dodatnog referentnog oscilatora koji obezbjeđuje precizna mjerenja na čitavom temperaturnom opsegu sa samo jednim podešavanjem na 293.15 K. Greške pri mjerenju gustine zbog uticaja viskoznosti uzorka se automatski ispravljaju pošto su uzeti u razmatranje i u kalibracionoj jednačini.

Uređaj posjeduje veliki ekran osjetljiv na dodir koji znatno olakšava podešavanje radnih uslova u odnosu na ranije modele. Pošto je RXA 156 refraktometar povezan sa ovim uređajem postoji više metoda mjerenja koje se jednostavno mogu odabrati, mjerenje samo gustine, samo brzine zvuka, mjerenje gustine i indeksa refrakcije ili određivanje sve tri veličine istovremeno. Mjerenje na pojedinačnim temperaturama traje veoma kratko i potrebne su male količine uzorka, oko 4 ml za oba uređaja DSA 5000 M i RXA 156, što je veoma bitno kod obimnih eksperimenata.

Uzorak se ubacuje u uređaj pomoću plastičnog šprica, s tim da se prethodno izbace svi mjehurići iz uzorka. Staklena U cijev se sve vrijeme snima i prikazuje na ekranu, uz mogućnost dodatnog uvećanja slike, tako da se može pratiti da li su u uzorku zaostali mjehurići gasa ili neke nečistoće. Osim toga i sam uređaj automatski primjećuje ako je

uzorak nehomogen i pojavljuje se poruka na ekranu, što važi i za ostale nepravilnosti tokom mjerenja. Do 1000 podataka se čuva u memoriji uređaja, a ono što znatno olakšava rad jeste i mogućnost prebacivanja podataka u oblik pogodan za korišćenje u Adobe reader ili Microsoft Excel dokumentu. U toku mjerenja se mogu pogledati izmjerene vrijednosti bez prekidanja rada uređaja.

Nakon mjerenja uzorak se istiskuje pomoću integrisane vazdušne pumpe. Ispiranje mjernih ćelija se vrši prvo tri puta vodom, pa tri puta etanolom, a zatim acetonom, s tim da se između pojedinačnih ispiranja medijum za čišćenje izbacuje vazuhom pomoću pomenute pumpe. U slučaju da je vršeno mjerenje neke supstance koja se ne rastvara u ovim rastvaračima potrebno je provjeriti njenu rastvorljivost i očistiti mjerne ćelije odgovarajućim rastvaračem. Čistoća ćelija za mjerenje gustine i brzine zvuka se određuje na osnovu slaganja vrijednosti tih veličina za vazduh na određenoj temperaturi sa standardnim vrijednostima datim u upustvu za korišćenje aparata.

Kalibracija DSA 5000 M uređaja je rađena prilikom puštanja u rad i jednostavno se izvodi pomoću tečne supstance za koju su poznate gustine na raznim temperaturama sa velikom preciznošću. Uzorak se ubaci u aparat i izmjere se gustina na 293.15 K, a dalje uređaj automatski odredi konstante aparata. U bazi podataka samog aparata postoje vrijednosti gustina i brzina zvuka za vodu i vazduh pa je moguće lako uraditi podešavanje uređaja u slučaju da se posumnja u preciznost mjerenja.

Tabela 4 sa tehničkim podacima o DSA 5000 M uređaju je data u Prilogu.

3.2. Određivanje gustine na visokim pritiscima

3.2.1. Pregled metoda

Zbog neophodnosti poznavanja gustina raznih supstanci u širokim opsezima temperature i pritiska odavno se radi na pronalaženju najpreciznije metode za njihovo određivanje. Tokom prošlog vijeka predstavljene su aparature kod kojih se mjerenje gustine zasnivalo na različitim principima, a među najpouzdanijim su bili volumometri sa mijehom, gustinomjeri sa viskom, gustinomjeri sa vibrirajućom žicom ili U cijevi [81].

Volumometar sa mijehom je poseban tip piezometra gdje je uzorak smješten u mjernu ćeliju koja je u potpunosti ili samo dijelom napravljena u obliku mijeha koji se lako može sabiti i time je zaštićen od miješanja sa potisnim fluidom za podizanje pritiska. Ovaj tip uređaja za mjerenje gustine je 1931. predstavio Bridgman [91] i na njegovom prijedlogu se temelje mnoge kasnije napravljene aparature [92-99]. Poznata masa uzorka se ubaci u mjernu ćeliju sa mijehom smještenu u posudu sa fluidom koji služi za kontrolu pritiska. Preko mijeha se pritisak sa minimalnim gubicima prenosi na uzorak i zapremina mjerne ćelije se smanjuje. Promjena zapremine se mjeri preko linearnog pomjeranja mjerne ćelije, koji je proporcionalan pomjeraju magneta povezanog sa ćelijom, a to se detektuje pomoću diferencijalnog transformatora [100]. Odnos između pomjeraja ćelije pod pritiskom i promjene njene zapremine se određuje kalibracijom aparature na atmosferskom pritisku. Temperatura tokom mjerenja je kontrolisana preko uljanog kupatila u koji je smješten volumometar.

Rad gustinomjera sa dva plovka se zasniva na prilagođenom Arhimedovom principu da je potisna sila koja djeluje na tijelo, koje je u potpunosti uronjeno u fluid, jednaka masi istisnutog fluida [101]. Kleinrahm i Wagner [102] su 80-ih godina prošlog vijeka predložili ovaj tip gustinomjera koji se može koristiti za određivanje gustina tečnosti i gasova u širokim opsezima temperature i pritiska. Dva specijalno povezana plovka napravljena od različitog materijala, iste mase i površine, ali različite zapremine su uronjena u fluid čija se gustina određuje. Plovcu se mogu spuštati ili podizati sa nosača koji su povezani sa analitičkom vagom, tankom žicom pomoću magnetne sile bez kontakta. Mjeri se razlika masa plovaka u uzorku i poredi sa razlikom mjerenom u vakuumu i iz odnosa tih razlika i razlika zapremine plovaka određuje se gustina uzorka [101-104].

Novi tip gustinomjera sa jednim plovkom se, takođe, zasniva na Arhimedovom zakonu koji je primjenjen na novi način. Razvili su ga Wagner i Brachthäuser sa kolegama [105] početkom 90-ih godina prošlog vijeka, da bi kasnije bio dodatno razvijan od strane mnogih autora [105-110]. Plovak u obliku cilindra je uronjen u uzorak i preko magneta povezan sa analitičkom vagom. Gustina se jednostavno određuje iz odnosa razlike stvarne mase plovka i mase plovka u uzorku i zapremine plovka. Osnovni dio ovog gustinomjera jeste novi tip

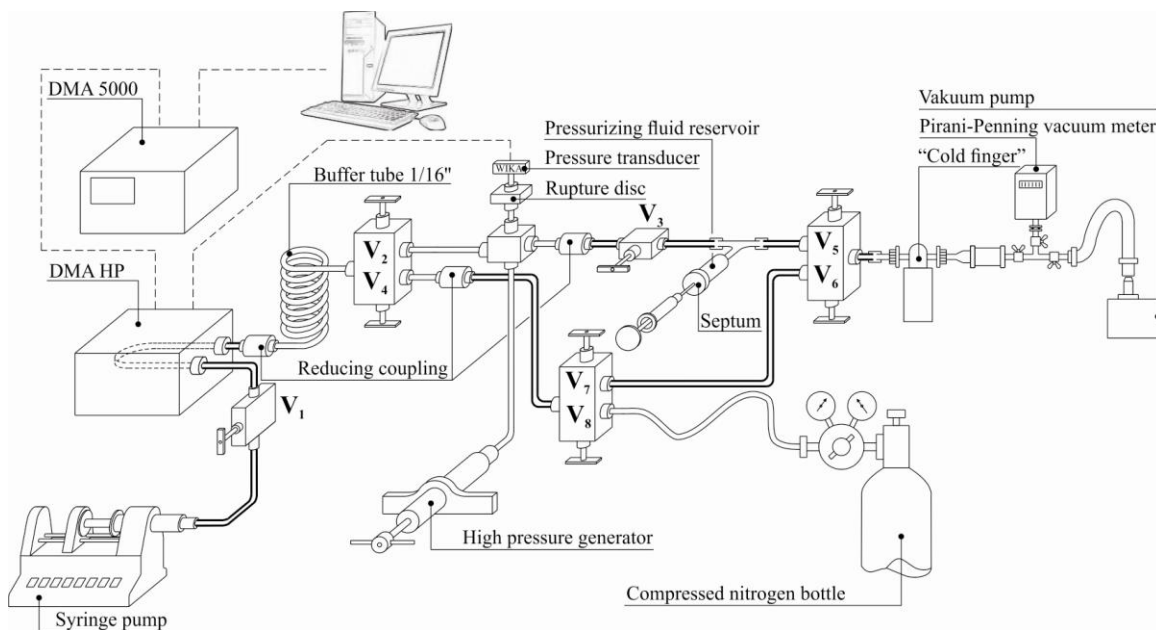
magnetne vage i to je osnovno unaprijeđenje uređaja u odnosu na onaj sa dva plovka, naravno sem smanjenja broja plovaka [101].

Gustinomjer sa vibrirajućom žicom se takođe zasniva na mjerenju sile potiska [110-114]. Plovak uronjen u uzorak je okačen o žicu koja je pobuđena na oscilovanje. Sila potiska kojom uzorak djeluje na plovak smanjuje zategnutost žice i time smanjuje frekvenciju oscilovanja žice u odnosu na onu izmjerenu pod vakuumom [101,110,111]. Ovdje se sila potiska mjeri pomoću oscilirajuće žice čime se izbjegava potreba za spoljašnjim mjerenjem mase plovka kao što je to bio slučaj kod prethodno pomenutih metoda.

Za razliku od gustinomjera sa vibrirajućom žicom kod kog je plovak imao stalnu masu kod gustinomjera sa vibrirajućom cijevi se mjereni uzorak ubacuje u cijev čime se mijenja njena masa i samim tim i frekvencija oscilovanja. Ovdje se očitava period oscilovanja U cijevi i na osnovu njegove promjene određuje gustina uzorka [101]. Prvi gustinomjer sa vibrirajućom cijevi, koji je koristio stalne magnete zakačene za cijev i elektromagnetne navoje, predstavio je Kratky sa saradnicima 1969. godine [115] i na njegovom modelu se zasnivaju uređaji proizvođača Anton Paar koji se poslednjih godina najviše koriste za razna mjerenja [116-125]. S obzirom na to da uređaji koji su korišćeni za mjerenje gustina u toku rada na ovoj doktorskoj tezi, kako na atmosferskom tako i na visokim pritiscima, pripadaju ovoj grupi gustinomjera, u daljem tekstu će detaljnije biti objašnjen princip njihovog rada i kalibracija.

3.2.2. Uspostavljanje aparature za mjerenje gustine na visokom pritisku

Kao što je već spomenuto, poznavanje gustine na visokim temperaturama i pritiscima je od izuzetnog značaja, kako pri laboratorijskim ispitivanjima tako i u industrijskim procesima. Bitan dio rada u okviru izrade ove doktorske disertacije je bio vezan za osmišljavanje i puštanje u rad aparature za mjerenje gustina uzoraka na umjerenim temperaturama i višim pritiscima, koja je detaljno predstavljena u radu objavljenom u časopisu Journal of the Serbian Chemical Society [120]. Sama aparatura je konstruisana na principu koji je predložio Gardas sa saradnicima [121] uz dodatak određenih dijelova u cilju boljeg povezivanja i pouzdanijeg mjerenja i njen šematski prikaz je dat na slici 3.2.2.1.



Slika 3.2.2.1. Šema aparature za mjerenje gustina na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima [122]

Osnovni dio aparature predstavlja DMA HP gustinomjer (Slika 3.2.2.2), proizvođača Anton Paar, sa ugrađenom ćelijom za mjerenje gustine na visokim pritiscima. Ćelija za mjerenje gustina je metalna cijev U oblika, određene mase i zapremine koja je jednim dijelom vezana za kućište aparata dok drugi može slobodno da osciluje pod dejstvom elektromagnetnog polja koje stvara Piezo element. Mjerenje gustine u ovoj mjernoj ćeliji se svodi na određivanje perioda oscilovanja U cijevi ispunjene uzorkom koja u zavisnosti od mase uzorka različito osciluje, što je direktno povezano sa gustinom uzorka.

Prirodna frekvencija oscilatora sa jednim stepenom slobode se može predstaviti [6]:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{C}{M}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{C}{M_u + \rho \cdot V_u}} \quad (3.2.2.1)$$

gdje je M_u masa U cijevi, koja nije poznata, ali je stalna, a $V_u(T,p)$ njena zapremina, koja je isto nepoznata. $C(T,p)$ predstavlja konstantu elastičnosti materijala od kog je napravljena U cijev, a $\rho(T,p)$ je gustina uzorka koji se mjeri i ubrizgan je u mjernu ćeliju. Iz ove jednačine se izvodi izraz za period oscilovanja U cijevi, τ :

$$\tau = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{M_u + \rho \cdot V_u}{C}} \quad (3.2.2.2)$$

iz čega, dalje, slijedi zavisnost gustine uzorka od perioda oscilovanja mjerne ćelije:

$$\rho(T, p) = A(T, p) \cdot \tau^2 + B(T, p) \quad (3.2.2.3)$$



Slika 3.2.2.2. DMA HP uređaj

Sam DMA HP uređaj ne posjeduje ekran pa je neophodno da bude povezan sa nekim uređajem čiji bi se ekran koristio za podešavanje radnih uslova i prikaz rezultata. U našem slučaju za to je korišten DMA 5000 gustinomjer (Slika 3.1.1.a), istog proizvođača, koji služi za mjerenje gustine na atmosferskom pritisku i različitim temperaturama. Kao rezultat mjerenja dobijaju se periodi oscilovanja U cijevi, koji se bilježe sa sedam značajnih cifara. Ispisivanje radnih uslova i rezultata mjerenja koji se odvijaju u mjernoj ćeliji DMA HP (period oscilovanja, pritisak i temperatura) na ekranu DMA 5000 gustinomjera omogućava S-BUS interfejs kojim su povezana ova dva uređaja. Dalje, DMA 5000 gustinomjer je povezan i sa kompjuterom gdje je u okviru Microsoft Excel programa instaliran programski dodatak AP SoftPrint koji omogućava automatsko bilježenje svih podataka vezanih sa aktivno mjerenje.

DMA HP uređaj ima ugrađen Peltier termostat koji veoma precizno održava zadatu temperaturu sa proširenom mjernom nesigurnošću od $U(T)=0.01$ K u intervalu pouzdanosti od 95% (faktor pokrivenosti, $k=2$). Kako je navedeno u specifikaciji (Tabela 5, Prilog) DMA HP pruža mogućnost mjerenja gustina u veoma širokom opsegu temperatura

288.15K do 473.15 K, a sa dodatnim spoljašnjim hlađenjem taj opseg se može proširiti i do 263.15 K.

Za podešavanje i kontrolu pritiska u sistemu koristi se generator visokog pritiska (HP generator) (Slika 3.2.2.1.), model 50-6-15, proizvođača High Pressure equipment Co. (HiP). Kao radni fluid koji omogućava podizanje i prenošenje pritiska u sistemu koristi se aceton, što je predloženo u literaturi [127]. Za mjerenje pritiska služi transponder pritiska WIKA, model S-10, proizvođača Alexander Wiegand GmbH&Co. koji je kalibrisan u intervalu pritisaka 0-60 MPa sa proširenom mjernom nesigurnošću za pritisak, $U(p)$, od 0.05 MPa u intervalu pouzdanosti od 95% ($k=2$) i mjeri nadpritisak u sistemu.

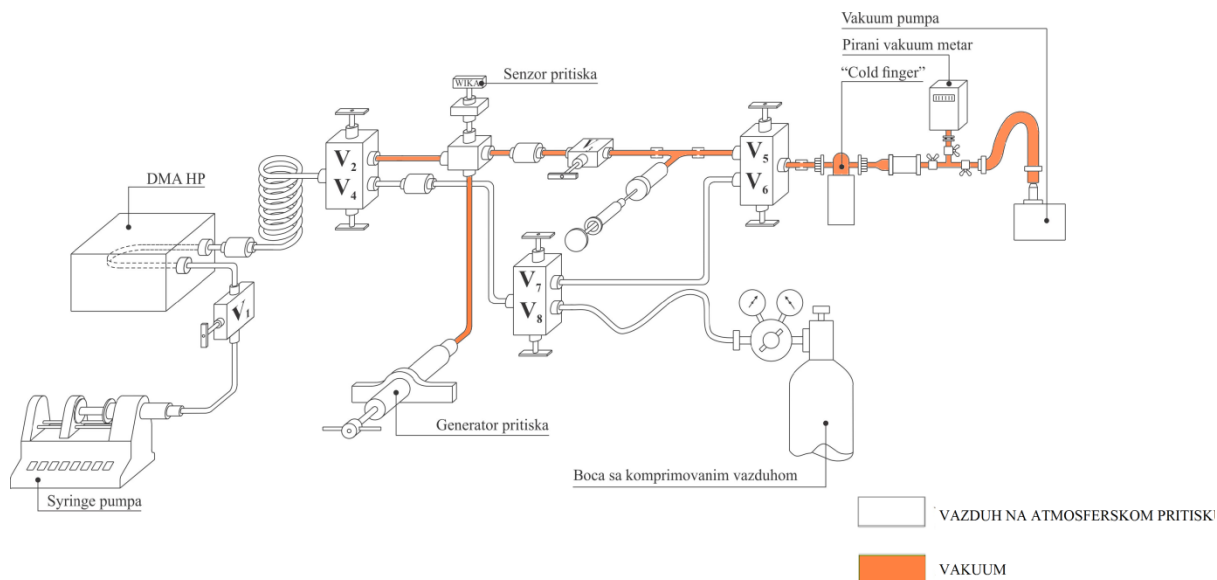
Od ostalih komponenti prikazanih na šemi 3.2.2.1. bitno je spomenuti vakuum pumpu DuoSeal, Welch, model 1400, koja je omogućavala postizanje veoma visokog vakuuma do 0.133 Pa, koji je očitavan Pirani-Penning vakuometrom. Na ulazu na vakuum pumpu postavljena je boca sa tečnim azotom ("cold finger"), proizvođača KGW Isotherm, koja sprječava prolazak tečnosti u vakuum pumpu. Za čišćenje i sušenje aparature prije vakuumiranja korišćen je azot.

Sve cjevčice, spoljašnjeg prečnika 1/16" i 1/8", kao i ventili i ostali adapteri za visok pritisak su proizvodi kompanije High Pressure equipment Co. Ovdje je potrebno istaći spiralnu cijev koja povezuje DMA HP mjernu ćeliju sa ventilom V_2 , spoljašnjeg prečnika 1/16" i dužine oko 1.5 m, koja sprječava difuziju acetona, kao hidrauličkog fluida, do U cijevi sa uzorkom [127].

Punjenje aparature fluidom za prenos pritiska

Nakon konstruisanja aparature za mjerenje gustina na visokom pritisku i povezivanja svih pomenutih komponenti, potrebno ju je pripremiti za izvođenje eksperimentalnim mjerenja. Prvi korak jeste punjenje predviđenih dijelova aparature fluidom koji će se koristiti za prenos i podešavanje pritiska. Za to je u ovom slučaju izabran aceton zbog svoje male stišljivosti koja omogućava prenošenje pritiska iz generatora visokog pritiska do uzorka u mjernoj ćeliji DMA HP bez većih gubitaka. Da bi se to uspješno izvelo potrebno je najprije vakuumirati sve dijelove aparature koje bi trebalo ispuniti acetonom, kako bi se spriječilo

zadržavanje zaostalih mjehurića vazduha u cjevčicama koji bi uticali na prenos i očitavanje pritiska u sistemu (Slika 3.2.2.3.).



Slika 3.2.2.3. Šematski prikaz postupka vakuumiranja aparature za mjerenje gustina na visokom pritisku [122]

Postupak vakuumiranja dijelova aparature u cilju što temeljnijeg ubrizgavanja acetona se odvija u sljedećim koracima:

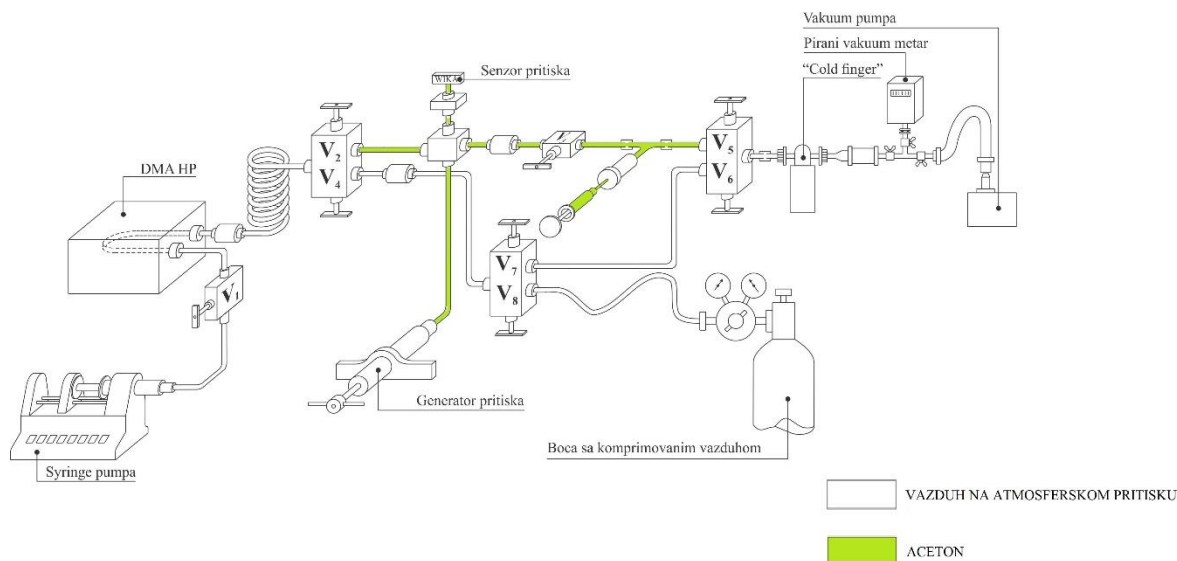
I Vakuumpumpa se poveže sa aparaturom preko posude sa azotom, koja sprječava prolazak nečistoća u vakuumpumpu.

II Ventil V_2 se zatvori, a ventili V_3 i V_5 se odvrnu, čime je sva zapremina iz koje bi trebalo izbaciti vazduh tj. sistem cjevčica koje povezuju ventil V_2 sa ventilom V_5 , preko ventila V_3 , i dalje do vakuumpumpe, kao i cjevčice koje vode do transmitera pritiska i generatora visokog pritiska, kao i sam generator pritiska, direktno povezana sa vakuumpumpom.

III Prvo se upali vakuumpetar povezan sa sistemom pa se onda vakuumpumpa pusti u rad da ne bi došlo do naglog pomjeranja igle na skali vakuumpetra što bi moglo poremetiti tačnost mjerenja

IV Poslije par sati rada, kada se postigne zadovoljavajući vakuum u odabranim dijelovima aparature, u našem slučaju oko 0.133 Pa, zatvara se ventil V_5 , gasi se vakuumpetar, vakuumpumpa se odvaja od boce sa azotom i gasi se.

Na ovaj način obezbjeđeno je da pomenuti dio aparature bude u potpunosti prazan i može da se pristupi ubrizgavanju acetona (Slika 3.2.2.4.).



Slika 3.2.2.4. Šematski prikaz ubrizgavanja acetona, kao radnog fluida, u obilježene djelove aparature [122]

Špricom sa dužom iglom, koji je napunjen degaziranim acetonom, probija se Hamiltonov višeslojni silikonski zatvarač koji se nalazi na ulazu u stakleni rezervoar acetona u okviru aparature i ubrizgava aceton, koji zbog uspostavljenog vakuuma u potpunosti ispunjava sve predviđene dijelove aparature. Prilikom vakuumiranja, a kasnije i ubrizgavanja acetona, klip na generatoru pritiska mora biti u početnom položaju, tj. cjelokupna zapremina generatora mora biti pod vakuumom, a potom i ispunjena acetonom. Kada se svi djelovi napune acetonom i nivo acetona u rezervoaru bude stabilan, zatvara se ventil V_3 , špric sa acetonom se odvaja od aparature i time je postupak pripreme aparature za eksperimentalna mjerenja završen.

Procedura mjerenja

Kada je aparatura spremna za mjerenje gustine na visokim pritiscima može se ubrizgati uzorak čija se gustina određuje i započeti procedura mjerenja (Slika 3.2.2.5.).

I špric od 20 ml se napuni uzorkom i postavi u špric-pumpu ("syringe pump") da bi se obezbjedilo kontinualno ubrizgavanje uzorka. Time se izbjegavaju nagle promjene protoka,

koje bi mogle uticati na pojavu mjehura u uzorku, što bi pravilo probleme pri mjerenju i uticalo na pouzdanost dobijenih rezultata.

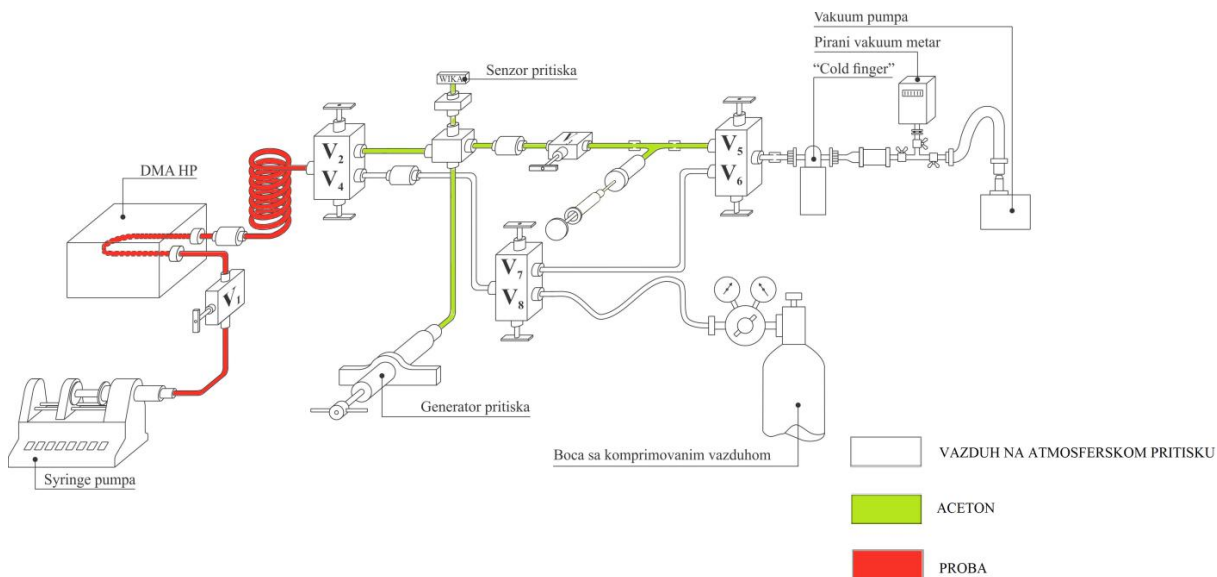
II Potom se spiralna cjevčica odvoji od ventila V_2 , koji je i dalje zatvoren, što omogućava slobodno isticanje viška uzorka.

III Ventil V_1 se otvori i špric-pumpa pusti u rad. Zapremina cjevčica, zajedno sa U cijevi unutar DMA HP uređaja, od ulaza, tj. šprica sa uzorkom, do kraja spirale iznosi oko 4 ml. Preporuka je da se pusti da oko 3/4 uzorka prodje kroz dio aparature koji će biti ispunjen uzorkom i iscuri iz spirale da bi se postigla homogenost uzorka koji se nalazi u kapilari za mjerenje gustine, to je posebno bitno kod rada sa smješama.

IV Nakon što je dovoljna količina uzorka ispuštena iz spiralne cjevčice zatvara se ventil V_1 , gasi se špric-pumpa i špric odvaja od aparature.

V Spirala se povezuje sa ventilom V_2 i za to se koristi ključ sa kontrolisanim obrtnim momentom da bi se spriječilo oštećenje ventila V_2 usljed prejakog zavijanja, ključ se u našem slučaju podesi na 5.5 lbf-ft.

VI Kada je sve povezano otvara se ventil V_2 da bi se ostvario kontakt između acetona i uzorka koji se ispituje i obezbjedio prenos pritiska od generatora pritiska do dijela uzorka koji se nalazi u mjernoj ćeliji DMA HP.



Slika 3.2.2.5. Šematski prikaz ubrizgavanja uzorka u aparaturu za mjerenje gustine na visokim pritiscima [122]

Nakon ubrizgavanja uzorka podešavaju se uslovi na kojima se mjeri gustina. Podešavanje temperature se vrši automatski na ekranu uređaja DMA 5000 odakle se signal sa zadatom temperaturom šalje do Peltier elementa u DMA HP uređaju koji dovodi U ćeliju do zadate temperature i veoma je precizno održava dok se ne podesi neka druga temperatura. Osnovna funkcija DMA 5000 gustinomjera jeste mjerenje gustina na atmosferskom pritisku pa je zbog toga prilikom mjerenja gustina na višim pritiscima potrebno podesiti metod mjerenja na ekranu uređaja. To se radi tako što se na DMA 5000 gustinomjeru izabere opcija **Menu** (klikom na taster iznad koga to piše), pa se od ponuđenih opcija izabere **External cell** (izbor se vrši strelicama ▼▲ sa strane) i potvrdi **ENTER**-om (taster ↵). Izabere se prva ponuđena opcija **Set temperature** i preko tastature, ili pomoću ▼▲ tastera pored ekrana, se ukuca vrijednost temperature na kojoj se mjeri. Klikne se **ENTER** da bi se potvrdio izbor temperature. Nakon toga klikne se na taster iznad koga piše **Esc** da bi se izašlo iz menija, a onda se potvrdi promjena podataka klikom na dugme iznad kog piše **Yes**. Sačeka se da sačuva promjena i zatim se pritiskom na dugme iznad kog piše **Exit** vraća na početni ekran.

Usvojeno je da se mjerenje gustine izvodi izotermiski zbog jednostavnijeg i kraćeg postupka. Tako se prvo izabere željena temperatura, onda se pomjerenjem drški generatora pritiska podesi pritisak na kom se određuje gustina i sistem se ostavi na tim uslovima dok se pritisak i mjereni period oscilovanja U cijevi ne stabilizuje. To traje oko 15-ak min i nakon toga se podešava novi pritisak, pri nepromjenjenoj temperaturi, i opet se čeka da se postigne stabilno stanje u sistemu i ta praksa se ponavlja u cijelom opsegu pritiska koji se ispituje.

Pritisak na kom se određuje gustine se podešava ručno pomoću generatora visokog pritiska, koji funkcioniše po principu posude sa klipom. Pomjerenjem drški generatora u desno (smjer kazaljki na satu) klip se pomjera i potiskuje aceton čime se pritisak u njemu povećava, pošto je sistem zatvoren, i ravnomjerno prenosi do transmitera pritiska i do uzorka u kapilari za mjerenje gustine DMA HP uređaja. Transmitter pritiska šalje digitani signal o izmjerenom pritisku na ekran DMA 5000 što nam omogućuje da pratimo i kontrolišemo pritisak pomjerenjem ručica. Poželjno je prvo podizati pritisak i mjeriti period oscilovanja na svakom drugom planiranom pritisku dok se ne dođe do najvišeg željenog

pritiska. Nakon toga se pritisak spušta, okretanjem drški generatora u lijevo (smjer suprotan kretanju kazaljki na satu), i ispituje se ponašanje uzorka na planiranim pritiscima koji su propušteni, a takođe se opet vrši mjerenje i na početnom pritisku. Ovim se provjerava da ne dođe do pojave histerezisa, odnosno da se nisu javile promjene unutar strukture uzorka na visokim pritiscima. Kada su izmjereni periodi oscilovanja mjerene ćelije DMA HP ispunjene uzorkom na čitavom proučavanom opsegu pritiska mijenja se temperatura i isti postupak mjerenja se ponavlja za sve pritiske na novoj izotermi. Pošto se pritisak šalje sa transmitera do ekrana DMA 5000 gustinomjera u digitalnom obliku, one se na ekranu ne ispisuje u jedinicama za pritisak već u mA. Stoga je neophodno izvršiti preračunavanje pritiska iz mA u bar da bi se izmjereni podaci mogli dalje obrađivati i koristiti. Jednačina za konverziju pritiska kaju je predložio proizvođač transmitera pritiska je:

$$p_n[\text{bar}] = p[\text{mA}] \cdot 37.5 - 150 \quad (3.2.2.4)$$

$$p_A[\text{bar}] = p_n[\text{bar}] + 1 \quad (3.2.2.5)$$

Ranije je spomenuto da senzor pritiska koji je dio aparature mjeri nadpritisak u sistemu, tako da je za dobijanje apsolutnog pritiska koji vlada u mjernoj ćeliji DMA HP uređaja potrebno na izmjereni nadpritisak dodati i vrijednost atmosferskog. Radi jednostavnijeg rada usvojeno je da se za atmosferski pritisak dodaje 1 bar na nadpritisak, jednačina (3.2.2.5). Kada se planiraju mjerenja, opsezi temperatura i pritiska na kojima će se ispitivati gustine, pritisci se navode u jedinicama pritiska pa je neophodno izvršiti njihovu konverziju u mA radi lakše kontrole i praćenja pritiska na ekranu DMA 5000 gustinomjera (jednačina 3.2.2.6).

$$p[\text{mA}] = \frac{p[\text{bar}] + 149}{37.5} \quad (3.2.2.6)$$

Sam DMA HP uređaj mjeri gustine na pritiscima 0-70 MPa, ali je pri konstrukciji aparature, u cilju zaštite mjerne ćelije od prevelikog pritiska, u sistem cjevčica ugrađen i osjetljivi disk koji može da izdrži pritisak do 60 MPa. U slučaju da se greškom pritisak podesi iznad 70 MPa, najčešće slučajnim pomjeranjem drški generatora pritiska u pogrešnom smjeru, neće doći do oštećenja U cijevi unutar DMA HP uređaja pošto se pritisak i neće prenijeti ni do transmitera pritiska ni do dijela aparature sa uzorkom.

Osjetljivi disk je postavljen neposredno poslije generatora pritiska pa će pod dejstvom acetona pri pritisku višem od 60 MPa da pukne i aceton će da se ispusti van sistema, što će dovesti do pada pritiska u aparaturi. Na taj način smo aparaturu ograničili na mjerenje gustina do 60 MPa iako generator visokog pritiska može da postigne i mnogo veće pritiske.

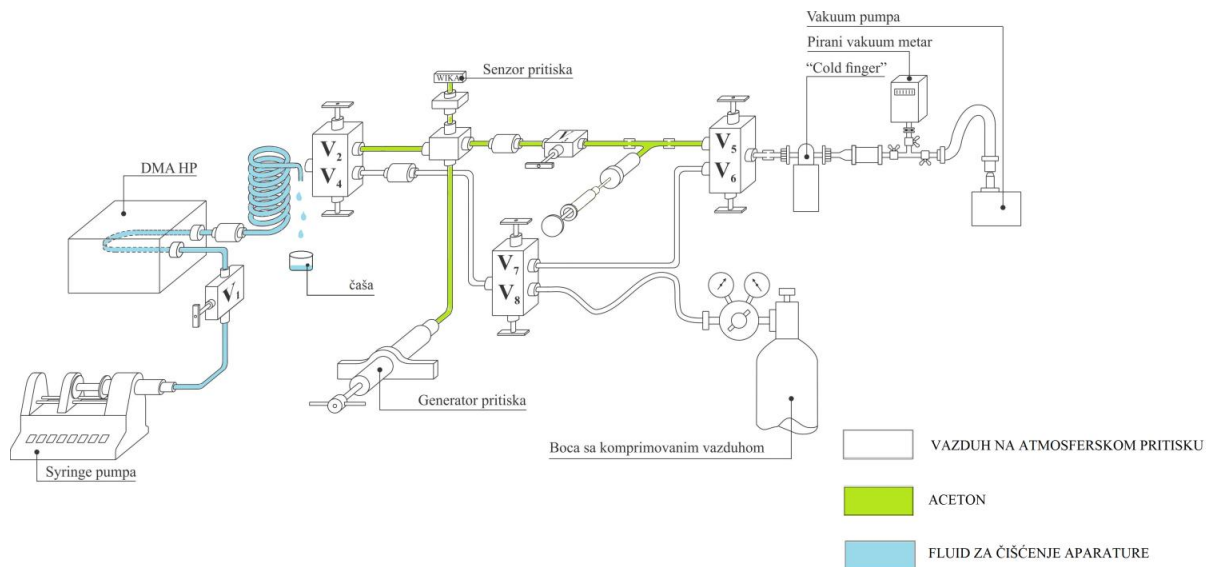
Svi podaci koji se očitavaju na ekranu DMA 5000 gustinomjera se automatski bilježe na kompjuteru u okviru AP SoftPrint programskog dodatka unutar Microsoft Excel programa. U okviru programa potrebno je izabrati opciju **AP SoftPrint** i iz padajućeg menija odabrati **Start data collection**. Tu se može odmah definisati ime dokumenta klikom na opciju **Change** ili to može da se uradi i kada se završi bilježenje podataka. Potom se klikne na **Start data collection** i program počinje da ispisuje rezultate mjerenja u Microsoft Excel dokumentu u vidu tabele kao na Slici 3.2.2.6. Podaci se u Microsoft Excel dokumentu bilježe na svakih 15 s i korisnik sam može da izabere koje vrste podataka želi da ima ispisane.

Weekday	Date	Time	method	act.per.ext.	ext.cell temp.	extcell analog inp.
1234 Mo	03 Sep 2012	19:36:00	HP mrenje	2430.006	200.002	4.024
1235 Mo	03 Sep 2012	19:36:16	HP mrenje	2430.006	200	4.022
1236 Mo	03 Sep 2012	19:36:31	HP mrenje	2430.006	200.002	4.023
1237 Mo	03 Sep 2012	19:36:46	HP mrenje	2430.006	200.001	4.023
1238 Mo	03 Sep 2012	19:37:01	HP mrenje	2430.006	200.001	4.023
1239 Mo	03 Sep 2012	19:37:16	HP mrenje	2430.005	200.002	4.024
1240 Mo	03 Sep 2012	19:37:31	HP mrenje	2430.005	200.001	4.024
1241 Mo	03 Sep 2012	19:37:46	HP mrenje	2430.006	200.002	4.024
1242 Mo	03 Sep 2012	19:38:02	HP mrenje	2430.006	200.002	4.023
1243 Mo	03 Sep 2012	19:38:17	HP mrenje	2430.005	200.002	4.024
1244 Mo	03 Sep 2012	19:38:32	HP mrenje	2430.006	200.002	4.025
1245 Mo	03 Sep 2012	19:38:47	HP mrenje	2430.006	200.002	4.025
1246 Mo	03 Sep 2012	19:39:02	HP mrenje	2430.006	200.001	4.024
1247 Mo	03 Sep 2012	19:39:18	HP mrenje	2430.006	200.002	4.024
1248 Mo	03 Sep 2012	19:39:33	HP mrenje	2430.006	200.001	4.024
1249 Mo	03 Sep 2012	19:39:48	HP mrenje	2430.006	200	4.024
1250 Mo	03 Sep 2012	19:40:03	HP mrenje	2430.005	200.001	4.024
1251 Mo	03 Sep 2012	19:40:18	HP mrenje	2430.005	200.001	4.022
1252 Mo	03 Sep 2012	19:40:34	HP mrenje	2430.006	200	4.024
1253 Mo	03 Sep 2012	19:40:49	HP mrenje	2430.005	200.001	4.024
1254 Mo	03 Sep 2012	19:41:04	HP mrenje	2430.005	200.001	4.024
1255 Mo	03 Sep 2012	19:41:19	HP mrenje	2430.005	200.001	4.024
1256 Mo	03 Sep 2012	19:41:35	HP mrenje	2430.005	200	4.023
1257 Mo	03 Sep 2012	19:41:50	HP mrenje	2430.006	200.002	4.023

Slika 3.2.2.6. Microsoft Excel dokument sa rezultatima mjerenja gustine na visokim pritiscima

Kao što je pomenuto pritisak se mijenja kada se postigne stabilno stanje unutar U cijevi sa uzorkom, a to se može odrediti iz Microsoft Excel dokumenta kada se zaredom zabilježe barem po tri identične vrijednosti pritiska i perioda oscilovanja mjerne ćelije. Nakon završetka mjerenja, bilježenje rezultata se prekida tako što se iz padajućeg menija koji se dobija klikom na taster **AP SoftPrint** izabere opcija **Stop Data Collection** i obavezno se sačuvaju promjene izvršene unutar Microsoft Excel dokumenta.

Kada se završi mjerenje gustine određenog uzorka na svim planiranim pritiscima i temperaturama i provjere dobijeni rezultati potrebno je očistiti aparaturu i spremiti je za nova mjerenja (Slika 3.2.2.7.). U slučaju da nakon završetka mjerenja pritisak nije podešen na atmosferski, potrebno je to uraditi, tj. vratiti klip generatora pritiska u početni položaj tako da je generator u potpunosti ispunjen acetonom. Potom se zatvara ventil V_2 čime se uzorak odvaja od acetona i spiralna cjevčica se izvije iz pomenutog ventila. Nakon toga se i ventil V_1 otvara i uzorak se istiskuje, bilo pomoću većeg šprica ispunjenog vazduhom ili pomoću vazdušne pumpe koja se poveže sa aparaturom. Prvobitna ideja je bila da se za ove potrebe koristi azot, ali se vazduh ipak nametnuo kao jednostavnija i jeftinija opcija. Kada se istisne uzorak potrebno je očistiti dio aparature u kom se nalazio. To se najčešće radi ispiranjem etanolom, tako što se etanol ubrizga na isti način kao i uzorak i zatim potisne vazduhom i taj postupak se ponovi bar još jednom. U zavisnosti od uzorka i njegove rastvorljivosti u etanolu, može se upotrijebiti i neki drugi rastvarač u kom se ispitivani uzorak bolje rastvara. Nakon ispiranja prvim rastvaračem, u dio za uzorak se ubrizgava aceton za ispiranje i ostavi unutra oko 20-ak min tako što se zatvori ventil V_1 . Nakon isteka tog vremena ventil se otvori i aceton potisne, a ovaj postupak je, takođe, obavezno ponoviti bar još jednom. Pošto je dio aparature u kom se nalazio uzorak (U cijev DMA HP i spiralna cjevčica) ispran i acetonom bar dva puta vazdušna pumpa se poveže na aparaturu i ostavi da suši sistem od acetona neko vrijeme. Prije nego što se krenulo sa korišćenje aparature za mjerenje gustine na visokim pritiscima, dok je DMA HP uređaj još bio neupotrebljen, očitana je vrijednost perioda oscilovanja mjerne ćelije ispunjene vazduhom, na 298.15 K i atmosferskom pritisku, koja je iznosila oko 2372.700 μ s. Ta vrijednost sad predstavlja referentnu vrijednost perioda oscilovanja čiste U cijevi ispunjene vazduhom pri pomenutim uslovima, tako da se, prije svakog ubrizgavanja novog uzorka, na osnovu toga provjerava da li je aparatura dobro očišćena. Ako se period oscilovanja mjerne ćelije ispunjene vazduhom ne poklopi sa gore navedenom vrijednošću potrebno je ponoviti ispiranje acetonom, ako ne i čitavu proceduru čišćenja i sušenja aparature.



Slika 3.2.2.7. Šematski prikaz procedure čišćenja aparature [128]

Kalibracija uređaja

Pošto se, kako je već pomenuto, kao rezultat mjerenja na DMA HP mjernoj ćeliji dobijaju periodi oscilovanja ćelije ispunjene uzorkom potrebno je uspostaviti vezu između tih perioda i gustina uzorka, tj. izvršiti kalibraciju uređaja. Na osnovu modela koji je predložio Kratky sa saradnicima [115] izvedena je veza između perioda oscilovanja, τ (T , p), i gustine uzorka koji se ispituje, ρ , u obliku linearne funkcije koja uključuje dva parametra aparature $A(T, p)$ i $B(T, p)$:

$$\rho(T, p) = A(T, p) \cdot \tau^2(T, p) - B(T, p) \quad (3.2.2.7)$$

Iz jednačine (3.2.2.7) se može zaključiti da je za određivanje gustine pri određenim uslovima pritiska i temperature neophodno izmjeriti periode oscilovanja mjerne ćelije ispunjene uzorkom pri istim uslovima, kao i poznavanja parametara karakterističnih za aparaturu. Parametri $A(T, p)$ i $B(T, p)$ se mogu odrediti iz perioda oscilovanja mjerne ćelije DMA HP za neke dvije supstance poznatih gustina u širokom opsegu pritiska i temperatura. Pošto nije lako pronaći gustine supstanci u čitavim opsezima pritiska i temperature, na kojima se vrši mjerenje gustine na predstavljenoj aparaturi, Lagourette sa saradnicima [6] je malo uprostio proceduru. Oni su pretpostavili da prvi parameter, A ,

zavisi samo od temperature, a drugi, B , i od pritiska i temperature. Pošto se može smatrati da je gustina vakuuma $0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, za vakuumiranu U cijev DMA HP uređaja bi važno:

$$0 = A(T) \cdot \tau_{\text{vakuum}}^2(T) - B(T, 0) \quad (3.2.2.8)$$

gdje je $\tau_{\text{vakuum}}(T)$ period oscilovanja prazne mjerne ćelije na svim temperaturama koje se ispituju.

Iz ovoga se može izvesti:

$$A(T) = \frac{B(T, 0)}{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \quad (3.2.2.9)$$

pa bi sad jednačina (3.2.2.7) izgledala ovako:

$$\rho(T, p) = \frac{B(T, 0)}{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \cdot \tau^2(T, p) - B(T, p) \quad (3.2.2.10)$$

Pored vakuuma, možda najlakše rješenje pitanja referentnog fluida bi bio izbor vode pošto je ona vrlo često ispitivana i postoje velike baze podataka o njenim termodinamičkim i transportnim svojstvima. Tako bi jednačina (3.2.2.10) za vodu bila:

$$\rho_{\text{voda}}(T, p) = \frac{B(T, 0)}{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) - B(T, p) \quad (3.2.2.11)$$

odakle su Lagourette i saradnici [6] izveli izraz za drugi parametar aparature:

$$B(T, p) = -\rho_{\text{voda}}(T, p) + \frac{B(T, 0)}{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) \quad (3.2.2.12)$$

gdje je $\tau_{\text{voda}}(T, p)$ period oscilovanja U cijevi DMA HP uređaja napunjene vodom na određenoj temperaturi i pritisku, a $\rho_{\text{voda}}(T, p)$ gustina vode pri istim temperaturi i pritisku.

Na ovaj način jednačina (3.2.2.10) dobija sljedeći oblik:

$$\rho(T, p) = \rho_{\text{voda}}(T, p) + \frac{B(T, 0)}{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \cdot [\tau^2(T, p) - \tau_{\text{voda}}^2(T, p)] \quad (3.2.2.13)$$

Očigledno je da je za proračun gustine uzorka iz perioda oscilovanja pri određenim uslovima potrebno još da se definiše $B(T, 0)$. Lagourette sa saradnicima [6] je ovaj parametar izveo iz fizičkih karakteristika same U cijevi u kojoj se vrši mjerenje gustine [7].

$$B(T, p) = \frac{M_0}{V_u(T, p)} \quad (3.2.2.14)$$

gdje je M_0 masa prazne vibrirajuće ćelije, a V_u njena zapremina. Pri promjeni pritiska M_0 je konstantna, dok se zapremina mijenja sa promjenom temperature i pritiska. Zapremina U cijevi se može predstaviti kao:

$$V_u(T, p) = V_{u0}(T) \cdot (1 + \varepsilon p) \quad (3.2.2.15)$$

gdje je V_{u0} zapremina vakuumirane ćelije na temperaturi T , a ε je koeficijent pritiska širenja mjerne ćelije. S obzirom na to da ε ima veoma malu vrijednost može se pretpostaviti da je zapremina U cijevi DMA HP uređaja na atmosferskom pritisku i pri određenoj temperaturi približno jednaka zapremini vakuumirane U cijevi na istoj temperaturi. Iz toga dalje slijedi da se i drugi parametar aparature na nekoj temperaturi za vakuum u proračunu može zamijeniti vrijednošću tog parametra pri istoj temperaturi, ali na atmosferskom pritisku.

$$V_u(T, 0.1MPa) \approx V_{u0}(T) \quad (3.2.2.16)$$

$$B(T, 0) \approx B(T, 0.1MPa) \quad (3.2.2.17)$$

Ako se jednačina (3.2.2.10) napiše za neki referentni fluid na atmosferskom pritisku, uz navedene pretpostavke, imamo:

$$\rho_{\text{ref}}(T, 0.1MPa) = B(T, 0.1MPa) \cdot \left[\frac{\tau_{\text{ref}}^2(T, 0.1MPa)}{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)} - 1 \right] \quad (3.2.2.18)$$

$$B(T, 0) \approx \rho_{\text{ref}}(T, 0.1MPa) \cdot \left[\frac{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)}{\tau_{\text{ref}}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \right] \quad (3.2.2.19)$$

Pošto je $B(T, 0)$ definisano, jednačina (3.2.2.13) se može napisati kao:

$$\rho(T, p) = \rho_{\text{voda}}(T, p) + \rho_{\text{ref}}(T, 0.1MPa) \cdot \left[\frac{\tau^2(T, p) - \tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\tau_{\text{ref}}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \right] \quad (3.2.2.20)$$

Referentni fluid predstavlja supstanca poznate gustine u širokom opsegu temperature na atmosferskom pritisku i izabrano je da i to bude voda, što dovodi do jednačine:

$$\rho(T, p) = \rho_{\text{voda}}(T, p) + \rho_{\text{voda}}(T, 0.1MPa) \cdot \left[\frac{\tau^2(T, p) - \tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\tau_{\text{voda}}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \right] \quad (3.2.2.21)$$

Iz jednačine (3.2.2.21) se vidi glavna prednost ove kalibracione metode, a to je da je za proračun gustina ispitivanog uzorka iz mjerenih perioda oscilovanja mjerne ćelije potrebno poznavanje samo perioda oscilovanja vakuumirane ćelije na različitim temperaturama, i

gustina i period oscilovanja ćelije ispunjene vodom u čitavim opsezima temperature i pritiska na kojima se određuju gustine datog uzorka.

Comuñas i saradnici [7] su prilagodili proceduru koju predlažu Lagourette i saradnici [6] svojim mjerenjima na uređaju DMA HPM i temperaturama do 403.15 K i pritiscima do 140 MPa. Oni su predložili tri tipa kalibracione jednačine za različite oblasti temperature i pritiska na kojime se mjeri.

a) Na temperaturama ($293.15 \leq T \leq 353.15$) K i pritiscima ($0.1 \leq p \leq 140$) MPa

Za kalibraciju DMA HP mjerne ćelije pri ovim uslovima koristi se gore navedena jednačina (3.2.2.21).

b) Na $T \geq 373.15$ K i atmosferskom pritisku ($p = 0.1$ MPa)

Na atmosferskom pritisku i na temperaturi jednakoj temperaturi ključanja vode, kao i na višim temperaturama, kada voda prelazi u gasovito stanje pokazuje se ograničenje korišćenja vode kao referentnog fluida. Zbog toga je neophodno uvesti još jedan referentni fluid koji se nalazi u tečnom agregatnom stanju u širem temperaturnom intervalu nego voda, a čija je gustina poznata na atmosferskom pritisku. Comuñas i saradnici [7] predlažu da to bude *n*-dekan. Tada jednačina (3.2.2.21) dobija oblik:

$$\rho(T, 0.1MPa) = \rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa) \cdot \left[1 + \frac{\tau^2(T, 0.1MPa) - \tau_{n-dekan}^2(T, 0.1MPa)}{\tau_{n-dekan}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T)} \right] \quad (3.2.2.22)$$

Prema ovoj jednačini za izračunavanje gustine uzorka iz mjerenih merida oscilovanja U cijevi DMA HP uređaja ispunjene uzorkom, pored perioda oscilovanja prazne cijevi, neophodno je poznavanje i perioda oscilovanja mjerne ćelije ispunjene *n*-dekanom na raznim temperaturama na atmosferskom pritisku, kao i njegovih gustina pri istim uslovima.

c) Na $T \geq 373.15$ K i $p > 0.1$ MPa

Pri ovim uslovima temperature i pritiska, takođe, nije moguće koristiti jednačinu (3.2.2.21) zbog potencijalnog prelaska vode u gasovito stanje, pa se u tom slučaju mora izvesti druga jednačina. Postoje dva rješenja:

I Korišćenje n -dekana da bi se izračunao $B(T,0)$ u jednačini (3.2.2.19) i onda jednačina (3.2.2.21) dobija oblik:

$$\rho(T, p) = \rho_{voda}(T, p) + \rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa) \cdot \left[\frac{\tau^2(T, p) - \tau_{voda}^2(T, p)}{\tau_{n-dekan}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T)} \right] \quad (3.2.2.23)$$

Dakle, neophodno je znati period oscilovanja U cijevi ispunjene vodom na svakoj temperaturi i svakom $p > 0.1$ MPa, kao i gustinu vode. Takođe, neophodni su i period oscilovanja cijevi pod vakuumom za svaku temperaturu i period oscilovanja cijevi ispunjene n -dekanom na svim temperaturama na atmosferskom pritisku, kao i gustinu n -dekana.

II Druga mogućnost jeste aproksimacija $B(T,0) \approx B(T,1MPa)$, umjesto $B(T,0) \approx B(T,0.1MPa)$. Pretpostavlja se da je koeficijent ekspanzije pritiska mali u intervalu od 0 do 1 MPa, a voda je na 1 MPa u tečnom agregatnom stanju skoro do 453.15 K, pa jednačina (3.2.2.21) dobija oblik:

$$\rho(T, p) = \rho_{voda}(T, p) + \rho_{voda}(T, 1MPa) \cdot \left[\frac{\tau^2(T, p) - \tau_{voda}^2(T, p)}{\tau_{voda}^2(T, 1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T)} \right] \quad (3.2.2.24)$$

U ovom slučaju potrebno je znati period oscilovanja cijevi pod vakuumom (u cijelom intervalu temperatura) i period oscilovanja za cijev ispunjenu vodom i gustinu vode na raznim temperaturama i pritiscima, što znači da je samo jedan referentni fluid potreban [7].

Za određivanje gustina koje će biti predstavljene u ovoj disertaciji, na $T \geq 373.15$ K i pritiscima iznad atmosferskog izabrana je prva predstavljena mogućnost, tj. biće korišćena kalibraciona jednačina (3.2.2.23).

Iz jednačina (3.2.2.21)-(3.2.2.23) se mogu izvesti i izrazi za kalibracione konstante [129]:

$$A(T) = \frac{\rho_{ref1}(T, 0.1MPa)}{\tau_{ref1}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T)} \quad (3.2.2.25)$$

$$B(T, p) = \rho_{ref1}(T, 0.1MPa) \frac{\tau_{ref2}^2(T, p)}{\tau_{ref1}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T)} - \rho_{ref2}(T, p) \quad (3.2.2.26)$$

gdje su ρ_{ref1} i ρ_{ref2} gustine referentnih fluida 1 i 2, a τ_{ref1} i τ_{ref2} periodi oscilovanja DMA HP mjerne ćelije ispunjene referentnim fluidom 1 i 2, respektivno. U intervalu temperature 288.15 - 363.15 K i pritiska 0.1 - 60 MPa oba referentna fluida su voda. Pri temperaturama

$T \geq 373.15$ K na atmosferskom pritisku oba referentna fluida su *n*-dekan, a na $p > 0.1$ MPa prvi referentni fluid je *n*-dekan, a drugi voda.

Već je pomenuto da se aparatura koja je predstavljena u ovom radu može koristiti za mjerenje gustina na temperaturama do 473.15 K i pritiscima do 60 MPa pa će se, u skladu sa tim, koristiti kalibracione jednačine definisane za sve tri oblasti kombinacija pritiska i temperature. To dalje znači da se za određivanje gustina neke supstance, prije samih mjerenja perioda oscilovanja U ćelije ispunjene tom supstancom, moraju izmjeriti periodi oscilovanja mjerne ćelije korišćenog DMA HP uređaja pod vakuumom na svim temperaturama od interese u daljim eksperimentima, periodi oscilovanja iste ćelije ispunjene vodom u čitavim opsezima temperature i pritiska koji se ispituju, kao i periodi oscilovanja U cijevi ispunjene *n*-dekanom na temperaturama $T \geq 373.15$ K i atmosferskom pritisku. Pored navedenih mjerenja za proračun gustine iz perioda oscilovanja neophodno je poznavanje i gustina vode na raznim temperaturama i pritiscima i gustina *n*-dekana na temperaturama jednakim ili višim od 373.15 K na atmosferskom pritisku.

Navedeni periodi oscilovanja prazne U cijevi i ispunjene referentnim fluidom su predstavljeni u odjeljku ***Eksperimentalni rezultati***. Što se tiče gustina referentnih fluida, one su preuzete iz literature.

Specifična zapremina vode je izračunata prema Tumlriz-ovoj jednačini, koju su Fisher i Dial [130] u svom radu preuzeli iz Eckert-ove analize [131]:

$$V_p = V_\infty + \frac{\lambda}{p_0 + p} \quad (3.2.2.27)$$

gdje je V_p [$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$] specifična zapremina, a V_∞ [$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$], λ [$\text{bar} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$] i p_0 [bar] su parametri čiste vode koji zavise od temperature. Fisher i Dial [130] su izveli analitičke funkcije za ove parametre:

$$\begin{aligned} V_\infty = & 0.6980547 - 0.7435626 \cdot 10^{-3} \cdot T [^\circ\text{C}] + 0.3704258 \cdot 10^{-4} \cdot T [^\circ\text{C}]^2 \\ & - 0.6315724 \cdot 10^{-6} \cdot T [^\circ\text{C}]^3 + 0.9829576 \cdot 10^{-8} \cdot T [^\circ\text{C}]^4 - 0.1197269 \cdot 10^{-9} \cdot T [^\circ\text{C}]^5 \\ & + 0.1005461 \cdot 10^{-11} \cdot T [^\circ\text{C}]^6 - 0.5437898 \cdot 10^{-14} \cdot T [^\circ\text{C}]^7 + 0.169946 \cdot 10^{-16} \cdot T [^\circ\text{C}]^8 \\ & - 0.2295063 \cdot 10^{-19} \cdot T [^\circ\text{C}]^9 \end{aligned} \quad (3.2.2.28)$$

$$\lambda = 1788.316 + 21.55053 \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]} - 0.4695911 \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]}^2 + 3.096363 \cdot 10^{-3} \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]}^3 - 0.7341182 \cdot 10^{-5} \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]}^4 \quad (3.2.2.29)$$

$$P_0 = 5918.499 + 58.05267 \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]} - 1.1253317 \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]}^2 + 6.6123869 \cdot 10^{-3} \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]}^3 - 1.4661625 \cdot 10^{-5} \cdot T \text{ [}^\circ\text{C]}^4 \quad (3.2.2.30)$$

Specifične zapremine vode dobijene prema jednačinama (3.2.2.27-3.2.2.30) se izuzetno slažu sa podacima koje su objavili Kell i Whalley [132], sa srednjom greškom manjom od 8 ppm na temperaturama 273.15-373.15 K i unutar 15 ppm u temperaturnom intervalu iznad 373.15 do 423.15 K, na pritiscima do 100 MPa [130]. Proračunate gustine vode su poređene i sa gustinama koje daju Wagner-a i Pruss [133] i srednja procentualna greška je bila oko 0.004% za gustine do 413.15 K. Ovim je u potpunosti opravdana upotreba Tumlirz-ove jednačine i analitičkih funkcija za njene parametre [130] za proračun gustina vode, koje će se koristiti pri kalibraciji mjerne ćelije DMA HP, tj. proračunu gustina uzorka iz perioda oscilovanja U cijevi ispunjene tim uzorkom. Ranije je navedeno da sam DMA HP uređaj može da mjeri gustine do 473.15 K, međutim, Fisher i Dial [130] su za Tumlirz-ovu jednačinu prijavili dobro slaganje izmjerenih gustina vode sa literaturnim podacima na temperaturama 273.15-423.15 K pa nam to ograničava mogućnosti određivanja gustine uzoraka na višim temperaturama. To znači da imamo mogućnost mjerenja perioda oscilovanja DMA HP mjerne ćelije napunjene nekim uzorkom na temperaturama do 473.15 K, ali nismo u mogućnosti da primjenom navedenih kalibracionih jednačina (3.2.2.21-3.2.2.23) proračunamo gustine uzorka na temperaturama iznad 423.15 K zbog nedostatka pouzdanih gustina vode na tim temperaturama i tačno definisanim pritiscima. Primjećuje se da potencijal aparature za mjerenje gustina na visokim pritiscima nije u potpunosti iskorišten za sada, što ne znači da se u daljem radu ova prepreka neće prevazići.

Pored vode, za kalibraciju uređaja, potrebno je odrediti i gustine *n*-dekana na raznim temperaturama na atmosferskom pritisku. Gustine *n*-dekana su preuzete iz literature [134] i korelisane polinomom drugog reda:

$$\rho = -0.000002138263 \cdot T^3 + 0.001929194755 \cdot T^2 - 1.356432945545 \cdot T + 1016.103257354140 \quad (3.2.2.31)$$

Srednja procentualna razlika između gustina n -dekana dobijenih primjenom jednačine (3.2.2.31) i onih preuzetih iz literature [134] bila je 0.004% na temperaturnom intervalu 240-440 K, što je izuzetno dobro pa je jednačina (3.2.2.31) usvojena za proračun gustina n -dekana koje će se koristiti u proceduri kalibracije DMA HP uređaja.

Nesigurnost određivanja gustina na visokom pritisku prema gorenavedenoj metodi je procjenjena prema uputstvu EA-4/02 [135]. Izvođenje izraza za nesigurnost kreće od jednačine (3.2.2.7):

$$\rho(T, p) = A(T, p)\tau^2(T, p) - B(T, p) \quad (3.2.2.7)$$

U izrazu za nesigurnost određenih gustina figurišu i nesigurnosti svih veličina od kojih ona zavisi, tj. svih veličina koje se pojavljuju u jednačini (3.2.2.7), pa je tako kombinovana mjerna nesigurnost gustine:

$$u(\rho(T, p)) = \left[\left(\frac{\partial \rho(T, p)}{\partial A(T)} \right)^2 \cdot u^2(A(T)) + \left(\frac{\partial \rho(T, p)}{\partial \tau(T, p)} \right)^2 \cdot u^2(\tau(T, p)) + \left(\frac{\partial \rho(T, p)}{\partial B(T, p)} \right)^2 \cdot u^2(B(T, p)) \right]^{1/2} \quad (3.2.2.32)$$

Diferenciranjem gustine po konstantama kalibracije i periodu oscilovanja iz jednačine (3.2.2.7) se dobija:

$$\frac{\partial \rho(T, p)}{\partial A(T)} = \tau^2(T, p) \quad (3.2.2.33)$$

$$\frac{\partial \rho(T, p)}{\partial \tau(T, p)} = A(T) \cdot 2 \cdot \tau(T, p) \quad (3.2.2.34)$$

$$\frac{\partial \rho(T, p)}{\partial B(T, p)} = -1 \quad (3.2.2.35)$$

Iz jednačina (3.2.2.33)-(3.2.2.35) slijedi:

$$u(\rho(T, p)) = \left[\tau^4(T, p) \cdot u^2(A(T)) + (2 \cdot A(T) \cdot \tau(T, p))^2 \cdot u^2(\tau(T, p)) + u^2(B(T, p)) \right]^{1/2} \quad (3.2.2.36)$$

Da bi se odredila mjerna nesigurnost gustine potrebno je odrediti i mjerne nesigurnosti konstanti aparature $A(T)$ i $B(T, p)$:

$$A(T) = \frac{\rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})}{\tau_{\text{ref1}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \quad (3.2.2.25)$$

$$B(T, p) = \rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa}) \frac{\tau_{\text{ref2}}^2(T, p)}{\tau_{\text{ref1}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} - \rho_{\text{ref2}}(T, p) \quad (3.2.2.26)$$

Kao što je već spomenuto referentni fluidi i ref1 i ref2 predstavljaju vodu na temperaturama 288.15-363.15 K i svim ispitivanim pritiscima, na višim temperaturama to je *n*-dekan na atmosferskom pritisku, a na pritiscima $p > 0.1$ MPa prvi referentni fluid je *n*-dekan, a drugi voda.

$$u(A(T)) = \left[\begin{aligned} &\left(\frac{\partial A(T)}{\partial \rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})) + \\ &+ \left(\frac{\partial A(T)}{\partial \tau_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})) + \\ &+ \left(\frac{\partial A(T)}{\partial \tau_{\text{vakuum}}(T)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{vakuum}}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (3.2.2.37)$$

$$\frac{\partial A(T)}{\partial \rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})} = \frac{1}{\tau_{\text{ref1}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} = \frac{A(T)}{\rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})} \quad (3.2.2.38)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial A(T)}{\partial \tau_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})} &= \frac{\rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot (-1)}{(\tau_{\text{ref1}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T))^2} \cdot 2 \cdot \tau_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa}) = \\ &= \frac{-2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})}{\rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})} \end{aligned} \quad (3.2.2.39)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial A(T)}{\partial \tau_{\text{vakuum}}(T)} &= \rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot \frac{(-1)}{(\tau_{\text{ref1}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T))^2} \cdot (-2) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T) = \\ &= \frac{2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T)}{\rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})} \end{aligned} \quad (3.2.2.40)$$

$$u(A(T)) = \left[\begin{aligned} &\left(\frac{A(T)}{\rho_{\text{refl}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{\text{refl}}(T, 0.1\text{MPa})) + \\ &+ \left(\frac{-2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{refl}}(T, 0.1\text{MPa})}{\rho_{\text{refl}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{refl}}(T, 0.1\text{MPa})) + \\ &+ \left(\frac{2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T)}{\rho_{\text{refl}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{vakuum}}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (3.2.2.41)$$

refl se odnosi na vodu na temperaturama do 363.15 K, a iznad toga na *n*-dekan.

Kod određivanja mjerne nesigurnosti kalibracione konstante $B(T,p)$ koja zavisi i od temperature i od pritiska opet imamo različite uzraze za različite oblasti temperature i pritiska:

a) Na temperaturama ($293.15 \leq T \leq 353.15$) K i pritiscima ($0.1 \leq p \leq 140$) MPa

U ovoj oblasti se kao referentni fluid koristi samo voda pa u izrazu za mjernu nesigurnost kalibracione konstante $B(T,p)$ figurišu samo veličine vezane za vodu i vakuum:

$$u(B(T,p)) = \left[\begin{aligned} &\left(\frac{\partial B(T,p)}{\partial \rho_{\text{voda}}(T,p)} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{\text{voda}}(T,p)) + \\ &+ \left(\frac{\partial B(T,p)}{\partial \tau_{\text{voda}}(T,p)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{voda}}(T,p)) + \\ &+ \left(\frac{\partial B(T,p)}{\partial \tau_{\text{vakuum}}(T)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{vakuum}}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (3.2.2.42)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T,p)}{\partial \rho_{\text{voda}}(T,p)} &= \frac{\tau_{\text{voda}}^2(T,p)}{\tau_{\text{voda}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} - 1 = \\ &= \frac{A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T,p)}{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})} - 1 \end{aligned} \quad (3.2.2.43)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{\text{voda}}(T, p)} &= \frac{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot (-1)}{(\tau_{\text{voda}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T))^2} \cdot 2 \cdot \tau_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) + \\
&\quad + \frac{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})}{\tau_{\text{voda}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \cdot 2 \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p) = \\
&= \frac{-2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})}{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})} \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) + 2 \cdot A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p) = \\
&= 2 \cdot A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p) \cdot \left[1 - \frac{A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p)}{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})} \right]
\end{aligned} \tag{3.2.2.44}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{\text{vakuum}}(T)} &= \frac{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) \cdot (-1)}{(\tau_{\text{voda}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T))^2} \cdot (-2) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T) = \\
&= \frac{2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T)}{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})}
\end{aligned} \tag{3.2.2.45}$$

$$u(B(T, p)) = \left[\begin{aligned} &\left(\frac{A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p)}{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})} - 1 \right)^2 \cdot u^2(\rho_{\text{voda}}(T, p)) + \\ &+ \left(2 \cdot A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p) \cdot \left[1 - \frac{A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p)}{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})} \right] \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{voda}}(T, p)) + \\ &+ \left(\frac{2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T)}{\rho_{\text{voda}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{vakuum}}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \tag{3.2.2.46}$$

b) Na $T \geq 373.15$ K i atmosferskom pritisku ($p = 0.1$ MPa)

Ovde se kao referentni fluid koristi *n*-dekan pa se jednačina (3.2.2.26) može uprostiti do:

$$B(T, 0.1\text{MPa}) = \frac{\tau_{\text{vakuum}}^2(T)}{\tau_{\text{n-dekan}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \cdot \rho_{\text{n-dekan}}(T, 0.1\text{MPa}) \tag{3.2.2.47}$$

Iz ove jednačine se izvodi izraz za određivanje mjerna nesigurnost $B(T, p)$:

$$u(B(T, 0.1MPa)) = \left[\begin{aligned} & \left(\frac{\partial B(T, 0.1MPa)}{\partial \rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)) + \\ & + \left(\frac{\partial B(T, 0.1MPa)}{\partial \tau_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{n-dekan}(T, 0.1MPa)) + \\ & + \left(\frac{\partial B(T, 0.1MPa)}{\partial \tau_{vakuum}(T)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{vakuum}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (3.2.2.48)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T, 0.1MPa)}{\partial \rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} &= \frac{\tau_{vakuum}^2(T)}{\tau_{n-dekan}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T)} = \\ &= \frac{A(T) \cdot \tau_{vakuum}^2(T)}{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \end{aligned} \quad (3.2.2.49)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T, 0.1MPa)}{\partial \tau_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} &= \frac{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa) \cdot (-1)}{(\tau_{n-dekan}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T))^2} \cdot 2 \cdot \tau_{n-dekan}(T, 0.1MPa) \cdot \tau_{vakuum}^2(T) = \\ &= -2 \cdot \frac{A^2(T) \cdot \tau_{n-dekan}(T, 0.1MPa) \cdot \tau_{vakuum}^2(T)}{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \end{aligned} \quad (3.2.2.50)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T, 0.1MPa)}{\partial \tau_{vakuum}(T)} &= \frac{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa) \cdot (-1)}{(\tau_{n-dekan}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T))^2} \cdot (-2) \cdot \tau_{vakuum}(T) \cdot \tau_{vakuum}^2(T) + \\ &+ \frac{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)}{\tau_{n-dekan}^2(T, 0.1MPa) - \tau_{vakuum}^2(T)} \cdot 2 \cdot \tau_{vakuum}(T) = \\ &= 2 \cdot A(T) \cdot \tau_{vakuum}(T) \cdot \left[1 + \frac{A(T) \cdot \tau_{vakuum}^2(T)}{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \right] \end{aligned} \quad (3.2.2.51)$$

$$u(B(T, 0.1MPa)) = \left[\begin{aligned} & \left(\frac{A(T) \cdot \tau_{vakuum}^2(T)}{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)) + \\ & + \left(\frac{-2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{n-dekan}(T, 0.1MPa) \cdot \tau_{vakuum}^2(T)}{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{n-dekan}(T, 0.1MPa)) + \\ & + \left(2 \cdot A(T) \cdot \tau_{vakuum}(T) \cdot \left[1 + \frac{A(T) \cdot \tau_{vakuum}^2(T)}{\rho_{n-dekan}(T, 0.1MPa)} \right] \right)^2 \cdot u^2(\tau_{vakuum}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (3.2.2.52)$$

c) Na $T \geq 373.15$ K i $p > 0.1$ MPa

Ako je referentni fluid n -dekan:

$$u(B(T, p)) = \left[\begin{aligned} & \left(\frac{\partial B(T, p)}{\partial \rho_{\text{voda}}(T, p)} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{\text{voda}}(T, p)) + \left(\frac{\partial B(T, p)}{\partial \rho_{n\text{-dekan}}(T, p)} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{n\text{-dekan}}(T, p)) \\ & + \left(\frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{\text{voda}}(T, p)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{voda}}(T, p)) + \left(\frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{n\text{-dekan}}(T, p)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{n\text{-dekan}}(T, p)) \\ & + \left(\frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{\text{vakuum}}(T)} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{vakuum}}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (3.2.2.53)$$

$$\frac{\partial B(T, p)}{\partial \rho_{\text{voda}}(T, p)} = -1 \quad (3.2.2.54)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T, p)}{\partial \rho_{n\text{-dekan}}(T, p)} &= \frac{\tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\tau_{n\text{-dekan}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} = \\ &= \frac{A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})} \end{aligned} \quad (3.2.2.55)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{\text{voda}}(T, p)} &= \frac{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})}{\tau_{n\text{-dekan}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \cdot 2 \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p) = \\ &= 2 \cdot A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p) \end{aligned} \quad (3.2.2.56)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{n\text{-dekan}}(T, p)} &= \frac{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot (-1)}{(\tau_{n\text{-dekan}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T))^2} \cdot 2 \cdot \tau_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) = \\ &= \frac{-2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})}{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})} \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) \end{aligned} \quad (3.2.2.57)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B(T, p)}{\partial \tau_{\text{vakuum}}(T)} &= \frac{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot (-1)}{(\tau_{n\text{-dekan}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T))^2} \cdot (-2) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p) = \\ &= \frac{2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})} \end{aligned} \quad (3.2.2.58)$$

$$u(B(T, p)) = \left[\begin{aligned} & u^2(\rho_{\text{voda}}(T, p)) + \left(\frac{A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\rho_{n\text{-dekan}}(T, p)) \\ & + (2 \cdot A(T) \cdot \tau_{\text{voda}}(T, p))^2 \cdot u^2(\tau_{\text{voda}}(T, p)) + \\ & + \left(\frac{-2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa}) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{n\text{-dekan}}(T, p)) \\ & + \left(\frac{2 \cdot A^2(T) \cdot \tau_{\text{vakuum}}(T) \cdot \tau_{\text{voda}}^2(T, p)}{\rho_{n\text{-dekan}}(T, 0.1\text{MPa})} \right)^2 \cdot u^2(\tau_{\text{vakuum}}(T)) \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (3.2.2.59)$$

Istraživanja su pokazala da na određivanje gustine u uređajima čiji se rad zasniva na mjerenju frekvencija mehaničkih oscilatora utiče i viskoznost uzorka pa bi eksperimentalni podaci trebalo da budu korigovani i zbog ovog faktora. Utvrđeno je da korekcionni faktor gustine usljed viskoznosti ne zavisi samo od viskoznosti uzorka već i od oblika oscilirajuće cijevi. Od proizvođača Anton Paar je dobijena sljedeća jednačina za korekciju gustina mjerenih na DMA HP mjerenoj ćeliji:

$$\frac{\rho_{\text{HP}} - \rho}{\rho_{\text{HP}}} = (-0.5 + 0.45 \cdot \sqrt{\eta}) \cdot 10^{-4} \quad (3.2.2.60)$$

gdje je ρ_{HP} gustina uzorka određena mjerenjem perioda oscilovanja DMA HP mjerene ćelije ispunjene uzorkom i primjenom jednačina (3.2.2.21-3.2.2.22), ρ je gustina uzorka ispravljena zbog uticaja viskoznosti, a η je dinamička viskoznost uzorka u mPa·s. Jednačina (3.2.2.60) vazi samo za uzorke ili uslove pri kojima je viskoznost uzorka manja od 100 mPa·s.

3.3. Ravnoteža tečnost-tečnost

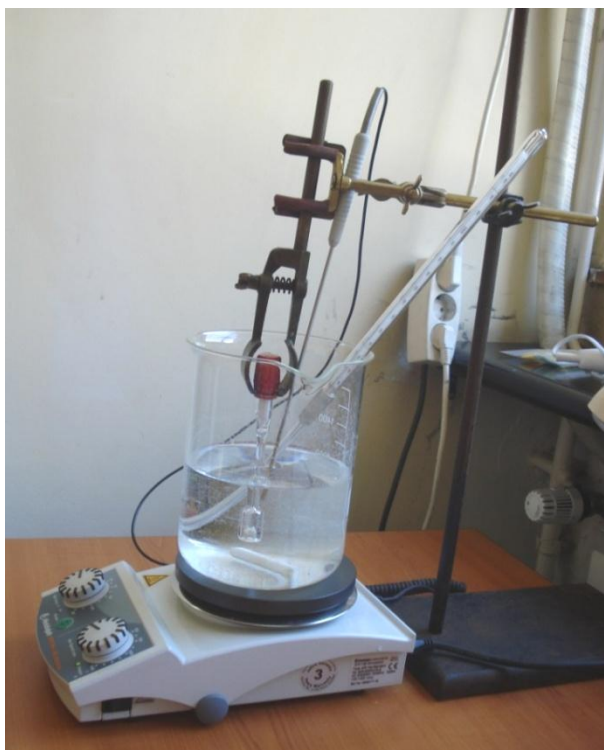
U okviru ove doktorske disertacije ravnoteža tečnost-tečnost je ispitivana samo na atmosferskom pritisku. Da bi se mogao formirati dijagram ravnoteže tečnost-tečnost ispituje se rastvorljivost jedne komponente u drugoj na različitim temperaturama. Rastvorljivost se provjerava u posebnim ćelijama koje su sastavljene od komore u kojoj se supstance miješaju, dugog vrata koji sprječava isparavanje ispitivanih supstanci i ventila sa čepom na vrhu (slika 3.3.1) [136]. Zbog uskog vrata ćelije supstance koje se ispituju se

unose u komoru špricivima sa dugom Hamiltonovom iglom i na isti način se izvlače pri pranju ćelija. U komori se nalazi i stirer, koji pod uticajem magnetne mješalice miješa smješu, što je veoma bitno za uspjeh eksperimenta. Korišćana miješalica, Heidolph MP Hei-End, ima i mogućnost zagrijavanja, kao i održavanja konstantne temperature što je iskorišćeno pri titraciji.

Eksperiment se može vršiti na dva načina.

I način:

U ćeliju se špricom sa Hamiltonovom iglom unese određena masa komponente A, a zatim i određena masa komponente B. Za dobijenu smješu poznatog sastava je moguće vidjeti da li je u jednoj ili više faza na osnovu toga da li se javlja zamućenje pri mućkanju rastvora. Ako se primjeti zamućenje ili razdvajanje faza to je znak da se komponente ne miješaju pod uslovima na kojima se smješa nalazi pa se ona zagrijava u vodenom kupatilu do temperature na kojoj se smješa razbisti tj. postane jednofazna. Da bi se odredila tačna temperatura fazne transformacije potrebno je ćeliju polako hladiti do pojave zamućenja i ta temperatura se usvaja [136-139].



Slika 3.3.1. Aparatura za eksperiment sa vodenim kupatilom

Ako je na sobnoj temperaturi smješa u ćeliji bistra i pri intenzivnom miješanju, onda je to jednofazna oblast i potrebno je hladiti rastvor da bi se utvrdila temperatura fazne ravnoteže. Tokom rada na ovoj disertaciji ispitivane su ravnoteže tečnost-tečnost samo na sobnoj i višim temperaturama.

II način-titracija:

Za razliku od prethodnog načina, gdje se za smješnu određenog sastava tražila ravnotežna temperatura, kod titracije je temperatura konstantna i traži se sastav smješe koja na toj temperaturi prelazi iz jednofazne u dvofaznu oblast [136-139].

U ćeliju se doda određena količina komponente A, a zatim se u nju pažljivo dodaje i druga komponenta pri konstantnoj temperaturi do pojave zamućenja. Kada se pojave prvi znaci dvofazne oblasti mjeri se masa ćelije i određuje dodata masa druge komponente, čime se određuje sastav smješe. Kada se određuje sastav smješe na temperaturama iznad sobne koristi se već pomenuto vodeno kupatilo.

3.4. Izbor supstanci za mjerenje

Pošto je u toku rada na ovoj tezi povezana i puštena u rad aparatura za mjerenje gustina na visokim pritiscima bilo je neophodno provjeriti ispravnost procedure mjerenja i odabira kalibracione metode. Stoga su za prva mjerenja na novoj aparaturi izabrane supstance za koje su podaci o gustini u širokim opsezima temperature i pritiska lako dostupni. Takođe, uređaj za istovremeno mjerenje gustine i brzine zvuka, DSA 5000 M, nije ranije bio korišten pa je trebalo provjeriti i rezultate izmjerene na njemu.

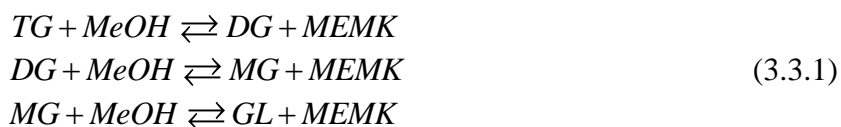
Za test supstance za provjeru gustine na visokim pritiscima su izabrani *n*-heksan, toluen i dihlor-metan, a za gustinu i brzinu zvuka na atmosferskom pritisku etanol. Sve korišćene hemikalije su bile izuzetne čistoće, *n*-heksan >99%, a ostale >99.9 %, što je dodatno potvrđeno poređenjem gustina na atmosferskom pritisku sa literaturnim podacima (Tabela 6, Prilog). Proizvođač dihlor-metana je Sigma Aldrich, a ostalih Merck.

Za kalibraciju uređaja su, kao referentni fluidi, korišćeni *n*-dekan i dejonizovana voda. *n*-Dekan je bio čistoće >99 % i nabavljen je od kompanije Merck. Dva puta dejonizovana

Millipore voda je dobijena prečišćavanjem na Veolia IonPRO-LX MkII sistemu. Specifična provodljivost korišćene vode je bila $2.5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a njena specifična otpornost $18 \text{M}\Omega\cdot\text{cm}$.

U uvodnom poglavlju su navedene osnovne prednosti zamjene fosilnih dizel goriva biodizelom. Iako je već duži niz godina praksa da se dizel goriva dijelom, ako ne i u potpunosti, mijenjaju biodizelom, nema dovoljno podataka o njihovom ponašanju pri različitim uslovima, a posebno na visokim pritiscima. Stoga se javila potreba za određivanjem termodinamičkih i transportnih svojstava ovih jedinjenja i njihovih smješa sa dizel gorivom.

Biodizeli su smješe estara viših masnih kiselina koje se nalaze u biljnim uljima ili u životinjskoj masti. Oni se dobijaju reakcijom transesterifikacije između ulja ili masti i alkohola kratkog lanca uz prisustvo katalizatora, koja se sastoji od tri uzastopno-uporedne povratne reakcije [140-142]:



gdje su *TG* trigliceridi, *DG* digliceridi, a *MG* monogliceridi iz biljnih ulja ili životinjskih masti, MeOH označava metanol, a *MEMK* metil estre masnih kiselina.

U jednačini (3.3.1) je dat primjer reakcije sa metanolom, ali se jednako može koristiti i etanol i u tom slučaju je biodizel u potpunosti biološkog porijekla jer se etanol najčešće dobija iz biljaka i samim tim je proces proizvodnje biodizela CO_2 neutralan. Pošto je reakcija povratna moguće je da određena količina triglicerida, diglicerida i monoglicerida ne proreaguje i ostane u konačnom proizvodu što može izazvati ozbiljna oštećenja motora i gubitak snage pri radu. Stoga postoje strogi standardi koji moraju biti zadovoljeni da bi se neka smješa estara masnih kiselina mogla nazvati biodizelom i koristiti kao zamjena za dizel gorivo [13,14].

Biodizeli čija će svojstva biti predstavljena u ovoj tezi su dobijeni transesterifikacijom suncokretovog ulja sa metanolom i etanolom i transesterifikacijom svinjske masti sa metanolom. Reakcije transesterifikacije sa metanolom su izvođene u šaržnom reaktoru na temperaturi 333.15K u molskom odnosu 6:1 (metanol:suncokretovo ulje ili svinjska mast) i kao katalizator je korišćen KOH (1 % mase suncokretovog ulja ili svinjske masti). Reakcija

transesterifikacije sa etanolom je izvođena na 343.15 K u molskom odnosu 12:1 (etanol:suncokretovo ulje) sa CaO kao katalizatorom (15 % mase suncokretovog ulja). Sastav suncokretovog ulja i svinjske masti koji su korišćeni kao sirovina u proizvodnji biodizela su određeni gasnom hromatografijom [143] i predstavljeni u Tabeli 7 u Prilogu, kao i sastav proizvedenih biodizela koji je određen tečnom hromatografijom visokih performansi [144]. Zbog obimnosti eksperimenata nije bilo moguće sva mjerenja obaviti sa uzorcima biodizela iz jedne sinteze. Osim što su bile potrebne veće količine uzorka, na planiranje eksperimenata je uticala i slaba stabilnost čistih biodizela bez dodatih aditiva koji bi spriječili oksidaciju i propadanje uzoraka i pored čuvanja na niskim temperaturama. Stoga su ispitivanja čistih biodizela, binarnih smješa sa dizelom i ternernih smješa vršena sa različitim uzorcima biodizela dobijenih iz iste polazne sirovine i na isti način. Prilikom dobijanja novih uzoraka njihova svojstva su poređena sa prethodnim i ukoliko nije bilo većih odstupanja korištena u daljim eksperimentima. Neka od najbitnijih svojstava biodizela su, takođe, data u Tabeli 7, kao i poređenja sa standardima za biodizel [13,14]. Cetanski broj za ispitivane biodizele je izračunat pomoću jednačine koju je predložio Knothe [145].

3.5. Pravljenje smješe

U ovom radu će biti predstavljeni rezultati mjerenja i poređenja raznih termodinamičkih i transportnih svojstava čistih komponenti, ali i njihovih binarnih i ternernih smješa. Ispitivane smješe su pripremane gravimetrijski na analitičkoj vagi Mettler Toledo AG 204 preciznosti $1 \cdot 10^{-4}$ g.

Kod eksperimentalnih ispitivanja smješa praksa ja da se smješe prave u određenim molskim odnosima. U okviru ove doktorske teze su mjerene smješe dizel goriva sa biodizelima i etanolom. Pošto su biodizeli smješe estara raznih viših masnih kiselina uz prisustvo određene količine glicerida dosta je teško precizno odrediti njihovu molarnu masu, što je slučaj i sa dizel gorivom pa nije bilo moguće proračunati molski sastavi smješe. Stoga su smješe pravljene prema zapreminskom udjelu pojedinačnih komponenti,

r_i . Da bi se odredile potrebne mase supstanci bilo je neophodno znati gustine tih supstanci na ambientalnim uslovima. Gustine čistih komponenti smješa su mjerene na DMA 5000 gustinomjeru na temperaturi 298.15 K i atmosferskom pritisku. Na osnovu toga su za željene zapremine supstanci određene potrebne mase.

Smješe su pravljene u normalnim sudovima od 50 ml. Supstance se dodaju pomoću plastičnog šprica sa iglom radi preciznijeg dodavanja. Pošto su i biodizeli i dizel vrlo slabo isparljivi nije bilo potrebe brinuti o tome već su obično prvo dodavane supstance za koje je trebalo odmjeriti najmanju masu radi kasnijeg lakšeg ispravljanja mogućih grešaka. Kada se odmjeri željena masa supstance, zapiše se vrijednost i masa na vagi poništi te se pristupa dodavanju određene mase sljedeće komponente smješe. Kada je smješa napravljena potrebno ju je dobro promješati da bi se obezbjedila homogenost uzorka neophodna za tačna mjerenja. Pošto su komponente smješa ispitivanih za potrebe ove teze veoma dobro mješljive miješanje je obavljano ručno. Vodilo se računa o tome da se sva mjerenja na atmosferskom pritisku obave u toku istog dana kada je smješa napravljena i da se ona ubrizga u aparaturu za mjerenje gustina na visokim pritiscima da ne bi došlo do neke promjene u sastavu smješe. Pošto su ispitivane smješe teško isparljivih komponenti, osim etanola, smješe su bile prilično stabilne pa su se rezultati mjerenja smješa koje su stajale u sudu par dana dobro slagali sa onima izmjerenim za svježe napravljene smješe.

REZULTATI I DISKUSIJA
EKSPERIMENTALNIH MJERENJA

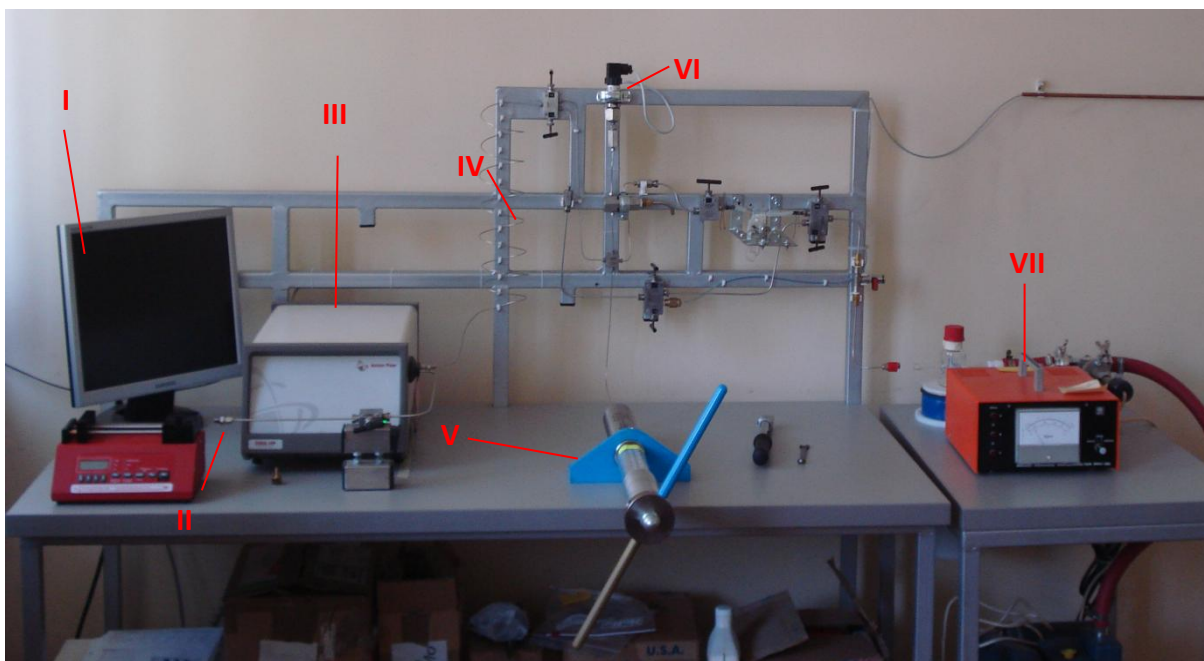
4.

4.1. Određivanje parametara aparature

Kako je navedeno u poglavlju 3.2.2., mjerna ćelija DMA HP ne mjeri direktno gustine uzoraka već period oscilovanja U cijevi ispunjene uzorkom, a takođe je objašnjena i procedura kalibracije uređaja. Za proračun gustine iz perioda oscilovanja mjerne ćelije neophodno je znati period oscilovanja prazne ćelije na svim temperaturama na kojima se vrše eksperimentalna mjerenja, period oscilovanja ćelije ispunjene vodom na svim temperaturama i pritiscima na kojim se određuju gustine uzorka i period oscilovanja U cijevi ispunjene *n*-dekanom na temperaturama $T \geq 373.15$ K na atmosferskom pritisku. Pored perioda oscilovanja, u kalibracionim jednačinama figurišu i gustine vode u čitavim opsezima temperature i pritiska u kojima se mjerenje obavlja, kao i gustine *n*-dekana na 373.15 K i višim temperaturama na atmosferskom pritisku, koje su već definisane u poglavlju 3.2.2.

Ovdje će biti predstavljeni rezultati mjerenja perioda oscilovanja za referentne fluide.

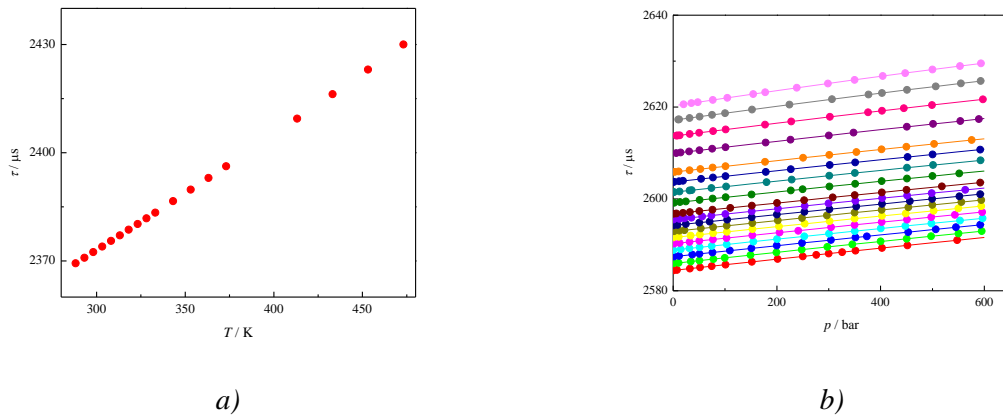
Prvo je mjeran period oscilovanja prazne mjerne ćelije DMA HP uređaja. Vakuum u mjernoj ćeliji se postiže tako što se kolica na kojima je vakuum pumpa sa vakuummetrom i posudom sa azotom (Slika 4.1.1.) pomjere do cijevi kroz koju se ubrizgava uzorak u predviđeni dio aparature i vakuum pumpa se preko posude sa tečnim azotom poveže sa njom. Ventil V_2 je zatvoren i pumpa se pušta da radi dok se ne postigne zadovoljavajući vakuum. Vakuummetar se uključuje nakon vakum pumpe, kad je već snižen pritisak da ne bi došlo do naglog kretanja kazaljke vakuummetra i njenog “zakucavanja” na dnu skale. Pri vakuumiranju je postignut vakuum od oko 0.133 Pa, nakon čega se zatvara ventil V_1 , isključuje vakuummetar, vakuum pumpa odvaja od aparature i isključuje i kolica se vraćaju na početni položaj. Kada je, u dijelu aparature u kom bi trebalo da se nalazi uzorak, uspostavljen vakuum, pokreće se APSofPrint programski dodatak u okviru Microsoft Excel programa koji bilježi izmjerene rezultate. Pošto u ovom slučaju nema potrebe za kontrolom pritiska podešava se samo temperatura na ekranu DMA 5000 gustinomjera, prema ranije objašnjenjima proceduri. Periodi oscilovanja vakuumirane U cijevi DMA HP uređaja su mjereni u temperaturnom opsegu 288.15-473.15 K i predstavljeni na Slici (4.1.2) i u Tabeli 8 u Prilogu.



Slika 4.1.1. Aparatura za mjerenje gustine na visokim pritiscima i umjerenim temperaturama

Dijelovi aparature su sljedeći:

- I – ekran za praćenje mjerenja, poseban program prati i zapisuje na svakih 15 s izmjerene vrijednosti pritiska, temperature i perioda oscilovanja vibrirajuće U cijevi,
- II – cijev u koju se ubrizgava uzorak,
- III – DMA HP uređaj za mjerenje gustina na visokim temperaturama i pritiscima
- IV – spirala koja se ispunjava uzorkom,
- V – generator visokog pritiska-HP generator (HiP, Model No. 50-6-15),
- VI – senzor pritiska koji šalje analogni signal do DMA 5000 (tip Wika S-10),
- VII – vakuumetar (Pirani – penning vauummeter PPV - 30).



Slika 4.1.2. Period oscilovanja mjerne ćelije DMA HP uređaja a) pod vakuumom i b) napunjene vodom u zavisnosti od pritiska na: (●) 288.15 K, (●) 293.15 K, (●) 298.15 K, (●) 303.15 K, (●) 308.15 K, (●) 313.15 K, (●) 318.15 K, (●) 323.15 K, (●) 328.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K, (●) 413.15 K, (●) 433.15 K i (●) 453.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.

Period oscilovanja same mjerne ćelije DMA HP uređaja raste sa porastom temperature (Slika 4.1.2.a), tj. smanjuje se frekvencija oscilovanja, što je i očekivano, imajući u vidu zavisnost datu jednačinom (3.2.2.2).

$$\tau = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{M_u + \rho \cdot V_u}{C}} \quad (3.2.2.2)$$

Sa porastom temperature smanjuje se vrijednost konstante C - konstante elastičnosti legure Hastelloy C-276 od koje je napravljena U cijev čiji se period oscilovanja mjeri. Takođe, povećava se i zapremina ćelije, V_u , ali pošto se pretpostavlja da je gustina vakuuma 0 onda to nema uticaja na period oscilovanja vakuumirane mjerne ćelije. Dakle, rast perioda oscilovanja U cijevi pod vakuumom se objašnjava smanjenjem konstante elastičnosti materijala od kog je napravljena cijev, kojoj je period oscilovanja obrnuto proporcionalan.

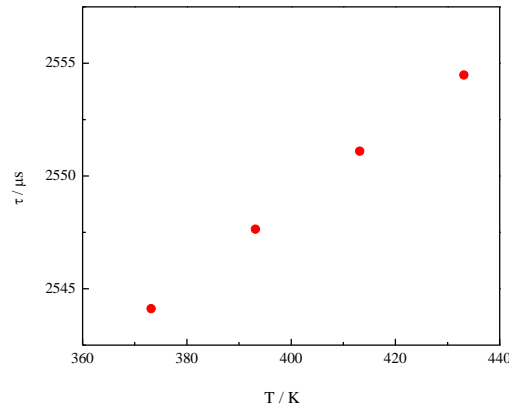
Nakon mjerenja perioda oscilovanja prazne ćelije, mjereni su periodi oscilovanja i ćelije napunjene dejonizovanom vodom (Slika 4.1.2.b). Tabela 9 sa izmjerenim vrijednostima perioda oscilovanja za vodu data je u Prilogu.

Sa Slike 4.1.2.b se primjećuje da periodi oscilovanja rastu sa porastom temperature, ali, takođe, rastu i sa porastom pritiska u mjernoj ćeliji. Kada se poveća temperatura u mjernoj

ćeliji povećava se zapremina same ćelije, ali se smanji gustina vode koja je ispunjava. S druge strane, smanjuje se i konstanta elastičnosti materijala od kog je ćelija napravljena pa se kao rezultat dobija porast perioda oscilovanja sa porastom temperature. Ipak, razlike među periodima oscilovanja U cijevi ispunjene vodom na različitim temperaturama pod istim pritiskom su manje nego razlike koje su primjećene kod vakuumirane U cijevi, što navodi na zaključak da je uticaj smanjenja gustine vode na period oscilovanja mjerne ćelije nešto veći od uticaja povećanja zapremine same ćelije, ali nedovoljno da promjeni zavisnost perioda oscilovanja od temperature. Kada se povećava pritisak u mjernoj ćeliji dolazi do povećanja i gustine vode i zapremine ćelije, ali i konstante elastičnosti legure od koje je napravljena ćelija. Pošto rastu i gustina vode i zapremina ćelije to dovodi do značajnog povećanja mase uzorka u ćeliji pa će taj uticaj na period oscilovanja biti dominantniji u odnosu na porast konstante elastičnosti. Kao rezultat navedenih promjena dobija se porast perioda oscilovanja sa povećanjem pritiska pri konstantnoj temperaturi, koji je, ipak, manje izražen nego porast pri izobarskoj promjeni temperature.

Iz jednačina (3.2.2.21-3.2.2.323) se vidi da je za određivanje gustine uzorka na određenoj temperaturi i pritisku potrebno poznavanje perioda oscilovanja vakuuma i n -dekana na tačno toj temperaturi, kao i perioda oscilovanja U cijevi ispunjene vodom pri identičnim uslovima pritiska i temperature. Temperatura mjerne ćelije se podešava i kontroliše automatski tako da i nije toliko teško ispuniti navedeni uslov, ali je u slučaju pritiska to izuzetno komplikovano postići okretanjem drški generatora visokog pritiska. Upravo zbog toga su periodi oscilovanja mjerne ćelije DMA HP ispunjene vodom na određenoj temperaturi korelisani polinomom drugog stepena pa su tako dobijene zavisnosti perioda oscilovanja od pritiska za svaku pojedinačnu izotermu. Srednja apsolutna procentualna razlika između izmjerenih perioda oscilovanja za vodu i onih izračunatih primjenom kvadratne funkcije je oko 0.0001 %, na čitavom intervalu temperatura 288.15-453.15 K i na pritiscima do 60 MPa, što znači da se ovako izračunati periodi oscilovanja mogu s velikom pouzdanošću koristiti u kalibracionim jednačinama umjesto onih direktno mjerenih. Na taj način je moguće odrediti period oscilovanja DMA HP mjerne ćelije napunjene vodom na svim kombinacijama temperature i pritiska za koje se želi odrediti gustina određenog uzorka.

Pored vode, pri kalibraciji se kao referentni fluid koristi i *n*-dekan. Periodi oscilovanja U cijevi u kojoj se nalazi *n*-dekan na temperaturama 373.15-433.15 K na atmosferskom pritisku su dati u Tabeli 10 u Prilogu (Slika 4.1.3.).



Slika 4.1.3. Period oscilovanja mjerne ćelije DMA HP uređaja napunjene *n*-dekanom u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

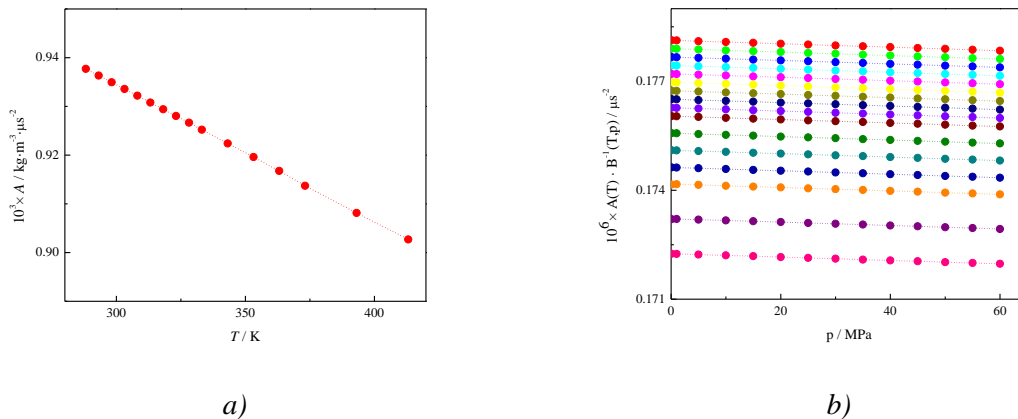
Ovdje je, kao i u slučaju kada je U cijev koja se pobuđuje na oscilovanje bila ispunjena vodom ili pod vakuumom, primjetan rast perioda oscilovanja ćelije kada se povećava temperatura.

Kada su izmjereni periodi oscilovanja prazne DMA HP mjerne ćelije i ćelije napunjene vodom i *n*-dekanom, poznati su svi podaci neophodni za određivanje parametara aparature $A(T)$ i $B(T,p)$, korišćenjem jednačina (3.2.2.25) i (3.2.2.26).

$$A(T) = \frac{\rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa})}{\tau_{\text{ref1}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} \quad (3.2.2.25)$$

$$B(T, p) = \rho_{\text{ref1}}(T, 0.1\text{MPa}) \frac{\tau_{\text{ref2}}^2(T, p)}{\tau_{\text{ref1}}^2(T, 0.1\text{MPa}) - \tau_{\text{vakuum}}^2(T)} - \rho_{\text{ref2}}(T, p) \quad (3.2.2.26)$$

Izračunate vrijednosti parametara aparature za mjerenje gustine na visokim pritiscima su date u Tabelama 11 i 12 u Prilogu i na Slici 4.1.4.



Slika 4.1.4. a) Parametar aparature A u zavisnosti od temperature i b) Odnos kalibracionih parametara A i B u zavisnosti od pritiska na: (●) 288.15 K, (●) 293.15 K, (●) 298.15 K, (●) 303.15 K, (●) 308.15 K, (●) 313.15 K, (●) 318.15 K, (●) 323.15 K, (●) 328.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Kao što se može primjetiti sa Slike 4.1.4.a vrijednosti parametra $A(T)$ linearno opadaju sa porastom temperature, što je i očekivano na osnovu zaključaka koji je izveo Lagourette sa saradnicima [6]. Oni su, takođe, istakli i da odnos $A(T) / B(T,p)$ praktično ne zavisi od pritiska, što su potvrdili i mnogi drugi autori koji su koristili druge referentne fluide [128,145,146]. Kalibracioni parametri određeni za aparaturu predstavljenu u ovoj tezi se ponašaju u skladu sa navedenim pa se sa Slike 4.1.4.b može zaključiti da odnos $A(T) / B(T,p)$ blago opada sa porastom što se može smatrati i nezavisnošću od pritiska.

Proširena mjerna nesigurnost sa nivoom pouzdanosti od 95 % ($k=2$), $U_c(A(T))$, sa kojom je određen kalibracioni parametar $A(T)$ je procjenjena prema jednačini (3.2.2.41) i iznosi $9.4 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{s}^{-2}$ na temperaturama ispod 373.15 K i $2.1 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{s}^{-2}$ za $T \geq 373.15 \text{ K}$. Kalibracioni parametar $B(T,p)$ je određen sa proširenom mjernom nesigurnošću, $U_c(B(T,p))$, sa opsegom pouzdanosti od 95 % ($k=2$), od $0.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ na temperaturama ispod 373.15 K, $1.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ na $T \geq 373.15 \text{ K}$ i $p=0.1 \text{ MPa}$, a na istim temperaturama i pritiscima iznad atmosferskog je procjenjeno da je $U_c(B(T,p))=1.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

4.2. Testiranje aparature

Pošto je aparatura za mjerenje gustina na višim pritiscima povezana i pripremljena za rad potrebno je izmjeriti gustine nekih supstanci koje su već više puta ispitivane tako da se mogu naći podaci o njihovim gustinama na širokim opsezima pritiska i temperature, da bi se uporedili sa onim izmjerenim na našoj aparaturi. Svrha toga jeste da se provjeri da li je odabrana procedura mjerenja na aparaturi i kalibraciona metodologija ispravna da bi se kasnije izmjerene gustine nekih novih supstanci ili smješa, koji ranije nisu ispitivane u literaturi, mogle smatrati pouzdanim. Kriterijumi korišteni za provjeru slaganja mjerenih i ranije objavljenih gustina su srednje apsolutno procentualno odstupanje, *AAD*, maksimalno apsolutno procentualno odstupanje, *MD*, i srednje procentualno odstupanje, *Bias*:

$$AAD = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\rho_i^{\text{exp}} - \rho_i^{\text{lit}}}{\rho_i^{\text{exp}}} \right| \quad (4.2.1.)$$

$$MD = \max \left(100 \left| \frac{\rho_i^{\text{exp}} - \rho_i^{\text{lit}}}{\rho_i^{\text{exp}}} \right| \right); i=1, N \quad (4.2.2.)$$

$$Bias = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\rho_i^{\text{exp}} - \rho_i^{\text{lit}}}{\rho_i^{\text{exp}}} \right) \quad (4.2.3.)$$

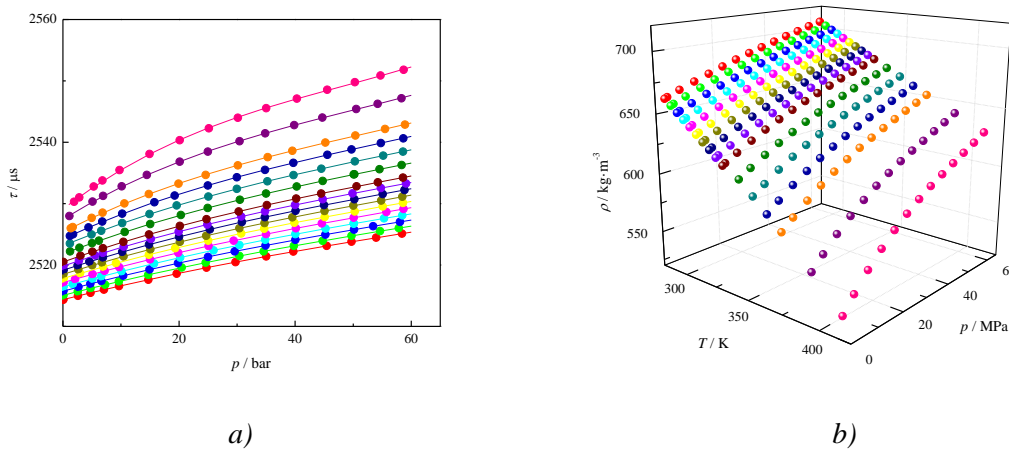
gdje je N broj eksperimentalnih podataka, ρ^{exp} se odnosi na eksperimentalno određene gustine, a ρ^{lit} predstavlja vrijednosti gustina koje su pronađene pregledom literature.

Za test supstance su izabrani *n*-heksan, toluen i dihlor-metan [120].

n-Heksan

n-Heksan je predložen od strane mnogih autora kao supstanca za poređenje u tečnom stanju [147-151]. Periodi oscilovanja DMA HP mjerne ćelije ispunjene *n*-heksanom su mjereni na temperaturama 288.15-413.15 K (na 16 izoterma) i na pritiscima do 60 MPa prema proceduri objašnjenj u poglavlju 3.2.2. i dati u Tabeli 13 u Prilogu (Slika 4.2.1.a). Pošto je za određivanje gustine uzorka na nekoj temperaturi i pritisku potrebno znati periode oscilovanja prazne U cijevi DMA HP uređaja na toj temperaturi, ali i periode oscilovanja mjerne ćelije ispunjene vodom na identičnom pritisku i temperaturi, javlja se problem kontrole i podešavanja identičnog pritiska za vodu i svaki uzorak koji se ispituje

na aparaturi. Ranije je pomenuto da se mjereni periodi oscilovanja za vodu na svakoj temperaturi korelišu u cilju dobijanja jednačine koja bi omogućila računanje perioda oscilovanja na bilo kom pritisku u ispitivanom intervalu 0.1-60 MPa. Slična procedura se primjenjuje i na periode oscilovanja mjerne ćelije ispunjene uzorkom. U slučaju *n*-heksana periodi su korelisani kvadratnim polinomom, a gustine su, dalje, izračunate primjenom kalibracionih jednačina (3.2.2.21-3.2.2.23) i date su u Tabeli 14 u Prilogu.



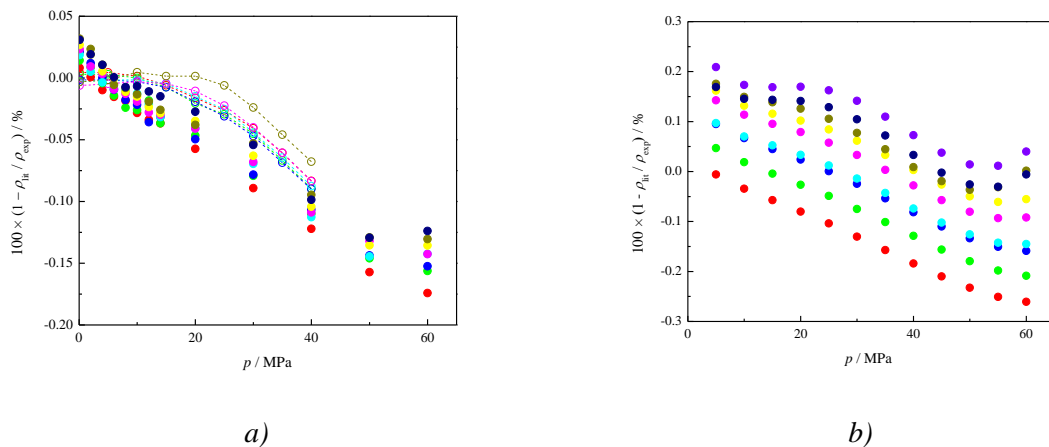
Slika 4.2.1. a) Period oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene *n*-heksanom u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 293.15 K, (●) 298.15 K, (●) 303.15 K, (●) 308.15 K, (●) 313.15 K, (●) 318.15 K, (●) 323.15 K, (●) 328.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.
b) Gustine *n*-heksana u zavisnosti od temperature i pritiska

Ponašanje perioda oscilovanja koje je uočeno i objašnjeno za vodu, primjećeno i kod svih ostalih mjerenih uzoraka - mjerna U ćelija DMA HP ima veći period oscilovanja kada joj se poveća temperatura i/ili pritisak, izuzetak je dihlor-metan, koji će biti predstavljen dalje u poglavlju.

Zavisnosti gustina *n*-heksana (Tabela 14 u Prilogu) od temperature i pritiska su prikazani na Slici 4.2.1.b. Kao što je i očekivano, gustine *n*-heksana rastu sa porastom pritiska duž izoterme i opadaju sa porastom temperature pri konstantnom pritisku. Zavisnost gustina od pritiska je gotovo linearna na nižim temperatura, dok na temperaturama iznad 323.15 K sve više se približavaju kvadratnoj zavisnosti, što je posebno uočljivo na nižim pritisacima, do

30 MPa. Na pritiscima iznad 30 MPa zavisnost gustine od pritiska ima prilično linearan izgled u cijelom opsegu ispitivanih temperatura.

U cilju provjere ispravnosti aparature i izbora kalibracione metode, izmjerene gustine su poređene sa literaturnim podacima koje su objavili razni autori. Troncoso sa saradnicima [149] daje gustine *n*-heksana u temperaturnom intervalu 278.15-313.15 na pritiscima do 40 MPa, što je znatno manja oblast u odnosu na mjerenja data u ovoj disertaciji. Poređenje je pokazalo da se izmjerene gustine veoma dobro slažu sa njihovim na temperaturama od 288.15-313.15 K i pritiscima do 40 MPa, $AAD=0.03\%$ (manje od $0.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), $MD=0.09\%$ i $Bias=-0.02\%$ (Slika 4.2.2.a).



Slika 4.2.2. Poređenje eksperimentalno određenih gustina *n*-heksana sa podacima koje daju a) Troncoso i saradnici [149] na (—○—) 288.15 K, (—○—) 293.15 K, (—○—) 298.15 K, (—○—) 303.15 K, (—○—) 308.15 K i (—○—) 313.15 K i Sanmamed sa saradnicima [150] na (●) 288.15 K, (●) 293.15 K, (●) 298.15 K, (●) 303.15 K, (●) 308.15 K, (●) 313.15 K, (●) 318.15 K i (●) 323.15 K i b) Daridon sa saradnicima [151] na (●) 293.15 K, (●) 303.15 K, (●) 313.15 K, (●) 323.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K i (●) 373.15 K.

Nešto šire opsjege temperature i pritiska ispituje Sanmamed sa kolegama [150], redom, 283.15-323.15 K i 0.1-60 MPa. Kriterijumi poređenja izmjerenih gustina *n*-heksana sa onim koje su autori prijavili na temperaturama 288.15-323.15 K na pritiscima do 60 MPa su $AAD=0.05\%$ (manje od $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), $MD=0.17\%$ i $Bias=-0.04\%$, što pokazuje da su dobijeni rezultati veoma slični literaturnim (Slika 4.2.2.a).

Daridon je sa saradnicima [151] mjerio gustine *n*-heksana na temperaturama 293.15-

373.15 K i pritiscima do 150 MPa, koje je proračunao iz eksperimentalno određenih brzina prostiranja zvuka u *n*-heksanu. Rezultati mjerenja izvršenih u okviru ovog rada su poređeni sa njihovim u pomenutom intervalu temperature za pritiske do 60 MPa i proračunato AAD je 0.10% (manje od $0.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), $MD=0.29\%$ i $Bias=-0.01\%$ (Slika 4.2.2.b), što je veoma zadovoljavajuće slaganje.

Može se zaključiti da se gustine *n*-heksana određene na aparaturi predstavljenoj u ovoj tezi veoma dobro slažu sa onim koje su objavljene u literaturi [149-151] s tim što odstupanja rastu sa porastom temperature i pritiska (Slika 4.2.2.). Nešto lošije slaganje sa podacima Daridona i saradnika [151] nego sa gustinama Tronkosa i saradnika [149] i Sanmameda i saradnika [150] je najvjerojatnije posljedica indirektnog određivanja gustine iz brzine zvuka i šireg opsjega temperatura na kojima je vršeno poređenje, ali je i dalje prihvatljivo.

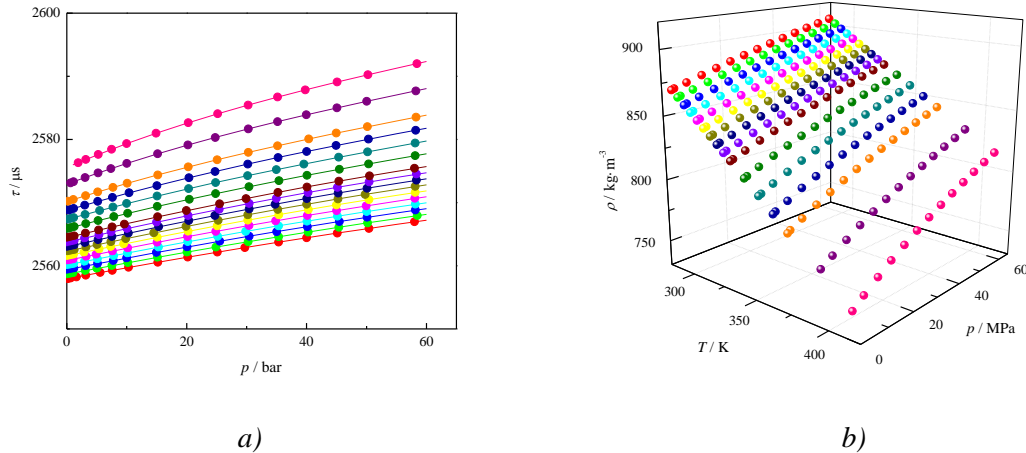
Toluen

Pored alifatičnog ugljovodonika *n*-heksana, provjera tačnosti mjerenja gustina na novoj aparaturi za određivanje gustine na visokim pritiscima, rađena je i na predstavniku aromatičnih ugljovodonika za koji su lako dostupni podaci o gustini pri različitim temperaturama i pritiscima - toluenu. Periodi oscilovanja U cijevi sa toluenom su mjereni na 16 izoterma u intervalu 288.15-413.15 K i na pritiscima 0.1-60 MPa prema već objašnjenoj proceduri (Tabela 15 u Prilogu) i korelisani kvadratnim polinomom, a njihova zavisnost od temperature i pritiska je prikazana na Slici 4.2.3.a. Kao što je već zaključeno, period oscilovanja U cijevi raste sa porastom temperature i/ili pritiska.

Vrijednosti gustina izračunate primjenom jednačina (3.2.2.21)-(3.2.2.23) su date u Tabeli 16 u Prilogu, a njihova zavisnost od temperature i pritiska je predstavljena na Slici 4.2.3.b.

Ponašanje gustina toluena sa promjenom temperature ili pritiska je slično kao i kod *n*-heksana, gustine opadaju sa porastom temperature na izobarama, a rastu sa porastom pritiska pri konstantnoj temperaturi. I ovdje je uočljiva gotovo linearna zavisnost gustina od pritiska na nižim temperaturama, do nekih 323.15 K da bi na višim temperaturama ta zavisnost poprimila oblik kvadratne funkcije. Kvadratna zavisnost gustina od pritiska na

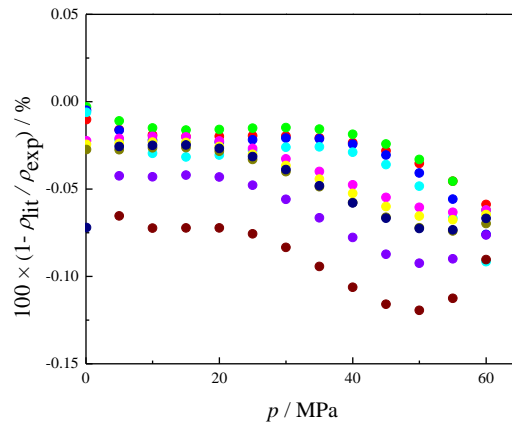
višim temperaturama dolazi do izražaja pri nižim pritiscima, do oko 30 MPa, a na pritiscima iznad toga je gotovo linearna na svim proučavanim izotermama.



Slika 4.2.3. a) Period oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene toluenom u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 293.15 K, (●) 298.15 K, (●) 303.15 K, (●) 308.15 K, (●) 313.15 K, (●) 318.15 K, (●) 323.15 K, (●) 328.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.
b) Gustine toluena u zavisnosti od temperature i pritiska

Cibulka i Takagi [152] su predložili jednačinu za predskazivanje gustina u opsegu temperature 179.02-583.18 K i na pritiscima do 379.2 MPa. Izmjerene gustine su poređene sa vrijednostima dobijenim iz njihove jednačine za temperature 288.15-413.15 K i pritiske 0.1-60 MPa i primjećeno je veoma dobro slaganje, $AAD=0.04\%$ (manje od $0.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), $MD=0.12\%$ i $Bias=-0.04\%$. To se može uočiti i na Slici 4.2.4.

Izmjerene gustine toluena su poređene i sa onim izračunatim primjenom jednačine za računanje gustina toluena na temperaturama 198-380 K i na pritiscima 0.1-280 MPa, predložene od strane Assael-a sa saradnicima [153]. Poređenje gustina na temperaturnom intervalu 288.15-413.15 K i na pritiscima do 60 MPa je pokazalo da je srednje apsolutno procentualno odstupanje mjerenih gustina od onih izračunatih prema datoj jednačini 0.08% (manje od $0.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), dok je maksimalno procentualno odstupanje 0.15% i $Bias=-0.08\%$. Dobijeni rezultati potvrđuju da se poređeni setovi podataka dobro slažu pošto su odstupanja unutar onih prijavljenih za tačnost jednačine [153].



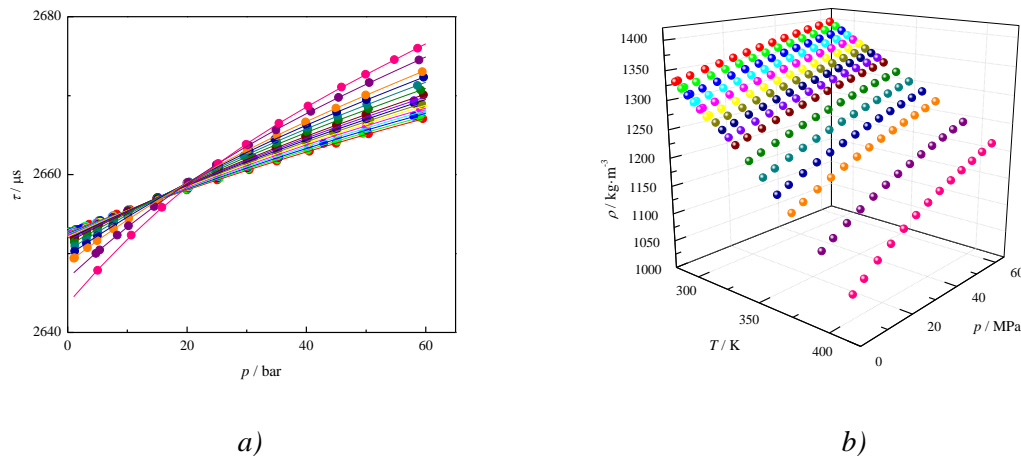
Slika 4.2.4. Poređenje eksperimentalno određenih gustina toluena sa podacima koje daje Cibulka i Takagi [152] na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K i (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

U cilju procjene pouzdanosti određenih gustina toluena rađeno je još jedno poređenje sa literaturnim vrijednostima. Segovija sa saradnicima [128] je objavio podatke o gustinama toluena na temperaturama 283.15-398.15 K i na pritiscima do 70 MPa. U cilju dobijanja gustina na tačnim temperaturama na kojima su vršena ovdje predstavljena mjerenja, vrijednosti koje daju Segovija i saradnici [128] su korelisane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom. Procedura obrade gustina modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom biće detaljno objašnjena u poglavlju 5. Iz dobijenih parametara su proračunate gustine koje su poređene sa izmjerenim na temperaturama 288.15-413.15 K na pritiscima do 60 MPa i pokazalo se da su veoma slične: $AAD=0.05\%$ (manje od $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), $MD=0.09\%$ i $Bias=-0.04\%$.

Iz vrijednosti kriterijuma poređenja, dobijenih za poređenje gustina toluena izmjerenih na aparaturi predstavljenoj u poglavlju 3.2.2. i literaturnih vrijednosti gustina [128,152,153], vidi se da se ispitivani podaci veoma dobro slažu što govori u prilog ispravnosti predložene procedure mjerenja i izbora kalibracione metode.

Dihlor-metan

n-Heksan i toluen imaju različite gustine i to je jedan od razloga što su, u cilju pokrivanja većeg opsjega gustina, izabrani kao test supstance za poređenje mjerenih i literaturnih podataka. Međutim, vrijednosti gustina obje supstance se nalaze između vrijednosti koje su korištene za kalibraciju aparature, tj. između gustine postignutog vakuuma $\sim 0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i vode $\sim 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Stoga je posebno bilo zanimljivo provjeriti gustine dihlor-metana pošto one izlaze iz pomenutog opsjega gustina za koje je aparatura kalibrisana pa bi se moglo reći da se one dobijaju nekom vrstom ekstrapolacije iz kalibracionih jednačina. Periodi oscilovanja mjerne ćelije DMA HP ispunjene dihlor-metanom su mjereni na temperaturama 288.15-413.15 K na pritiscima 0.1-60 MPa (Tabela 17, Prilog) i za svaku od 16 izoterma je određena polinomska zavisnost perioda oscilovanja od pritiska, što je, kako je već navedeno, dio standardne procedure mjerenja (Slika 4.2.5.a).



Slika 4.2.5. a) Period oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene dihlor metanom u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 293.15 K, (●) 298.15 K, (●) 303.15 K, (●) 308.15 K, (●) 313.15 K, (●) 318.15 K, (●) 323.15 K, (●) 328.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.
b) Zavisnost gustina dihlor-metana od temperature i pritiska.

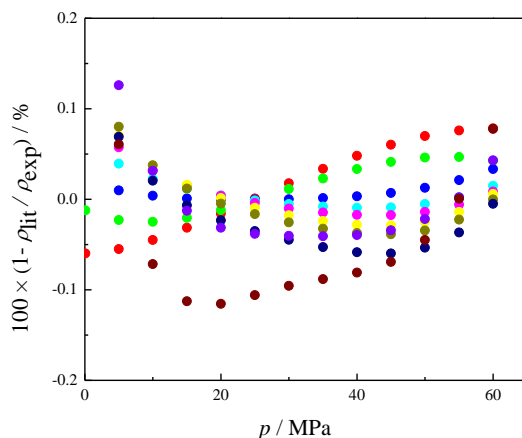
Sa Slike 4.2.5.a se zaključuje da perioda oscilovanja dihlor-metana raste sa porastom pritiska, što je i očekivano s obzirom na prethodno prikazane rezultate. Zavisnost od temperature je nešto drugačija nego za ostale mjerene uzorke pošto period oscilovanja

dihlor-metana opada kada se povećava temperatura na nižim pritiscima, do oko 20 MPa, da bi nakon toga počeo da raste sa porastom temperature. Uticaj temperature na period oscilovanja bi se mogao objasniti time da pri porastu temperature dolazi do povećanja zapremine U cijevi i smanjenja konstante elastičnosti legure od koje je napravljena cijev, što ide u prilog tome da period oscilovanja raste, dok gustina uzorka opada što doprinosi smanjenju period oscilovanja. Kod vode, n -hexana i toluena, za koje su prikazani periodi oscilovanja U cijevi, povećanje zapremine mjerne ćelije i smanjenje njene konstante elastičnosti je veće od smanjenja gustine uzorka pa je tako i period oscilovanja rastao sa temperaturom. Međutim, gustine dihlor-metana su veće nego kod pomenutih uzoraka pa je i smanjenje gustine usled povećanja temperature veće. To dovodi do toga da uticaj promjene gustine na period oscilovanja U cijevi bude dominantniji u odnosu na uticaj promjene zapremine ćelije i konstante elastičnosti, što rezultira smanjenjem perioda oscilovanja pri povećanju temperature. S druge strane, treba uzeti u obzir i uticaj pritiska, kako pri porastu pritiska raste gustina uzorka tako će se mijenjati i odnos veličina promjene zapremine ćelije i konstante elastičnosti i promjene gustine uzorka. Naravno, pritisak utiče i na konstantu elastičnosti vibrirajuće cijevi, ali je ovdje zbog velikih vrijednosti gustina dihlor-metana bitno ispratiti njene promjene. Tako je na nižim pritiscima smanjenje gustine uzorka sa porastom temperature dovoljno veliko da period oscilovanja U cijevi opada sa porastom temperature, ali kako pritisak raste i gustina uzorka raste pa se smanjuje opadanje perioda oscilovanja sa porastom temperature. Kako povećanje pritiska slabi pad gustine pri porastu temperature, tako se smanjuju i pad perioda oscilovanja U ćelije ispunjene dihlor-metanom kada raste temperatura, razlike među izotermama su sve manje, da bi na oko 20 MPa bile jednake 0, tj. period oscilovanja U cijevi sa dihlor-metanom ima stalnu vrijednost na svim temperaturama. Iznad tog pritiska je dovoljno smanjeno opadanje gustine uzorka sa porastom temperature, tako da je u jednačini (3.2.2.2) dominantan uticaj zapremine i konstante elastičnosti U ćelije na period oscilovanja pa on počinje da raste sa porastom temperature, kao i kod ranije mjerenih supstanci.

Gustine izračunate prema kalibracionim jednačinama (3.2.2.21-3.2.2.23) su date u Tabeli 18 u Prilogu, a njihova zavisnost od temperature i pritiska je grafički predstavljena na Slici 4.2.5.b.

Kao i kod *n*-heksana i toluena i ovdje je primjetno opadanje vrijednosti gustina pri porastu temperature uz konstantan pritisak i pri izotermnom padu pritiska. Ponašanje gustina dihlor-metana u zavisnosti od pritiska je gotovo identično kao i kod prethodno mjerenih test supstanci, na temperaturama do 323.15 K je gotovo linearno, a na višim se može opisati kvadratnom funkcijom i to na nižim pritiscima, do oko 30 MPa. Na višim pritiscima zavisnost gustine od pritiska je gotovo linearna na svim ispitivanim temperaturama.

Zbog specifičnosti same supstance, tj. vrijednosti njenih gustina, posebna pažnja je posvećena poređenju izmjerenih gustina dihlor-metana sa podacima dostupnim u literaturi. Gonçaves je sa saradnicima [154] predstavio korelaciju za računanje gustina dihlor-metana u temperaturnom intervalu 244-430 K na pritiscima 0.1-101 MPa. Prijavljeni parametri jednačine su iskorišćeni za računanje gustina sa kojima će se moći porediti izmjerene vrijednosti na temperaturama 288.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa. Rezultati poređenja su pokazala odlično slaganje: $AAD=0.03\%$ (manje od $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), $MD=0.13\%$ i $Bias=-0.002\%$ (Slika 4.2.6.).



Slika 4.2.6. Poređenje gustina dihlor metana sa podacima koje daje Gonçaves je sa saradnicima [154] na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

U radu Luga i saradnika [145] su predstavljene gustine dihlor-metana u temperaturnom opsegu 293.15-353.15 K i pritiscima do 25 MPa. Poređenje izmjerenih gustina sa njihovim

je odrađeno na čitavim pomenutim intervalima temperature i pritiska i dalo je veoma dobre rezultate: $AAD=0.03\%$ (manje od $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), $MD=0.04\%$ i $Bias=-0.03\%$.

Pored navedenih poređenja, ispitivano je i slaganje eksperimentalno određenih gustina dihlor-metana sa vrijednostima koje je Demiritz [155] dao još u svojoj doktorskoj tezi, a koje se smatraju izuzetno pouzdanim. On daje gustine dihlor-metana u širokim opsezima temperature i pritiska, a u ovoj tezi su modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom (vidjeti poglavlje 5) korelisane one određene na temperaturnom intervalu 270-430 K i pritiscima do 60 MPa. Srednje apsolutno procentualno odstupanje između gustina dobijenih u toku mjerenja sa onim izračunatim preko parametara modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine je 0.03% (manje od $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), maksimalno procentualno odstupanje je 0.30% , dok je $Bias=-0.03\%$, što predstavlja veoma dobre rezultate.

Procjenjena mjerna nesigurnost određenih gustina test supstanci na visokim pritiscima (jednačina (3.2.2.36)), sa nivoom pouzdanosti od 95% ($k=2$), je iznosila oko $0.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na temperaturama ispod 373.15 K i oko $2.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na $T \geq 373.15 \text{ K}$. Ispitivan je i uticaj viskoznosti supstanci na određivanje njihove gustine primjenom DMA HP uređaja. Viskoznosti izabranih test supstanci na atmosferskom pritisku su preuzete iz literature [154,156,157] i, pošto su manje od $100 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, za procjenu pomenutog uticaja je korišćena jednačina (3.2.2.60). Za sve tri supstance je, primjenom viskoznosti na atmosferskom pritisku [154,156,157], proračunato da je razlika između izmjerenih gustina i onih koje su ispravljene zbog uticaja viskoznosti manja od $0.03 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Imajući u vidu da temperatura ima veći uticaj na viskoznost nego pritisak očekuje se da se uticaj viskoznosti na mjerenja gustina neće bitno promijeniti na višim pritiscima. S obzirom na to da je proračunata greška mjerenja gustina na DMA HP mjernoj ćeliji usljed uticaja viskoznosti supstanci, znatno niža od procjenjene nesigurnosti sa kojom su određene gustine, uticaj viskoznosti na mjerenje gustina je zanemaren.

Veoma dobra slaganja gustina sve tri ispitivane test supstance sa odabranim literaturnim podacima [145,154,155] potvrđuju ispravnost kako procedure mjerenja, tako i odabira kalibracione metode i referentnih fluida i pokazuju da se aparatura, sa velikom pouzdanošću, može koristiti za određivanje gustina u veoma širokom opsegu.

4.3. Eksperimentalno određivanje termodinamičkih i transportnih svojstava čistih supstanci

Pošto je mjerenjem gustina supstanci za koje su široko dostupni literaturni podaci utvrđeno da se vrijednosti koje su dobijene mjerenjem na novoj aparaturi predstavljenoj u poglavlju 3.2.2. i primjenom kalibracionih jednačina (3.2.2.21)-(3.2.2.23) veoma dobro slažu sa ranije objavljenim gustinama, pristupilo se mjerenju gustina supstanci i smješa koje do sada nisu ispitivane, a koje su bile predmet istraživanja ove doktorske teze.

Zbog sve većeg interesovanja za biodizele, usljed njihove moguće primjene kao goriva u dizel motorima, u okviru ove teze su ispitivana tri različita biodizela, a njihova termodinamička svojstva poređena su sa ponašanjem dizel goriva. Viskoznost i indeks refrakcije metil i etil estara suncokretovog ulja i metil estara svinjske masti su mjereni na atmosferskom pritisku, a gustine su im mjerene u širokim opsezima temperature i pritiska. Iste termodinamičke veličine su određene i za uzorak dizel goriva. U toku rada na ovoj tezi nabavljen je i uređaj za paralelno mjerenje gustine i brzine prostiranja zvuka kroz uzorak na atmosferskom pritisku, DSA 5000 M, pa su neki od uzoraka ispitivani i na njemu. Za potrebe provjere rada pomenutog uređaja, kao i kasnijih proračuna i poređenja kod ternernih smješa koje će biti prikazane u nastavku, mjerene su gustina i brzina prostiranja zvuka u etanolu i poređene su dobijene vrednosti sa literaturnim podacima. Osim njih određene su i viskoznost i indeks refrakcije za etanol. Pored već navedenih veličina, i za metil estre suncokretovog ulja i dizel gorivo mjerene su brzine prostiranja zvuka u uzorku primjenom uređaja DSA 5000 M. Gustine na atmosferskom pritisku su mjerene na DMA 5000 gustinomjeru, viskoznosti na Stabinger SVM 3000/G2 viskometru, a indeks refrakcije na RXA-156 refraktometru. Gustine na višim pritiscima su mjerene na aparaturi predstavljenoj u ovom radu čiji je osnovni dio mjerna ćelija DMA HP. Svi navedeni uređaju su proizvodi Anton Paar kompanije i detaljno su opisani u poglavlju 3.2.

Gustine metil (SME) i etil (SEE) estara suncokretovog ulja su određene na temperaturama 288.15-363.15 K na atmosferskom pritisku, a dinamička viskoznosti i indeks refrakcije na istom pritisku u temperaturnim intervalima 288.15-373.15 K, odnosno

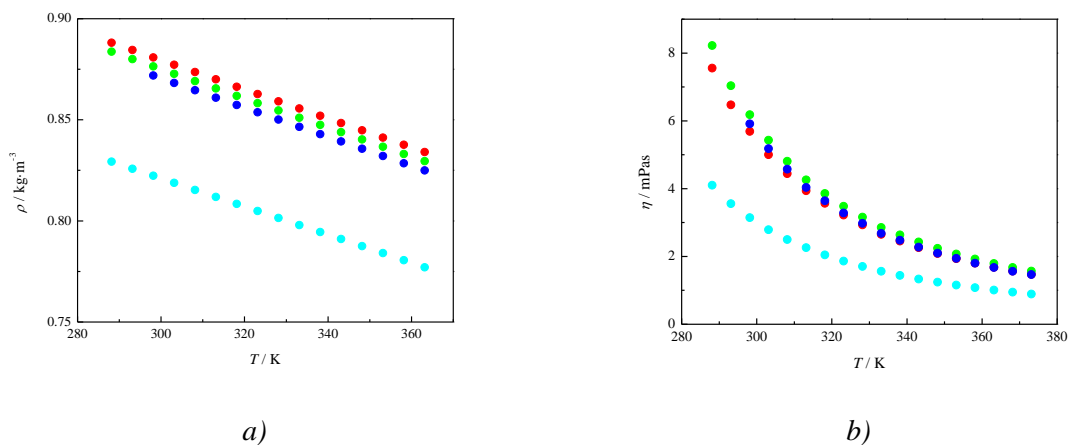
288.15-343.15 K. Navedene veličine su mjerene i za metil estre svinjske masti (LME) pri istim uslovima, s tim što je početna temperatura mjerenja bila 298.15 K zbog velike mogućnosti da uzorak metil estara svinjske masti pređe u čvrsto agregatno stanje na nižim temperaturama. Pored biodizela ispitivane su i gustina, viskoznost i indeks refrakcije EuroDizela, kao predstavnika komercijalnih dizel goriva, na atmosferskom pritisku i, redom, temperaturama 288.15-363.15 K, 288.15-373.15 K i 288.15-343.15 K. Za SME i EuroDizel su dodatno mjerene i brzine zvuka na temperaturama 288.15-343.15 K na atmosferskom pritisku. Dobijeni rezultati su dati u Tabeli 19 u Prilogu. Rezultati dobijeni za uzorke biodizela su predstavljeni u radu objavljenom u Fuel-u [35], kao i termodinamička i transportna svojstva dizel goriva [159].

Procjenjene proširene mjerne nesigurnosti određivanja gustina, $U(\rho)$, viskoznosti, $U(\eta)$, indeksa refrakcije, $U(n_D)$, i brzine zvuka u uzorku, $U(u)$, na atmosferskom pritisku, su za sve ispitivane čiste supstance bile redom oko $0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.003 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $5\cdot 10^{-5}$ i $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Da bi se neka smješa estara mogla nazvati biodizelom neophodno je da ispunjava uslove propisane odgovarajućim standardima [13,14,160]. Neki od tih uslova su gustina uzorka na 288.15 K i kinematska viskoznost na 313.15 K, obje na atmosferskom pritisku, kao i udio estara u uzorku biodizela. Pomenuta gustina SME je $888.16 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, kinematska viskoznost $4.542 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$, a udio metil estara u uzorku 98.7 % m/m (Tabela 7 u Prilogu). Sve tri vrijednosti se uklapaju u granice propisane evropskim standardom za metil estre - EN 14214 [13] (redom, $860\text{-}900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $3.50\text{-}5.00 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ i $>96.5 \%$ (m/m)), što je dokaz da se metil estri suncokretovog ulja ispitivani u ovom radu mogu smatrati biodizelom. Gustina SEE na 288.15 K je $883.63 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, a kinematska viskoznost na 313.15 K $4.915 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$, obje na atmosferskom pritisku, dok je udio etil estara u posmatranom uzorku 96.8 % m/m (Tabela 7 u Prilogu). Dobijene vrijednosti su u skladu sa američkim standardom za etil estre ASTM D6751 [14] (u skladu sa evropskim sandardom 14214 [13] osim viskoznosti, $1.9\text{-}6.0 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$) pa se i etil estri suncokretovog ulja koji su ispitivani u toku rada na ovoj doktorskoj tezi mogu nazivati biodizelom. Usklađenost sa evropskim standardom za biodizel [13] je provjerena i za LME. Gustina na 288.15 K na atmosferskom pritisku nije mjerena zbog, kako je već rečeno, mogućnosti očvršćavanja, ali je dobijena vrijednost kinematske viskoznosti na 313.15 K na atmosferskom pritisku od $4.687 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ u skladu sa

zahtjevima navedenog standarda. Udio estara u uzorku je nešto malo ispod zahtjevanog, 96.3 % m/m, pa se i ova smješa estara viših masnih kiselina svinjske masti može smatrati biodizelom (Tabela 7 u Prilogu). Kao za biodizele, postoje standardi koji postavljaju uslove koje dizel gorivo mora da zadovolji da bi se moglo koristiti kao gorivo u automobilima - EN 590/2009 [28]. Izmjerena gustina EuroDizela na 288.15 K na atmosferskom pritisku je $829.28 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, što se uklapa u granice predviđene standardom, kao i kinematska viskoznost na istom pritisku na 313.15 K od $2.789 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ (Tabela 19 u Prilogu). Usklađenost EuroDizela sa standardom za automobilska goriva je očekivana, pošto je to gorivo koje je u širokoj upotrebi i njegov kvalitet garantuje proizvođač.

Zavisnost gustina ispitivanih biodizela i EuroDizela od temperature na atmosferskom pritisku je predstavljena na Slici 4.3.1.a. Poređenjem gustina biodizala i dizel goriva na atmosferskom pritisku, dolazi se do zaključka da su sva tri uzorka biodizela koja su ispitivana u okviru ovog doktorata gušća od komercijalnog dizel goriva koje je u širokoj upotrebi, što je i očekivano imajući u vidu rezultate drugih autora [33,74]. Kada se posmatraju biodizeli vidi se da su gustine oba biodizela dobijena iz suncokretovog ulja više od onih izmjerenih za metil estre svinjske masti. Dalje, metil estri suncokretovog ulja su gušći od etil estara viših masnih kiselina iz suncokretovog ulja, što se dalo i naslutiti [159-161]. Ono što je, takođe, očekivano jeste i to da gustine uzorka linearno opadaju sa porastom temperature na atmosferskom pritisku, što znači da je razlika u gustinama gotovo identična na svakoj ispitivanoj temperaturi.



Slika 4.3.1. a) Gustine i b) viskoznosti biodizela: (●) SME, (●) SEE i (●) LME i (●) EuroDizela

u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Ponašanje mjerenih viskoznosti na atmosferskom pritisku za navedene uzorke je nešto drugačije (Slika 4.3.1.b). Viskoznosti biodizela imaju, kao i gustine, više vrednosti u poređenju sa EuroDizel-om. Što se tiče uzoraka biodizela, viskoznosti izmjerene za estre suncokretovog ulja su više od onih dobijenih za metil estre kako suncokretovog ulja, tako i svinjske masti. Metil estri viših masnih kiselina iz svinjske masti malo su viskozniji od metil estara suncokretovog ulja na temperaturama do 363.15 K, a na temperaturama višim od 363.15 K odnos viskoznosti je obrnut. Viskoznosti sva četiri uzorka eksponencijalno opadaju sa porastom temperature na atmosferskom pritisku, pa su razlike izraženije na nižim temperaturama, dok se na višim temperaturama smanjuju toliko da se za tri uzorka biodizela viskoznosti gotovo izjednače na 373.15 K.

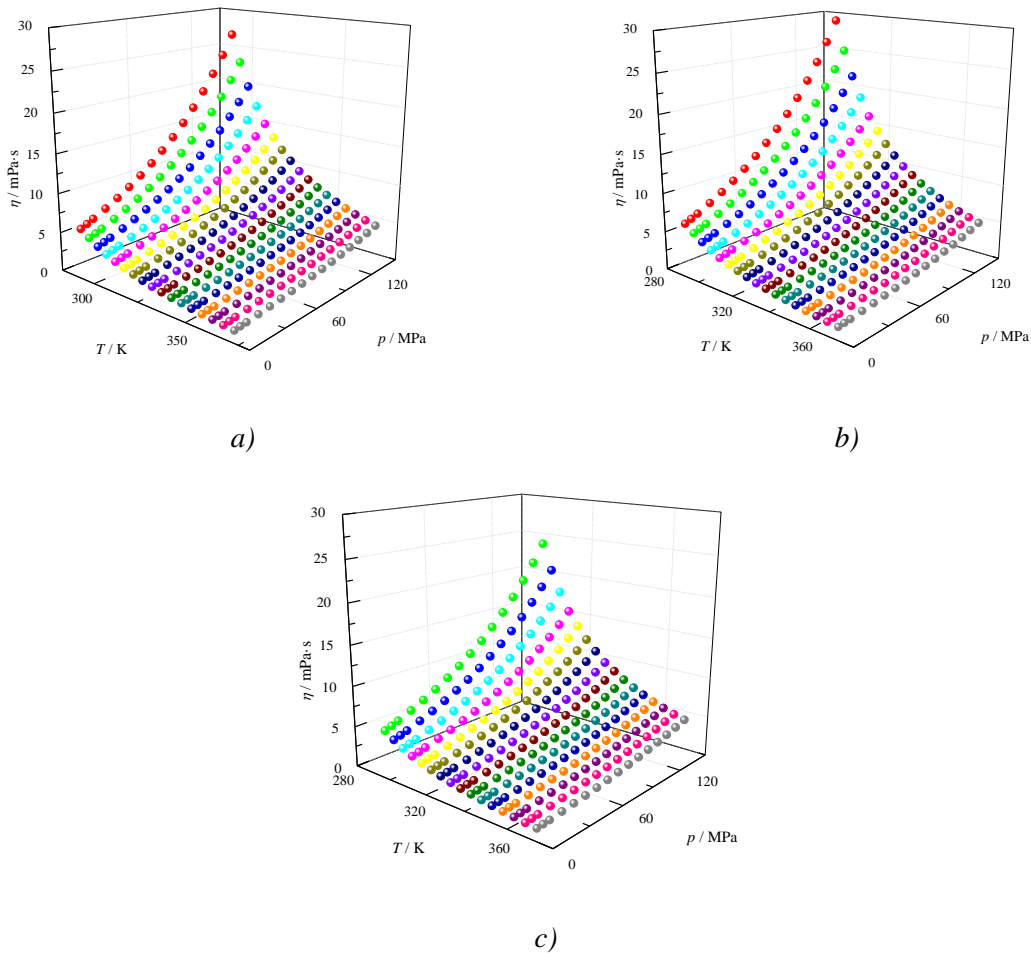
Freitas sa saradnicima [33] predložio je jednačinu za računanje gustina biodizela na raznim temperaturama u intervalu 293.15-393.15 K na visokim pritiscima do 140 MPa, na osnovu viskoznosti određenih na atmosferskom pritisku:

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + a \frac{p - p_0}{T^b} \quad (4.3.1.)$$

gdje je η_0 viskoznost biodizela na referentnom pritisku, p_0 , izražena u mPa·s. Pošto su u ovoj tezi mjerene viskoznosti na atmosferskom pritisku, taj pritisak je izabran za referentni i pomoću prijavljenih parametara $a=1.2$ i $b=0.84$ [33] izračunate su viskoznosti mjerenih biodizela na višim pritiscima (Tabele 20-22 u Prilogu).

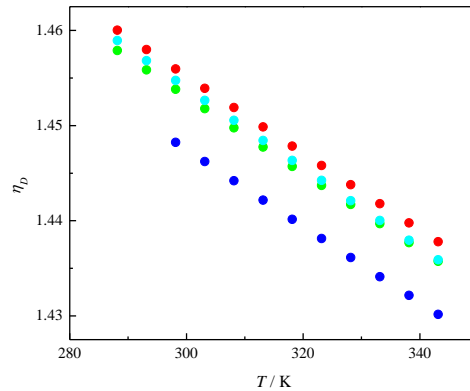
Sa 3D dijagrama zavisnosti viskoznosti od temperature i pritiska (Slika 4.3.2.) može se zaključiti da viskoznost, za sva tri biodizela, eksponencijalno opada sa porastom temperature pri konstantnom pritisku i eksponencijalno raste sa porastom pritiska duž izoterma. Razlika viskoznosti na nižim i na višim temperaturama raste sa porastom pritiska, dok se razlika između viskoznosti na niskim pritiscima i onih na visokim smanjuje kada temperatura raste. Odnos viskoznosti uzoraka biodizela, koji su korišćeni u ovom radu, na višim pritiscima ne odstupa od onog primjećenog na atmosferskom pritisku. Viskoznosti etil estra suncokretovog ulja su više nego kod metil estara i suncokretovog ulja i svinjske masti u čitavim opsezima temperature i pritiska. Metil estri svinjske masti su viskozniji od metil estara suncokretovog ulja na temperaturama ispod 363.15 K i na visokim pritiscima, a

na temperaturama iznad navedene viskoznosti SME su više nego viskoznosti LME. Ovakvo ponašanje je očekivano s obzirom na to da su viskoznosti na visokim pritiscima direktno izračunate iz viskoznosti na atmosferskom pritisku. Razlike u viskoznosti među ispitivanim biodizelima opadaju sa porastom temperature i povećavaju se na višim pritiscima, što znači da su vrijednosti viskoznosti sva tri uzorka biodizela na visokim temperaturama i niskim pritiscima skoro identične.



Slika 4.3.2. Viskoznosti a) SME, b) SEE i c) LME u zavisnosti od temperature i pritiska

Pored gustina i viskoznosti, i indeksi refrakcije su mjereni za sva četiri čista uzorka i njihove zavisnosti od temperature su grafički predstavljene na Slici 4.3.3.



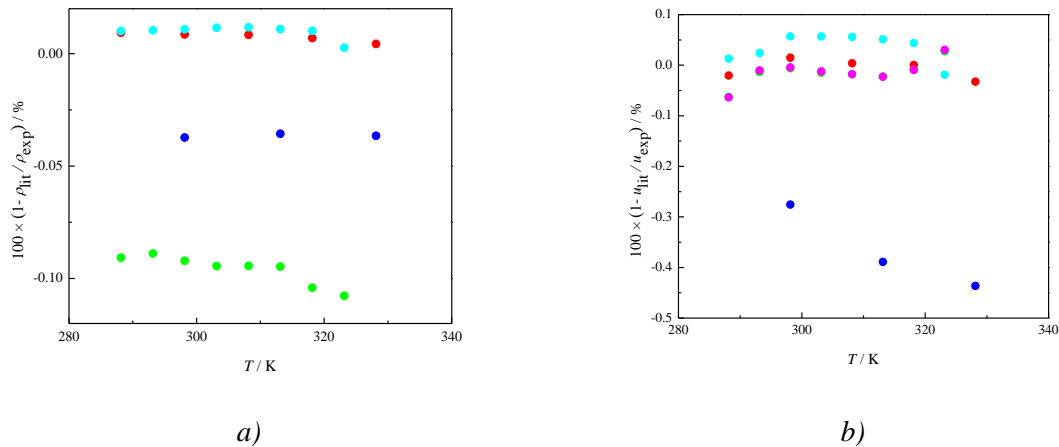
Slika 4.3.3. Indeksi refrakcije biodizela: (●) SME, (●) SEE i (●) LME i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Primjećuje se da indeks refrakcije posmatranih uzoraka linearno opada sa porastom temperature na atmosferskom pritisku. Odnos među indeksima refrakcije ispitivanih biodizela je sličan onom primjećenom za gustine. Oba biodizela dobijena iz suncokretovog ulja imaju viši indeks refrakcije nego metil estri svinjske masti, a indeksi refrakcije metil estara suncokretovog ulja su viši od vrijednosti izmjerenih za etil estre suncokretovog ulja. Razlike među vrijednostima indeksa refrakcije posmatranih biodizela su gotovo konstantne na atmosferskom pritisku, tj. ne mijenjaju se sa promjenom temperature. Kod EuroDizela se javlja odstupanje u odnosu na ponašanje gustine pošto on ima indeks refrakcije viši nego biodizel dobijen iz svinjske masti. Indeksi refrakcije SME su nešto viši, a SEE nešto niži, od onih izmjerenih za EuroDizel, mada su razlike dosta male, s tim da se vrijednosti indeksa refrakcije SEE i EuroDizela gotovo izjednače na višim temperaturama iz ispitivanog opsjega.

Što se tiče čistog etanola, vrijednosti njegovih gustina, viskoznosti, indeksa refrakcije i brzina zvuka na temperaturama 288.15-333.15 K i atmosferskom pritisku su date u Tabeli 23 u Prilogu, a njihova zavisnost od temperature je predstavljena na dijagramima za terne smješe dizel goriva sa biodizelom i etanolom (4.5.8.-4.5.11., redom). Ponašanje etanola na atmosferskom pritisku je u skladu sa prethodno predstavljanim rezultatima, tj. gustina, brzina zvuka i indeks refrakcije linearno opadaju sa porastom temperature, dok je kod viskoznosti taj pad eksponencijalan, mada ne toliko izraženo kao kod dizela i biodizela.

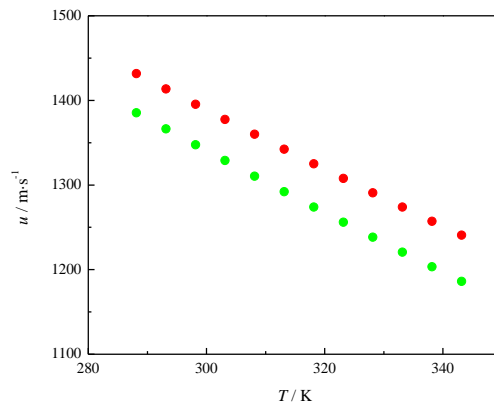
U ovom poglavlju pažnja će više biti posvećena određivanju brzine zvuka i gustine etanola korišćenjem uređaja DSA 5000 M, kao i njihovim poređenjima sa literaturnim podacima. Vercher je sa saradnicima [162] objavio gustine i brzine zvuka u etanolu na temperaturnom intervalu 278.15-328.15 K na atmosferskom pritisku. Slaganje pomenutih gustina sa izmjerenim, na temperaturama 288.15-328.15 K, je bilo odlično, $AAD=0.007\%$ (ispod $0.060 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), a veoma dobri rezultati su dobijeni i kod poređenja brzina zvuka pri istim uslovima, $AAD=0.014\%$ (oko $0.158 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Slika 4.3.4.). Poređenjem eksperimentalnih vrednosti gustina i brzine zvuka u etanolu, sa literaturnim podacima Iglesiasa i saradnika [163] na temperaturama 288.15-323.15 K i atmosferskom pritisku, dobijaju se AAD od 0.096% i 0.022% (ispod $0.750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i $0.250 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), redom za gustinu i brzinu zvuka, što ukazuje na dobro slaganje poređenih rezultata (Slika 4.3.4.). Poređenje sa rezultatima koje prijavljuje García-Abarrio sa saradnicima [164] je rađeno na samo tri temperature iz opsega 283.15-328.15 K u kom oni daju podatke i slaganje gustina je bilo veoma dobro, sa $AAD=0.036\%$ (oko $0.282 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), dok je za brzinu zvuka nešto slabije, $AAD=0.367\%$ (oko $3.983 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Slika 4.3.4.). Podaci mjereni na DSA 5000 M uređaju su poređeni i sa onima koje su objavili Gonzalez-Olmos i Iglesias [165] na temperaturama 288.15-323.15 K, dajući veoma dobro slaganje sa odstupanjem ispod 0.010% (oko $0.076 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), a za brzinu zvuka od oko 0.040% (oko $0.446 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Slika 4.3.4.). Resa sa saradnicima [166] je objavio brzine zvuka na temperaturama 288.15-323.15 K i atmosferskom pritisku sa kojima se eksperimentalna mjerenja dobro slažu, sa $AAD=0.021\%$ (oko $0.241 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Slika 4.3.4.).

Dobra slaganja mjerenih gustina i brzina zvuka etanola sa literaturnim vrijednostima pokazuju da je kalibracija uređaja DSA 5000 M dobro urađena i da je sama procedura mjerenja ispravna, što daje pravo da se dobijeni rezultati smatraju veoma pouzdanim.



Slika 4.3.4. Poređenje a) gustine i b) brzine zvuka u etanolu sa literaturom: (●) Vercher sa saradnicima [162], (●) Iglesias sa saradnicima [163], (●) García-Abarrio sa saradnicima [164], (●) Gonzalez-Olmos sa saradnicima [165] i (●) Resa sa saradnicima [166].

Kao što je spomenuto, za SME i EuroDizel su određene i brzine prostiranja zvuka u uzorku (Prilog, Tabela 18) i njihova zavisnost od temperature je predstavljena na Slici 4.3.5.

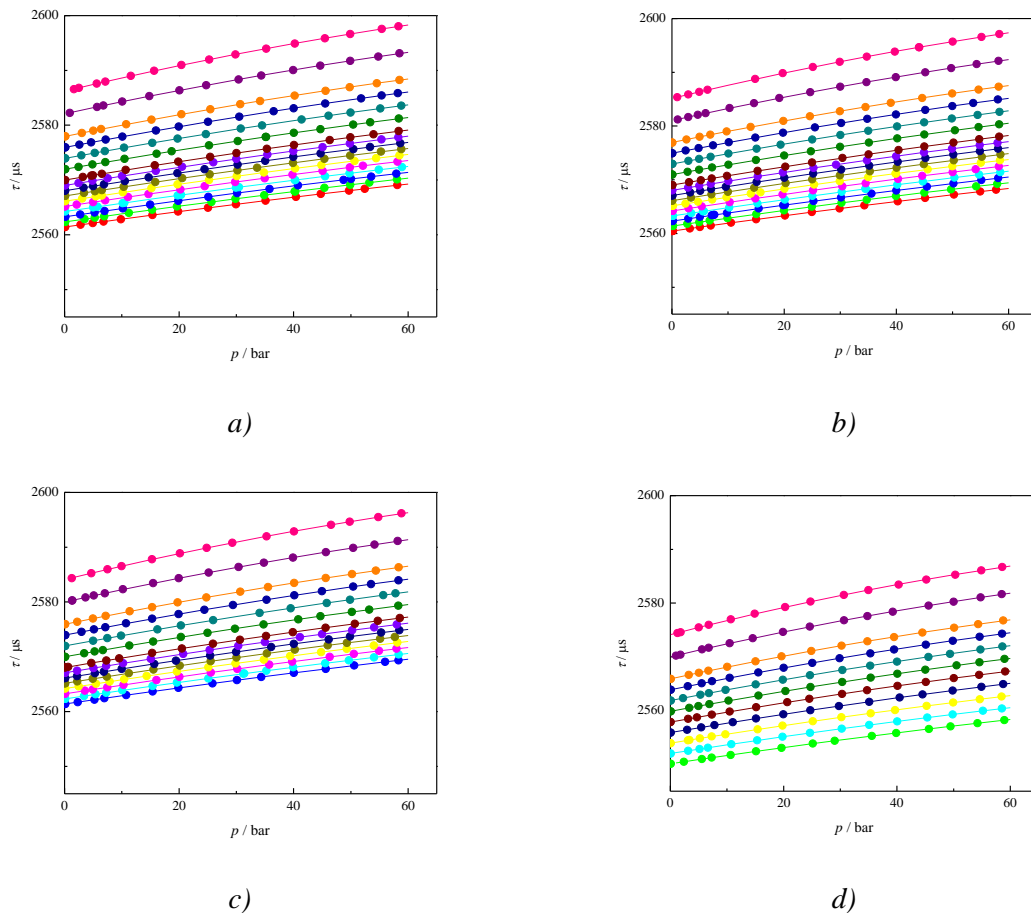


Slika 4.3.5. Brzina prostiranja zvuka u (●) SME i (●) EuroDizelu u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Slično gustini i indeksu refrakcije, brzina prostiranja zvuka kroz uzorke metil estara suncokretovog ulja i EuroDizela linearno opada sa porastom temperature na atmosferskom pritisku i veća je u biodizelu nego u dizel gorivu.

Pored određivanja termodinamičkih i transportnih svojstava na atmosferskim uslovima,

ponašanje navedenih čistih uzoraka je ispitivano i mjerenjem gustine na višim pritiscima. Gustine biodizela iz suncokretovog ulja su mjerene na temperaturama 288.15-413.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa, a uzorci biodizela dobijenog iz svinjske masti i dizel goriva su mjereni na istim pritiscima i nešto užim temperaturnim opsezima, 298.15-413.15 K, odnosno 293.15-413.15 K. Izmjereni periodi oscilovanja U cijevi ispunjene uzorkom su dati u Tabelama 24-27 u Prilogu i predstavljeni na Slici 4.3.6. [162].



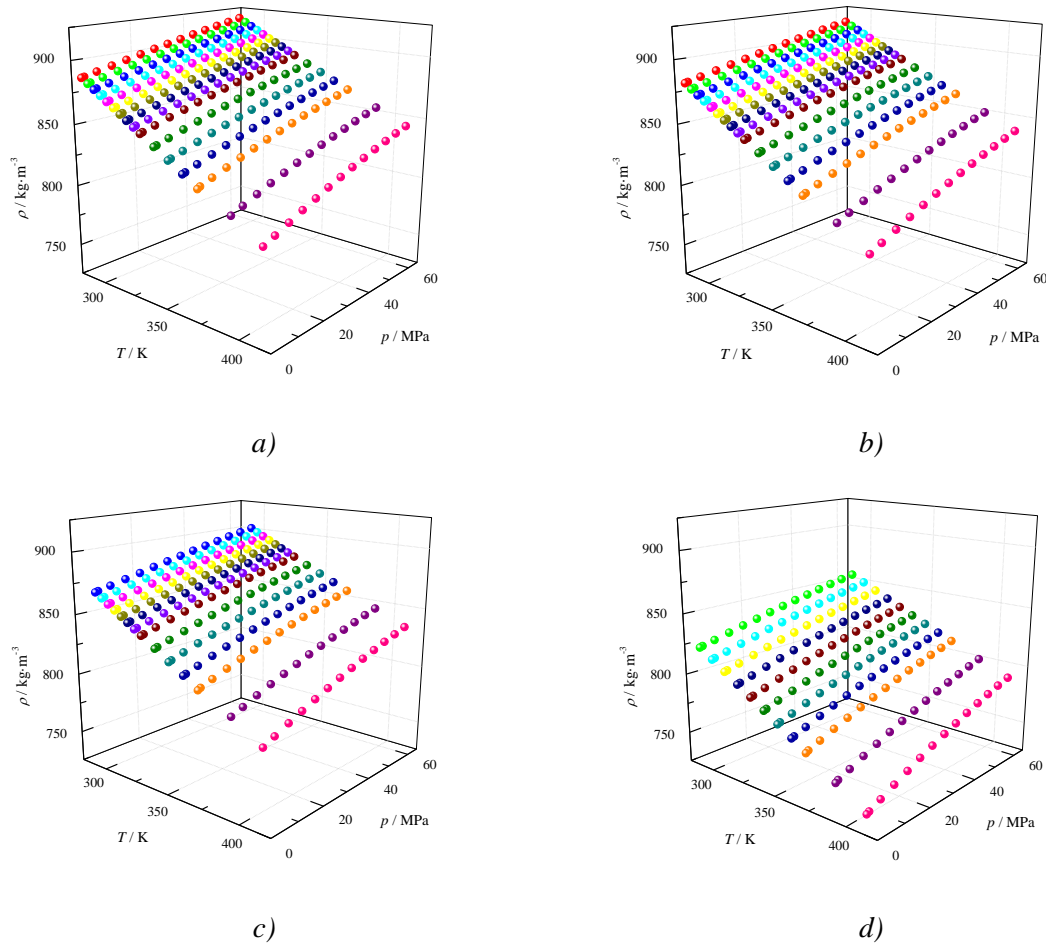
Slika 4.3.6. Period oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene a) SME, b) SEE, c) LME i d) EuroDizelom u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 293.15 K, (●) 298.15 K, (●) 303.15 K, (●) 308.15 K, (●) 313.15 K, (●) 318.15 K, (●) 323.15 K, (●) 328.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.

Gustine čistih supstanci date su u Tabelama 28-31 u Prilogu. Gustine izmjerene na DMA 5000 gustinomjeru na atmosferskom pritisku (Prilog, Tabela 19) su poređene sa gustinama

mjerenim na istom pritisku na mjernoj ćeliji DMA HP i dobijena su srednja apsolutna procentualna odstupanja od 0.02 % (oko $0.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za SME, 0.04 % (oko $0.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za SEE, za LME 0.05% (oko $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i za EuroDizel 0.01% (oko $0.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Veoma dobra slaganja poređenih gustina pokazuju da je predstavljena aparatura i procedura mjerenja ispravna i da je kalibraciona metoda dobro odabrana, te da se rezultati mjerenja gustina na visokim pritiscima mogu smatrati pouzdanim. Gustine metil estara suncokretovog ulja mjerene na DMA HP uređaju poređene su i sa podacima nađenim u literaturi na atmosferskom pritisku [51] i dobijeno AAD od 0.04% (oko $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) je veoma dobro kada se uzme u obzir različit sastav uzoraka suncokretovog ulja iz kojih su dobijeni biodizeli.

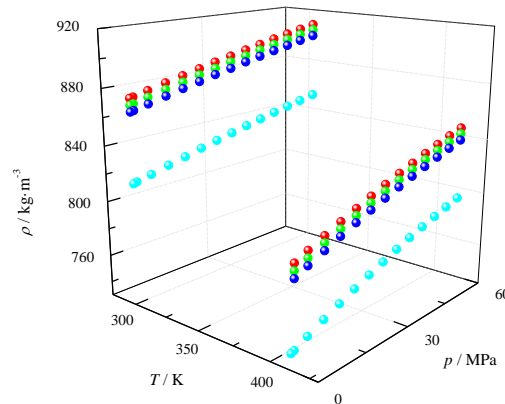
Uticaj viskoznosti na mjerenje gustina čistih supstanci na visokim pritiscima je određen prema jednačini (3.2.2.60) primjenom viskoznosti izračunatih na visokim pritiscima (Tabele 20-22) za biodizele, a za uzorak dizel goriva pomoću viskoznosti na atmosferskom pritisku (Tabela 19). Razlike između eksperimentalno određenih gustina i onih ispravljenih zbog uticaja viskoznosti za ispitivane čiste supstance su manje od $0.07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Kombinovana proširena nesigurnost određivanja gustina čistih supstanci na visokim pritiscima sa intervalom pouzdanosti od 95 % ($k=2$), uzimajući u obzir kalibracionu jednačinu, nesigurnost određivanja temperature, pritiska, perioda oscilovanja U ćelije i gustina referentnih fluida, kao i uticaj viskoznosti uzorka na oscilovanje mjerne U ćelije DMA HP uređaja, je procenjena na oko $0.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na temperaturama ispod 373.15 K i oko $2.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na temperaturama 373.15-413.15 K.

Uticaj temperature i pritiska na gustine SME, SEE, LME i EuroDizela se može vidjeti na Slici 4.3.7. Očekivano, gustine čistih uzoraka linearno opadaju sa porastom temperature pri stalnom pritisku, a rastu sa porastom pritiska po pojedinačnim izotermama. Zavisnost gustine od pritiska je gotovo linearna na temperaturama do oko 323.15 K, a na višim poprima kvadratan oblik. To je izraženije na nižim pritiscima, do oko 40 MPa, tako da se na pritiscima iznad tog zavisnost gustine od pritiska može smatrati linearnom po svakoj ispitivanoj izotermi. Iz ovoga slijedi da su razlike između gustina posmatranih uzoraka mjenjenih na nižim i na visokim pritiscima rastu sa porastom temperature (Slike 4.3.7).



Slika 4.3.7. Zavisnost gustina čistih uzoraka a) SME, b) SEE, c) LME i d) EuroDizela od temperature i pritiska

Što se tiče odnosa gustina posmatranih uzoraka biodizela i dizel goriva na visokim pritiscima, on ostaje isti kao i na atmosferskom pritisku i razlike u gustinama posmatranih čistih uzoraka su nezavisne od temperature i pritiska. Biodizeli dobijeni iz suncokretovog ulja imaju veće vrijednosti gustine od onog dobijenog iz svinjske masti, a metil estri suncokretovog ulja imaju više gustine od etil estara istog ulja (Slika 4.3.8.). Gustine biodizela su više od gustina EuroDizela u čitavim opsezima temperature i pritiska koji se ispituju u ovom radu, što je veoma bitan podatak, jer gustina, zajedno sa viskoznošću, značajno utiče na proces atomizacije goriva u dizel motoru i može otežati miješanje goriva sa vazduhom, što dalje vodi ka slabijem sagorjevanju i gubitku snage motora [22-24].



Slika 4.3.8. Poređenje gustina čistih uzoraka (●) SME, (●) SEE, (●) LME i (●) EuroDizela na 303.15 K i 413.15 K

4.4. Eksperimentalno određivanje termodinamičkih i transportnih svojstava binarnih smješa

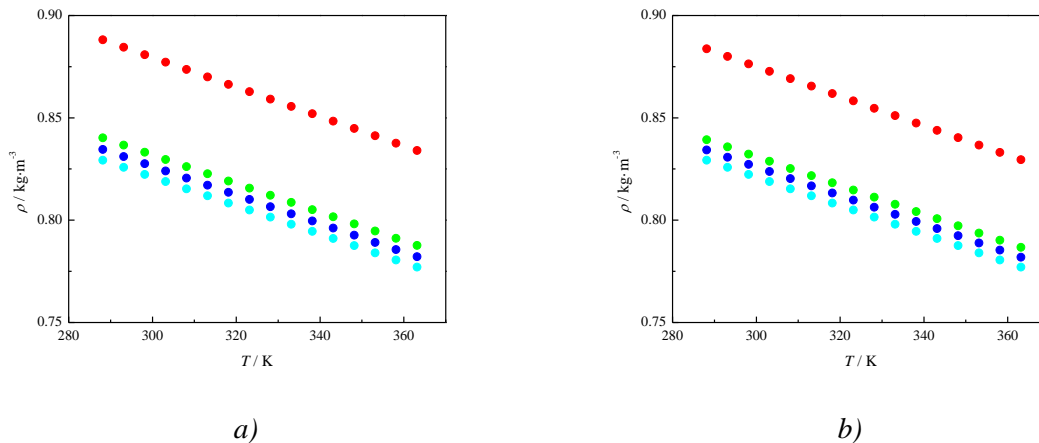
Termodinamička i transportna svojstva binarnih smješa biodizela iz suncokretovog ulja sa dizel gorivom biće predstavljena u ovom poglavlju. Ispitivane su takozvane niže smješe dizela sa biodizelom koje sadrže do 20 vol % biodizela: smješe 90 vol% EuroDizela i 10 vol% metil estara suncokretovog ulja (ED90SME10) i 80 vol% EuroDizela i 20 vol% metil estara suncokretovog ulja (ED80SME20), kao i smješe 90 vol% EuroDizela i 10 vol% etil estara suncokretovog ulja (ED90SEE10) i 80 vol% EuroDizela i 20 vol% etil estara suncokretovog ulja (ED80SEE20). Za sve četiri smješe su određene gustine na temperaturama 288.15-363.15 K, viskoznosti u opsjegu 288.15-373.15 K i indeksi refrakcije na 288.15-343.15 K, a za smješe EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja na atmosferskom pritisku su izmjerene i brzine zvuka na temperaturama 288.15-343.15 K. Kao i kod čistih supstanci, gustine na atmosferskom pritisku su mjerene na DMA 5000 gustinomjeru, viskoznosti na Stabinger SVM 3000/G2 viskometru, indeks refrakcije na RXA-156 refraktometru, a brzina zvuka na DSA 5000 M. Pored atmosferskog, mjerene su i gustine na višim temperaturama i pritiscima primjenom mjerne ćelije DMA HP. Rezultati mjerenja na atmosferskom pritisku za binarne smješe se dati u Tabeli 32 u Prilogu.

Procjenjene proširene mjerne nesigurnost određivanja gustina, $U(\rho)$, viskoznosti, $U(\eta)$,

indeksa refrakcije, $U(n_D)$, i brzine zvuka u uzorku, $U(u)$, na atmosferskom pritisku, su za sve ispitivane binarne smješe bile redom oko $0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.003 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $5\cdot 10^{-5}$ i $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

U razvijenim zamljama je praksa miješanje dizel goriva sa manjim količinama biodizela pa i standard EN 590/2009 [28] dozvoljava dodavanje do 7 vol% biodizela u dizel bez posebnog naglašavanja u nazivu goriva. Gustine ispitivanih smješa na 288.15 K na atmosferskom pritisku su $834.58 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (za smještu ED90SME10), $840.22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ED80SME20), $834.28 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ED90SEE10) i $839.31 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ED80SEE20), što je u skladu sa standardom za automobilska goriva ($820.0 - 845.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) [28]. Kinematske viskoznosti ED90SME10, ED80SME20, ED90SEE10 i ED80SEE20 na 313.15 K i atmosferskom pritisku su $2.851 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$, $2.974 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$, $2.902 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ i $3.041 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$, prema redoslijedu navođenja, i, takođe, su unutar granica predviđenih standardom ($2.00 - 4.50 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$) [28]. Usklađenost nižih smješa dizel goriva sa biodizelom je još jedna potvrda da dodavanje manje količine biodizela u dizel goriva ne utiče puno na njihova termodinamička i transportna svojstva i da se te smješe mogu koristiti u dizel motorima automobila bez ikakvih korekcija u samom motoru.

Gustine čistih SME, SEE, EuroDizela i njihovih binarnih smješa su date na Slici 4.4.1.



Slika 4.4.1. Gustine a) (●) SME, (●) ED80SME20, (●) ED90SME10 i (●) EuroDizela i b) (●) SEE, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10 i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Na Slici 4.4.1. se primjećuje se očekivani pad gustina sa porastom temperature, kao i da su razlike gustina EuroDizela i njegovih smješa sa biodizelom prilično slične na svim

ispitivanim temperaturama na atmosferskom pritisku. Čisti metil estri suncokretovog ulja su veće gustine od etil estara istog ulja pa tako i smješe EuroDizela sa SME imaju veće gustine od smješa sa SEE koje imaju isti udio biodizela. Oba biodizela suncokretovog ulja su veće gustine od EuroDizela i pokazalo se da gustina njihovih smješa linearno raste sa porastom udjela biodizela u smješi, što se može potvrditi primjenom Kay-ovog pravila miješanja [77], koje se često primjenjuje u literaturi [31,44,45]:

$$\rho_{\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n x_i \rho_i \quad (4.4.1)$$

gdje je $\rho_{\text{smješa}}$ gustina smješe, x_i predstavlja molarni udio pojedinačnih komponenti u smješi, a ρ_i gustine tih komponenti, dok je n broj supstanci koje ulaze u sastav smješe.

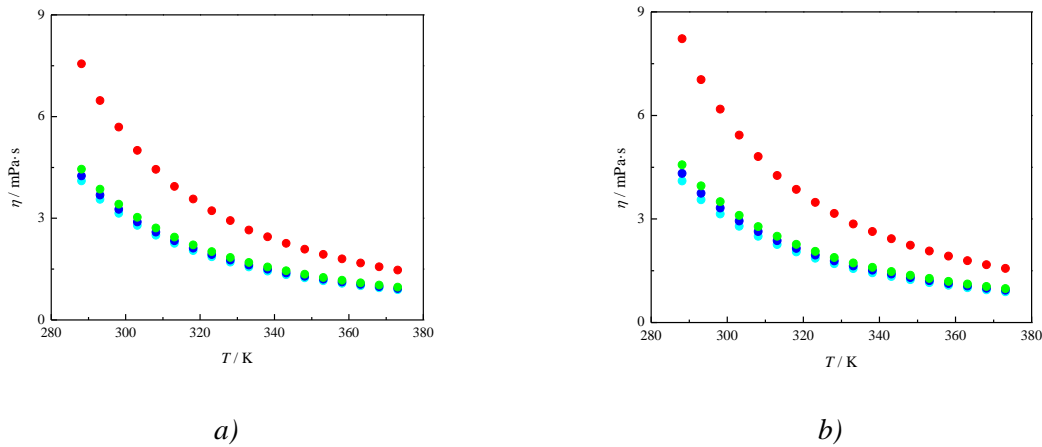
Biodizel ima sličan sastav kao i dizel gorivo, u potpunosti su mješljivi i oba su nepolarna jedinjenja pa se može zaključiti da međusobno ne reaguju i da je zapremina njihovih smješa jednaka zbiru pojedinačnih zapremina [31,44]. Prema tome, molarni udjeli bi se mogli zamjeniti zapreminskim udjelima, što olakšava proračun zbog težeg određivanja molarne mase kako biodizela tako i dizel goriva, pa jednačina (4.4.1) dobija oblik:

$$\rho_{\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n r_i \rho_i \quad (4.4.2)$$

gdje r_i označava zapreminski udio komponenti u smješi.

Srednje apsolutno procentualno odstupanje vrijednosti izračunatih pomoću jednačine (4.4.2) i gustina mjerenih na DMA 5000 gustinomjeru za ispitivane smješe koje sadrže 10 vol% biodizela je manje od 0.077 % (manje od $0.62 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), a za smješe EuroDizela sa 20 vol% biodizela oko 0.106 % (oko $0.86 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Dobro slaganje poređenih podataka potvrđuje opravdanost primjene jednostavnog Kay-ovog pravila miješanja za proračun gustina smješa na atmosferskom pritisku kada su poznate gustine čistih supstanci koje ulaze u sastav smješe.

Zavisnost viskoznosti binarnih smješa EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja od temperature na atmosferskom pritisku je prikazana na Slici 4.4.2.



Slika 4.4.2. Viskoznosti a) (●) SME, (●) ED80SME20, (●) ED90SME10 i (●) EuroDizela i b) (●) SEE, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10 i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Sa Slike 4.4.2.a se vidi da viskozности ispitivanih binarnih smješa mjerenih na atmosferskom pritisku eksponencijalno opadaju sa porastom temperature, što je izraženije na nižim temperaturama dok na višim, iznad 343.15 K, ta zavisnost teži linearnosti. U skladu sa tim, razlike u viskoznostima čistih biodizel i dizel goriva i njihovih binarnih smješa su više na nižim temperaturama dok na višim temperaturama postaju gotovo konstantne. Čisti SEE su viskozniiji od SME, oba biodizela imaju više viskozности nego EuroDizel, pa su i smješe EuroDizela sa etil estrima suncokretovog ulja viskoznije od njegovih smješa sa metil estrima istog ulja koje sadrže isti udio biodizela (Slika 4.4.2.b). Viskoznosti smješa rastu eksponencijalno sa porastom udjela biodizela u smješi. Pošto je zavisnost viskozности smješa od udjela biodizela nešto složenija nego što je to bio slučaj sa gustinama, za predviđanje viskozности smješa iz viskozности čistih biodizela i EuroDizela korišćeno je Grunberg-Nissan pravilo miješanja [71]:

$$\ln \eta_{\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \eta_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j G_{ij} \quad (4.4.3)$$

gdje je $\eta_{\text{smješa}}$ viskoznost smješe, a η_i predstavlja viskoznost pojedinačnih komponenti smješe. G_{ij} označava interakcioni parametar koji ima vrijednost 0 za slične komponente, a n je broj supstanci koje ulaze u sastav smješe. Već je spomenuto da su biodizeli i dizel goriva

praktično nepolarni pa se interakcioni parametar za njihove smješe može zanemariti [31,44]. Dalje, kao i kod predskazivanja gustina i ovdje se molarni udio može zamjeniti zapreminskim, čime jednačina (4.4.3) dobija oblik geometrijske sredine zapremina:

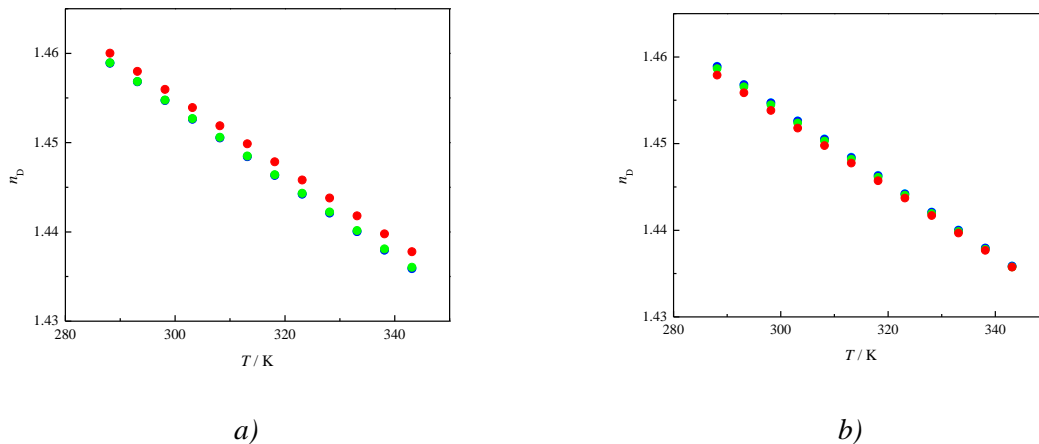
$$\ln \eta_{\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n r_i \ln \eta_i \quad (4.4.4)$$

Vrijednosti viskoznosti izračunate primjenom jednačine (4.4.4) su upoređene sa izmjerenim viskoznostima i dobijeno je veoma dobro slaganje. Srednje apsolutno procentualno odstupanje je 1.816 % (oko 0.04 mPa·s) za smještu ED90SME10 i 2.817 % (oko 0.07 mPa·s) za ED80SME20, dok su za smješe EuroDizela sa etil estrima suncokretovog ulja, ED90SEE10 i ED80SEE20, te vrijednosti bile malo niže: 1.096 % (oko 0.02 mPa·s), odnosno 2.058 % (oko 0.05 mPa·s). Može se primjetiti da su *AAD* nešto više nego za gustine, ali su istog reda veličine kao i kriterijumi poređenja koji se mogu naći u literaturi [39-45] za obradu viskoznosti, što pokazuje da se Grunberg-Nissan pravilo mješanja može s punim pravom koristiti za proračun viskoznosti smješe iz poznatih viskoznosti njenih pojedinačnih komponenti na atmosferskom pritisku.

Takođe, i indeksi refrakcije su mjereni za binarne smješe EuroDizela sa biodizelima suncokretovog ulja na atmosferskom pritisku i, očekivano, linearno opadaju sa porastom temperature (Slika 4.4.3). Indeks refrakcije čistog EuroDizela je niži nego čistih SME, ali je viši nego čistih SEE, iako su razlike prilično male (Slika 4.4.3) pa i smješe EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja imaju viši indeks refrakcije nego smješe sa etil estrima sa istim udjelom biodizela. Zbog malih razlika između indeksa refrakcije EuroDizela i biodizela dobijenih iz suncokretovog ulja, pogotovo SEE, ispitivane smješe EuroDizela sa niskim udjelom biodizela imaju gotovo identične indekse refrakcije kao i čist EuroDizel, a u slučaju smješa sa SEE indeksi refrakcije i čistih komponenti i binarnih smješa su skoro jednaki. Indeksi refrakcije binarnih smješa linearno zavise od udjela biodizela u njima pa je, kao i za gustine, Kay-ovo pravilo mješanja primjenjeno i na predskazivanje indeksa refrakcije smješa dizela sa biodizelima. Kada se usvoje pretpostavke o međusobnom neregovanju biodizel i dizel goriva Kay-ovo pravilo miješanja za indeks refrakcije dobija oblik:

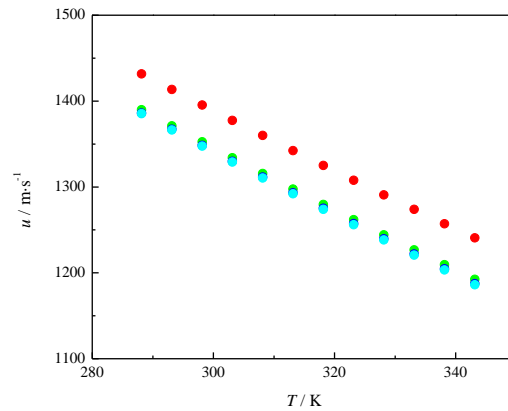
$$n_{D\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n r_i n_{Di} \quad (4.4.5)$$

gdje $n_{D\text{smješa}}$ i n_{Di} označavaju indeks refrakcije smješe i indekse refrakcije pojedinačnih komponenti smješe, redom. Srednja apsolutna procentualna razlika između vrijednosti izračunatih primjenom jednačine (4.4.5) i mjerenih indeksa refrakcije je oko 0.015% (oko $2 \cdot 10^{-4}$) za smješe EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja i manje od 0.007% (manje od $1 \cdot 10^{-4}$) za smješe sa etil estrima istog ulja. Dobro slaganje ove dvije grupe podataka preporučuje jednostavno Kay-ovo pravilo miješanja za proračun indeksa refrakcije smješa diezel goriva sa biodizelom na atmosferskom pritisku.



Slika 4.4.3. Indeksi refrakcije a) (●) SME, (●) ED80SME20, (●) ED90SME10 i (●) EuroDizela i b) (●) SEE, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10 i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Zavisnost brzine zvuka od temperature na atmosferskom pritisku za smješe EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja, kao i poređenje sa čistim komponentama su predstavljeni na Slici 4.4.4.



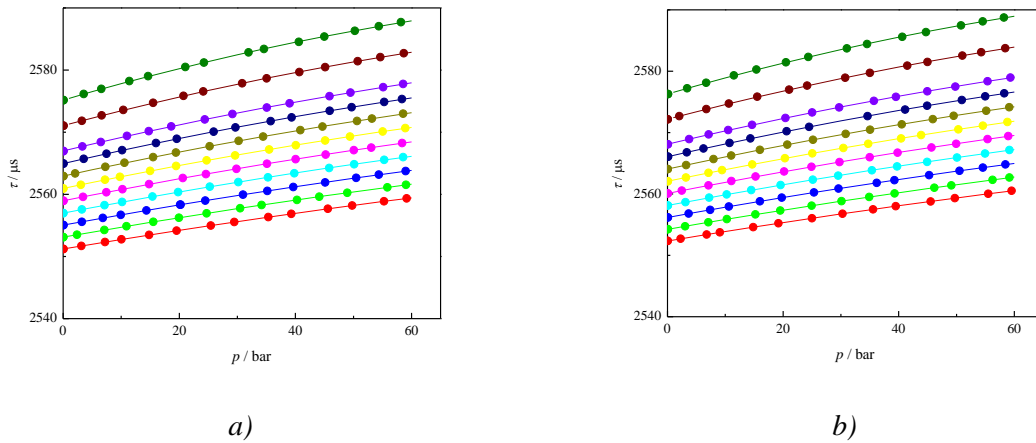
Slika 4.4.4. Brzine zvuka u (●) SME, (●) ED80SME20, (●) ED90SME10 i (●) EuroDizelu

Već je pokazano da se zvuk brže prenosi kroz biodizel nego kroz dizel gorivo, pa se i njihove smješe ponašaju u skladu sa tim. Brzina zvuka u smješama ED90SME10 i ED80SME20 linearno opada sa porastom temperature na atmosferskom pritisku i razlike među smješama i čistim komponentama su gotovo jednake na svim ispitivanim temperaturama. Brzina zvuka kroz smješe linearno raste kako se povećava udio bioizela u smješama, pa je i na ovu veličinu primjenjeno Kay-ovo pravilo miješanja [77]:

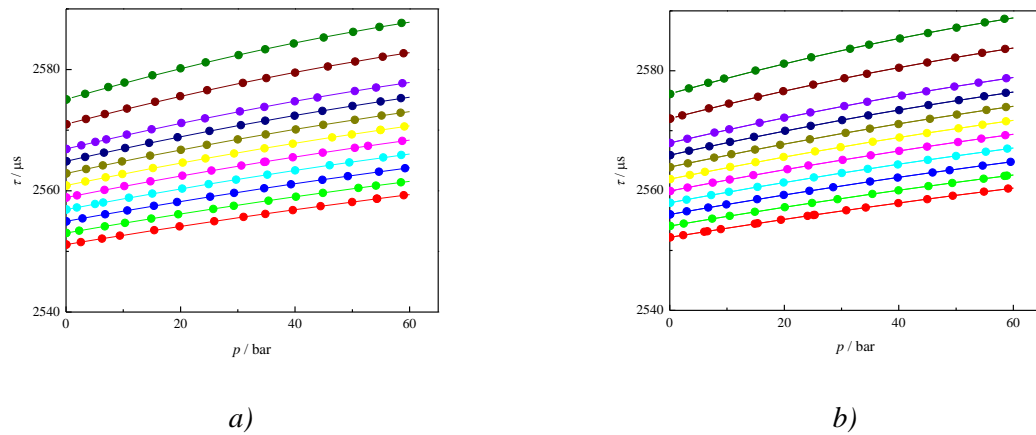
$$u_{\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n r_i u_i \quad (4.4.6)$$

gdje $u_{\text{smješa}}$ označava brzinu prostiranja zvuka u smješi, a u_i kroz pojedinačne komponente smješe. Kada se uporede mjerene i brzine zvuka izračunate iz jednačine dobijaju se vrijednosti AAD od 0.31 % i 0.36% (oko $3.98 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i $4.62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) za smješe sa 10 vol%, odnosno sa 20 vol% biodizela. Prikazano dobro slaganje mjerenih i izračunatih vrijednosti potvrđuje da se Kay-ovo pravilo miješanja može koristiti za predskazivanje brzina prostiranja zvuka u smješama na osnovu poznatih vrijednosti za komponente smješe.

Gustine binarnih smješa EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja su određivane na 11 izoterma u temperaturnom intervalu 293.15-413.15 K na pritiscima 0.1-60 MPa korišćenjem aparature predstavljene u prethodnom poglavlju i izmjereni periodi oscilovanja su dati u Tabelama 33-36 u Prilogu i grafički na Slikama 4.4.5. i 4.4.6.[163,164].



Slika 4.4.5. Periodi oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene a) ED90SME10 i b) ED80SME20 u zavisnosti od pritiska na (●) 293.15 K, (●) 303.15 K, (●) 313.15 K, (●) 323.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.



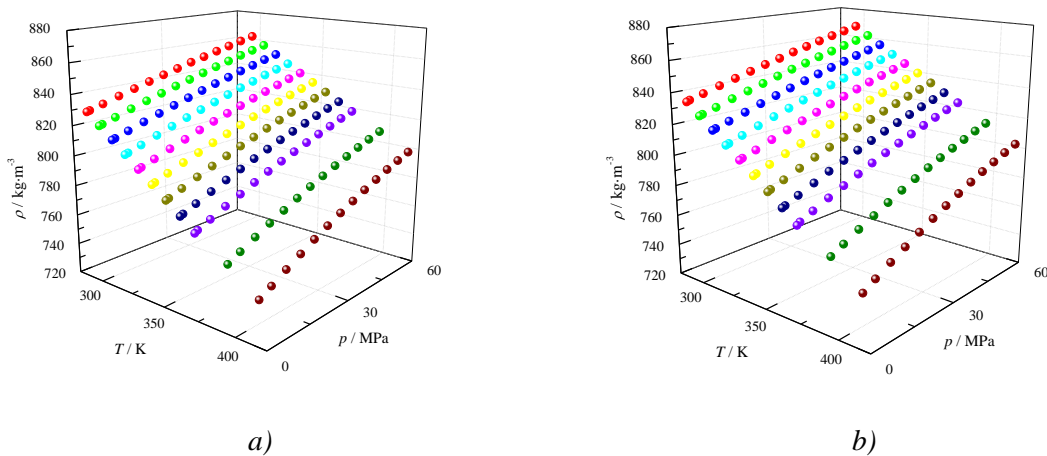
Slika 4.4.6. Periodi oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene a) ED90SEE10 i b) ED80SEE20 u zavisnosti od pritiska na (●) 293.15 K, (●) 303.15 K, (●) 313.15 K, (●) 323.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.

Gustine proračunate iz mjerenih perioda oscilovanja mjerne ćelije su predstavljene u Tabelama 37-40 u Prilogu. Gustine ispitivanih smješa na atmosferskom pritisku mjerene na DMA 5000 gustinomjeru su poređene sa onim mjerenim na mjernoj ćeliji DMA HP i

primjećeno je veoma dobro slaganje: AAD za smješe EuroDizela sa 10 vol% metil estara suncokretovog ulja je bilo 0.014 % (oko $0.11 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), a sa 20 vol% metil estara 0.037% (oko $0.30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), dok je za ED90SEE10 i ED80SEE20 smješe 0.023% i 0.015% (oko 0.18 i $0.12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), redom. Dobijeni rezultati poređenja gustina dodatno pokazuju da je primjenjena procedura mjerenja gustina na visokim pritiscima i umjerenim temperaturama, kao i odabrana kalibraciona metoda, ispravna i pouzdana.

Uticaj viskoznosti na mjerenje gustina binarnih smješa na visokim pritiscima je određen prema jednačini (3.2.2.60) pomoću viskoznosti izmerenih na atmosferskom pritisku (Tabela 32) i izračunate razlike za ispitivane smješe su manje od $0.07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Kombinovana proširena mjerna nesigurnost gustina ispitivanih binarnih smješa na visokim pritiscima, sa intervalom pouzdanosti od 95 % ($k=2$), uzimajući u obzir kalibracionu jednačinu, nesigurnost određivanja temperature, pritiska, perioda oscilovanja U ćelije i gustina referentnih fluida, kao i uticaj viskoznosti na mjerenje gustine je procenjena na oko $0.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za $T < 373.15 \text{ K}$ i oko $2.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na temperaturama 373.15-413.15 K.

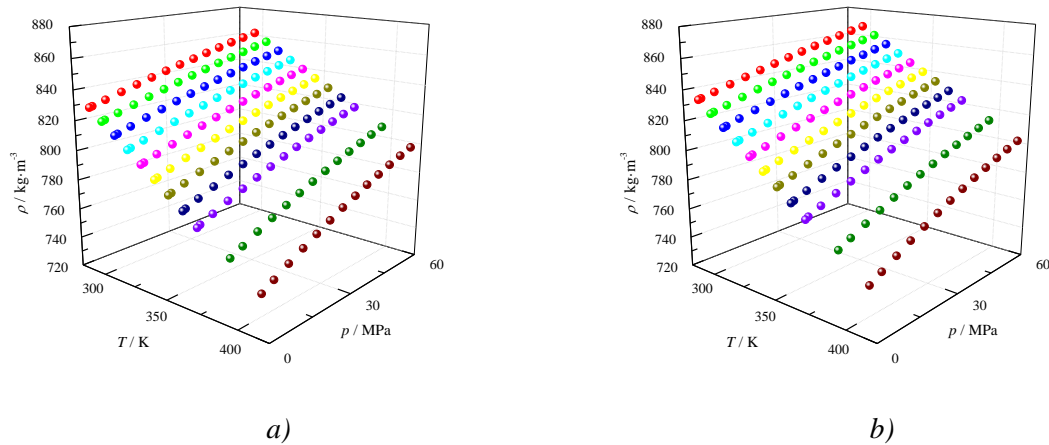
Uticaj temperature i pritiska na gustine posmatranih binarnih smješa je predstavljen grafički na Slikama 4.4.7. i 4.4.8.



Slika 4.4.7. Gustine smješa a) ED90SME10 i b) ED80SME20 u zavisnosti od temperature i pritiska

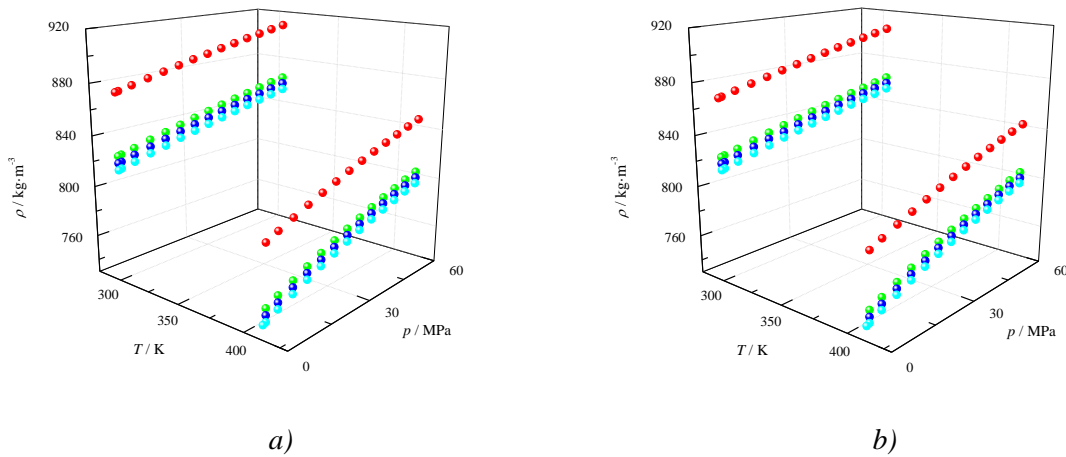
Očekivano, gustine linearno opadaju sa porastom temperature duž izobara i rastu kada raste pritisak pri konstantnoj temperaturi. Zavisnost gustina smješa od pritiska je, kao što se i ranije pokazalo, nešto složenija pa one skoro linearno rastu sa porastom pritiska na

temperaturama do oko 323.15 K, a više izoterme gustine dobijaju oblik kvadratne funkcije što je izraženije na nižim pritiscima. Kao što se dalo i pretpostaviti, zavisnost gustina binarnih smješa od pritiska je gotovo linearna na višim pritiscima, iznad oko 40 MPa, na svim temperaturama od interesa tokom naših mjerenja.



Slika 4.4.8. Gustine smješa a) EE90SEE10 i b) ED80SEE20 u zavisnosti od temperature i pritiska

Pošto su SME veće gustine od SEE, tako su i gustine smješa EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja više od gustina smješa sa etil estrima, sa istim udjelom biodizela na svim temperaturama i pritiscima na kojim su vršena mjerenja. Uticaj udjela biodizela u smješama sa EuroDizelom na njihove gustine na višim pritiscima je isti kao i na atmosferskom pritisku odnosno gustine smješa linearno rastu sa porastom količine biodizela u njima s tim što su razlike u gustinama među mjerenim smješama gotovo identične na čitavim ispitivanim opsezima temperature i pritiska (Slika 4.4.9.). Na gustine binarnih smješa na višim pritiscima je, takođe, primjenjeno Kay-ovo pravilo miješanja (jednačina (4.4.2)) i urađeno je poređenje tako izračunatih vrijednosti sa eksperimentalno određenim gustinama. AAD za ED90SME10 i ED80SME20 su bila 0.070 %, odnosno 0.106% (oko $0.57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i $0.96 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), za ED90SEE10 srednje apsolutno procentualno odstupanje je bilo 0.060 % (oko $0.48 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), a za ED80SEE20 oko 0.096% ($0.78 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Ovim je potvrđeno da se i gustine smješa dizel goriva sa biodizelom mogu uspješno predskazati primjenom Kay-ovog pravila miješanja.



Slika 4.4.9. Poređenje gustina smješa a) (●) SME, (●) ED80SME20, (●) ED90SME10 i (●) EuroDizel i b) (●) SEE, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10 i (●) EuroDizel na 303.15 K i 413.15 K

4.5. Eksperimentalno određivanje termodinamičkih i transportnih svojstava ternernih smješa

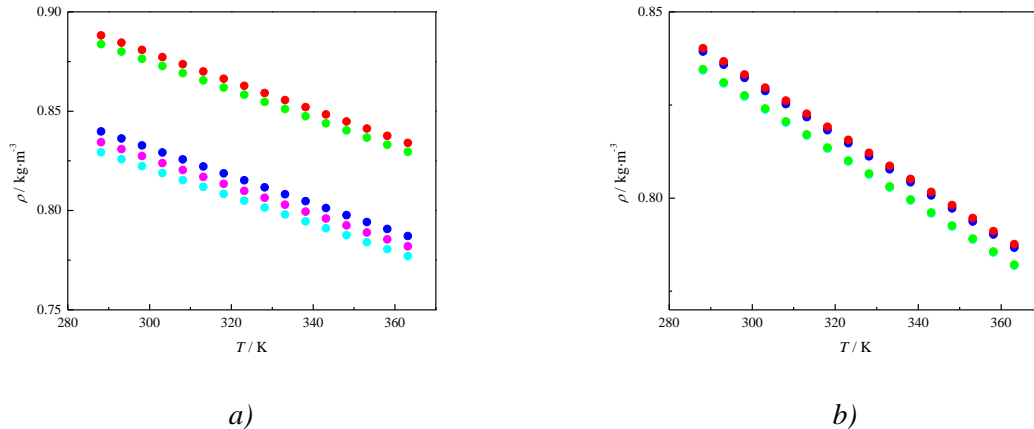
Pored čistih i binarnih smješa ispitivana su i termodinamička i transportna svojstva ternernih smješa dizel goriva sa dvije vrste biodizela, gdje je ukupan sadržaj biodizela opet bio niži - 10 vol% i 20 vol%, kao i njegove smješe sa biodizelom i alkoholom. Mjerena su volumetrijska i transportna svojstva smješa EuroDizela sa po 5 vol% i 10 vol% metil i etil estara suncokretovog ulja (ED90SME5SEE5 i ED80SME10SEE10) i sa 10 vol% metil estara dobijenih iz suncokretovog ulja i 5 vol% i 10 vol% etanola (ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10). Dobijeni rezultati su dati u Tabeli 41 u Prilogu i biće predstavljani u nastavku.

Gustina, viskoznost i indeks refrakcije na atmosferskom pritisku smješa EuroDizela sa SME i SEE su redom mjerene na temperaturama 288.15-363.15 K, 288.15-373.15 K i 288.15-343.15 K (Prilog, Tabela 41). Pored atmosferskih uslova, gustine pomenutih smješa su određivane i u nešto širem opsegu temperature 288.15-413.15 K i na pritiscima do 60 MPa. Viskoznosti su mjerene na Stabinger SVM 3000/G2 viskometru, indeks refrakcije na RXA-156 refraktometru, gustina na atmosferskom pritisku na DMA 5000 gustinomjeru, a na višim pritiscima je za mjerenje gustine korišćena mjerna ćelija DMA HP.

Procjenjene proširene mjerne nesigurnost određivanja gustina, $U(\rho)$, viskoznosti, $U(\eta)$, indeksa refrakcije, $U(n_D)$, i brzine zvuka u uzorku, $U(u)$, na atmosferskom pritisku, su za sve ispitivane ternerne smješe bile redom oko $0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.003 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $5\cdot 10^{-5}$ i $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

U skladu sa ranije navedenim prednostima dodavanja biodizela u dizel goriva, istraživači su posvetili pažnju i miješanju dizela sa različitim biodizelima u cilju dobijanja goriva što boljih karakteristika. Gustine ternernih smješa koje su izučavane u okviru ove doktorske teze na 288.15 K i atmosferskom pritisku su $834.40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (za smještu ED90SME5SEE5) i $839.76 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ED80SME10SEE10), što je u skladu sa standardom za goriva koja se mogu koristiti u automobilima EN 590/2009 [28]. Takođe, i kinematske viskoznosti pomenutih smješa na 313.15 K i atmosferskom pritisku su unutar granica predviđenih standardom [28], $2.867 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i $3.005 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za smješa EuroDizela sa 10 vol%, odnosno 20 vol% biodizela. Ovo je potvrda da se niže smješe dizela sa biodizelom, bilo jednim ili kombinacijom različitih, mogu koristiti kao gorivo u automobilima bez ispravki u dizajnu dizel motora, jer su po svojstvima dosta bliske čistom dizel gorivu, a, s druge strane, donose i koristi svojstvene upotrebi biodizela.

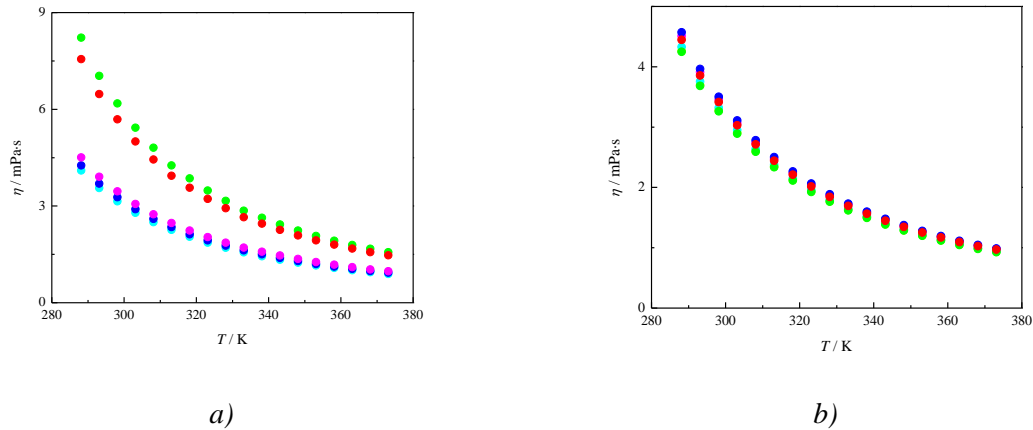
Promjena gustina ternernih smješa ED90SME5SEE5 i ED80SEM10SEE10, kao i čistih komponenti koju ulaze u njihov sastav, sa promjenom temperature na atmosferskom pritisku je data na Slici 4.5.1. Primjećuje se očekivani pad gustine sa porastom temperature na atmosferskom pritisku, kao i porast gustine sa porastom udjela biodizela u smješama sa dizel gorivom. Razlike u gustinama između smješa i čistih supstanci su gotovo identične na svim temperaturama. Kada se porede smješe sa 10 vol% i 20 vol% biodizela, prema tome koji biodizel je korišćen, primjećuje se da su gustine gotovo jednake za smješe gde je korišćen samo SME, ili samo SEE, kao i smještu sa jednakim udjelima SME i SEE (Slika 4.5.1.), što je posebno primjetno za smješe EuroDizela sa 10 vol% biodizela. Uzrok tome su male razlike u gustinama čistih SME i SEE, koje ipak postoje, pa se kod smješa dizel goriva sa 20 vol% biodizela vidi da su smješe sa SME nešto veće gustine od onih sa SEE, dok su vrijednosti gustina smješa u kojima su jednako zastupljeni i SME i SEE između izmjerenih gustina za ED80SME20 i ED80SEE20 (Slika 4.5.1.).



Slika 4.5.1. Gustine a) (●) SME, (●) SEE, (●) ED80SME10SEE10, (●) ED90SME5SEE5 i (●) EuroDizela i b) (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10, (●) ED80SME10SEE10 i (●) ED90SME5SEE5 u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Sve navedeno potvrđuje linearnu zavisnost gustine smješa dizela sa biodizelom od udjela biodizela pa je Kay-ovo pravilo miješanja (jednačina (4.4.2)) primjenjeno i na ternerne smješe. Slaganje mjerenih gustina na atmosferskom pritisku sa onim proračunatim iz gustina čistih komponenti je bilo veoma dobro, AAD iznosi 0.070 % (oko $0.57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i 0.103 % (manje od $0.84 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), za ED90SEM5SEE5, odnosno ED80SME10SEE10, što opet preporučuje Kay-ovo pravilo miješanja za određivanje gustina smješa dizel goriva sa biodizelom, bilo jednim ili više različitih vrsta, iz gustina čistih goriva.

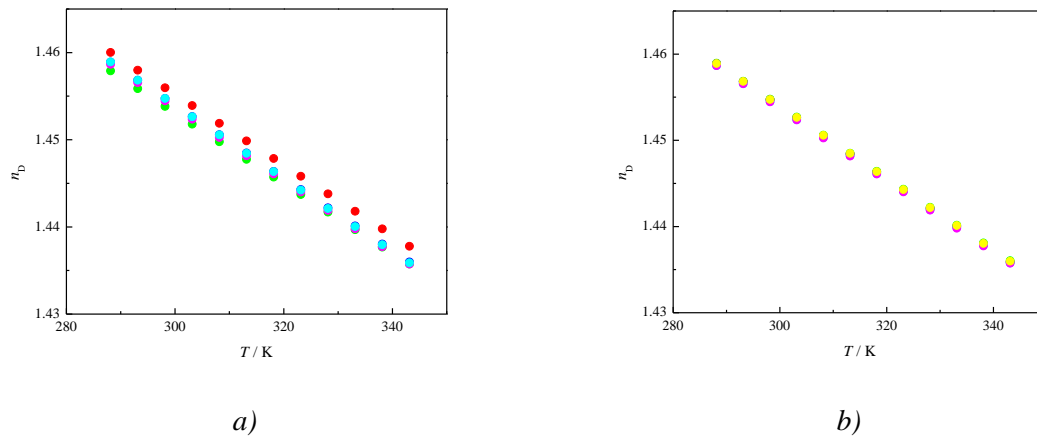
Viskoznosti ED90SME5SEE5 i ED80SME10SEE10 na atmosferskom pritisku u zavisnosti od temperature su date na Slici 4.5.2.a. U skladu sa ponašanjem primjećenim kod ostalih uzoraka, viskoznosti ternernih smješa biodizela sa dizelom opadaju eksponencijalno sa porastom temperature, pogotovo na nižim temperaturama, dok iznad 343.15 K ta zavisnost postaje skoro linearna (Slika 4.5.2.a). Razlike među smješama koje sadrže isti zapreminski udio biodizela se malo razlikuju, ali se to ipak može uočiti na Slici 4.5.2.b. Pošto su SEE viskozniji od SME, smješe EuroDizela sa čistim SME imaju najnižu viskoznost, što ih čini najslabijim dizel gorivu, nešto višu imaju smješe sa istim udjelima SME i SEE, dok su smješe sa čistim SEE najviskoznije od posmatranih binarnih i ternernih smješa dizel goriva sa biodizelom sa istim udjelom biodizela.



Slika 4.5.2. Viskoznosti a) (●) SME, (●) SEE, (●) ED80SME10SEE10, (●) ED90SME5SEE5 i (●) EuroDizela i b) (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10, (●) ED80SME10SEE10 i (●) ED90SME5SEE5 u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

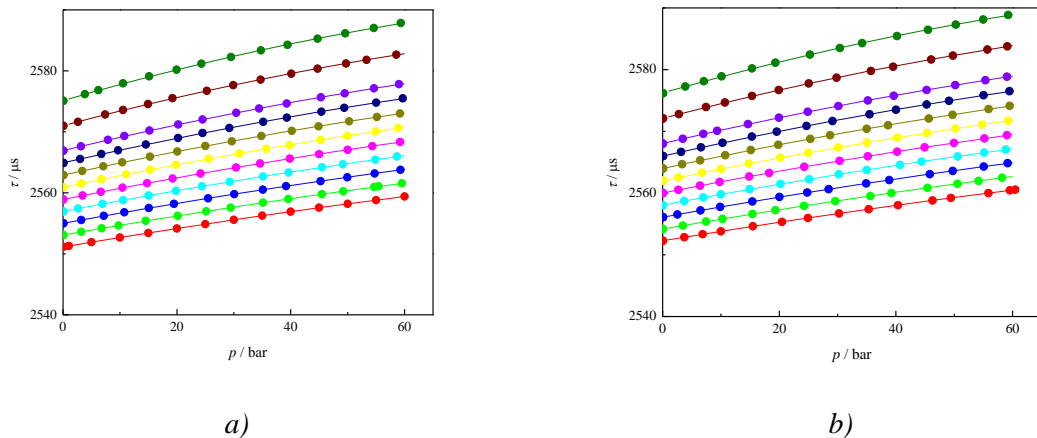
Biodizeli su viskozniji od dizel goriva pa i viskoznost smješa raste sa povećanjem udjela biodizela u njima, s tim što zavisnost nije linearna kao kod gustina, već su razlike među čistim komponentama i smješama više na nižim nego na višim temperaturama. Viskoznosti ternernih smješa su predskazivane iz viskoznosti njihovih čistih komponenti pomoću Grunberg-Nissanovog pravila miješanja (jednačina (4.4.4)). Slaganje vrijednosti dobijenih na taj način sa izmjerenim je veoma dobro, AAD je 1.92 % (oko 0.04 mPa·s) i 2.49 % (oko 0.06 mPa·s) redom za smješe ED90SME5SEE5 i ED80SME10SEE10, što je dokaz o mogućnosti upotrebe Grunberg-Nissanovog pravila miješanja za proračun viskoznosti smješa dizela sa biodizelima, bilo binarnih ili višekomponentnih.

Očekivano, i indeksi refrakcije ternernih smješe se ponašaju veoma slično binarnim smješama dizela sa biodizelom (Slika 4.5.3.), linearno opadaju kako raste temperatura na atmosferskom pritisku. SME imaju viši indeks refrakcije nego EuroDizel, a SEE nešto niži, mada su razlike vrlo male, tako da su i indeksi refrakcije za smješe EuroDizela sa pojedinačnim biodizelima i u ternernim smješama gotovo identični onim izmjerenim za čist EuroDizel (Slika 4.5.3.a). Kay-ovo pravilo miješanja (jednačina (4.4.2)) je primjenjeno i na indeks refrakcije i niske vrijednosti AAD od 0.020% (oko $3 \cdot 10^{-4}$) za ED90SME5SEE5 i oko 0.003 % (oko $4 \cdot 10^{-5}$) za ED80SME10SEE10 su potvrda ispravnosti takve odluke.



Slika 4.5.3. Indeksi refrakcije za a) (●) SME, (●) SEE, (●) ED80SME10SEE10, (●) ED90SME5SEE5 i (●) EuroDizela i b) (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10, (●) ED80SME10SEE10 i (●) ED90SME5SEE5 u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Gustine ternernih smiješa EuroDizela sa metil i etil estrima suncokretovog ulja su određene na 11 izoterma u opsjegu 293.15-413.15 K na pritiscima do 60 MPa prema proceduri objašnjenj u poglavlju 3. Izmjereni periodi oscilovanja U cijevi su dati u Tabelama 42 i 43 (Slika 4.5.4.), a dobijene gustine u Tabelama 44 i 45 u Prilogu.

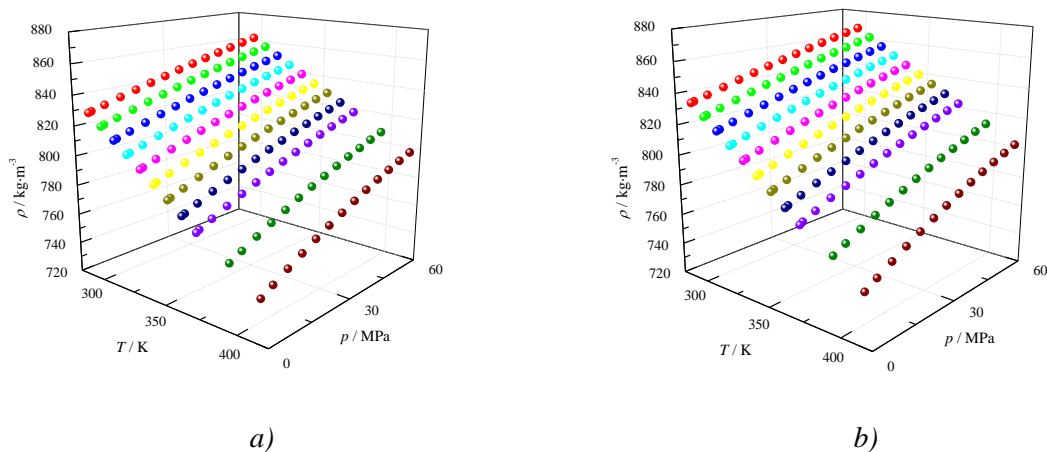


Slika 4.5.4. Periodi oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene a) ED90SME5SEE5 i b) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od pritiska na (●) 293.15 K, (●) 303.15 K, (●) 313.15 K, (●) 323.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.

Uticaj viskoznosti na mjerenje gustina ternernih smješa dizela sa biodizelima na visokim pritiscima je određen prema jednačini (3.2.2.60) pomoću viskoznosti izmerenih na atmosferskom pritisku (Tabela 41) i izračunate razlike za ispitivane smješe su manje od $0.07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Kombinovana proširena mjerna nesigurnost gustina ispitivanih ternernih smješa na visokim pritiscima, sa intervalom pouzdanosti od 95 % ($k=2$), uzimajući u obzir kalibracionu jednačinu, nesigurnost određivanja temperature, pritiska, perioda oscilovanja U ćelije i gustina referentnih fluida, kao i uticaj viskoznosti na mjerenje gustine je procenjena na oko $0.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za $T < 373.15 \text{ K}$ i oko $2.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na $T \geq 373.15 \text{ K}$.

Rađeno je i poređenje gustina ternernih smješa dizela sa biodizelima na atmosferskom pritisku mjerenih na DMA 5000 gustinomjeru i mjernoj ćeliji DMA HP, što je još jednom potvrdilo ispravnost uspostavljene procedure mjerenja gustina na visokim pritiscima. Srednja apsolutna procentualna razlika gustina mjerenih na DMA 5000 i onih mjerenih na DMA HP mjernoj ćeliji je 0.016 % (oko $0.13 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za ED90SME5SEE5 i za ED80SME10SEE10 oko 0.025 % (ispod $0.20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

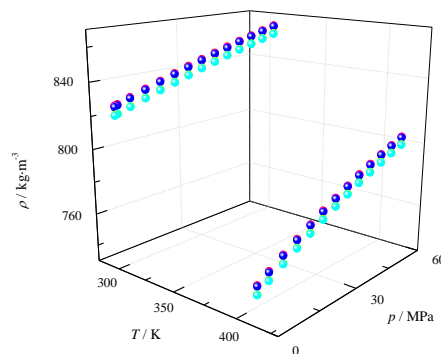
Zavisnosti gustina ternernih smješa od temperature i pritiska su predstavljene na Slici 4.5.5.



Slika 4.5.5. Gustine ternernih smješa a) ED90SME5SEE5 i b) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od temperature i pritiska

Na Slici 4.5.5. primjećuje se standardno ponašanje gustine - linearno opada sa porastom temperature pri konstantnom pritisku, a raste kada se povećava pritisak po izotermama. Ovdje je, kao i kod ranije ispitivanih uzoraka, uočljiva gotovo linearna zavisnost gustine od

pritiska na temperaturama do 323.15 K, kao i na pritiscima iznad 40 MPa na svim temperaturama na kojima su vršena mjerenja u toku rada na ovoj tezi (Slika 4.5.6.). Iz zavisnosti gustina binarnih i ternernih smješa EuroDizela sa SME i SEE od pritiska na 303.15 K i 413.15 K predstavljenih na Slici 4.5.6. se može zaključiti da odnos među smješama dizela sa čistim biodizelima ili njihovom kombinacijom ostaje isti kao i na atmosferskom pritisku. Zbog malih razlika u gustini između SME i SEE, i gustine ispitivanih binarnih i ternernih smješa dizela sa biodizelom su gotovo jednake, pri istom ukupnom udjelu biodizela u smješi. Primjetna je, takođe, i linearna zavisnost gustina smješa od udjela biodizela pa je i na ternerne smješe na visokim pritiscima primjenjeno Kay-ovo jednostavno pravilo miješanja (jednačina (4.4.2)) i dobijene su vrijednosti AAD od oko 0.064% ($0.53 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za ED90SME5SEE5 i oko 0.104 % ($0.85 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za ED80SME10SEE10, što ukazuje na veoma dobro slaganje proračunatih i izmjerenih vrijednosti.

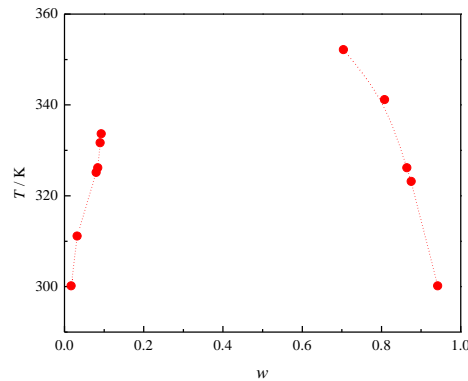


Slika 4.5.6. Gustine (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SEE20, (●) ED90SEE10, (●) ED80SME10SEE10 i (●) ED90SME5SEE5 na 303.15 K i 413.15 K

Pored ternernih smješa EuroDizela sa SME i SEE, ispitivana su i termodinamička i transportna svojstva smješa EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja i etanolom. U literaturi se navodi da je etanol u potpunosti rastvorljiv u biodizelu, a slabije u dizel gorivu, što se može promijeniti dodavanjem biodizela takvim smješama [64,65,67].

Mješljivost uzoraka koji su korišćeni u eksperimentima tokom rada na ovoj doktorskoj disertaciji je provjerena određivanjem ravnoteže tečnost-tečnost na atmosferskom pritisku etanola u metil estrima suncokretovog ulja i dizel gorivu, kao i etanola u smješama dizela

sa biodizelom. Pokazalo se da je etanol u potpunosti rastvorljiv u SME na temperaturi od 298.15 K, kao i SME u EuroDizelu, dok je u dizel gorivu veoma slabo rastvorljiv (Slika 4.5.7, Tabela 46 u Prilogu) za šta bi se uzrok mogao naći i u mogućnosti da je etanol pokupio dio vlage iz vazduha tokom eksperimenta.



Slika 4.5.7. Ravnoteža tečnost-tečnost etanola i EuroDizela

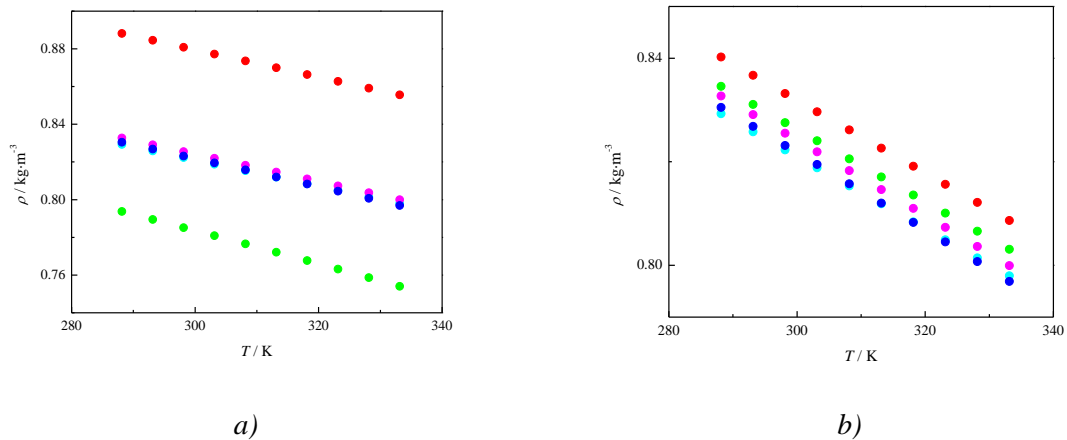
Pri ispitivanju rastvorljivosti etanola u smješama EuroDizela sa SME primjećeno je da i vrlo male količine biodizela, već od 5 mas%, utiču toliko da se etanol u potpunosti rastvara u takvim smješama na 298.15 K.

U okviru rada na ovoj doktorskoj tezi ispitivane su smješe EuroDizela sa 10 vol% metil estara suncokretovog ulja i 5 vol% i 10 vol% etanola (ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10). Za određivanje gustina pomenutih smješa sa etanolom na atmosferskim pritiscima korišćen je DSA 5000 M uređaj koji pored gustine mjeri i brzinu prostiranja zvuka kroz uzorak, što je, takođe, određeno za ternerne smješe dizela sa biodizelom i etanolom i njihove čiste komponente. Gustina, brzina zvuka, viskoznost i indeks refrakcije čistog etanola i smješa ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10 su mjereni na temperaturama 288.15-333.15 K na atmosferskom pritisku i dobijeni rezultati su dati u Tabeli 47 u Prilogu.

Gustine smješa na 288.15 K i atmosferskom pritisku su $832.83 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i $830.28 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za ED85SME10EtOH5, odnosno ED80SME10EtOH10, što je u granicama predviđenim standardom za automobilska goriva EN 590/2009 [28]. Takođe i kinematske viskoznosti na 313.15 K i atmosferskom pritisku su u skladu sa pomenutim standardom, $2.588 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ za

ED85SME10EtOH5 i $2.462 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ za ED80SME10EtOH10. Ovo pokazuje da i smješe dizela goriva sa nižim udjelima biodizela i alkohola mogu da se koriste kao gorivo u automobilima, bar prema ovim parametrima, bez prepravki dizel motora.

Na Slici 4.5.8. je predstavljena zavisnost gustine smješa od temperature na atmosferskom pritisku. U skladu sa svim navedenim za ostale uzorke, gustina ternernih smješa dizela sa biodizelom i etanolom linearno opada sa porastom temperature, s tim što je taj pad izraženiji za čist etanol i smješe sa njim nego što je bio slučaj sa EuroDizelom i SME. Gustina SME je znatno veća nego čistog EuroDizela. S druge strane, gustine etanola su znatno niže nego gustine EuroDizela, tako da su ternerne smješe dizela sa 10 vol% biodizela i do 10 vol% etanola približno slične gustine kao i čist EuroDizel što upućuje na to da upotreba pomenutih ternernih smješa u dizel motorima ne bi puno uticala na process atomizacije i paljenja goriva.

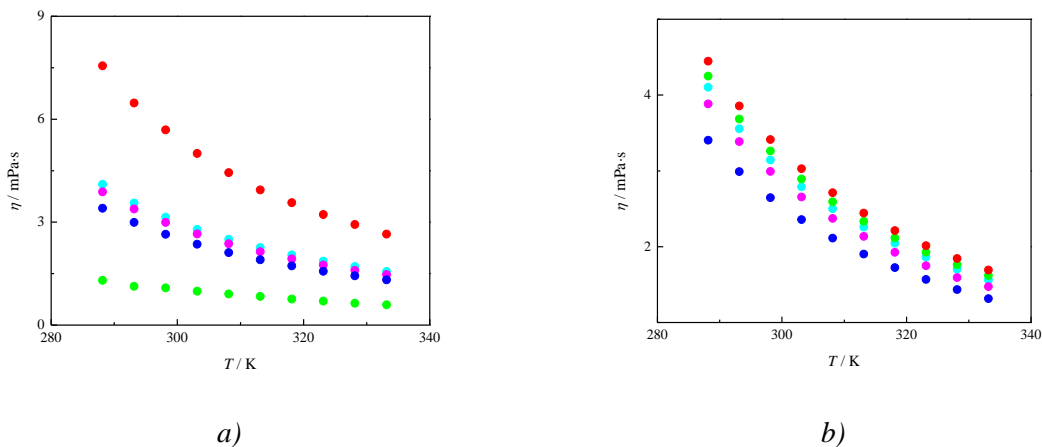


Slika 4.5.8. Gustine a) (●) SME, (●) etanola, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela i b) (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Kada se uporede smješe dizela sa metil estrima suncokretovog ulja i one nastale dodavanjem etanola u smještu ED90SME10, može se primjetiti slična linearna zavisnost gustine ternernih smješa od udjela etanola. Kako je gustina binarnih smješa rasla sa povećanjem količine biodizela u njima tako se ovdje smanjuje sa dodatkom etanola i razlike među gustinama na pojedinim temperaturama blago rastu sa porastom temperature zbog većeg pada gustine čistog etanola. Na gustine ternernih smješa dizela sa biodizelom i

etanolom je, takođe, primjenjeno Kay-ovo pravilo miješanja, jednačina (4.4.2). Zbog različite hemijske strukture i svojstava etanola u odnosu na dizel i biodizel ne bi trebalo izjednačavati molske i zapreminske udjele, ali se očekuje da, zbog malog udjela etanola u smješama, to neće puno uticati na proračun. Dobijena odstupanja vrijednosti izračunatih iz jednačine (4.4.2) od mjerenih gustina su nešto više od onih dobijenih za dosad spominjane uzorke, ali su i dalje zadovoljavajuće za industrijske procjene: *AAD* je 0.113% (oko $0.92 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i 0.206 % ($1.67 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) redom za smješe sa 5 vol% i 10 vol% etanola.

Viskoznosti smješa eksponencijalno opadaju kako se povećava temperatura na atmosferskom pritisku (Slika 4.5.9.).

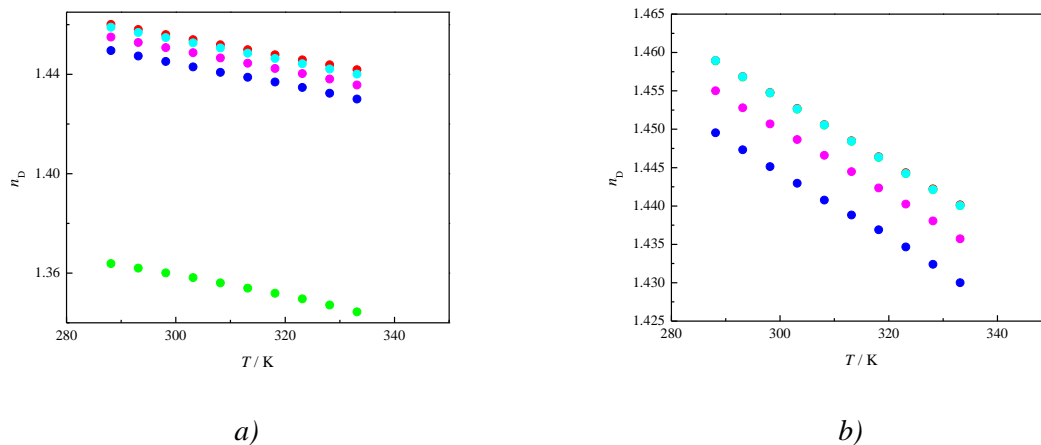


Slika 4.5.9. Viskoznosti a) (●) SME, (●) etanola, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela i b) (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Promjena viskoznosti sa temperaturom su izraženije na nižim temperaturama, osim kod etanola gdje je ta zavisnost gotovo linearna. SME su viskozniji, a etanol je manje viskozan od EuroDizela, a razlike među smješama i čistim komponentama se smanjuju sa porastom temperature. Sa Slike 4.5.9. se može primjetiti da se viskoznost povećava sa porastom udjela biodizela u smješama, ali sa druge strane opada sa dodatkom etanola, pa su viskoznosti ternernih smješa dizela sa biodizelom i etanolom dosta bliske onima kod čistog biodizela, što je dobro zbog same konstrukcije dizel motora koji su prilagođeni dizel gorivu.

Na viskoznosti ovih uzoraka je, takođe, primjenjeno Grunberg-Nissanovog pravilo miješanja (jednačina (4.4.4)), svjesno unoseći grešku zbog zamjene moljskih udjela zapreminskim, i dobijena su nešto veća odstupanja viskoznosti smješa predskazanih iz viskoznosti pojedinačnih komponenti i mjerenih, *AAD* je za ED85SME10EtOH5 bilo 6.29 % (oko 0.14 mPa·s) i 8.04 % (oko 0.18 mPa·s), što se može smatrati prihvatljivim.

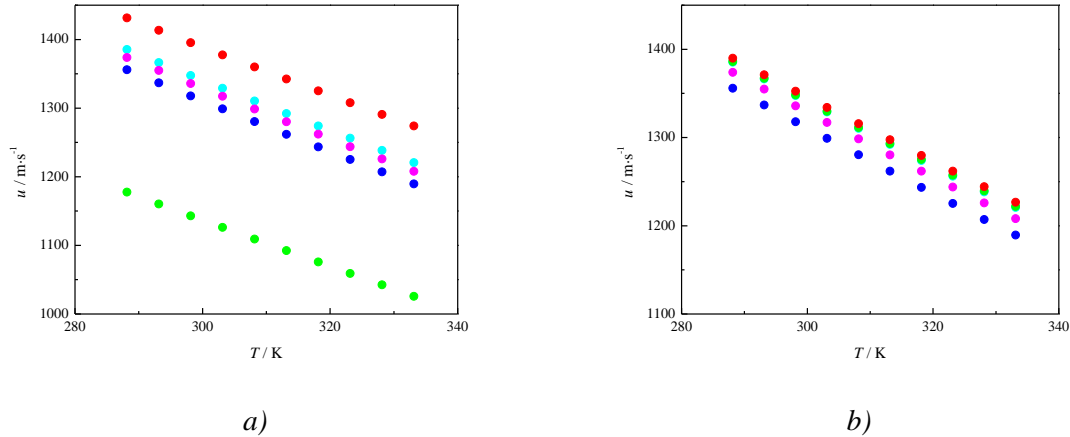
Na atmosferskom pritisku je određeno još jedno značajno termodinamičko svojstvo fluida – indeks refrakcije, koji, očekivano, linearno opada sa porastom temperature (Slika 4.5.10.).



Slika 4.5.10. Indeks refrakcije a) (●) SME, (●) etanola, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela i b) (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Ono što je na prvi pogled uočljivo sa Slike 4.5.10. je da je indeks refrakcije etanola mnogo niži nego dizela i SME, koji su gotovo jednaki. Očekivano, i smješe dizela sa metil estrima suncokretovog ulja su imale indeks refrakcije veoma blizak vrijednosti kod čistog Eurodizela, dok sa dodatkom etanola on primjetno linearno opada. To ponašanje je predstavljeno Kay-ovim pravilom miješanja (jednačina 4.4.2) i dobijene su vrijednosti *AAD* od 0.04% (oko $6 \cdot 10^{-4}$) i 0.02 % (oko $3 \cdot 10^{-4}$), redom za ternerne smješe sa 5 vol% i 10 vol% etanola. Odlično slaganje mjerenih i proračunatih indeksa refrakcije pokazuje da i nije toliko velika greška koristiti zapreminske umjesto moljskih udjela kod smješa sa niskim sadržajem etanola.

Za ove smješe je mjerena i brzina prostiranja zvuka u uzorku, a uticaj temperature na ovu veličinu je predstavljen na Slici 4.5.11.

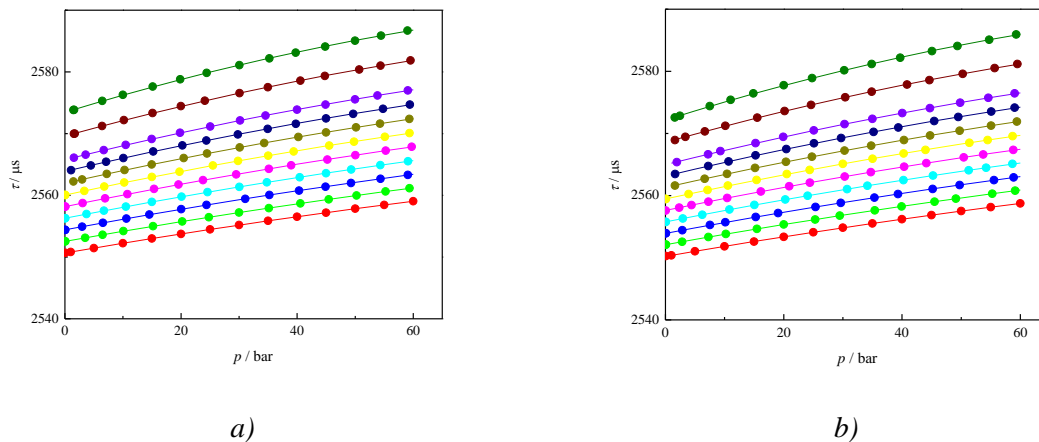


Slika 4.5.11. Brzina zvuka a) (●) SME, (●) etanola, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela i b) (●) ED80SME20, (●) ED90SME10, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Ono što se može zaključiti sa Slike 4.5.11. jeste da se brzina zvuka na atmosferskom pritisku ponaša slično gustini i indeksu refrakcije, tj. linearno opada sa porastom temperature. Zvuk se najbrže prostire kroz metil estre suncokretovog ulja, malo sporije kroz uzorak EuroDizela, a znatno sporije kroz etanol. U skladu s tim, brzina zvuka u ternernim smješama dizela sa biodizelom i etanolom linearno opada kako se povećava udio etanola u njima, i razlike su prilično konstante u cijelom opsegu temperature na kojem su vršena mjerenja. Kada se uporede mjerene ternerne smješe sa binarnim smješama EuroDizela sa SME uočava se da dodavanje biodizela dizel gorivu ima manji uticaj na brzinu zvuka, vrijednosti za smješe su vrlo malo više od onih izmjerenih za čist EuroDizel, dok se dodatkom etanola značajnije smanjuju. Za pomenute smješe sa manjim udjelima biodizela i etanola, koje su ispitivane tokom rada na ovoj disertaciji, primjetno je manje odstupanje brzine zvuka u odnosu na čist dizel što se može smatrati dobrim, jer pokazuje da niže smješe imaju slična termodinamička svojstva kao i dizel gorivo. Na ovu veličinu je, takođe, primjenjeno Kay-ovo pravilo miješanja i dobijena su srednja apsolutna procentualna odstupanja izračunatih od mjerenih vrijednosti od 0.540 % i 0.932 % (oko $6.92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i

$11.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), redom za smješe EuroDizela sa SME i 5 vol% i 10 vol% etanola, što je veoma dobro slaganje.

Pored atmosferskih uslova, proučavano je i ponašanje smješa na visokim pritiscima kroz mjerenje gustine i određivanje izvedenih volumetrijskih svojstava, što će biti prikazano u poglavlju 5. Vrijednosti perioda oscilovanja mjerne ćelije ispunjene smješama ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10 su date u Tabelama 48 i 49 u Prilogu, a njihove zavisnosti od temperature i pritiska se mogu vidjeti na Slici 4.5.12.



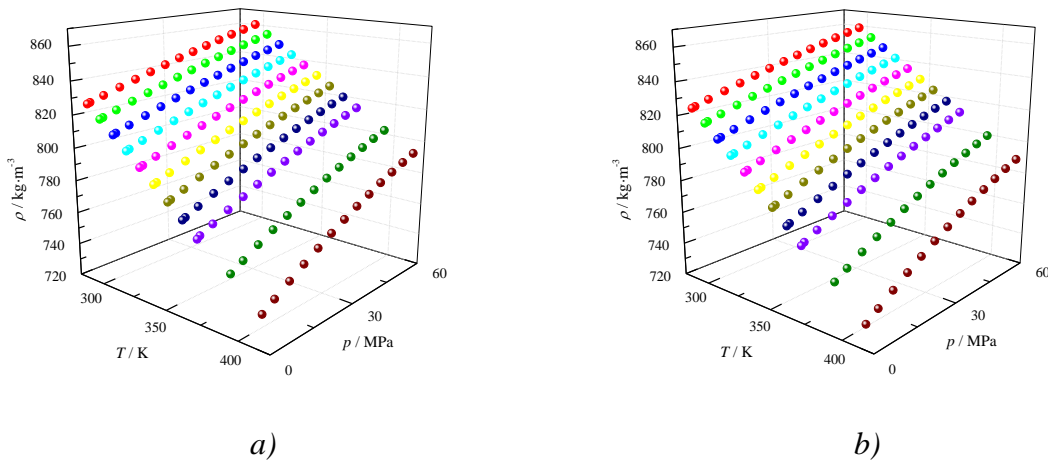
Slika 4.5.12. Periodi oscilovanja mjerne U ćelije ispunjene a) ED85SME10EtOH5 i b) ED80SME10EtOH10 u zavisnosti od pritiska na (●) 293.15 K,

(●) 303.15 K, (●) 313.15 K, (●) 323.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i, (●) 413.15 K. Simboli su eksperimentalni podaci, a linije su izračunate iz kvadratnog polinoma.

Uticaj viskoznosti na mjerenje gustina ternernih smješa dizela sa SME i etanolom na visokim pritiscima je određen prema jednačini (3.2.2.60) pomoću viskoznosti izmerenih na atmosferskom pritisku (Prilog, Tabela 47) i izračunate razlike za ispitivane smješe su manje od $0.07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Kombinovana proširena mjerna nesigurnost gustina ispitivanih ternernih smješa na visokim pritiscima, sa intervalom pouzdanosti od 95 % ($k=2$), uzimajući u obzir kalibracionu jednačinu, nesigurnost određivanja temperature, pritiska, perioda oscilovanja U ćelije i gustina referentnih fluida, kao i uticaj viskoznosti na mjerenje gustine je procenjena na oko $0.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za $T < 373.15 \text{ K}$ i oko $2.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na $373.15 \leq T \leq 413.15 \text{ K}$.

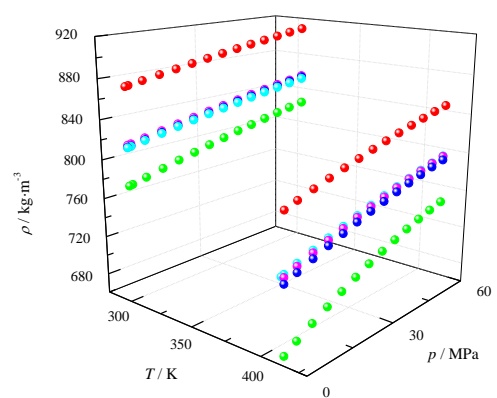
Gustine ternernih smješa dizela sa biodizelom i etanolom su date u Tabelama 50 i 51 u Prilogu, a njihove zavisnosti od temperature i pritiska su predstavljene na Slici 4.5.13.

Kao i kod ranije mjerenih uzoraka, uočljiv je linearan pad gustine sa porastom temperature pri konstantnom pritisku i porast kada se pritisak izotermiski podiže. Zavisnost gustine od pritiska je gotovo linearna na temperaturama ispod 323.15 K da bi na višim temperaturama izoterme poprimile oblik kvadratne funkcije na nižim pritiscima, dok je na pritiscima iznad 40 MPa ta zavisnost gotovo linearna na svim ispitivanim temperaturama.



Slika 4.5.13. Gustine ternernih smješa a) ED85SME10EtOH5 i b) ED80SME10EtOH10 u zavisnosti od temperature i pritiska

Odnos gustina smješa na visokim pritiscima ostaje isti kao i na atmosferskom (Slika 4.5.14). Etanol ima znatno nižu vrijednost gustine u odnosu na SME i EuroDizel, pa, iako je smješa ED90SME10 veće gustine od EuroDizela, smješe ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10 imaju slične gustine kao i čist EuroDizel, pogotovo na nižim temperaturama. Kao što je već zaključeno, na osnovu rezultata prikazanih u ovom delu, bitno je da se volumetrijska i transportna svojstva dizel goriva ne mijenjaju značajno prilikom dodavanja biodizela ili etanola, jer to dodatno jača ideju da takvo gorivo može da se koristi u dizel motorima bez prepravki samih motora.



Slika 4.5.14. Gustine (●) SME, (●) etanola, (●) ED80SME10EtOH10, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) EuroDizela na 303.15 K i 413.15 K

***MODELOVANJE
EKSPERIMENTALNIH PODATAKA***

5.

5.1. Modelovanje viskoznosti na atmosferskom pritisku

Viskoznosti ispitivanih biodizela i dizel goriva, kao i njihovih binarnih i ternernih smješa, su mjereni na temperaturama 288.15-373.15 K na atmosferskom pritisku, osim za metil estre svinjske masti za koje je početna temperatura za sva eksperimentalna mjerenja bila 298.15 K. Za čiste biodizele su iz viskoznosti na atmosferskom pritisku izračunate i viskoznosti na visokim pritiscima primjenom modela koji predlaže Freitas sa saradnicima [34]. Svi eksperimentalni podaci o viskoznosti su dati u poglavlju 4 i u Tabelama 19, 23, 32, 41 i 47 u Prilogu.

Rezultati mjerenja viskoznosti na atmosferskom pritisku su korelisani Vogel-Fulcher-Tammann modelom:

$$\ln \eta = A + \frac{B}{T - C} \quad (5.1.1)$$

gdje su A , B i C konstante modela koje se određuju za svaki ispitivani uzorak.

Kvalitet obrade podataka Vogel-Fulcher-Tammann modelom je ocjenjen iz vrijednosti srednje apsolutne procentualne greške, AAD , maksimalne apsolutne procentualne greške, MD , standardne devijacije, σ , i srednje procentualne greške, $Bias$:

$$AAD = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\eta_i^{\text{exp}} - \eta_i^{\text{cal}}}{\eta_i^{\text{exp}}} \right| \quad (5.1.2)$$

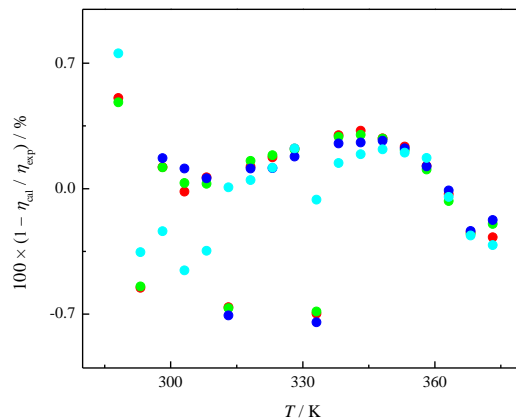
$$MD = \max \left(100 \left| \frac{\eta_i^{\text{exp}} - \eta_i^{\text{cal}}}{\eta_i^{\text{exp}}} \right| \right), i=1, N \quad (5.1.3)$$

$$Bias = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\eta_i^{\text{exp}} - \eta_i^{\text{cal}}}{\eta_i^{\text{exp}}} \quad (5.1.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\eta_i^{\text{exp}} - \eta_i^{\text{cal}})^2}{N - m}} \quad (5.1.5)$$

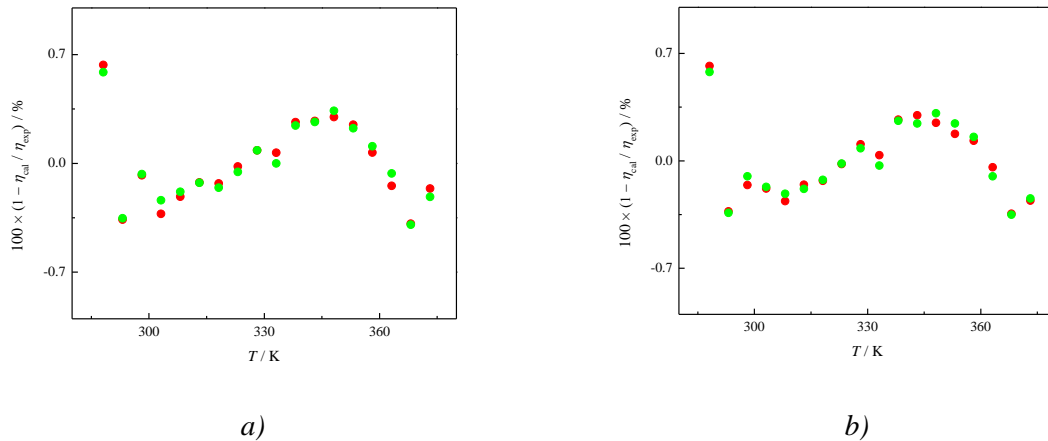
gdje je η^{exp} izmjerena viskoznost uzorka, η^{cal} viskoznost izračunata pomoću parametara Vogel-Fulcher-Tammann modela, N broj eksperimentalnih podataka i m broj parametara modela.

Vrijednosti parametara Vogel-Fulcher-Tammann modela i kriterijuma poređenja za čiste biodizele i EuroDizel su dati u Tabeli 52 u Prilogu. AAD za metil estre suncokretovog ulja je 0.275 % (oko 0.010 mPa·s), za etil estre istog ulja 0.268 % (oko 0.010 mPa·s), a za biodizel dobijen iz svinjske masti AAD 0.234 % (oko 0.007 mPa·s) (Slika 5.1.1.). Srednje apsolutno procentualno odstupanje eksperimentalno određenih viskoznosti čistog EuroDizela od onih izračunatih pomoću jednačine (5.1.1) je 0.231 % (oko 0.005 mPa·s) (Slika 5.1.1.). Navedene vrijednosti AAD potvrđuju pouzdanost dobijenih parametara u izračunavanju viskoznosti na različitim temperaturama u intervalu od 288.15 K, za LME od 298.15 K, do 373.15 K na atmosferskom pritisku.



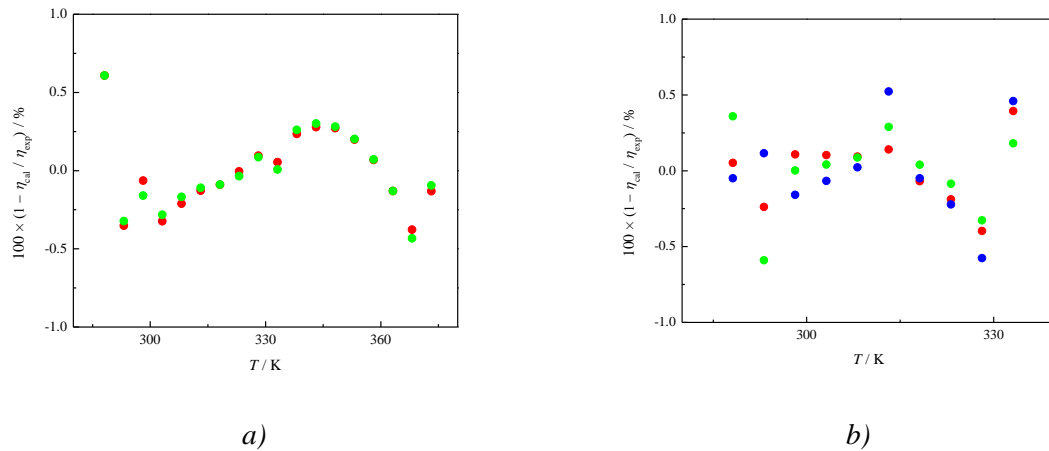
Slika 5.1.1. Odstupanje eksperimentalno određenih viskoznosti od onih dobijenih iz Vogel-Fulcher-Tammann modela za (●) SME, (●) SEE, (●) LME i (●) EuroDizel

Za binarne smješe biodizela dobijenih iz suncokretovog ulja i EuroDizela parametri Vogel-Fulcher-Tammann modela, zajedno sa odstupanjima mjerenih od proračunatih viskoznosti, su dati u Tabeli 27 u Prilogu. Kao i za čiste uzorke, i za binarne smješe je dobijeno dobro slaganje eksperimentalno određenih i predskazanih viskoznosti sa AAD od 0.216 % (oko 0.005 mPa·s) za ED90SME10 i 0.206 % (oko 0.005 mPa·s) za ED80SME20, a za ED90SEE10 i ED80SEE20 AAD su redom bile 0.209 % (oko 0.005 mPa·s) i 0.208 % (oko 0.005 mPa·s), (Slika 5.1.2.).



Slika 5.1.2 Odstupanje eksperimentalno određenih viskoznosti od onih dobijenih iz Vogel-Fulcher-Tammann modela za a) (●) ED90SME10 i (●) ED80SME20 i b) (●) ED90SEE10 i (●) ED80SEE20

Vogel-Fulcher-Tammann model se i u slučaju ternernih smješa EuroDizela sa biodizelima i etanolom pokazao kao veoma dobar model za predviđanje gustina na atmosferskom pritisku sudeći prema dobijenim odstupanjima. *AAD* su za smješe EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja bila 0.201 % (oko 0.005 mPa·s) i 0.202 % (oko 0.005 mPa·s) za ED90SME5SEE5 i ED80SME10SEE10, redom (Slika 5.1.3.a), a za smješe sa etanolom ispod 0.180 % (ispod 0.004 mPa·s) za ED85SME10EtOH5 i za ED80SME10EtOH10 oko 0.200 % (oko 0.005 mPa·s) (Slika 5.1.3.b). Viskoznosti čistog etanola su, takođe, obrađene Vogel-Fulcher-Tammann modelom i srednje apsolutno procentualno odstupanje proračunatih od mjerenih vrijednosti je 0.224% (manje od 0.002 mPa·s) (Slika 5.1.3.b). Parametri Vogel-Fulcher-Tammann modela i kriterijumi poređenja za ternerne smješe, kao i za etanol, su dati u Tabeli 52 u Prilogu.



Slika 5.1.3. Odstupanje eksperimentalno određenih viskoznosti ternernih smješa od onih dobijenih iz Vogel-Fulcher-Tammann modela za a) (●) ED90SME5SEE5 i (●) ED80SME10SEE10 i b) (●) ED98SME10EtOH5, (●) ED80SME10EtOH10 i (●) etanol

5.2. Modelovanje gustina na visokim pritiscima i proračun izvedenih veličina

Gustine mjerene na povišenim temperaturama i visokim pritiscima, pomoću aparature čija je konstrukcija i kalibracija bila jedan od glavnih zadataka tokom rada na ovoj doktorskoj tezi, date su u poglavlju 4 i u Tabelama 14, 16, 18, 28-31, 37-40, 44, 45, 50 i 51 u Prilogu. U cilju određivanja zavisnosti gustina od temperature i pritiska, eksperimentalno određene gustine su korelisane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom (2.2.1). Ovo modelovanje omogućuje računanje gustina ispitivanih uzoraka na bilo kojoj temperaturi u intervalu od 288.15-413.15 K (za LME 298.15-413.15 K) i na željenim pritiscima do 60 MPa.

5.2.1. Test supstance

Kako je navedeno u poglavlju 4, da bi se provjerila ispravnost procedure mjerenja na konstruisanoj aparaturi za određivanje gustina na visokim pritiscima i odabira kalibracione metode, izabrane su supstance za koje su podaci o termodinamičkim veličinama lako dostupni u literaturi i njihove mjerene gustine su poredjene sa onim koje su dobili drugi autori. Iste supstance - *n*-heksan, toluen i dihlor-metan - su izabrane za testiranje procedure

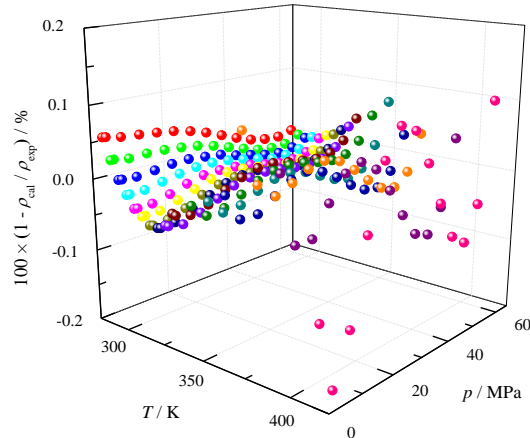
korelisanja gustina modifikovanom Tamman-Tait-ovom jednačinom i određivanje izvedenih termodinamičkih veličina.

Gustine navedenih supstanci na temperaturama 288.15-413.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa su obrađene modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom. Za referentni pritisak je izabran pritisak od 1 MPa i gustine izmjerene na tom pritisku su poslužile za određivanja parametara a_i , da bi se nakon toga čitav set eksperimentalno određenih gustina supstance iskoristio za optimizovanje b_i i c_i parametara (i $B(T)$ i $C(T)$ zavise od temperature). Za funkciju cilja je izabrana standardna devijacija (jednačina (2.2.8)) i dobijeni parametri, kao i vrijednosti kriterijuma odstupanja mjerenih od izračunatih vrijednosti gustina su predstavljeni u Tabeli 53 u Prilogu.

Dobijeni parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine su poslužili za računanje izvedenih volumetrijski svojstava: koeficijenta izotermnog sabijanja, koeficijenta izobarskog toplotnog širenja, razlike između izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta, kao i unutrašnjeg pritiska, u čitavim opsezima temperature i pritiska na kojima su mjerene i gustine. Vrijednosti nabrojanih veličina za navedene test supstance su date u Tabelama 54-56 u Prilogu. U cilju procjene pouzdanosti objašnjene metode korelisanja gustina i dobijanja izvedenih veličina izvršeno je poređenje koeficijenta izotermnog sabijanja i koeficijenta izobarskog toplotnog širenja izračunatih iz parametara modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine sa literaturnim vrijednostima. Za ocjenu slaganja su korišteni isti kriterijumi kao kod poređenja gustina, jednačine (2.2.5)-(2.2.8), s tim što su ovdje umjesto gustina u jednačine uvrštavane eksperimentalne i literaturne vrijednosti koeficijenta izotermnog sabijanja i koeficijenta izobarskog toplotnog širenja.

n-Heksan

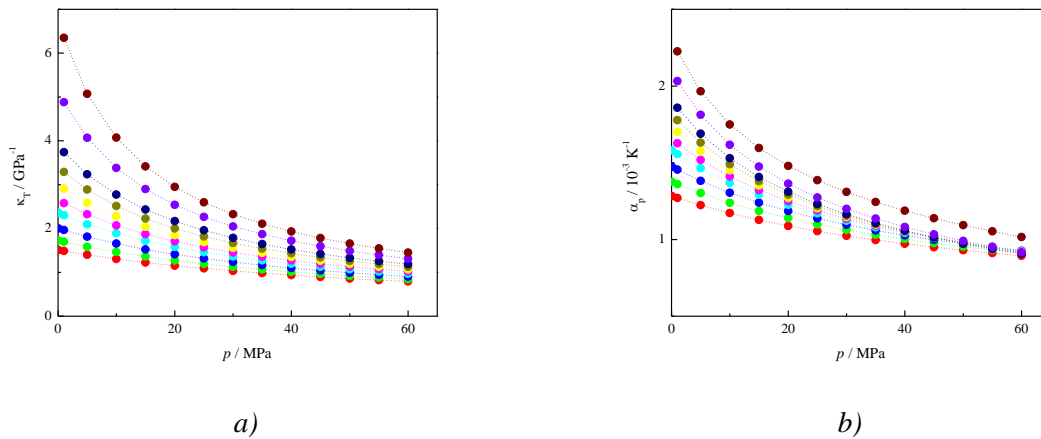
Gustine *n*-heksana date u Tabeli 14 u Prilogu su modelovane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom i dobijeni parametri su prikazani u Tabeli 53 (Prilog). Vrijednost srednje apsolutne procentualne razlike između eksperimentalnih gustina i gustina izračunatih iz pomenute jednačine od 0.023 % (manje od $0.15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) na temperaturnom intervalu 288.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa potvrđuje kvalitet modelovanja i pouzdanost dobijenih parametara (Slika 5.2.1.1.).



Slika 5.2.1.1. Odstupanje eksperimentano određenih gustina *n*-heksana od vrijednosti izračunatih pomoću modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine

Optimizovani parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine su poslužili za računanje koeficijenata izoternskog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja, razlike između izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta, kao i unutrašnjeg pritiska *n*-heksana u čitavim opsezima temperature i pritiska na kojima su mjerene i njihove gustine. Dobijene vrijednosti izvedenih veličina su date u Prilogu (Tabela 54), a κ_T i α_p su predstavljene na Slici 5.2.1.2.

Koeficijenti izoternskog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja *n*-heksana imaju oblike karakteristične za ove veličine. Koeficijent izoternskog sabijanja raste sa porastom temperature pri konstantnom pritisku i opada sa porastom pritiska po izotermama. Zavisnost κ_T od pritiska ima oblik kvadratne funkcije što je posebno izraženo na višim temperaturama i nižim pritiscima, a na višim pritiscima teži da postane linearna, pa su razlike u stišljivosti na različitim pritiscima znatno uočljivije na višim temperaturama. Razlike κ_T na različitim temperaturama pri konstantnom pritisku su veće na nižim pritiscima da bi pri višim asimptotski težile da se izjednače. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja se ponaša slično kao κ_T u zavisnosti od temperature i pritiska. Ovdje je zanimljiva tačka presjeka izoterma, koja bi se za *n*-heksan pojavila na pritisku neposredno iznad 60 MPa, a predstavlja pritisak na kome je α_p nezavisno od temperature, $\left(\frac{\partial \alpha_p}{\partial T}\right)_p = 0$.



Slika 5.2.1.2 Koeficijenti a) izoternskog sabijanja i b) izobarskog toplotnog širenja za *n*-heksan u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

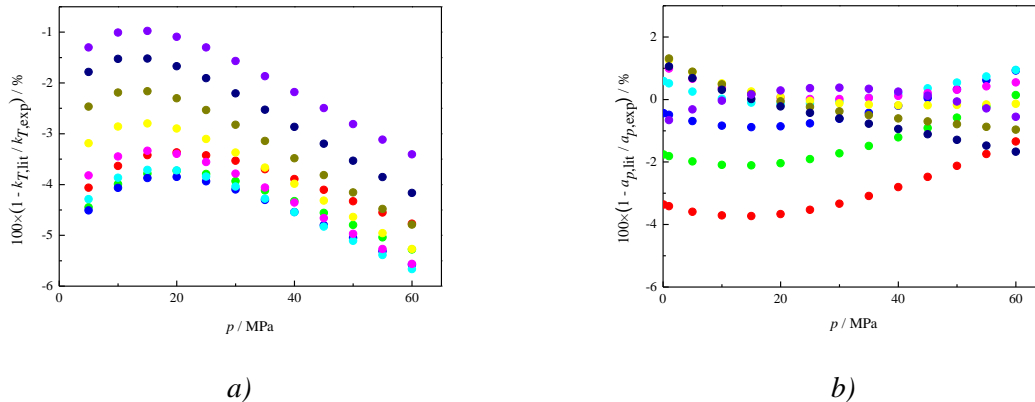
Izračunate vrijednosti izoternske kompresibilnosti za *n*-heksan su poređene sa onima koje je objavio Daridon sa saradnicima [151]. Poređenje je izvršeno na temperaturama 293.15-373.15 K i pritiscima do 60 MPa i dobijene su *AAD* od 3.64 %, *MD* od 5.67 % i *Bias* -3.64 % (Slika 5.2.1.3.).

U cilju procjene preciznosti obrade gustina pomenutom metodom vršeno je računanje i koeficijenta izentropskog sabijanja i poređenje sa literaturom. Vrijednosti brzine zvuka su preuzete iz literature [151] i koeficijent izentropskog sabijanja je izračunat iz jednačine (2.2.26). Dobijene vrijednosti su poređene sa onima koje prijavljuje Daridon sa saradnicima [151] na temperaturama 293.15-373.15 K i na pritiscima 5-60 MPa i dobijena su sljedeća odstupanja: *AAD*=0.10%, *MD*=0.29% i *Bias*=0.01%. Ovo je još jedan dokaz da je procedura korelisanja gustina i proračuna izvedenih veličina dobro odabrana.

Koeficijenti izoternskog sabijanja predstavljeni u ovoj tezi su poređeni i sa vrijednostima koje je dobio i Randzio sa saradnicima [147] na nekoliko temperatura u intervalu 313.15-363.15 K i na pritiscima 0.1-60 MPa. Kriterijumi poređenje su pokazali dobro slaganje ove dvije grupe podataka: *AAD*=2.63 %, *MD*=4.73% i *Bias*=-2.56 %.

Tronkoso sa saradnicima [149] daje koeficijente izoternskog sabijanja *n*-heksana u nešto užim opsezima temperature i pritiska nego gorepomenuti autori, pa je poređenje sa

njihovim vrijednostima rađeno na temperaturama 293.15-313.15 K i pritiscima 0.1-40 MPa. Dobijeno je dobro slaganje naših izračunatih vrijednosti sa literaturnim: $AAD=2.01\%$, $MD=3.31\%$ and $Bias=-2.01\%$.



Slika 5.2.1.3. Odstupanje izračunatih vrijednosti a) koeficijenta izotermnog sabijanja od literaturnih vrijednosti [151] i b) koeficijenta izobarskog toplotnog širenja od literaturnih vrijednosti [147] za n-heksan

Randzio je sa saradnicima [147] prijavio i jednačine za računanje koeficijenta izobarskog toplotnog širenja pa su vrijednosti date u Tabeli 48 u Prilogu poređene sa njihovim na temperaturama 288.15-393.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa. Pokazalo se da se podaci veoma dobro slažu sa $AAD=0.99\%$, $MD=3.73\%$ i $Bias=-0.68\%$ (Slika 5.2.1.3.).

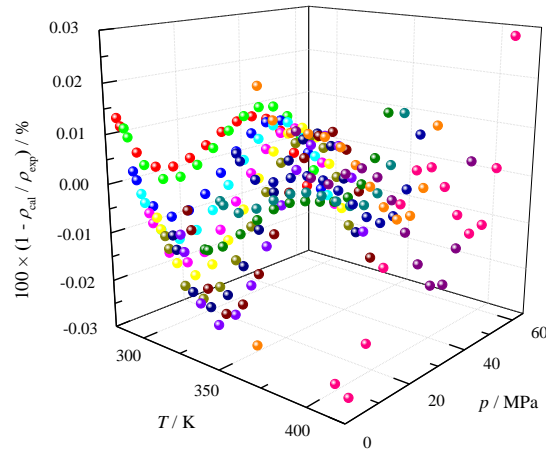
Vrijednosti α_p koje su računate u okviru ove teze su poređene i sa koeficijentima koje prijavljuje Zhou sa saradnicima [167] na temperaturama 293.15-413.15 K i pritiscima 0.1-40 MPa. Srednje apsolutno procentualno odsupanje eksperimentalnih od literaturnih podataka je bilo $AAD=4.17\%$, $MD=6.08\%$ i $Bias=-3.86\%$.

Pored navedenih, i Cardeirine sa saradnicima [168] daje koeficijente izobarskog toplotnog širenja na temperaturama 293.15-333.15, ali samo na atmosferskom pritisku. Rezultati poređenja naših rezultata sa njihovim su bili veoma dobri, $AAD=2.06\%$, $MD=3.71\%$ i $Bias=-1.69\%$.

Imajući u vidu vrijednosti kriterijuma poređenja koje citirani autori prijavljuju u svojim radovima, može se zaključiti da je slaganje rezultata predstavljenih u ovoj tezi sa literaturnim podacima odlično i da pozitivno ocjenjuje objašnjenu proceduru obrade gustina na visokim pritiscima i računanja izvedenih volumetrijskih veličina.

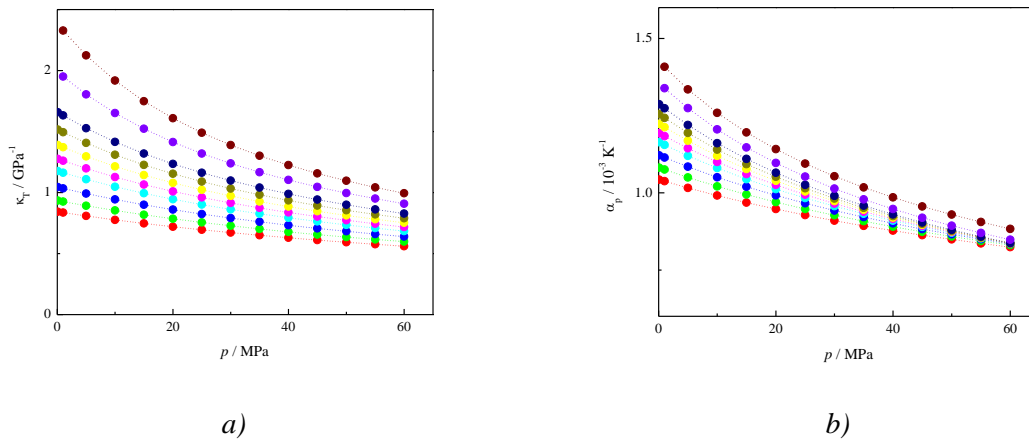
Toluen

Parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine dobijeni prilikom korelisanja gustina toluena na temperaturama 288.15-413.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa su dati u Tabeli 53 u Prilogu. Izuzetno dobro slaganje mjerenih i izračunatih gustina se vidi iz vrijednosti AAD od 0.008 % (oko $0.07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i sa Slike 5.2.1.4.



Slika 5.2.1.4. Odstupanje eksperimentano određenih gustina toluena od vrijednosti izračunatih pomoću modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine

Izračunate vrijednosti koeficijenta izotermnog sabijanja, koeficijenta izobarskog toplotnog širenja, razlike između izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta, kao i unutrašnjeg pritiska toluena na temperaturama 288.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa su date u Tabeli 55 u Prilogu, a zavisnosti κ_T i α_p od temperature su prikazane na Slici 5.2.1.5.



Slika 5.2.1.5 Koeficijenti a) izotermnog sabijanja i b) izobarskog toplotnog širenja za toluen u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

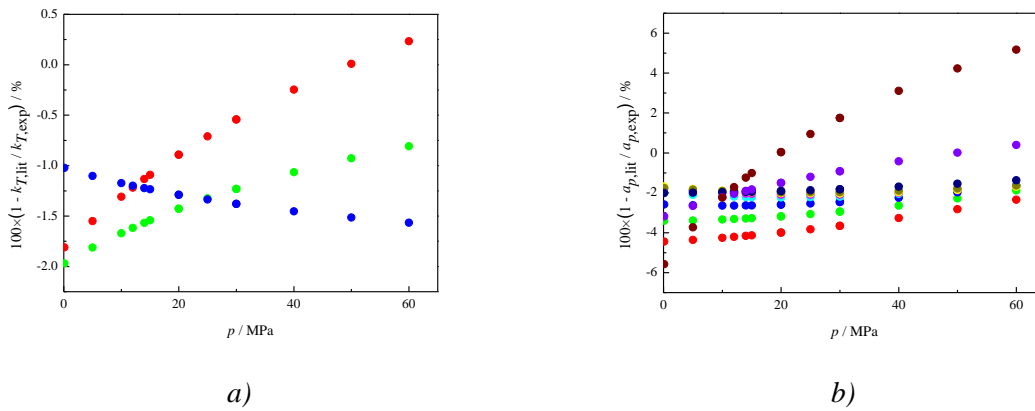
Kod toluena je, takođe, primjećeno karakteristično ponašanje κ_T i α_p . Njihove vrijednosti rastu sa porastom temperature po izobarama, a opadaju kada raste pritisak pri konstantnoj temperaturi. Razlike vrijednosti obje veličine na različitim temperaturama su više na nižim pritiscima nego na višim. Zavisnost koeficijenta izotermnog sabijanja od pritiska ima kvadratan oblik na višim izotermama dok na nižim temperaturama, kao i na višim pritiscima, ta zavisnost teži da postane linearna. Kod koeficijenta izobarskog toplotnog širenja su primjećene slične zavisnosti, ali razlike su značajno manje. Takođe, izoterme teže da se presjeku i taj pritisak, na kome α_p ne zavisi od temperature, očekuje se da je nešto iznad 60 MPa.

Koeficijenti izotermnog sabijanja toluena su poređeni sa podacima koje daju Chorazewski i saradnici [169] na temperaturama 303.15-373.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa. Primjećeno je prilično dobro slaganje sa $AAD=1.19\%$, $MD=1.97\%$ i $Bias=-1.18\%$ (Slika 5.2.1.6.).

Izračunate vrijednosti κ_T su poređene i sa podacima koje je prijavio Zéberg-Mikkelsen sa saradnicima [170] na temperaturama 303.15-333.15 K i pritiscima 0.1-30 MPa. Dobijeni rezultati pokazuju odlično slaganje: $AAD=0.64\%$, $MD=1.48\%$ i $Bias=-0.20\%$. Na istim pritiscima pomenuti autori daju i vrijednosti koeficijenata izobarskog toplotnog širenja

toluena, koji, takođe, imaju veoma dobro slaganje: $AAD=0.71\%$, $MD=2.39\%$ i $Bias=-0.17\%$.

Easteal sa saradnicima [171] je, takođe, dao vrijednosti i koeficijenta izoternskog sabijanja i koeficijenta izobarskog toplotnog širenja na istim uslovima. Poređenje sa podacima određenim u ovom radu je rađeno na temperaturama 288.15-323.15 K i pritiscima do 50 MPa i dobijene se sljedeća odstupanja: za κ_T $AAD=2.48\%$, $MD=4.01\%$ i $Bias=-2.38\%$, a za α_p $AAD=1.29\%$, $MD=2.63\%$ i $Bias=-0.21\%$.



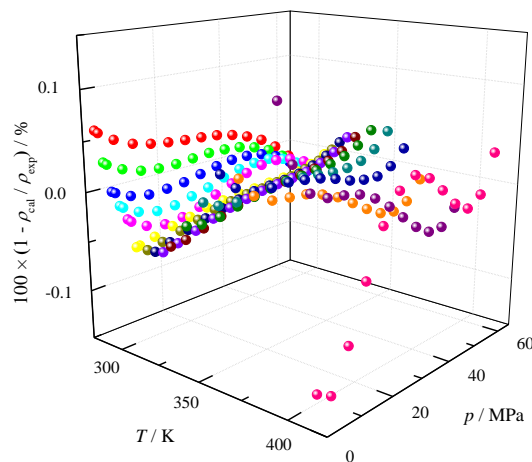
Slika 5.2.1.6. Odstupanje izračunatih vrijednosti a) koeficijenta izoternskog sabijanja od literaturnih vrijednosti [169] i b) koeficijenta izobarskog toplotnog širenja od literaturnih vrijednosti [169] za toluen

Chorazewski i saradnici [169] daju i jednačine za računanje koeficijenta izobarskog toplotnog širenja toluena i ti podaci su poslužili za poređenje sa podacima određenim u ovom radu u širokim opsezima temperature i pritiska, 288.15-413.15 K i 0.1-60 MPa. Srednje apsolutno procentualno odstupanje vrijednosti α_p određenih u ovom radu od literaturnih [169] je 2.45%, maksimalno apsolutno procentualno odstupanje je 5.18%, a $Bias=-2.29\%$ (Slika 5.2.1.6.).

Vrijednosti dobijenih kriterijuma poređenja koeficijenta izoternskog sabijanja i koeficijenta izobarskog toplotnog širenja toluena su zadovoljavajuće niski pa se može zaključiti da se rezultati predstavljeni u ovom radu veoma dobro slažu sa literaturom što dalje ohrabruje primjenu predstavljene procedure za računanje izvedenih volumetrijskih svojstava.

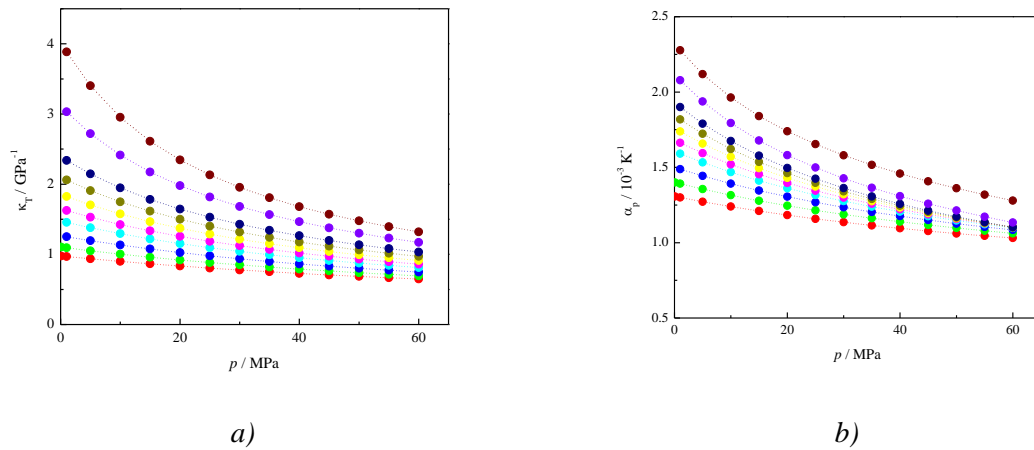
Dihlor-metan

Gustine dihlora metana su, takođe, korelisane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom u cilju dobijanja parametara koji bi omogućili računanje gustina na bilo kojoj temperaturi i pritisku iz opsjega 288.15-413.15 K, odnosno 0.1-60 MPa. Pomenuti parametri su dati u Tabeli 53 u Prilogu, a gustine koje su pomoću njih mogu izračunati se veoma dobro slažu sa eksperimentalno određenim sa $AAD=0.019\%$ (oko $0.25\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) (Slika 5.2.1.7.).



Slika 5.2.1.7. Odstupanje eksperimentalno određenih gustina dihlora metana od vrijednosti izračunatih pomoću modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine

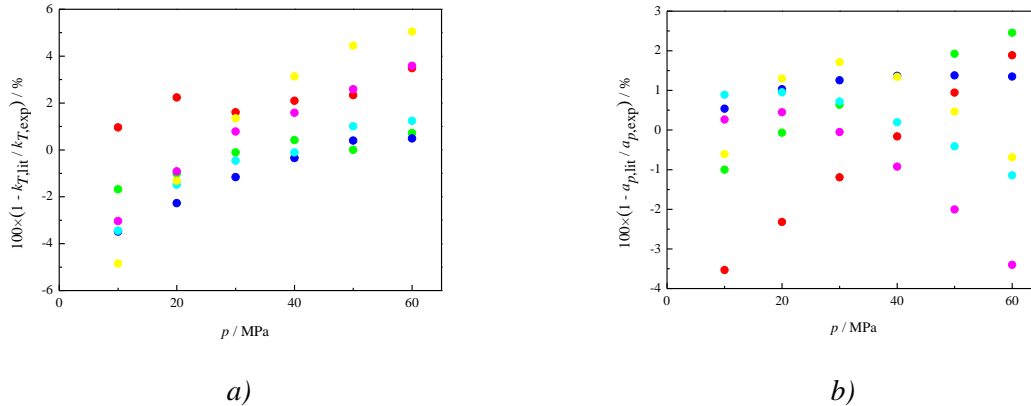
Za dihlora metan su, takođe, određeni koeficijent izotermnog sabijanja, koeficijent izobarskog toplotnog širenja, razlika između izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta i unutrašnji pritisak i date u Tabeli 50 u Prilogu. Vrijednosti koeficijenta izotermnog sabijanja i koeficijenta izobarskog toplotnog širenja su poredene sa literaturnim vrijednostima, a njihove zavisnosti od temperature su prikazane na Slici 5.2.1.8.



Slika 5.2.1.8. Koeficijenti a) izoternskog sabijanja i b) izobarskog toplotnog širenja za dihlor metan u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Očekivano, i κ_T i α_p rastu sa porastom temperature pri stalnom pritisku i opadaju kako pritisak raste duž izoterme. Razlike između vrijednosti posmatranih veličina na različitim temperaturama su više na nižim pritiscima dok se na višim znatno smanjuju. Smanjenje razlika među izotermama na višem pritisku je posebno uočljivo kod koeficijenta izobarskog toplotnog širenja jer će tu na nekom pritisku iznad 60 MPa doći do presjecanja izoterme gdje će α_p biti nezavisno od temperature. Zavisnost obje izvedene veličine od promjene pritiska ima izgled kvadratne funkcije na višim temperaturama i nižim pritiscima. Na nižim temperaturama, kod obje izvedene veličine uočljiva je gotovo linearna zavisnost od pritiska, što je posebno izraženo na višim pritiscima. Razlike među κ_T ili α_p na različitim pritiscima duž jedne izoterme su znatno veće na višim temperaturama nego na nižim.

Gonçalves sa saradnicima [154] je predstavio koeficijente izoternskog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja dihlor-metana na temperaturama 300-400 K i pritiscima 0.1-100 MPa. Primjenom jednačina (2.2.13) i (2.2.18) vrijednosti pomenutih termodinamičkih svojstava su izmjerene, a zatim pomoću parametara modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine, datih u ovom radu, i poređene sa njihovim, na istim temperaturama i pritiscima do 60 MPa. Vrijednosti kriterijuma odstupanja za κ_T su $AAD=1.81\%$, $MD=5.04\%$ i $Bias=0.38\%$, a za α_p $AAD=1.16\%$, $MD=3.53\%$ i $Bias=0.19\%$ (Slika 5.2.1.9.).



Slika 5.2.1.9. Odstupanje izračunatih vrijednosti a) koeficijenta izotermnog sabijanja od literaturnih vrijednosti [154] i b) koeficijenta izobarskog toplotnog širenja od literaturnih vrijednosti [154] a za dihlor-metan

Easteal sa saradnicima [171] daje vrijednosti koeficijenta izotermnog sabijanja i koeficijenta izobarskog toplotnog širenja dihlor-metana na dvije temperature, 288.15 K i 298.15 K, na pritiscima 0.1-50 MPa. κ_T računate u ovoj tezi se slažu sa njihovima sa AAD od 3.20%, MD od 3.56% i Bias od 3.20%, dok je za α_p srednje apsolutno procentualno odstupanje 1.61%, maksimalno apsolutno procentualno odstupanje 3.33% i srednje procentualno odstupanje 1.43%.

Iako su vrijednosti kriterijuma poređenja obje ispitivane izvedene veličine za dihlor-metan nešto veće nego za one dobijene za toluen, mogu se smatrati prihvatljivim, a poređenje sa literaturom dobrim.

Na osnovu predstavljenih rezultata poređenja za *n*-heksan, toluen i dihlor-metan, kako mjerenih i gustina izračunatih iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine, tako i proračunatih vrijednosti koeficijenta izotermnog sabijanja i koeficijenta izobarskog toplotnog širenja sa literaturom, može se zaključiti da je prikazana procedura korelisanja gustina na visokim pritiscima i proračuna izvedenih volumetrijskih veličina dobra, kao i da se sa velikom pouzdanošću može koristiti u daljim istraživanjima.

5.2.2. Čiste supstance

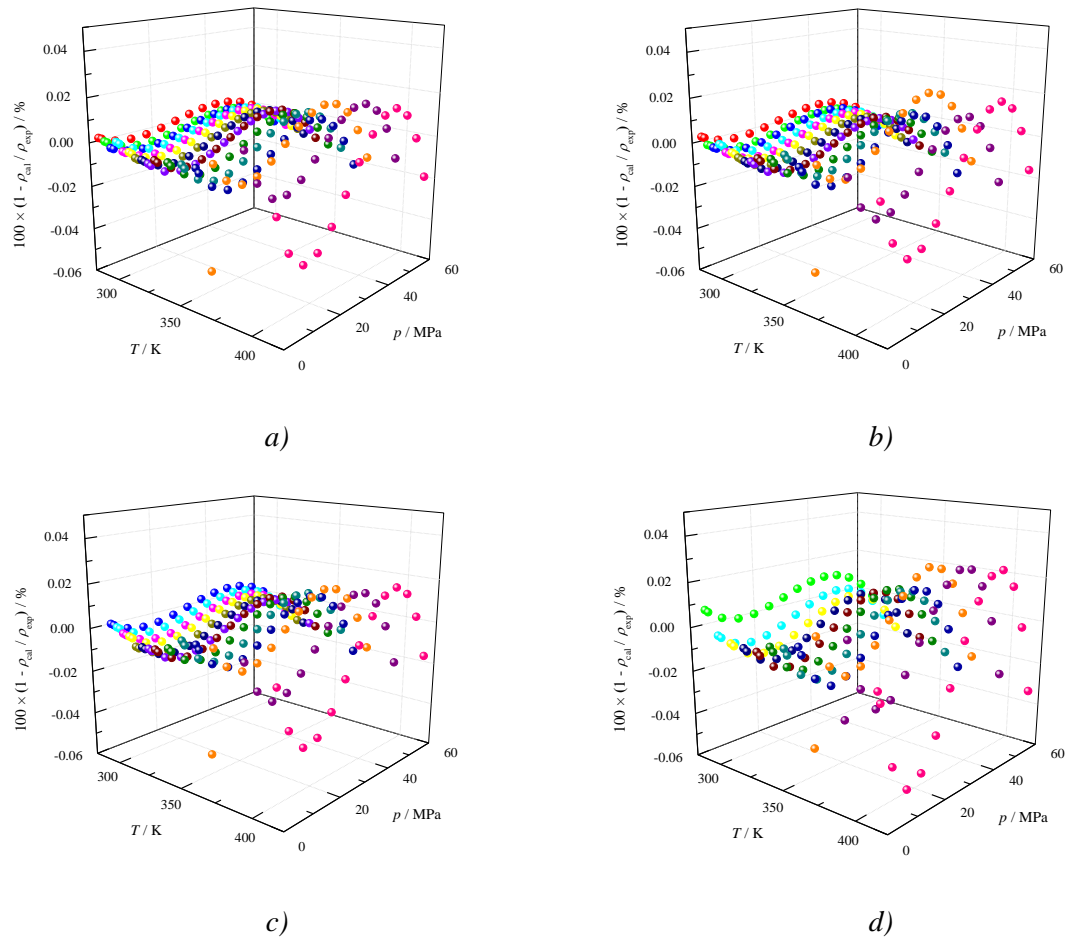
Pošto je na test supstancama pokazano da je predložena procedura obrade gustina i računanja izvedenih veličina pouzdana, ista je primjenjena i na čiste supstance čije su gustine na visokim pritiscima predstavljene u poglavlju 4.

Gustine metil i etil estara suncokretovog ulja, metil estara svinjske masti, kao i EuroDizela, na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima (Tabele 28-31 u Prilogu), su korelisane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom i dobijeni parametri i kriterijumi procjene kvaliteta obrade podataka su dati u Tabeli 57 u Prilogu (Slika 5.2.2.1.).

Pri obradi gustina za referentni je izabran pritisak od 1 MPa, a za parametar C je pretpostavljeno da ne zavisi od temperature. Srednje apsolutno procentualno odstupanje mjerenih od proračunatih vrijednosti je 0.006 % (manje od $0.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za SME, 0.006 % (oko $0.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za SEE, za LME 0.007 % (manje od $0.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), a za čist EuroDizel AAD=0.010 % (oko $0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), što ukazuje na izuzetno dobro slaganje eksperimentalnih i gustina uzoraka koji se mogu izračunati iz jednačine (2.2.1) (Slika 5.2.2.1.). Optimizovani parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine omogućavaju računanje gustina SME i SEE na svim temperaturama u intervalu 288.15-413.15 i pritiscima do 60 MPa, a za LME i EuroDizel su opsjezi temperature nešto niži 298.15-413 K, odnosno 293.15-413.15 K. To što je izabrano da parametar C bude temperaturno nezavisan dovelo je do male korekcije izraza (2.2.13) i (2.2.18), pa se κ_T i α_p računaju na sljedeći način:

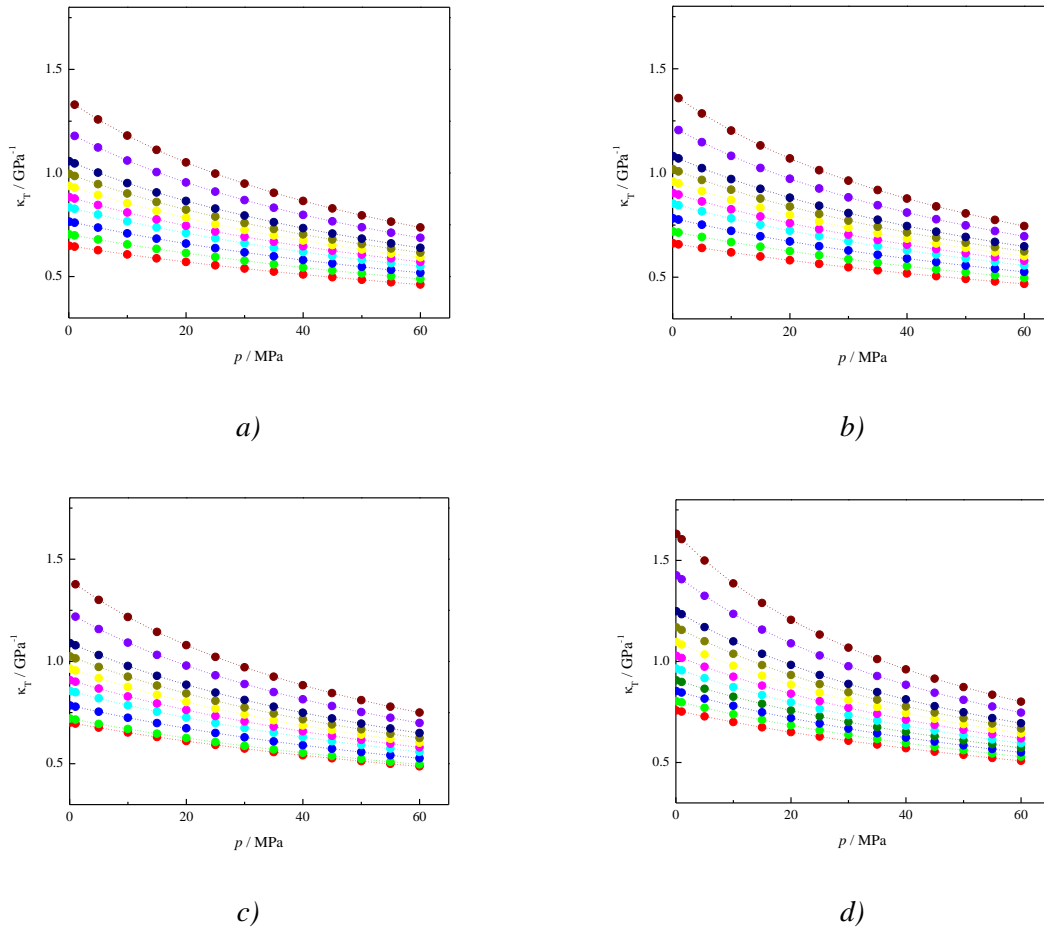
$$\kappa_T = \frac{C}{(B(T) + p) \left(1 - C \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right)} \quad (5.2.2.1)$$

$$\alpha_p = \frac{-\rho^{\text{ref}'}(T)}{\rho^{\text{ref}}(T)} - \frac{C \cdot \frac{B'(T)(p^{\text{ref}} - p)}{(B(T) + p)(B(T) + p^{\text{ref}})}}{\left(1 - C \cdot \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + p^{\text{ref}}} \right)} \quad (5.2.2.2)$$



Slika 5.2.2.1. Odstupanja eksperimentano određenih gustina a) SME, b) SEE, c) LME i d) EuroDizela od vrijednosti izračunatih iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine

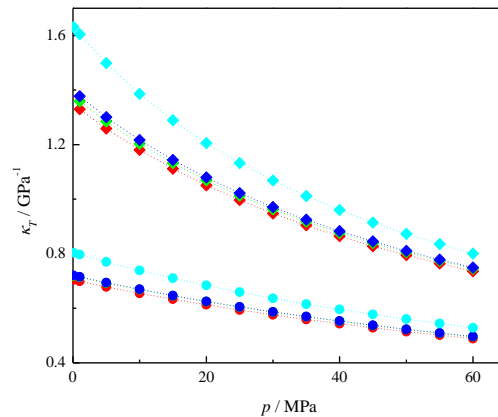
Uvrštavanjem pomenutih parametara u jednačine (5.2.2.1) i (5.2.2.2), takođe se mogu dobiti i vrijednosti izvedenih volumetrijskih veličina na već navedenim opsezima temperature i pritiska. Koeficijenti izoternskog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja, unutrašnji pritisci i razlike između izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta ispitivanih čistih supstanci su dati u Tabelama 58-61 u Prilogu (Slike 5.2.2.2.-5.2.2.9.).



Slika 5.2.2.2. Koeficijent izotermnog sabijanja za a) SME, b) SEE, c) LME i d) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Sa Slike 5.2.2.2. se vidi da koeficijent izotermnog sabijanja svih mjenjenih čistih supstanci ima karakterističan oblik zavisnosti od pritiska po izotermama. Za ispitivane biodizele, kao i za Eurodizel, κ_T raste kada raste temperatura pri konstantnom pritisku i opada sa porastom pritiska po izotermama. Razlike vrijednosti κ_T na različitim izotermama jednog uzorka su više na nižim pritiscima dok se na višim smanjuju i teze da postanu konstantne. Razlike koeficijenta izotermnog sabijanja na različitim pritiscima su više na višim temperaturama i to je uočljivije za EuroDizel nego za biodizele. Što se tiče razlike među uzorcima, κ_T uzoraka biodizela je niža nego EuroDizela, s tim što je biodizel dobijen

iz svinjske masti stišljiviji od biodizela iz suncokretovog ulja među kojima etil estri imaju viši koeficijent izoternskog sabijanja od metil estara (Slika 5.2.2.3.). koeficijenti izentropskog sabijanja uzoraka biodizela su kreću u intervalu $0.461\text{-}1.377\text{ GPa}^{-1}$ na ispitivanim temperaturama i pritiscima, što je u skladu sa literaturom [30], a razlike među njima su male. Sa Slike 5.2.2.3. se može primjetiti i da su razlike u stišljivosti među uzorcima više na nižim pritiscima i na višim temperaturama.



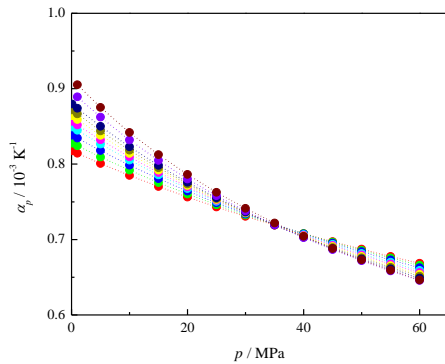
Slika 5.2.2.3. Koeficijenti izoternskog sabijanja za (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) LME i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K

Koeficijenti izobarskog toplotnog širenja čistih uzoraka se, takođe, ponašaju kao što je i očekivano i opadaju kada pritisak raste po izotermama, što je izraženije na višim temperaturama (Slika 5.2.2.4.), dok je zavisnost od promjene temperature nešto složenija. Ono što je tipično za α_p jeste tačka presjeka njegovih izoterma gdje koeficijent izobarskog

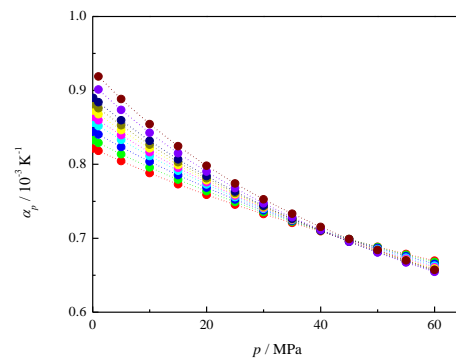
toplотноg širenja ne zavisi od temperature $\left(\frac{\partial \alpha_p}{\partial T}\right)_p = 0$. Za metil estre suncokretovog ulja

pritisak na kom se sjeku izoterme je oko 35 MPa i tu je vrijednost koeficijenta izobarskog toplotnog širenja jedinstvena i iznosi oko $0.72 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ na svim temperaturama. Izoterme α_p etil estara suncokretovog ulja i biodizela dobijenog iz svinjske masti se sjeku malo ispod 45 MPa pri vrijednosti α_p od oko $0.70 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$. Za čist EuroDizel pritisak na kome α_p ne zavisi od temperature je nešto viši, oko 50 MPa, i koeficijent izobarskog toplotnog širenja iznosi oko $0.68 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ na svim ispitivanim temperaturama (Slika 5.2.2.4.). Na pritiscima ispod

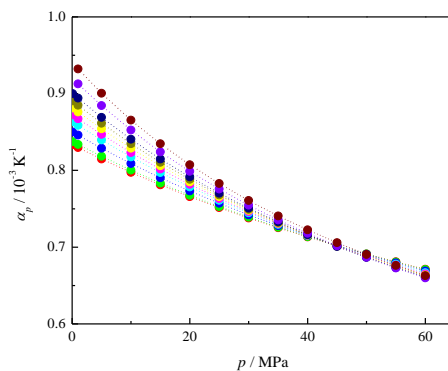
navedenih koeficijent izobarskog toplotnog širenja opada kad se snižava temperatura pri konstantnom pritisku, a iznad pritiska presjeka izoterme α_p raste kako se snižava temperatura. Razlike u α_p na različitim temperaturama opadaju sa porastom pritiska do tačke presjeka izoterme kada su jednake 0 i na pritiscima iznad tog kreću da rastu kako raste pritisak pa su u ovdje ispitivanom opsegu pritiska najviše na atmosferskom.



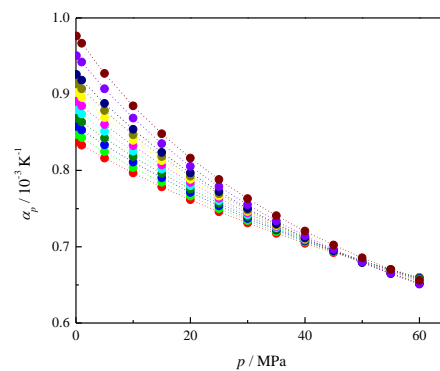
a)



b)



c)

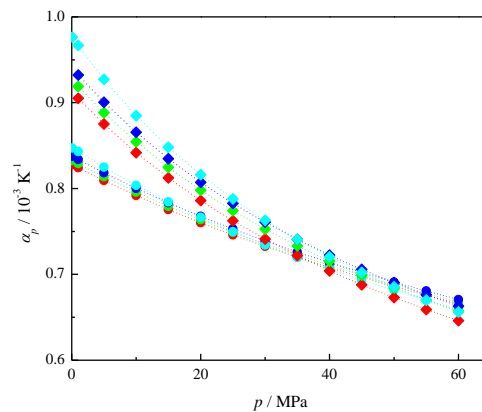


d)

Slika 5.2.2.4. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja za a) SME, b) SEE, c) LME i d) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Poznato je da je koeficijent izobarskog toplotnog širenja povezan sa gubitkom snage motora - viši koeficijent izobarskog toplotnog širenja izaziva veći gubitak snage usljed zagrijavanja goriva [30,49]. Poređenje dobijenih vrijednosti za čiste supstance je pokazalo

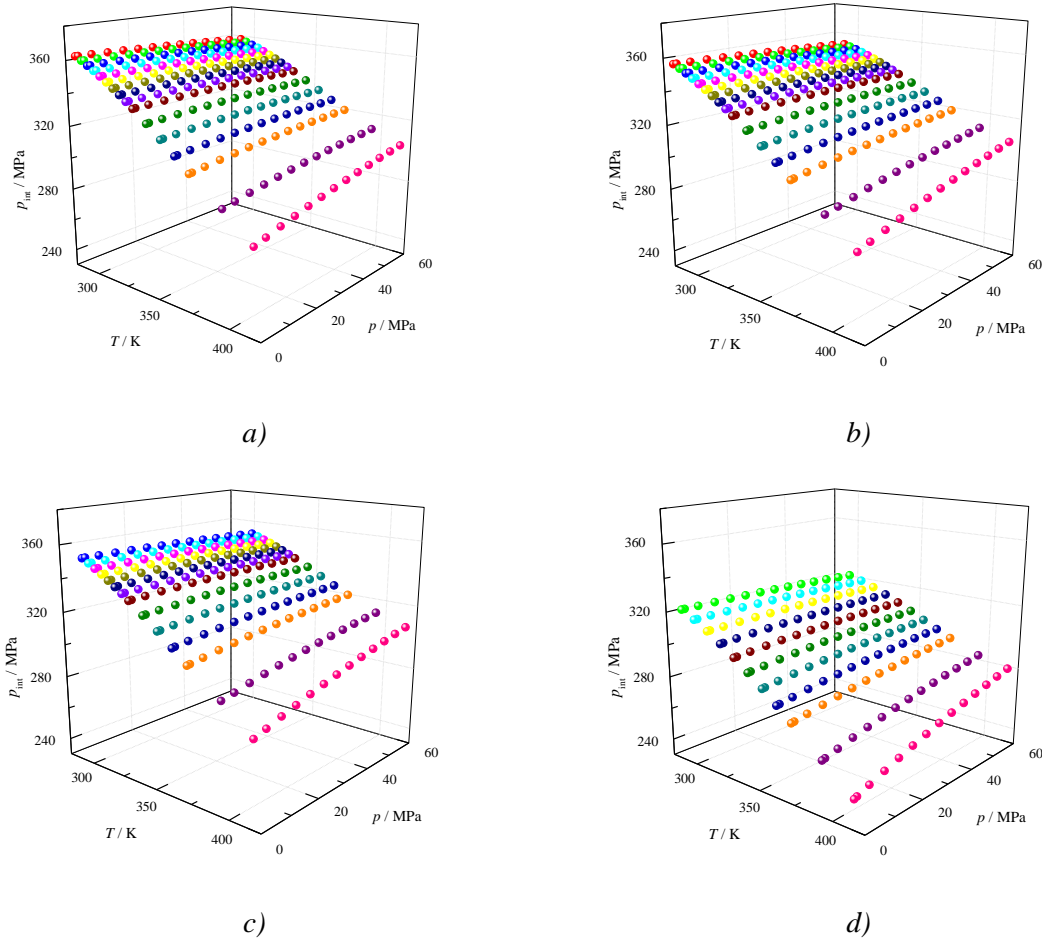
da je α_p metil estara svinjske masti veći nego za oba biodizela dobijene iz suncokretovog ulja, među kojima su vrijednosti za etil estre nešto više nego za metil estre (Slika 5.2.2.5.). Vrijednosti α_p za ispitivane biodizele se nalaze u opsjegu $(0.646-0.932) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ što se slaže sa rezultatima koji se mogu naći u literaturi za različite biodizele [30], a treba napomenuti i da su razlike među uzorcima male. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja EuroDizela je viši nego za ispitivane biodizele što ukazuje da upotreba biodizela u dizel motorima, pored ranije definisanih prednosti dovodi i do smanjenja gubitaka snage motora. Razlike među α_p uzoraka su više na višim temperaturama pri konstantnom pritisku, a sa porastom pritiska prvo opadaju do pritiska presjeka izoterma pojedinih uzoraka pa potom rastu.



Slika 5.2.2.5. Koeficijenti izobarsko toplotnog širenja za (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) LME i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K

Unutrašnji pritisak je, takođe, veoma bitna veličina koja se može izračunati iz mjerenih gustina. Za sve mjerene čiste uzorke unutrašnji pritisak opada sa porastom temperature pri konstantnom pritisku. Uticaj promjene pritiska na promjenu unutrašnje energije usljed promjene zapremine nije toliko lako uočljiv. Za SME na temperaturi 323.15 K i nižim unutrašnji pritisak opada kada pritisak izotermno raste, a na višim raste sa porastom pritiska (Slika 5.2.2.6.). Za SEE i LME granična temperatura je oko 318.15 K, ispod nje unutrašnji pritisak opada, a iznad nje raste po izotermama kada se povećava pritisak (Slika 5.2.2.6.). Temperatura na kojoj se mijenja zavisnost p_{int} od promjene pritiska kod EuroDizela je nešto niža, oko 313.15 K. Razlike među pojedinačnim temperaturama po

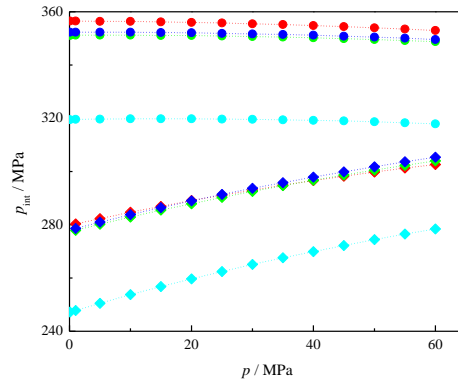
pitanju p_{int} su veće na nižim pritiscima, dok su razlike na različitim pritiscima izraženije duž viših izoterma. Prieto sa saradnicima [30] je posvetio značajnu pažnju analiziranju unutrašnjeg pritiska različitih biodizela i vrijednosti koje smo mi dobili se dobro uklapaju među rezultate koje oni predstavljaju za 19 uzoraka biodizela na atmosferskom pritisku.



Slika 5.2.2.6. Unutrašnji pritisak za a) SME, b) SEE, c) LME i d) EuroDizel u zavisnosti od temperature i pritiska

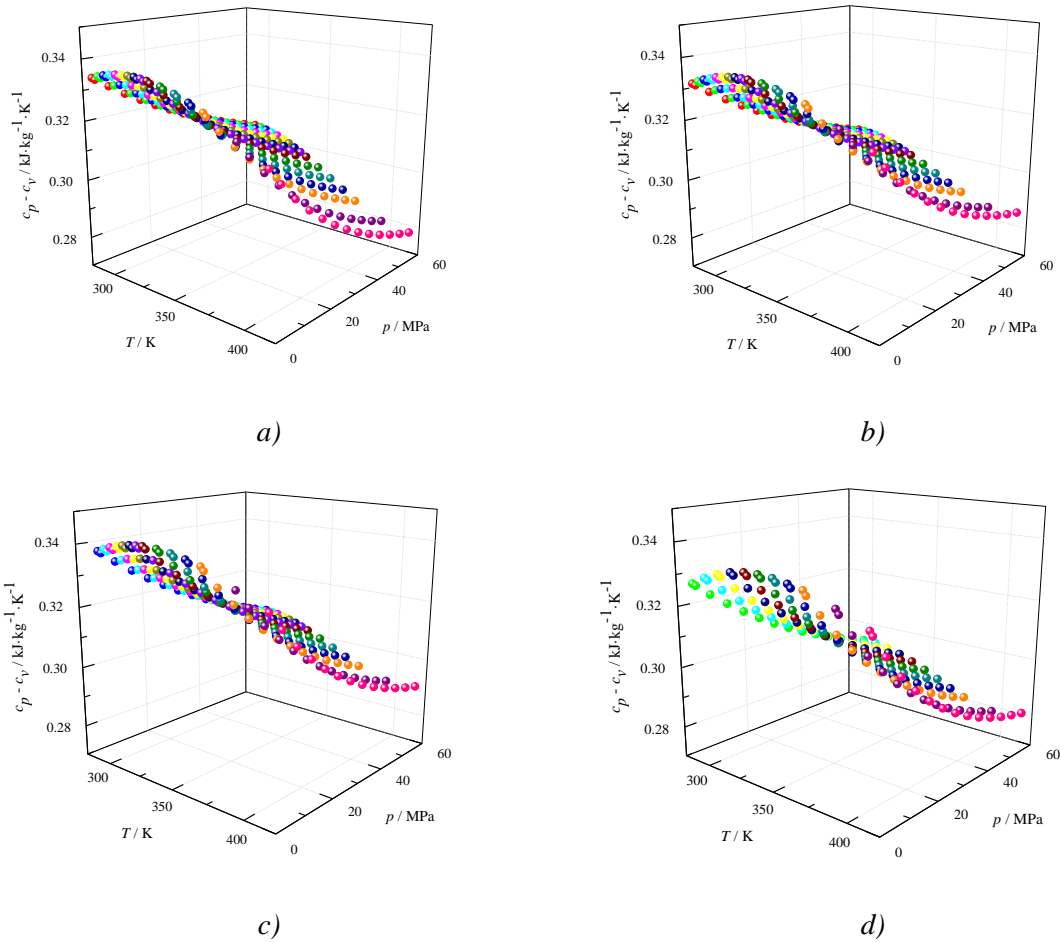
Vrijednosti unutrašnjeg pritiska SME su više nego za SEE i LME, s tim što je p_{int} SEE nešto niži nego kod LME. Razlike među uzorcima biodizela su prilično male tako da na najvišim ispitivanim temperaturama dolazi do precjecanja njihovih izoterma pa na pritiscima do 30 MPa važi navedeni odnos p_{int} uzoraka biodizela, a iznad tog pritiska unutrašnji pritisak raste u nizu $\text{SME} < \text{SEE} < \text{LME}$ (Slika 5.2.2.7.). S druge strane, ispitivani biodizeli imaju znatno veći unutrašnji pritisak nego EuroDizel. Razlike p_{int} među

čistim supstancama su nešto više na nižim temperaturama i pritiscima, mada je njihova zavisnost od temperature i pritiska prilično slaba.

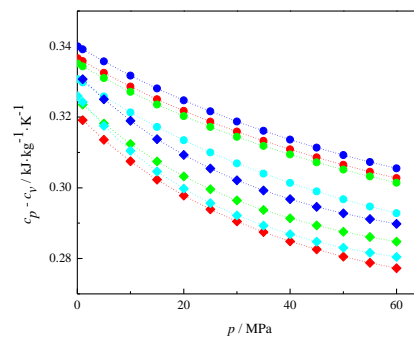


Slika 5.2.2.7. Unutrašnji pritisak za (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) LME i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K

Razlike između izobarskog specifičnog toplotnog kapaciteta i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta opadaju sa porastom pritiska po izotermama, a razlike u dobijenim vrijednostima među različitim izotermama rastu kako se povećava pritisak. Zavisnost od promjene temperature je nešto složenija, do određene temperature razlike rastu sa porastom temperature pri konstantnom pritisku da bi kasnije nastavile da opadaju. Ta prevojna temperatura je (na atmosferskom pritisku), za SME i SEE oko 328.15 K, za LME oko 333.15 K, a za EuroDizel oko 343.15 K (Slika 5.2.2.8). Temperatura, iznad koje se mijenja zavisnost $c_p - c_v$ od temperature, opada sa porastom pritiska tako da pri najvišim pritiscima na kojima su vršena mjerenja za ovu tezu javlja se samo opadanje razlika specifičnih toplotnih kapaciteta sa porastom temperature. Biodizeli imaju veće vrijednosti $c_p - c_v$ u odnosu na EuroDizela, a među njima LME imaju veću razliku toplotnih kapaciteta nego biodizeli dobijeni iz suncokretovog ulja. SME imaju veće $c_p - c_v$ od SEE, ali ne na svim temperaturama na kojima su vršena mjerenja - na najvišim temperaturama iz ispitivanog opsega SME imaju najniže $c_p - c_v$, niže i od EuroDizela (Slika 5.2.2.9).

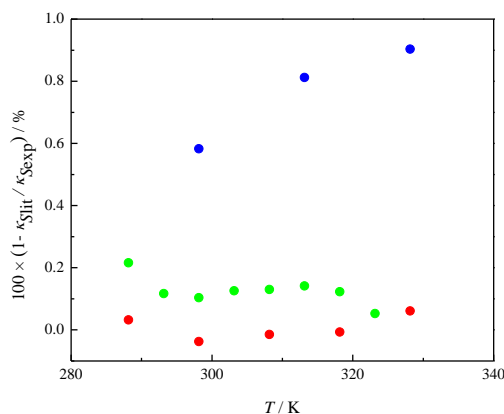


Slika 5.2.2.8. Razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) SME, b) SEE, c) LME i d) EuroDizel u zavisnosti od temperature i pritiska



Slika 5.2.2.9. Razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) LME i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K

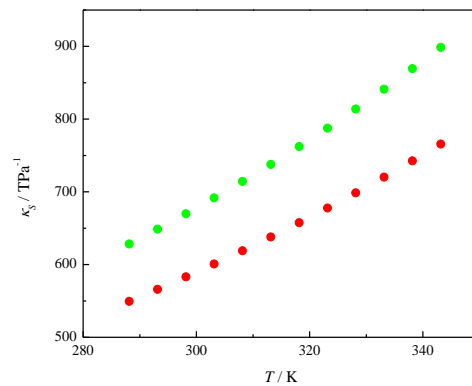
U poglavlju 4 je objašnjeno da su za potrebe provjere kalibracije uređaja DSA 5000 M, kao i boljeg razumjevanja ternernih smješa dizela sa biodizelom i etanolom, mjerena i termodinamička i transportna svojstva etanola na atmosferskom pritisku. Iz izmjerenih gustina i brzina zvuka je moguće odrediti i koeficijent izentropskog sabijanja, što dalje omogućava računanje intermolekulske slobodne dužine u etanolu. Dobijene vrijednosti su date u Tabeli 62 u Prilogu, a njihova zavisnost od temperature je predstavljena na odgovarajućim dijagramima za spomenute ternerne smješe. Imajući u vidu da su merenja prikazana u ovom radu bila prva merenja na aparatu DSA 5000 M u Laboratoriji za određivanje hemijsko-inženjerskih parametara, bilo je veoma važno da se u literaturi mogu naći vrijednosti za izentropsku kompresibilnost etanola radi poređenja podataka. Vercher sa saradnicima [162] je, pored gustine i brzine zvuka, dao i koeficijente izentropskog sabijanja za etanol sa kojima se izračunata vrijednosti veoma dobro slažu, $AAD=0.031\%$ (oko 0.326 TPa^{-1}) na temperaturama 288.15-328.15 K (Slika 5.2.2.10.). Dobro slaganje je primjećeno i kod poređenja sa rezultatima Iglesiasa i saradnika [163] na temperaturama 288.15-323.15 K, AAD je bilo 0.126% (oko 1.280 TPa^{-1}) (Slika 5.2.2.10.), a nešto slabije sa koeficijentim izentropskog sabijanja koje je objavila García-Abarrio sa svojim saradnicima [164] na temperaturama 298.15-328.15 K, $AAD=0.766\%$ (oko 8.485 TPa^{-1}) (Slika 5.2.2.10.). Dobro slaganje koje je dobijeno i prilikom poređenja koeficijenta izentropskog sabijanja, kao i u slučaju poređenja gustine i brzine zvuka, je još jedna potvrda preciznosti i pouzdanosti mjerenja koja se izvode na DSA 5000 M uređaju.



Slika 5.2.2.10. Odstupanje koeficijenta izentropskog sabijanja etanola od literaturnih vrijednosti

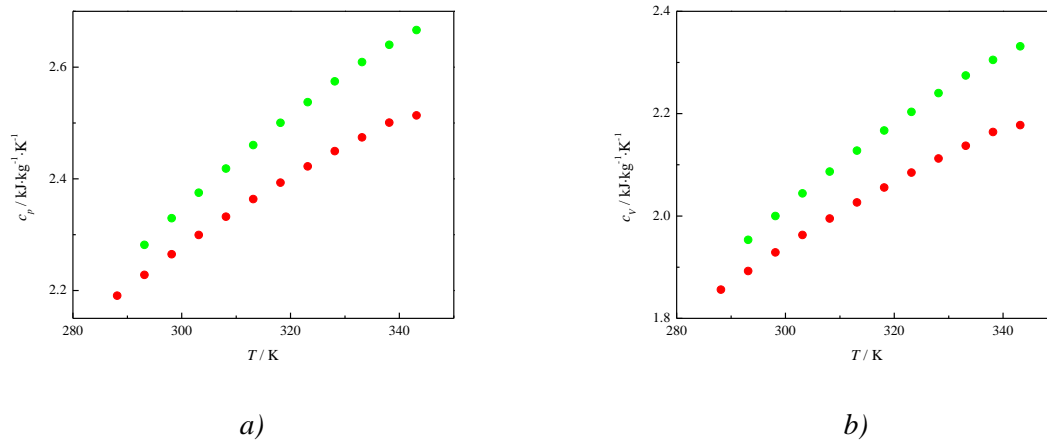
Gustine etanola na pritiscima iznad atmosferskog, kao i izvedene veličine, su izmjerene na prikazanoj aparaturi za mjerenje gustina na visokim pritiscima u istoj laboratoriji, ali ne u okviru ovog doktorskog rada, pa su vrijednosti preuzete iz literature [172]. Na osnovu literaturnih vrijednosti za koeficijent izotermnog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja, moguće je odrediti i specifični toplotni kapacitet pri konstantnom pritisku, a dalje iz njega i specifični toplotni kapacitet pri konstantnoj zapremini. Vrijednosti pomenutih veličina su date u Tabeli 62 u Prilogu, a uticaj temperature na njih je prikazan uoporedo sa ternernim smješama na Slikama 5.2.4.19.-5.2.4.21.

Pošto su za metil estre suncokretovog ulja i EuroDizel mjerene brzine prostiranja zvuka u uzorku, moguće je odrediti i koeficijent izentropskog sabijanja i intermolekulsku slobodnu dužinu za ove čiste komponente, kao i specifične toplotne kapacitete pri stalnom pritisku i pri stalnoj zapremini. Izračunate vrijednosti su date u Tabeli 63 u Prilogu, a njihove zavisnosti od temperature su predstavljene na Slikama 5.2.2.11. i 5.2.2.12.



Slika 5.2.2.11. Koeficijent izentropskog sabijanja za (●) SME i (●) EuroDizel

κ_S linearno raste sa porastom temperature na atmosferskom pritisku i da je taj rast nešto izraženiji za dizel nego za SME (Slika 5.2.2.11.). Dizel gorivo ima veće vrijednosti κ_S nego biodizel na istoj temperaturi što znači da će gustina dizel goriva više porasti kada se poveća pritisak pri konstantnoj entropiji nego što bi to bio slučaj kod biodizela. Intermolekulska slobodna dužina se ponaša slično κ_S , linearno raste sa porastom temperature i, takođe, je veća u EuroDizelu nego u SME što se slaže sa većim koeficijentom izentropskog sabijanja jer pokazuje da unutar uzorka ima više prostora za sabijanje.



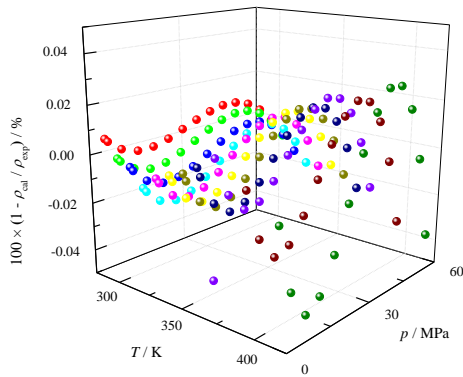
Slika 5.2.2.12. Specifični toplotni kapaciteti pri a) konstantnom pritisku i b) konstantnoj zapremini za (●) SME i (●) EuroDizel

Izobarski, kao i izohorski specifični toplotni kapaciteti dizel i biodizela rastu sa porastom temperature na atmosferskom pritisku i razlika između toplotnih kapaciteta na različitim temperaturama je veća kod dizel goriva, nego kod biodizela (Slika 5.2.2.12.). Može se primjetiti i da su ispitivani toplotni kapaciteti veći za dizel nego biodizel i to je jedan od nedostataka biodizela koji bi se mogao prevazići njegovim miješanjem sa dizel gorivom.

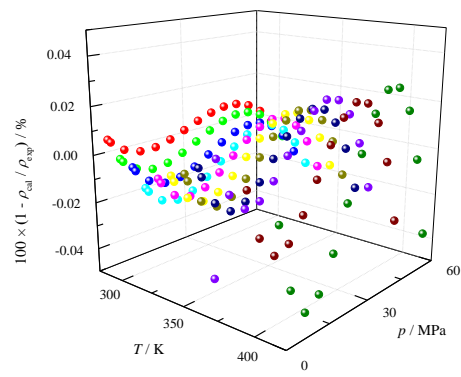
5.2.3. Binarne smješe

Gustine binarnih smješa EuroDizela sa 10 vol% i 20 vol% metil estara suncokretovog ulja, ED90SME10 i ED80SME20, i sa 10 vol% i 20 vol% etil estara istog ulja, ED90SEE10 i ED80SEE20, redom, su korelisane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom i dobijeni parametri su dati u Tabeli 58 u Prilogu, zajedno sa dobijenim odstupanjima proračunatih od izmjerenih gustina. Pri obradi gustina izabran je referentni pritisak od 1 MPa, parametar C je tretiran kao temperaturno nezavisan, a kao funkcija cilja koju je trebalo minimizovati je korišćena standardna devijacija. Srednje apsolutno procentualno odstupanje, mjerenih gustina na visokim pritiscima od gustina koje se mogu izračunati iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine korišćenjem dobijenih parametara, je 0.010 % (oko $0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za sve četiri ispitivane smješe EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja (Slika 5.2.3.1).

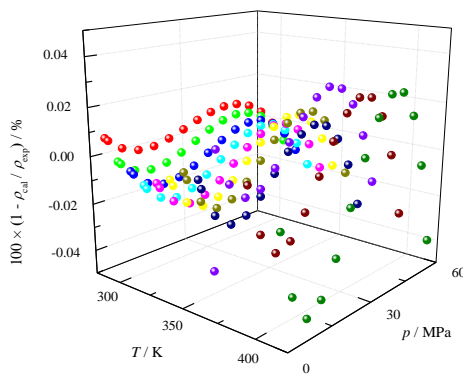
Pomoću optimizovanih parametara modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine izračunate su vrijednosti izvedenih termodinamičkih svojstava: koeficijenta izotermnog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja, unutrašnjih pritisaka i razlika između izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za posmatrane binarne smješe EuroDizela i biodizela dobijenih iz suncokretovog ulja i date u Tabelama 65-68 u Prilogu. Izvedene termodinamičke veličine su, kao i ranije gustine, određene na temperaturama 293.15-413.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa, primjenom jednačina (2.2.9.)-(2.2.25.). Kay-ovo jednostavno pravilo miješanja je primjenjeno na izvedena volumetrijska svojstva i pokazalo se da se ono, sa zadovoljavajućom pouzdanošću, može koristiti za proračun nabrojanih veličina smješa iz njihovih vrijednosti za čiste komponente koje ulaze u sastav smješe.



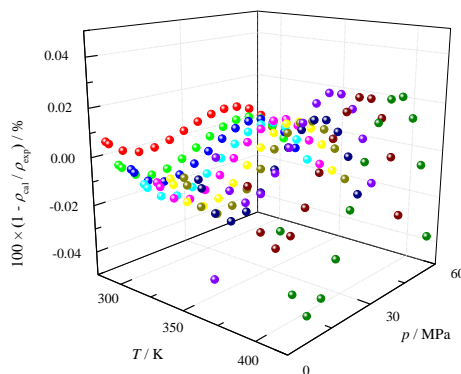
a)



b)



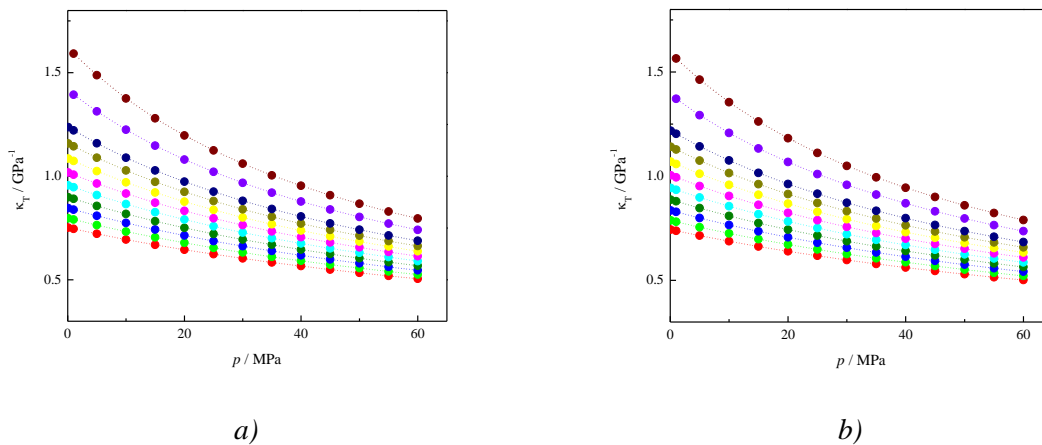
c)



d)

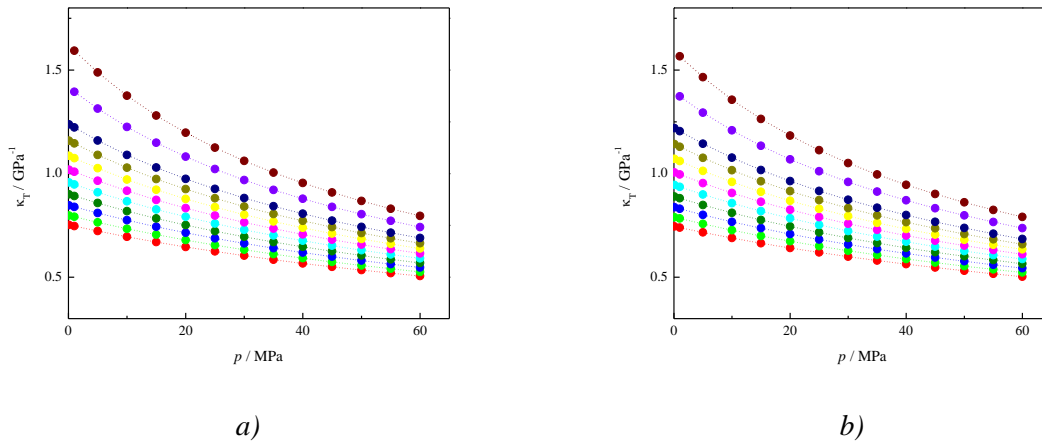
Slika 5.2.3.1. Odstupanje eksperimentalno određenih gustina binarnih smješa EuroDizela sa estrima suncokretovog ulja a) ED90SME10, b) ED80SME20, c) ED90SEE10 i d) ED80SEE20 od vrijednosti izračunatih iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine

Na Slici 5.2.3.2. je data zavisnost koeficijenta izoternskog sabijanja binarnih smješa EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja od pritiska. Uočljiv je karakterističan oblik izoterme za ovu vrstu dijagrama, koeficijent izoternskog sabijanja raste sa porastom temperature pri konstantnom pritisku i opada kako pritisak raste duž izoterme. Promjena κ_T duž izoterme je izraženija na višim temperaturama, a razlike među stišljivostima smješa na različitim temperaturama pri konstantnom pritisku su veće na nižim pritiscima nego na višim.



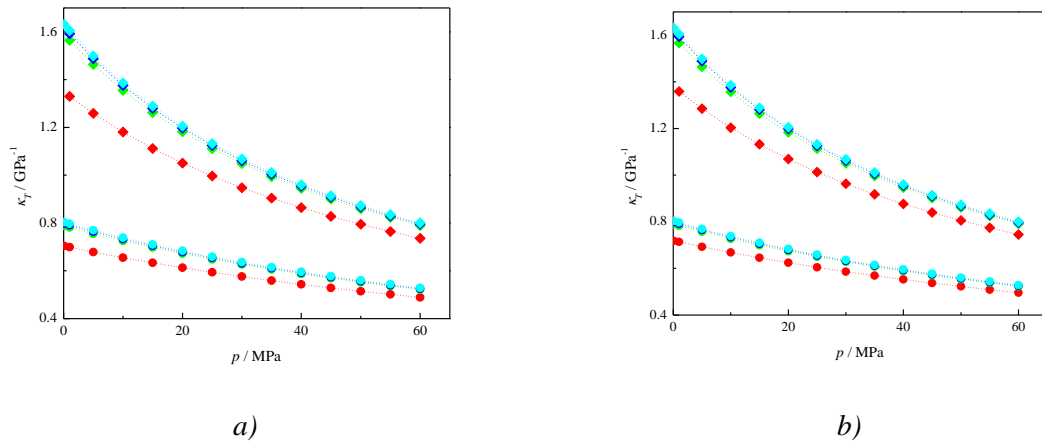
Slika 5.2.3.2. Koeficijent izoternskog sabijanja za a) ED90SME10 i b) ED80SME20 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Uticaj promjene temperature i pritiska na koeficijent izoternskog sabijanja binarnih smješa EuroDizela sa etil estrima suncokretovog ulja je prikazan na Slici 5.2.3.3. Vidi se da je ponašanje smješa Eurodizela sa SEE gotovo identično onom kod smješa sa SME, kao, uostalom, i kod svih mjerenih uzoraka. Dakle, κ_T raste kada se povećava temperature pri konstantnom pritisku i to je uočljivije na nižim pritiscima, a pri porastu pritiska opada duž izoterme i taj uticaj je jači na višim temperaturama. SME imaju malo manje vrijednosti koeficijenta izoternskog sabijanja u odnosu na SEE pa su tako i smješe EuroDizela sa etil estrima nešto stišljivije nego njegove smješe sa metil estrima suncokretovog ulja.

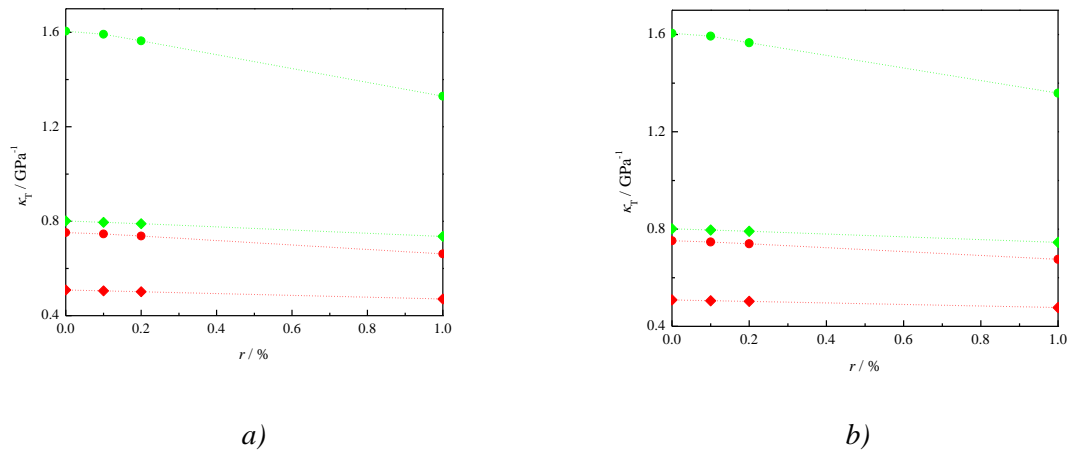


Slika 5.2.3.3. Koeficijent izotermnog sabijanja za a) ED90SEE10 i b) ED80SEE20 ED80SME20 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Ono što se može primjetiti jeste i da su smješe sa manjim udjelom biodizela stišljivije nego one sa većim, a razlog za to je veća κ_T EuroDizela u odnosu na oba biodizela dobijena iz suncokretovog ulja (Slika 5.2.3.4.). Koeficijent izotermnog sabijanja binarnih smješa EuroDizela sa biodizelima opada kako raste udio biodizela u smješi i to se može predskazati primjenom Kay-ovog pravila mješanja (jednačina (4.4.2)) gdje su umjesto gustina uvrštene odgovarajuće vrijednosti κ_T . Srednje apsolutno procentualno odstupanje vrijednosti proračunatih iz jednačine (2.2.13) i onih dobijenih primjenom Kay-ovog pravila mješanja (jednačina (4.4.2)) su 0.260 % (oko 0.002 GPa^{-1}) i 0.324 % (manje od 0.003 GPa^{-1}) redom za ED90SME10 i ED80SME20, a za smješe EuroDizela sa etil estrima suncokretovog ulja AAD su manje od 0.206 % (manje od 0.002 GPa^{-1}). Dobro slaganje ova dva seta podataka potvrđuje ispravnost korišćenja Kay-ovog jednostavnog pravila mješanja za računanje koeficijenta izotermnog sabijanja binarnih smješa Eurodizela sa biodizelom iz vrijednosti dobijenih za čiste supstance koje ulaze u sastav smješa. Očekivano, sa Slike (5.2.3.5.) se vidi i da su razlike među κ_T čistih biodizela, Eurodizela i njihovih smješa više na višim temperaturama nego na nižim pri konstantnom pritisku i da se smanjuju pri izotermnom rastu pritiska pa su tako smješe i čiste komponente gotovo jednako stišljive na najnižim mjerenim temperaturama i najvišim pritiscima.



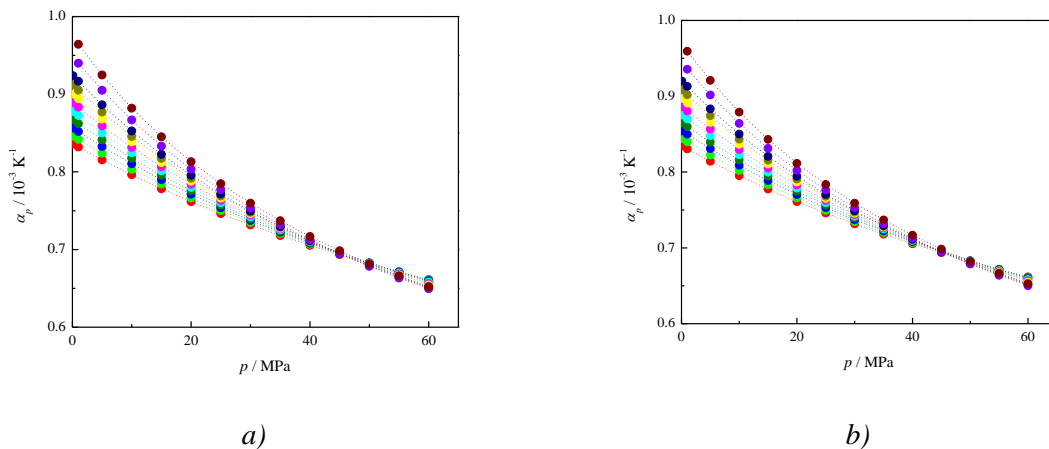
Slika 5.2.3.4. Koeficijenti izotermnog sabijanja za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SME10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SEE10 i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K



Slika 5.2.3.5. Koeficijenti izotermnog sabijanja na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K i na (●, ◆) 1 MPa i (●, ◆) 60 MPa u zavisnosti od udjela biodizela

Koeficijent izobarskog toplotnog širenja opada sa porastom pritiska duž izoterme i razlika između vrijednosti na nižim i višim pritiscima je znatno veća na višim temperaturama. Na Slikama 5.2.3.6. i 5.2.3.7. su predstavljene zavisnosti α_p od pritiska redom za binarne smješe EuroDizela sa metil i etil estrima suncokretovog ulja i očigledno je da one imaju oblik karakterističan za ovu veličinu sa presjekom izoterme. Pritisak na kom je α_p nezavisan od temperature je za smješe EuroDizela sa SME oko 45 MPa i koeficijent izobarskog

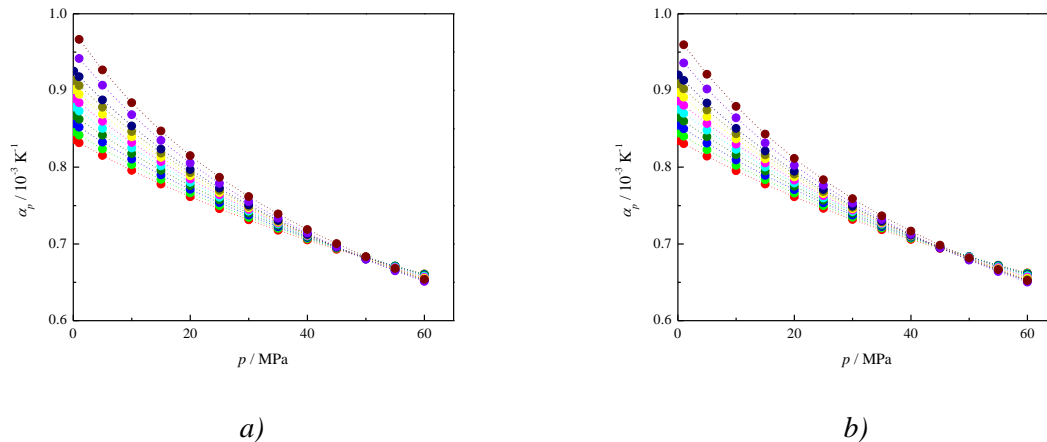
toplотноg širenja na tom pritisku ima vrijednost oko $0.695 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ na svim temperaturama za obje smješe. Za smješe EuroDizela sa 10 vol% etil estara suncokretovog ulja pritisak presjeka izoterma α_p je oko 50 MPa i tu je α_p oko $0.682 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, a za smješe sa 20 vol% SEE α_p je oko $0.696 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ na svim izotermama na 45 MPa. Na pritiscima ispod navedenih koeficijent izobarskog toplotnog širenja raste sa porastom temperature, dok je na pritiscima većim od onog presjeka izoterma ponašanje α_p obrnuto – opada sa porastom temperature pri konstantnom pritisku. Razlike među α_p na različitim temperaturama su veće na nižim pritiscima, blizu atmosferskog, i opadaju sa porastom pritiska do pritiska presjeka gdje su jednake 0 i potom kreću da rastu sa porastom pritiska (Slika 5.2.3.8.).



Slika 5.2.3.6. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja za a) ED90SME10 i b) ED80SME20 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K i (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

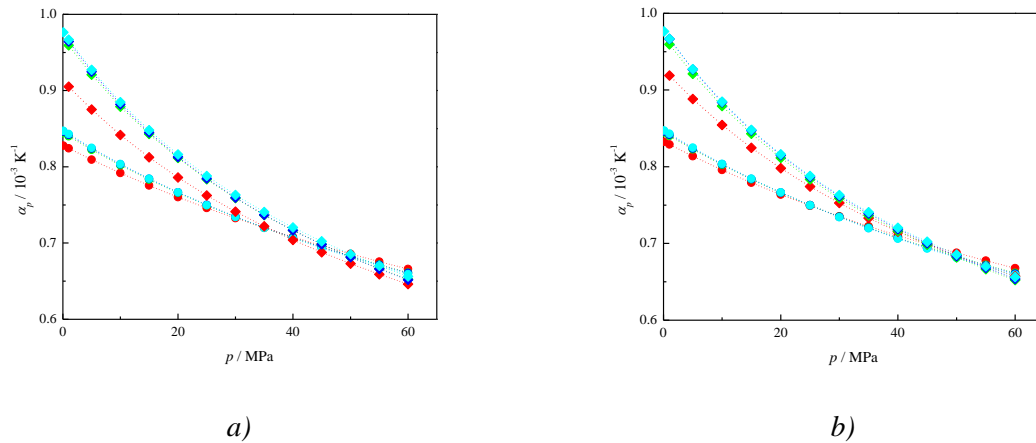
Zavisnost α_p od udjela biodizela je, takođe, složena. Na nižim pritiscima, koeficijent izobarskog toplotnog širenja čistog EuroDizela je veći nego čistih biodizela i razlike su veće na višim temperaturama. Na višim pritiscima odnos je obrnut, čisti biodizeli su stišljiviji od EuroDizela i razlike su veće na nižim temperaturama, iako su prilično male (Slika 5.2.3.10). Vrijednosti α_p za smješe biodizela sa EuroDizelom se nalaze između vrijednosti za čiste komponente i nešto su veće za smješe sa SEE nego sa SME i na njih se, takođe, može primjeniti Kay-ovo pravilo miješanja, jednačina (4.4.2), gdje se uključuje odgovarajuće vrijednosti α_p čistih komponenti. Slaganje koeficijenata izobarskog toplotnog širenja izračunatih iz jednačine (2.2.18) sa vrijednostima proračunatim primjenom Kay-

ovog pravila miješanja je prilično dobro sa AAD od oko 0.138 % i 0.163 % (oko $0.001 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) za ED90SME10 i ED80SME20 i 0.127 % i 0.098 % (oko $0.001 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) za ED90SEE10 i ED80SEE20, redom.

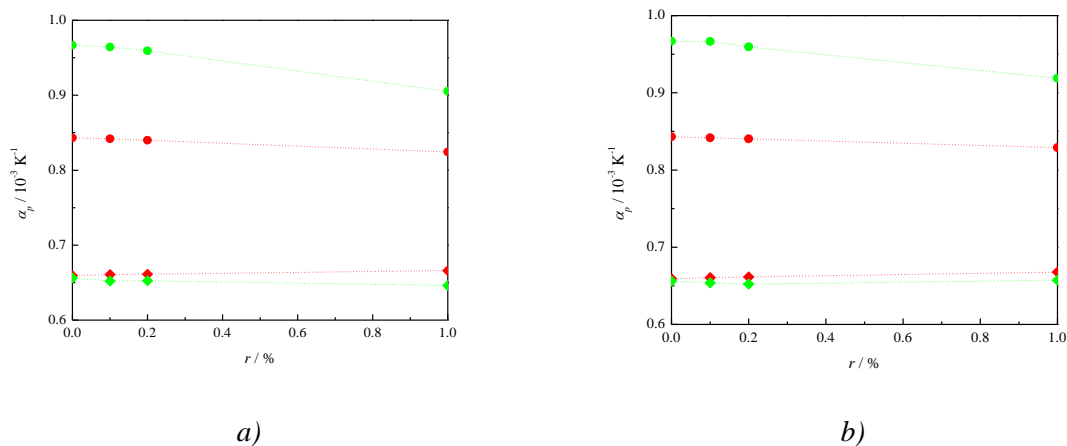


Slika 5.2.3.7. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja za a) ED90SEE10 i b) ED80SEE20 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Poznavanje vrijednosti izobarskog toplotnog širenja je veoma bitno jer utiče na snagu motora, što je veći α_p to će prilikom zagrijavanja goriva u dizel motoru doći do većeg smanjivanja gustine i smanjiće se ubrizgana masa goriva, pošto se ubrizgava određena zapremina goriva, što dalje dovodi do povećanja gubitka snage motora. Prema dobijenim vrijednostima α_p za smješe EuroDizela sa biodizelom može se zaključiti da na nižim pritiscima dodavanje biodizela u dizel goriva doprinosi smanjenju gubitka snage motora usljed zagrijavanja goriva, dok je na višim pritiscima bolje koristiti čist EuroDizel mada su razlike gotovo zanemarljive (Slika 5.2.3.9.).

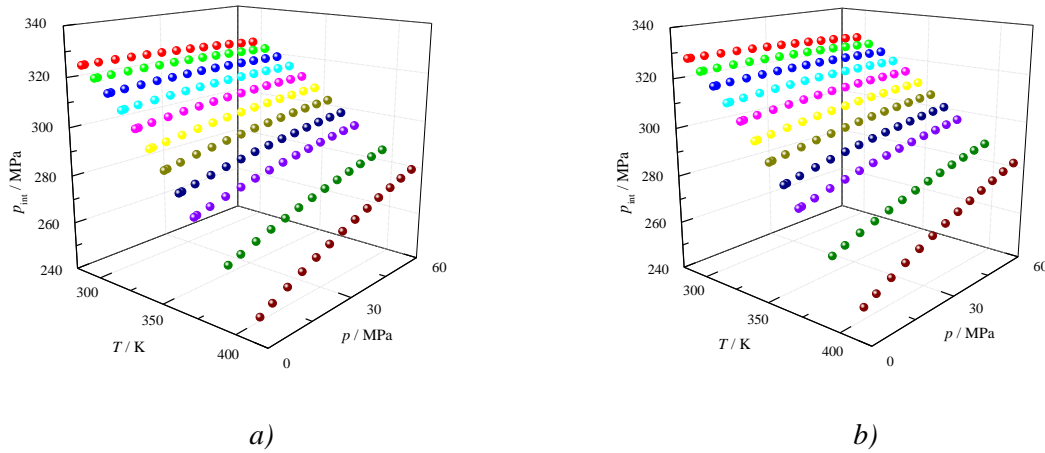


Slika 5.2.3.8. Koeficijenti izobarskog toplotnog širenja za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SME10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SEE10 i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15



Slika 5.2.3.9. Koeficijenti izobarskog toplotnog širenja na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K i na (●, ◆) 1 MPa i (●, ◆) 60 MPa u zavisnosti od udjela biodizela

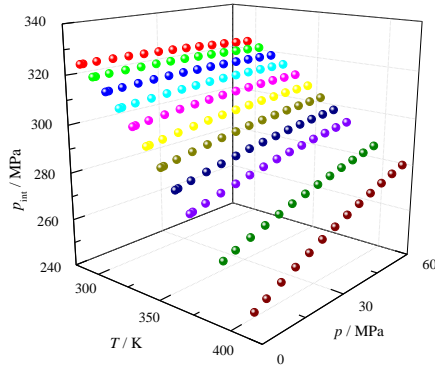
Unutrašnji pritisak za binarne smješa EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja je, takođe, određen na temperaturama 293.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa. Dobijene vrijednosti su date u Tabelama 59-62 u Prilogu, a njihova zavisnost od temperature i pritiska je predstavljena na Slikama 5.2.3.10. i 5.2.3.11.



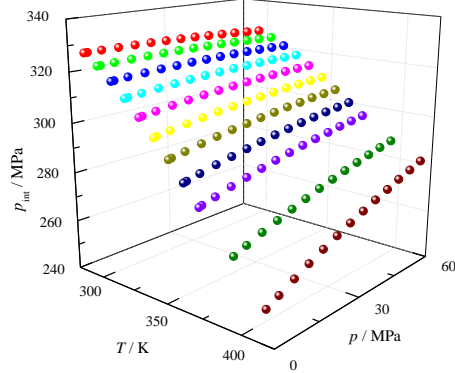
Slika 5.2.3.10. Unutrašnji pritisak za a) ED90SME10 i b) ED80SME20 u zavisnosti od temperature i pritiska

Ono što je lako uočljivo jeste da unutrašnji pritisak u posmatranim uzorcima opada sa porastom temperature pri konstantnom pritisku. Na temperaturama iznad 303.15 K p_{int} raste kako se povećava pritisak po izotermama, dok je na 293.15 K u blagom padu, a na 303.15 K ima blago konveksan oblik i vrijednosti na krajevima intervala pritiska na kojima su vršena mjerenja su gotovo identične. Razlike u promjenama unutrašnje energije sa promjenom zapremine na različitim temperaturama su izraženije na pritiscima bližim atmosferskom, a razlike duž izoterme na različitim pritiscima su veće na višim temperaturama, dok su temperaturama ispod 323.15 K gotovo zanemarljive.

Vrijednosti unutrašnjeg pritiska za SME su iznad onih za SEE, a kod oba biodizela se unutrašnja energija više mijenja sa promjenom zapremine nego kod EuroDizela pa, u skladu s tim, smješe EuroDizela sa SME imaju veći unutrašnji pritisak od njegovih smješa sa SEE. p_{int} binarnih smješa EuroDizela sa biodizelima raste sa porastom udjela biodizela u smješi (Slika 5.2.3.12.) i to se može predstaviti i Kay-ovim pravilom miješanja kada se u jednačinu (4.4.2) umjesto gustina uvrste odgovarajuće vrijednosti unutrašnjeg pritiska. Slaganje podataka dobijenih iz jednačine (2.2.23) i jednačine (4.4.2) je procjenjeno na osnovu vrijednosti AAD koje, redom, za smješe ED90SME10 i ED80SME20 iznosi 0.291 % i 0.377% (oko 0.85 MPa i 1.13 MPa), a 0.215 % i 0.341 % (oko 0.64 MPa i 1.01 MPa) za ED90SEE10 i ED80SEE20.

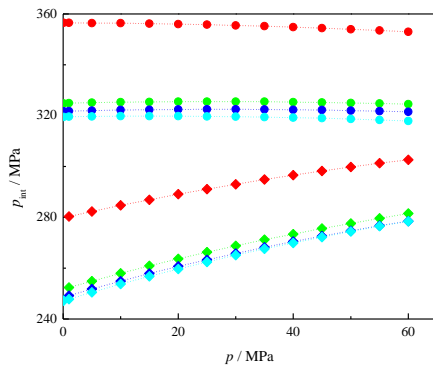


a)

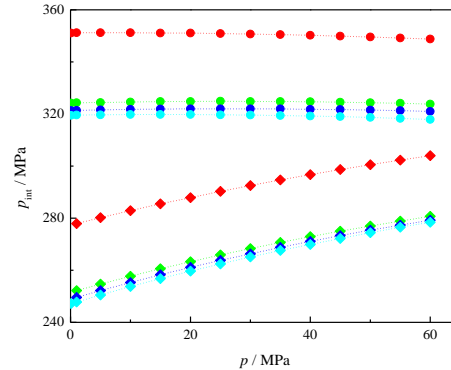


b)

Slika 5.2.3.11. Unutrašnji pritisak za a) ED90SEE10 i b) ED80SEE20 u zavisnosti od temperature i pritiska



a)

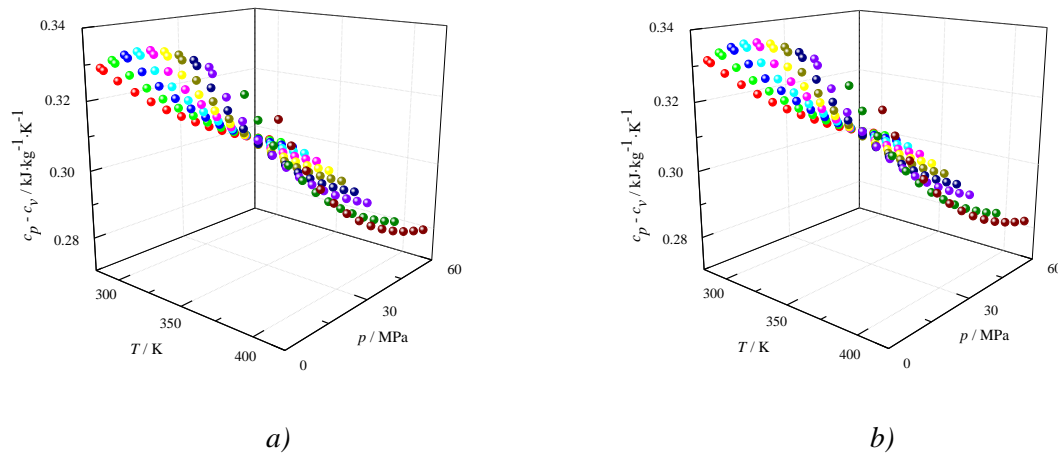


b)

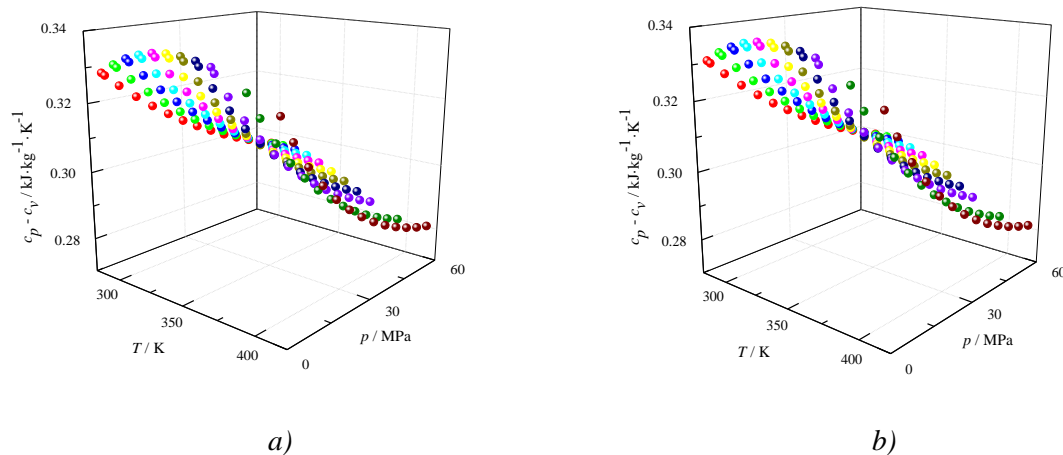
Slika 5.2.3.12. Unutrašnji pritisak za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SME10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SEE10 i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15

Poznavanje razlika specifičnog toplotnog kapaciteta na konstantnom pritisku i konstantnoj zapremini je veoma bitno jer omogućuje računanje izohorskog toplotnog kapaciteta iz izobarskog toplotnog kapaciteta koji je znatno lakše može eksperimentalno odrediti. Na Slikama 5.2.3.13. i 5.2.3.14. su date razlike c_p i c_v za binarne smješe EuroDizela sa biodizelima u zavisnosti od temperature i pritiska.

Vrijednosti $c_p - c_v$ opadaju pri povećanju pritiska na konstantnoj temperaturi i razlike među izotermama su izraženije na višim pritiscima. Pri porastu temperature prvo dolazi do rasta razlike toplotnih kapaciteta da bi zatim one krenule da opadaju, pri konstantnom pritisku, osim na najvišim pritiscima iz mjerenog opsega kada opadaju sa porastom temperature. Razlike $c_p - c_v$ na različitim pritiscima imaju sličnije vrijednosti na nižim temperaturama nego na višim.

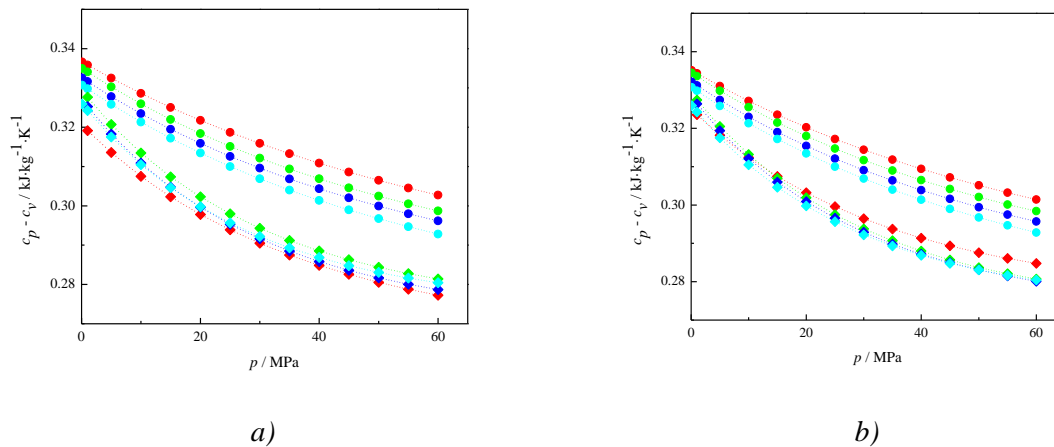


Slika 5.2.3.13. Razlika izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) ED90SME10 i b) ED80SME20 u zavisnosti od temperature i pritiska



Slika 5.2.3.14. Razlika izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) ED90SEE10 i b) ED80SEE20 u zavisnosti od teperature i pritiska

Sa Slike 5.2.3.15. se može zaključiti da su na nižim temperaturama $c_p - c_v$ za SME veće nego za SEE pa su tako i za smješe EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja razlike specifičnih toplotnih kapaciteta veće nego za smješe sa etil estrima istog ulja, dok je na višim temperaturama situacija obrnuta.



Slika 5.2.3.15. Razlika izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SME10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SEE10 i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15

Na ovu izvedenu veličinu je, takođe, primjenjeno Kay-ovo pravilo miješanja da bi se našla zavisnost razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta smješa EuroDizela sa SME ili SEE od udjela biodizela u njima. Poređenje podataka proračunatih iz jednačine (2.2.25) i onih iz jednačine (4.4.2) u koju su uvrštene odgovarajuće vrijednosti $c_p - c_v$ umjesto gustina je zadovoljavajuće. Srednje apsolutne procentualne razlike ova dva seta podataka su redom 0.578 % i 1.215 % (oko $0.002 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ i $0.004 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) za smješe ED90SME10 i ED80SME20, a 0.584 % i 1.023 % (oko $0.002 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ i $0.003 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) za smješe EuroDizela sa 10 vol% i 20 vol% etil estara suncokretovog ulja.

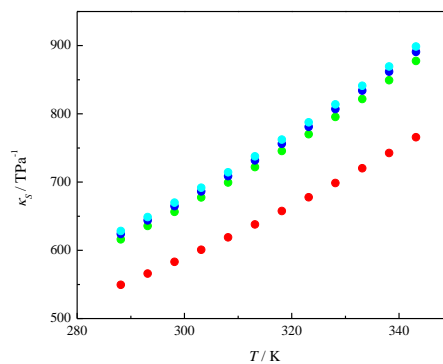
Pored navedenih termodinamičkih veličina, za smješe EuroDizela sa metil estrima viših masnih kiselina iz suncokretovog ulja se mogu odrediti i koeficijent izentropskog sabijanja iz mjerenih brzina zvuka kroz uzorke i intermolekulska slobodna dužina, kao i specifični toplotni kapaciteti pri konstantnom pritisku ili zapremini na atmosferskom pritisku.

Vrijednosti nabrojanih svojstava na temperaturama 293.15-343.15 K su date u Tabeli 69 u Prilogu, a njihove zavisnosti od temperature na Slikama 5.2.3.16. i 5.2.3.17.

Koeficijent izentropskog sabijanja smješa EuroDizela sa SME, kao i intermolekulska slobodna dužina sa kojom je direktno povezan, raste sa porastom temperature, u skladu sa ponašanjem i čistih komponenti. Kako se povećava udio biodizela u smješama linearno opada κ_S pa je ta zavisnost provjerena Kay-ovim pravilom miješanja:

$$\kappa_{S\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n r_i \kappa_{Si} \quad (5.2.3.1)$$

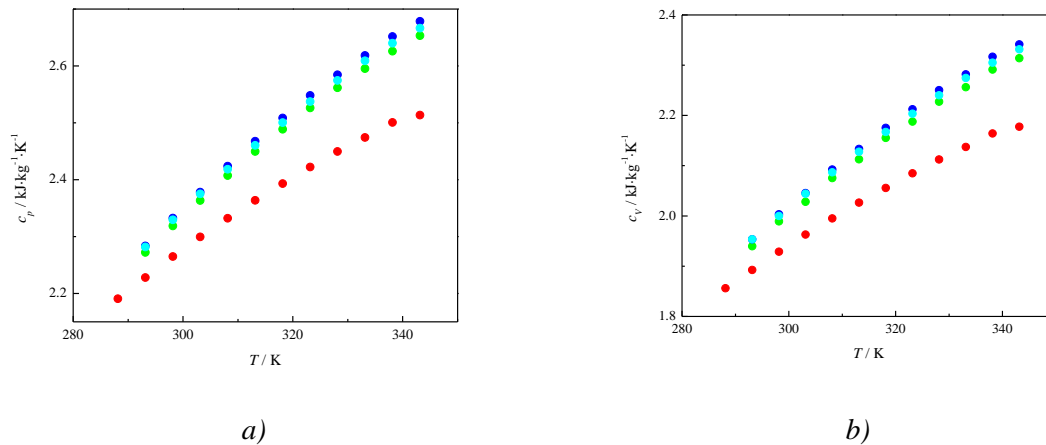
gdje su $\kappa_{S\text{smješa}}$ i κ_{Si} koeficijenti izentropskog sabijanja smješe i pojedinačnih komponenti u smješi, redom. Slaganje između vrijednosti dobijenih iz gustine i brzine zvuka (jednačina (2.2.27)) i onih izračunatih iz jednačine (5.2.3.1) je prilično dobro, AAD je 0.564 % (oko 4.278 TPa⁻¹) za smješu sa 10 vol% biodizela, a 0.586 % (oko 4.337 TPa⁻¹) za onu sa 20 vol% SME. Dobro slaganje poređenih podataka pokazuje da je opravdano korišćenje Kay-ovog pravila miješanja (jednačina 5.2.3.1) za proračun izentropske kompresibilnosti smješa dizel goriva sa biodizelom iz vrijednosti određenih za čiste komponente.



Slika 5.2.3.16. Koeficijent izentropskog sabijanja za (●) SME, (●) ED80SME20, (●) ED90SME10 i (●) EuroDizel

Očekivano, i toplotni kapaciteti smješa EuroDizela sa SME rastu kako raste temperatura na atmosferskom pritisku. Može se primjetiti da su toplotni kapaciteti smješa sa 10 vol% biodizela viši nego kod čistog EuroDizela, ali su razlike dosta male pa bi se to moglo podvesti pod grešku mjerenja. Toplotni kapaciteti za ED80SME20 su niži nego za čist dizel

i to pokazuje da toplotni kapaciteti smješa dizel goriva se biodizelom opadaju sa porastom udjela biodizela, ali kod nižih smješa, sa niskim udjelom biodizela, vrijednosti c_p i c_v su veoma bliske onima za čist dizel, što preporučuje upotrebu takvih smješa jer ne utiču bitni na snagu motora, a donose prednosti upotrebe biodizela.



Slika 5.2.3.17. Specifični toplotni kapaciteti pri a) konstantnom pritisku i b) konstantnoj zapremini za (●) SME, (●) ED80SME20, (●) ED90SME10 i (●) EuroDizel

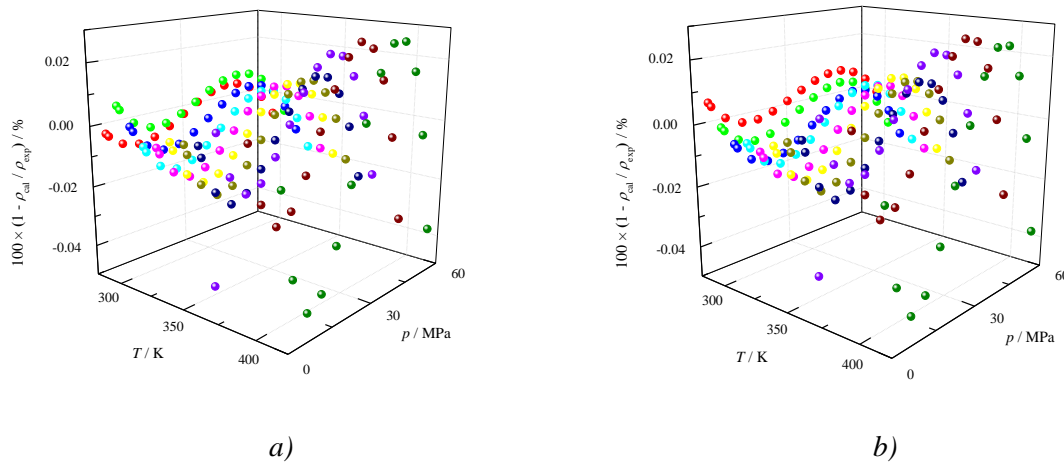
Kada se Kay-ovo pravilo primjeni na ove veličine dobijaju se dosta dobra slaganja eksperimentalnih i vrijednosti izračunatih iz toplotnih kapaciteta čistih komponenti.

$$c_{\text{smješa}} = \sum_{i=1}^n r_i c_i \quad (5.2.3.2)$$

$c_{\text{smješa}}$ predstavlja specifični toplotni kapacitet smješe, a c_i specifični toplotni kapacitet pojedinačnih komponenti u njoj, bilo da je određen pri konstantnom pritisku ili konstantnoj zapremini. Srednje apsolutne procentualne razlike ova dva seta podataka za izobarski specifični toplotni kapacitet su 0.707 % (oko $0.018 \text{ kJ}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$) za ED90SME10 i 0.353 % (oko $0.009 \text{ kJ}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$) za ED80SME20. Kad se porede rezultati dobijeni za izohorski specifični toplotni kapacitet dobiju se slična slaganja, AAD je za smješe sa 10 vol% biodizela 0.791 % (oko $0.017 \text{ kJ}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$) i oko 0.353 % (oko $0.008 \text{ kJ}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$) za smješe sa 20 vol% SME. Prikazani rezultati ukazuju na to da se Kay-ovo pravilo miješanja može sa zadovoljavajućom tačnošću koristiti za procjenu specifičnih toplotnih kapaciteta smješa na osnovu njihovih vrijednosti za čiste supstance koje ulaze u sastav smješe.

5.2.4. Terne smješe

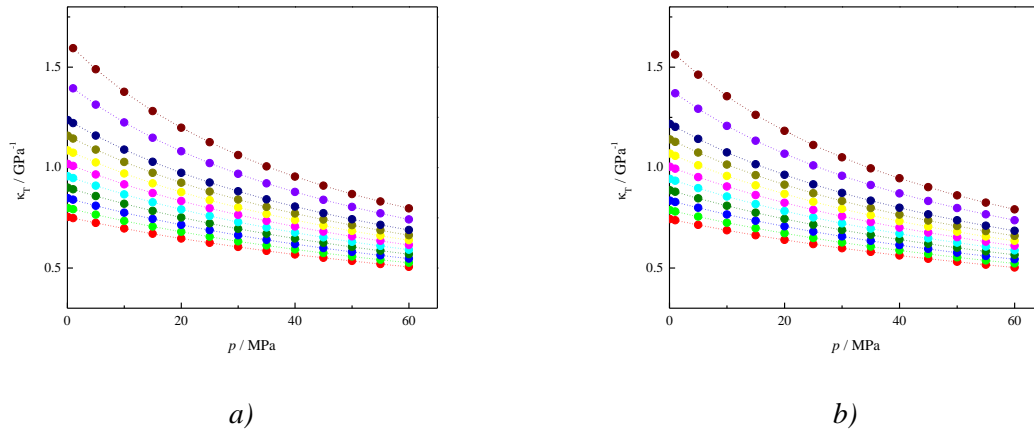
Gustine ternernih smješa EuroDizela sa metil i etil estrima suncokretovog ulja su, takođe, modelovane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom (jednačina (2.2.1)), u koju je kao referentni pritisak uvršten 1 MPa, parametar C je tretiran kao temperaturno nezavisan i parametri su optimizovani tako da standardna devijacija ima što manju vrijednost. Dobijeni parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine, kao i kriterijumi za ocjenu kvaliteta korelisanja, su dati u Tabeli 70 u Prilogu. Srednje apsolutno procentualno odstupanje mjerenih od gustina izračunatih iz jednačine (2.2.1) je oko 0.010% (oko $0.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) za obje posmatrane smješe, što pozitivno ocjenjuje samu proceduru i rezultat korelisanja. Zavisnosti srednjih procentualnih odstupanja mjerenih i proračunatih gustina od temperature i pritiska za ternerne smješe sa ukupno 10 vol% i 20 vol% biodizela su predstavljena na Slici 5.2.4.1. Uočljivo je da greške rastu sa porastom temperature pri konstantnom pritisku, ali ostaju u prihvatljivim granicama $-0.05 - 0.03 \%$.



Slika 5.2.4.1. Odstupanje eksperimentano određenih gustina binarnih smješa EuroDizela sa metil i etil estrima suncokretovog ulja a) ED90SME5SEE5 i b) ED80SME10SEE10 od vrijednosti izračunatih iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine

Izvedena volumetrijska svojstva ternernih smješa EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja su određena prema proceduri objašnjenj u prethodnom poglavlju primjenom optimizovanih parametara Tammann-Tait-ove jednačine. Koeficijent izotermnog sabijanja, koeficijent izobarskog toplotnog širenja, unutrašnji pritisak i razlika

između izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta pomenutih smješa su određeni na temperaturama 293.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa (Tabele 71 i 72 u Prilogu).

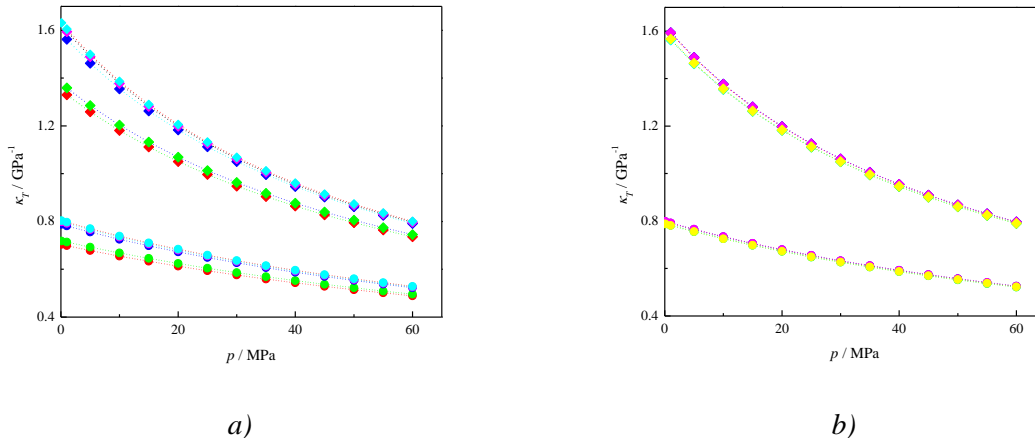


Slika 5.2.4.2. Koeficijent izotermnog sabijanja za a) ED90SME5SEE5 i b) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Koeficijent izotermnog sabijanja smješe ED80SME5SEE5 i ED80SME10SEE10 ima, već više puta pokazani, karakteristični oblik, tako da raste se porastom temperature pri konstantnom pritisku i opada kada pritisak raste duž izoterme (Slika 5.2.4.2.). Promjene koeficijenta sabijanja pri konstantnoj temperaturi su izraženije na višim temperaturama, a promjene duž izobara na različitim temperaturama su veće na nižim pritiscima.

Biodizeli imaju niži koeficijent izotermnog sabijanja od dizel goriva, a vrijednosti za SME su malo ispod vrijednosti za SEE. Očekivano i smješe EuroDizela sa metil i etil estrima dobijenim iz suncokretovog ulja imaju nešto niži κ_T od čistog dizela, ali s obzirom da su mali udjeli biodizela u pitanju to i nije toliko upadljivo, pogotovo ne na nižim temperaturama. Razlike među vrijednostima određenim za čiste komponente i smješe rastu sa porastom temperature pri stalnom pritisku i opadaju kako pritisak raste duž izoterme (Slika 5.2.4.2.). Kada se uporede smješe EuroDizela sa čistim SME ili čistim SEE sa ternernim koje sadrže isti udio estara suncokretovog ulja, gotovo da se ne primjeti razlika zbog dosta bliskih vrijednosti κ_T za SME i SEE (Slika 5.2.4.3.). Ono što je primjetno je i da su na nižim temperaturama koeficijenti sabijanja smješa koje sadrže 10 vol% i 20 vol%

biodizela gotovo jednake, dok je na višim temperaturama uočljiva manja razlika (Slika 5.2.4.3.), što pokazuje da je uticaj dodavanja biodizela u dizel gorivo izraženiji na nižim temperaturama, kada je u pitanju koeficijent izoternskog sabijanja.

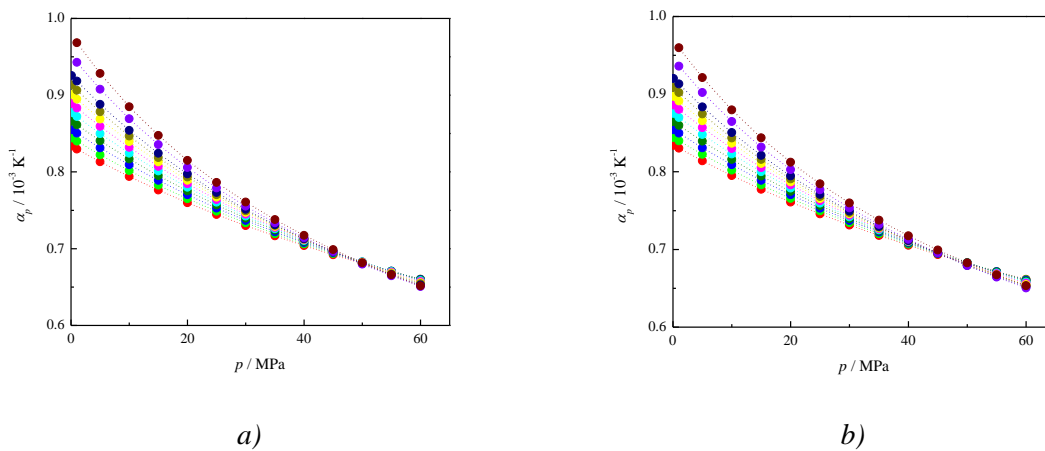


Slika 5.2.4.3. Koeficijenti izoternskog sabijanja za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED90SME5SEE5, (●, ◆) ED80SME10SEE10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) ED90SME10, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SEE10, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SME5SEE5 i (●, ◆) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

Kay-ovo pravilo miješanja (jednačina (4.4.2)) je primjenjeno i na κ_T ternernih smješa i ponovo se pokazalo da je to dobar izbor za predskazivanje vrijednosti navedenog termodinamičkog svojstva smješa dizela sa biodizelom, bilo jednim ili više različitih, iz vrijednosti proračunatih za čiste komponente smješe. Poređenje predskazanih vrijednosti i onih proračunatih primjenom parametara modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine (jednačina (2.2.13)) je dalo AAD od 0.29 % (ispod 0.026 GPa^{-1}) za obje ternerne smješe EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja.

Koeficijent izobarskog toplotnog širenja opada sa porastom pritiska po izotermama i taj pad je utoliko veći ukoliko je viša temperatura (Slika 5.2.4.4.). Primjetno je i da se pritisak na kome dolazi do presjeka izoterme α_p za obje ternerne smješe dizela sa biodizelima nalazi unutar granica koje su ispitivane pri radu na ovoj tezi, 0.1-60 MPa. Pritisak na kome je koeficijent izobarskog toplotnog širenja jednak na svim temperaturama ja za ED90SME5SEE5 oko 50 MPa i vrijednost α_p je oko $0.682 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, a za smješu

ED80SME10SEE10 je nešto niži, oko 47 MPa gdje je α_p oko $0.690 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Podsjećanja radi, pomenuti pritisak za čist EuroDizel iznosi oko 50 MPa, za čiste SME oko 35 MPa, a čiste SEE oko 45 MPa pa su vrijednosti dobijene za ternerne smješe ovih supstanci u skladu sa očekivanjima. Na nižim pritiscima koeficijent izobarskog toplotnog širenja raste kada raste temperatura i razlike među izotermama su najviše na atmosferskom pritisku da bi se sa porastom pritiska smanjivale sve do tačke presjeka kada su jednake 0. Na pritiscima iznad pomenutih pritisaka presjeka izoterme α_p vrijednosti ove veličine opadaju sa porastom temperature pri stalnom pritisku.

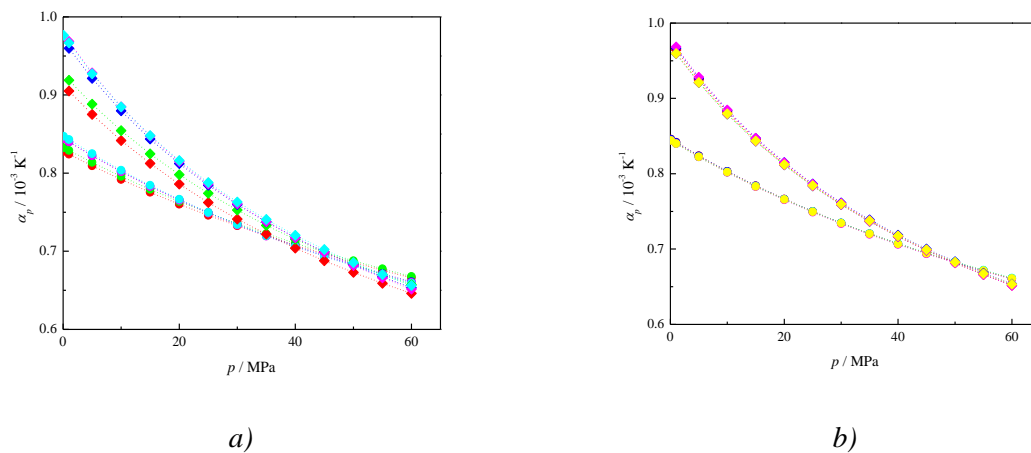


Slika 5.2.4.4. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja za a) ED90SME5SEE5 i b) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Pošto su vrijednosti koeficijenta izobarskog toplotnog širenja čistih SME i SEE niže nego za čist EuroDizel, očekivano, i α_p ternernih smješa sa nižim udjelom biodizela je više nego za one sa ukupnim udjelom biodizela od 20 vol%, što je izraženije na višim temperaturama. Razlike su najveće na atmosferskom pritisku i opadaju do pritiska presjeka izoterme za pojedinačne komponente (oko 45-50 MPa), da bi na višim pritiscima odnos bio obrnut, tj. kod smješa sa većim udjelom biodizela sa promjenom temperature pri nepromjenjenom pritisku doći će i do veće promjene gustine (Slika 5.2.4.5.). Kada se uporede binarne smješe EuroDizela sa pojedinačnim SME ili SEE sa njihovim ternernim smješama može se primjetiti da nema većih razlika u α_p među smješama sa istim ukupnim udjelom biodizela,

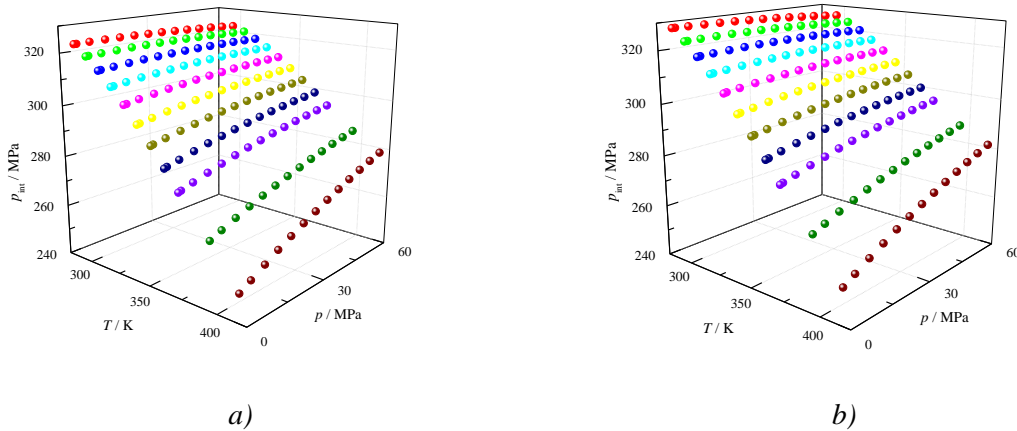
dok su na nižim temperaturama vrijednosti α_p gotovo jednake za sve posmatrane smješe pa se zaključuje da će dodavanje biodizela dizel gorivu dovesti do većih promjena koeficijenta izobarskog toplotnog širenja na višim temperaturama nego na nižim.

Kao i kod ranije mjerenih uzoraka i ovdje je na α_p primjenjeno Kay-ovo pravilo miješanja i dobijene vrijednosti AAD od oko 0.194 % i 0.164 % (ispod $0.002 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) redom za ED90SME5SEE5 i ED80SME10SEE10 još jednom potvrđuju pouzdanost ovog načina procjene koeficijenta izobarskog toplotnog širenja smješa dizel goriva sa biodizelom, koji je veoma bitan jer se sa njegovim porastom smanjuje korisna snaga motora.



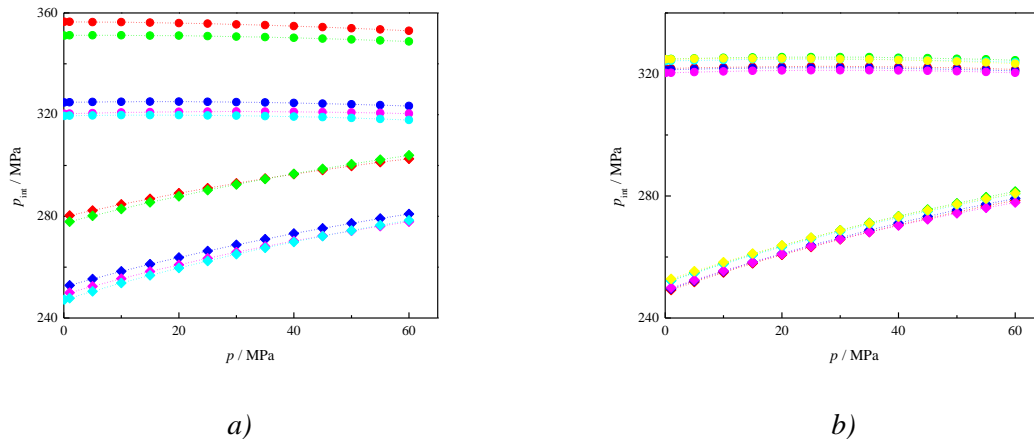
Slika 5.2.4.5. Koeficijenti izobarskog toplotnog širenja za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED90SME5SEE5, (●, ◆) ED80SME10SEE10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) ED90SME10, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SEE10, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SME5SEE5 i (●, ◆) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

Uticaj temperature i pritiska na unutrašnji pritisak ternernih smješa dizela sa biodizelima je predstavljen na Slici 5.2.4.6.



Slika 5.2.4.6. Unutrašnji pritisak za a) ED90SME5SEE5 i b) ED80SME10SEE10

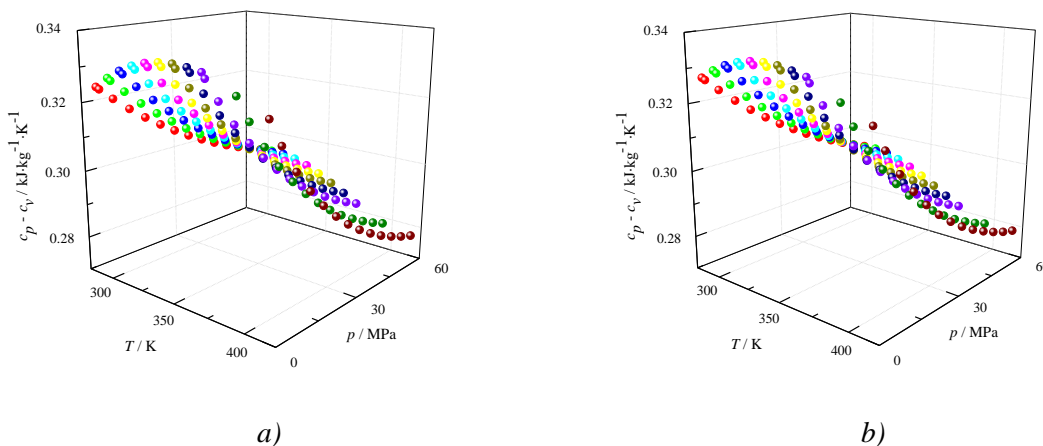
Ono što se jasno može primjetiti jeste da unutrašnji pritisak opada sa porastom temperature pri konstantnom pritisku i taj pad je veći na nižim pritiscima. Ponašanje p_{int} pri izobarskoj promjeni temperature je nešto složenije, na nižim temperaturama do oko 413.15 K vrijednost ove veličine opada sa porastom pritiska da bi iznad te temperature unutrašnji pritisak ternernih smješa rastao sa porastom pritiska po izotermama, što je posebno izraženo na najvišim ispitivanim temperaturama (Slika 5.2.4.6.).



Slika 5.2.4.7. Unutrašnji pritisak za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED90SME5SEE5, (●, ◆) ED80SME10SEE10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) ED90SME10, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SEE10, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SME5SEE5 i (●, ◆) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

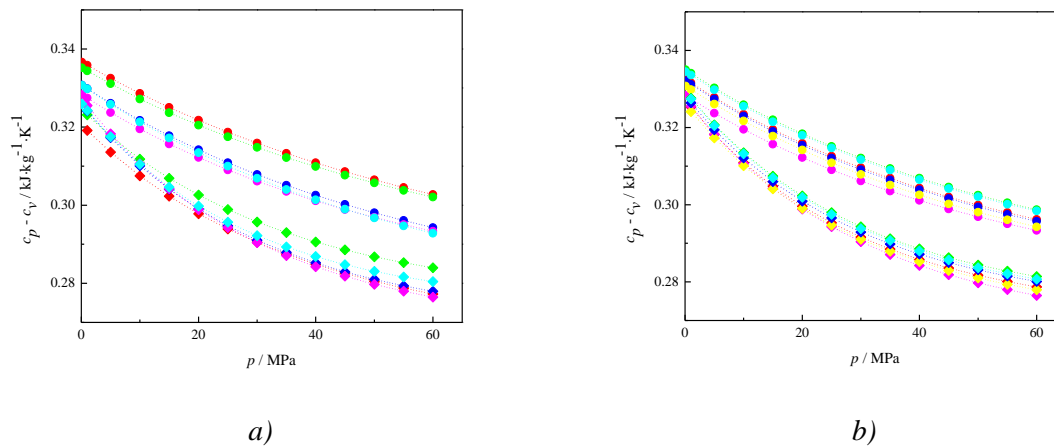
Unutrašnja energija se sa promjenom zapremine uzorka više mijenja kod biodizela nego dizel goriva, pa je p_{int} i za smješe EuroDizela sa SME i SEE viši nego kod čistog EuroDizela, a razlike među uzorcima su nešto veće na nižim temperaturama (Slika 5.2.4.7.). Kada se porede smješe EuroDizela sa čistim SME ili SEE sa njegovim ternernim smješama sa oba biodizela suncokretovog ulja zaključuje se da smješe sa istim ukupnim udjelom biodizela imaju slične vrijednosti unutrašnjeg pritiska, manje razlike su uočljivije na nižim temperaturama, i da on raste sa povećanjem udjela biodizela u smješama. Za razliku od pretodnih izvedenih veličina, kod unutrašnjeg pritiska uticaj dodavanja biodizela dizel gorivu je izraženiji na nižim temperaturama. Odstupanja vrijednosti dobijenih primjenom Kay-ovog pravila miješanja (jednačina (4.4.2)) na ovo termodinamičko svojstvo od onih proračunatih iz jednačine (2.2.23) su zadovoljavajuće niska, AAD je 0.339 % (1.03 MPa) za ED90SME5SEE5 i 0.392 % (1.18 MPa) za ED80SME10SEE10.

Razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta opadaju duž izoterme sa porastom pritiska i razlike među izotermama su izraženije na višim pritiscima (Slika 5.2.4.8.). Zavisnost pomenute veličine od temperature je nešto složenija, $c_p - c_v$ prvo raste kad se povećava temperatura duž izobara da bi nakon teke temperature krenula da opada. Temperatura prevojne tačke izoterme se snižava kako se povećava pritisak, pa na najvišem mjerenom pritisku 60 MPa gotovo i da nema povećanja razlike toplotnih kapaciteta sa porastom temperature u ispitivanom opsegu 293.15-413.15 K (Slika 5.2.4.8.).



Slika 5.2.4.8. Razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) ED90SME5SEE5 i b) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od temperature i pritiska

Na nižim temperaturama $c_p - c_v$ je veća za biodizele nego za dizel gorivo pa tako i razlika izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta smješa raste sa porastom udjela biodizela u njima, dok je na višim temperaturama zavisnost obrnuta. Ovdje je primjećeno i da se vrijednosti posmatrane termodinamičke veličine ternernih smješa EuroDizela sa oba biodizela dobijena iz suncokretovog ulja ne poklapaju toliko očigledno sa vrijednostima binarnih smješa EuroDizela sa SME ili SEE sa istim ukupnim udjelom biodizela, čak su i niže, a to je posebno vidljivo na nižim temperaturama (Slika 5.2.4.9.). I ovdje, kao i kod unutrašnjeg pritiska, uticaj dodavanja biodizela u dizel gorivo je izraženiji na nižim temperaturama.

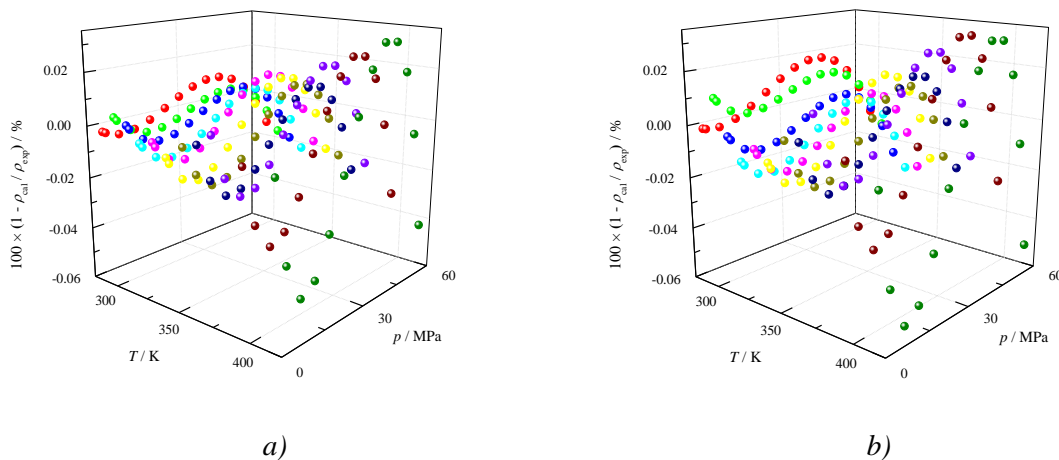


Slika 5.2.4.9. Razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) SEE, (●, ◆) ED90SME5SEE5, (●, ◆) ED80SME10SEE10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) ED90SME10, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED90SEE10, (●, ◆) ED80SEE20, (●, ◆) ED90SME5SEE5 i (●, ◆) ED80SME10SEE10 u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

Zavisnost $c_p - c_v$ od udjela biodizela je predstavljena Kay-ovim pravilom miješanja (jednačina 4.4.2) i to je dalo dobre rezultate, AAD je za ED90SME5SEE5 bilo oko 0.381 % (oko $0.0012 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), a za ED80SME10SEE10 oko 0.147 % (oko $0.0004 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Poznavanje razlike izobarskog i izohorskog toplotnog kapaciteta je veoma bitno, kao što je već spomenuto, za određivanje c_v kada je poznat c_p koji se jednostavnije mjeri ili se može izračunati iz drugih termodinamičkih veličina, što će biti prikazano u nastavku za ternerne smješe dizela sa biodizelom i alkoholom.

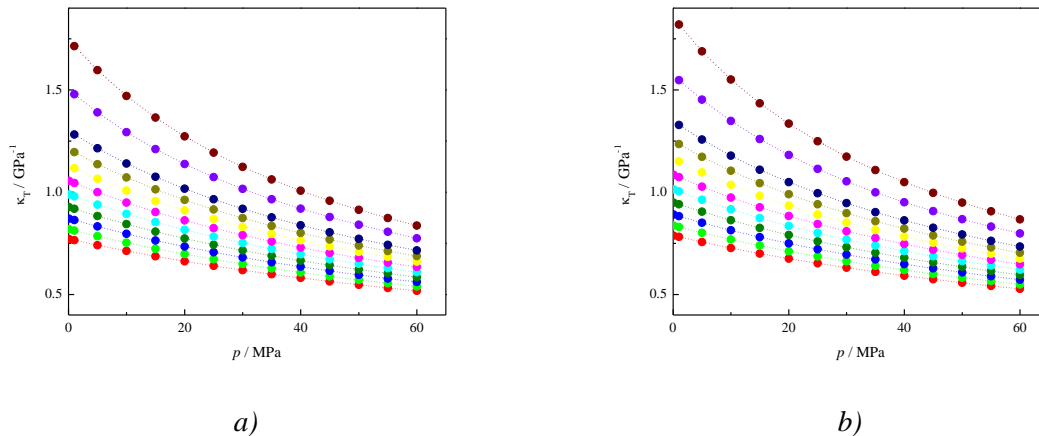
Pored biodizela ispitivan je i uticaj dodatka alkohola u dizel goriva. Pošto je rastvorljivost etanola u dizelu vrlo slaba, što je i pokazano u prethodnom poglavlju, smješama je dodavan i biodizel, čije čak i male količine izuzetno povećavaju pomenutu rastvorljivost. Tako su mjerene gustine ternernih smješa EuroDizela sa SME i etanolom na visokim pritiscima modelovane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom i dobijeni parametri su dati u Tabeli 70 u Prilogu. To je, dalje, omogućilo određivanje izvedenih veličina koeficijenta izotermnog sabijanja, koeficijenta izobarskog toplotnog širenja, unutrašnjeg pritiska i razlike između specifičnog toplotnog kapaciteta pri konstantnom pritisku, c_p , i specifičnog toplotnog kapaciteta pri konstantnoj zapremini, c_v , (Prilog, Tabele 73 i 74). Pored ovih za smješe dizela sa biodizelom i etanolom je mjerena i brzina zvuka što je omogućilo i određivanje koeficijenta izentropskog sabijanja i izobarskog, a potom i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta na temperaturama 288.15-363.15 K i atmosferskom pritisku (Prilog, Tabela 75).

Na slici 5.2.4.10. su prikazana apsolutna procentualna odstupanja gustina mjerenih ternernih smješa na visokim pritiscima od onih izračunatih iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine, srednje apsolutno procentualno odstupanje je bilo oko 0.011% (oko 0.08 kg·m⁻³) i oko 0.012% (oko 0.10 kg·m⁻³) redom za smješe sa 5 vol% i 10 vol% etanola.



Slika 5.2.4.10. Odstupanje eksperimentano određenih gustina ternernih smješa EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja i etanolom a) ED85SME10EtOH5 i b) ED80SME10EtOH10 od vrijednosti izračunatih iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine

Zavisnost koeficijenta izoternskog sabijanja od pritiska je predstavljena na Slici 5.2.4.11. Nema značajnijih promjena u ponašanju u odnosu na prethodno prikazane uzorke, κ_T raste pri izobarskom porastu temperature, što je izraženije na nižim pritiscima i opada kada se podiže pritisak duž izoterme, pogotovo na višim temperaturama.

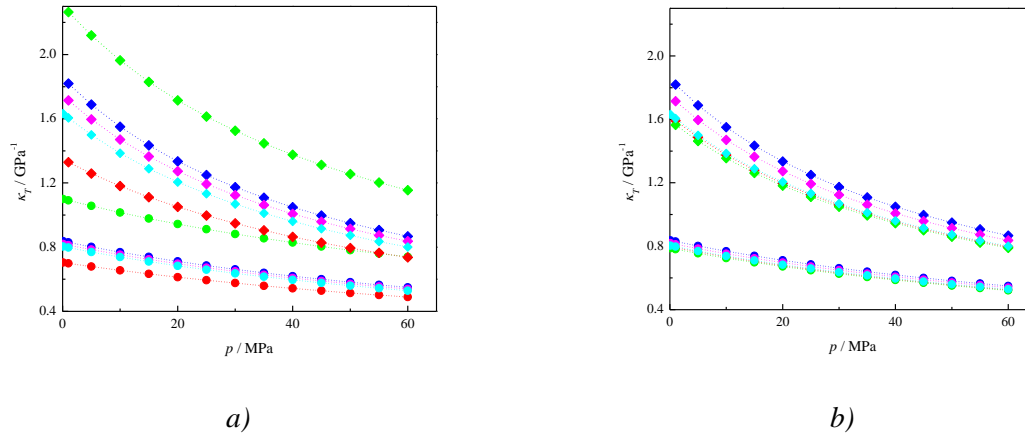


Slika 5.2.4.11. Koeficijent izoternskog sabijanja za a) ED85SME10EtOH5 i b) ED80SME10EtOH10 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

Kada se uporedi kompresibilnost čistih komponenti smješe i samih smješa (Slika 5.2.4.12.) vidi se da je κ_T niže za biodizele nego za čist EuroDizel, koji je opet manje stišljiv od etanola, a smješe prate taj trend pa su koeficijenti izoternskog sabijanja ternernih smješa EuroDizela sa SME i etanolom viši nego kod čistog EuroDizela i rastu sa povećanjem udjela etanola. Pošto su razlike u kompresibilnosti između SME i EuroDizela manje nego između EuroDizela i etanola, smješe ED90SME10 i ED80SME20 imaju κ_T dosta blisko onom kod čistog EuroDizela dok smješe sa etanolom imaju slične vrijednosti pomenutima na nižim temperaturama, dok su na višim znatno stišljivije nego EuroDizel. Zaključuje se da je, kada je u pitanju koeficijent izoternskog sabijanja, uticaj dodavanja etanola u smješe dizela sa biodizelom znatan i izraženiji na višim temperaturama.

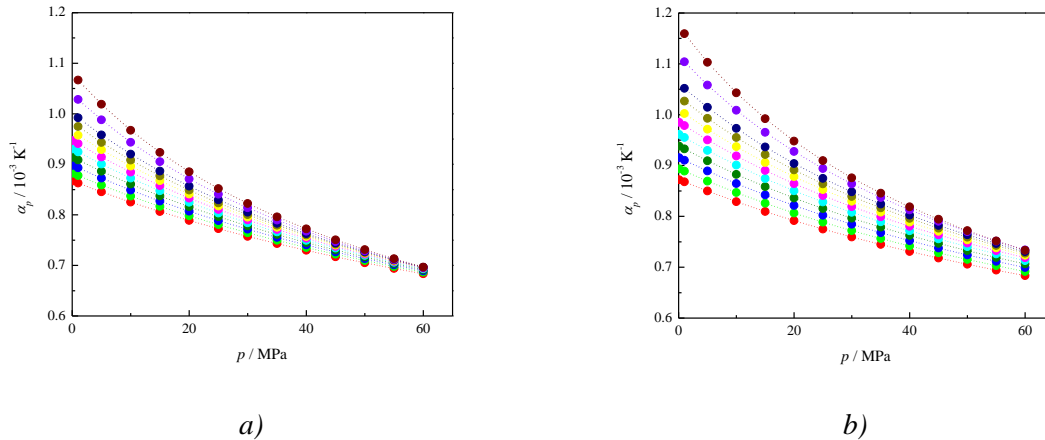
Kada se primjeni Kay-ovo pravilo miješanja na κ_T , sa svjesno unijetom greškom zbog zamjene molskih udjela zapremniskim, dobijaju se nešto veća odstupanja vrijednosti dobijenih iz jednačine (2.2.13) od onih procjenjenih iz koeficijenata izoternskog sabijanja

pojedinačnih komponenti smješe. AAD od 1.80 % (oko 0.017 GPa^{-1}) za smješu ED85SME10EtOH5 i 2.37 % (oko 0.024 GPa^{-1}) su prihvatljive.



Slika 5.2.4.12. Koeficijenti izotermnog sabijanja kapaciteta za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) etanol, (●, ◆) ED85SME10EtOH5, (●, ◆) ED80SME10EtOH10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) ED90SME10, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED85SME10EtOH5, (●, ◆) ED80SME10EtOH10 i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

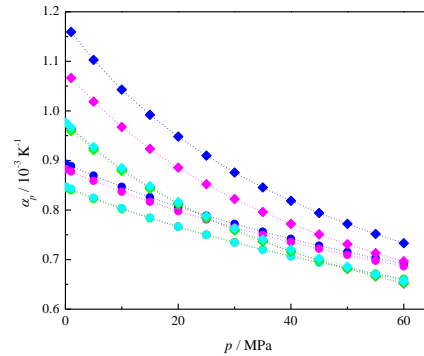
Uticaj temperature na koeficijent izobarskog toplotnog širenja ternernih smješa dizela sa biodizelom i etanolom, takođe, ima već dobro poznati oblik, α_p opada sa porastom pritiska duž izoterme i to je uočljivije na višim temperatura (Slika 5.2.4.13.). Ono što izdvaja ove smješe od ostalih jeste to što u intervalu pritiska na kom smo vršili mjerenje nije došlo do presjeka izoterme, slično kao kod test supstanci, gdje se jasno vidi uticaj dodatka etanola u smješe dizela sa biodizelom. Možemo zaključiti da na pritiscima do 60 MPa koeficijent izobarskog toplotnog širenja raste sa porastom temperature pri stalnom pritisku i to je izraženije na nižim pritiscima. Takođe, primjetna je tendencija približavanja izoterme pa se za smješe sa nižim udjelom etanola očekuje da se α_p izjednače na pritisku nešto malo iznad 60 MPa.



Slika 5.2.4.13. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja za a) ED85SME10EtOH5 i b) ED80SME10EtOH10 u zavisnosti od pritiska na (●) 288.15 K, (●) 303.15 K, (●) 318.15 K, (●) 333.15 K, (●) 343.15 K, (●) 353.15 K, (●) 363.15 K, (●) 373.15 K, (●) 393.15 K i (●) 413.15 K.

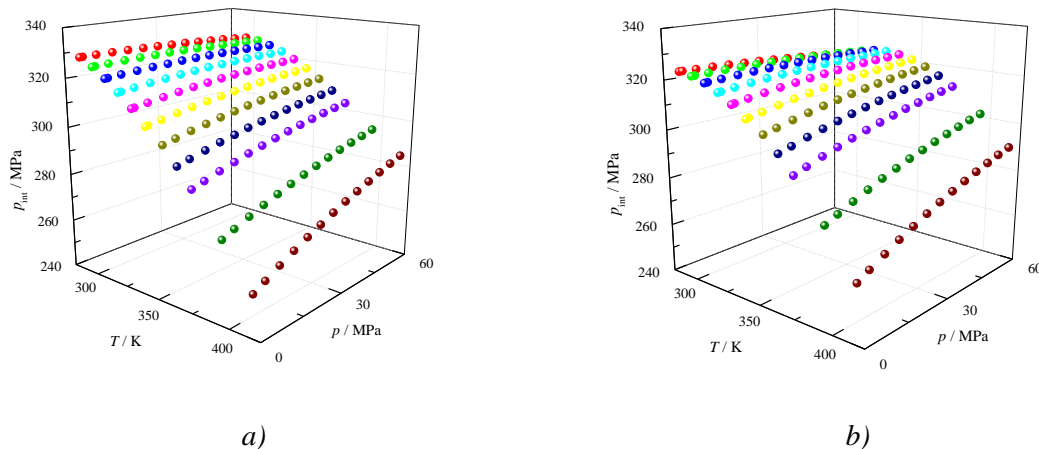
Kada se uporede smješe EuroDizela sa čistim SME i ternerene gdje je dodat još i etanol, vidi se da α_p raste sa porastom udjela etanola u smješi i da dodatak etanola znatno više utiče na širenje smješa EuroDizela nego dodatak biodizela. Razlike među smješama su veće na višim temperaturama i ovakav uticaj dodatka etanola na koeficijent izobarskog toplotnog širenja ne preporučuje smješe sa njim za gorivo u dizel motorima jer povećanje α_p dovodi do povećanja gubitaka snage motora. Upravo zbog toga se preporučuje miješanje dizel goriva sa biodizelom i malim količinama etanola, dovoljno da se iskoriste njegove prednosti, ali i da se izbjegniju ovakvi lošiji rezultati.

Kada se Kay-ovo pravilo miješanja (jednačina (4.4.2)) primjeni na ovu izvedenu volumetrijsku veličinu dobijaju se srednje apsolutne procentualne greške od 3.79 % (oko $0.03 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) i 5.12 % (oko $0.04 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) redom za smješe ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10 koje su znatno veće nego za smješe dizela sa biodizelima, ali i dalje opravdavaju upotrebu Kay-ovog pravila miješanja za procjenu koeficijenta izobarskog toplotnog širenja u proračunima koji ne zahtijevaju toliko veliku preciznost.



Slika 5.2.4.14. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) etanol, (●, ◆) ED85SME10EtOH5, (●, ◆) ED80SME10EtOH10 i (●, ◆) EuroDizel na (●) 303.15 K i (●) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

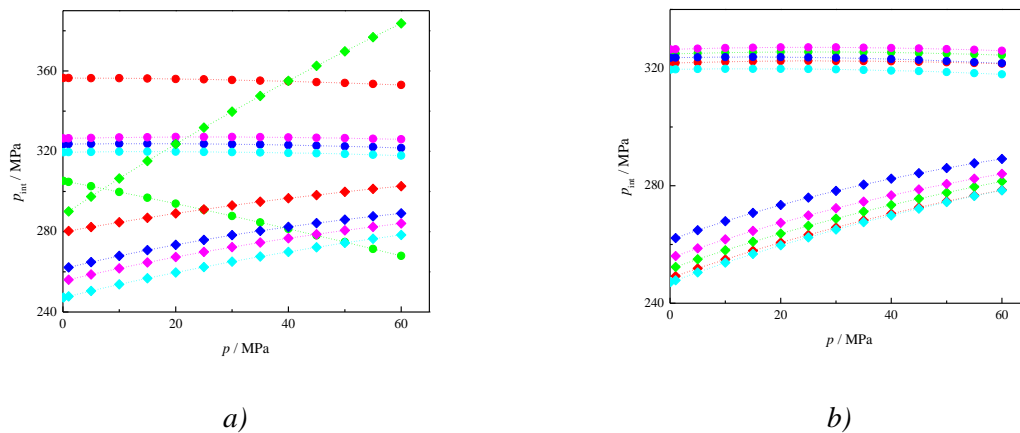
Dodavanje etanola u smješe dizela sa biodizelom bitno utiče na unutrašnji pritisak smješa (Slika 5.2.4.15.). Za ispitivanu smještu sa manjim udjelom etanola unutrašnji pritisak opada sa porastom temperature pri konstantnom pritisku, što je očekivano imajući u vidu ponašanje biodizela i dizela. Međutim, kod ED80SME10EtOH10 smješe već jača uticaj etanola pa unutrašnji pritisak opada sa porastom temperature, ali samo za izobare do 20 MPa. Iznad tog pritiska p_{int} prvo raste do oko 323.15 K pa onda dalje pada kako se podiže temperatura. Kada raste pritisak, p_{int} opada duž izoterma na temperaturama ispod 313.15 K, a na višim izotermama raste sa porastom pritiska. Razlike p_{int} među izobarama su više na višim temperaturama, a među pojedinačnim izotermama na nižim pritiscima.



Slika 5.2.4.15. Unutrašnji pritisak za a) ED85SME10EtOH5 i b) ED80SME10EtOH10

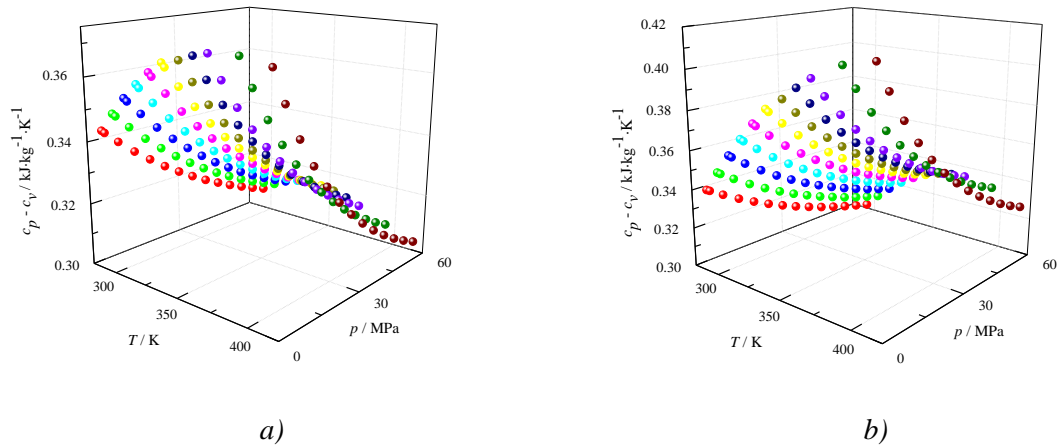
Sa Slike 5.2.4.16. se može vidjeti i kako unutrašnji pritisak etanola ne prati ponašanje dizela i biodizela, a kada se uporede smješe dizela sa SME i ternerne u koje je dodat i etanol primjetno je da p_{int} raste sa povećanjem udjela etanola u smješama i da su razlike veće na višim temperaturama.

Primjena Kay-ovog pravila miješanja na unutrašnji pritisak smješa ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10 dala je redom odstupanja od vrijednosti proračunatih prema jednačini (2.2.23) od 2.12 % i 2.99 % (oko 6.58 MPa i 9.30 MPa).



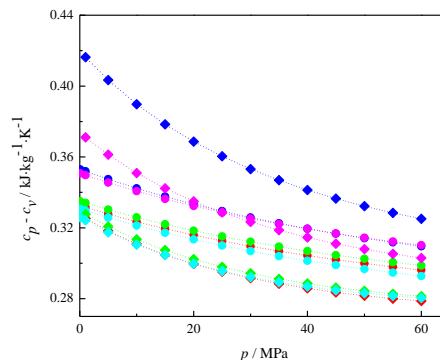
Slika 5.2.4.16. Unutrašnji pritisak kapaciteta za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) etanol, (●, ◆) ED85SME10EtOH5, (●, ◆) ED80SME10EtOH10 i (●, ◆) EuroDizel i b) (●, ◆) ED90SME10, (●, ◆) ED80SME20, (●, ◆) ED85SME10EtOH5, (●, ◆) ED80SME10EtOH10 i (●, ◆) EuroDizel u zavisnosti od pritiska na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

Razlika izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta opada sa porastom pritiska duž izoterme, a pri konstantnom pritisku prvo raste sa porastom temperature pa krene da opada. Ta prevojna temperatura na kojoj se mijenja zavisnost $c_p - c_v$ od temperature opada sa porastom pritiska, ali je na atmosferskom pritisku za obje ispitivane ternerne smješe van opsjega u kom su vršena mjerenja, 293.15-343.15 K, pa onda na tom pritisku razlika pomenutih toplotnih kapaciteta samo raste sa porastom temperature. Za smješe sa 5 vol% etanola pomenuta temperatura na kojoj dolazi do promjene oblika izobara je oko 393.15 K na izobari od 1 MPa, da bi na 60 MPa bila oko 343.15 K, a za smješu sa 10 vol% etanola na 1 MPa je oko 353.15 K dok za najviši pritisak iz opsjega mjerenja $c_p - c_v$ monotono opada sa porastom temperature (Slika 5.2.4.17.).



Slika 5.2.4.17. Razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) ED85SME10EtOH5 i b) ED80SME10EtOH10

Kad se uporede smješe EuroDizela sa SME i ternerne u koje je još dodat i etanol (Slika 5.2.4.18.) primjećuje se da razlika između izobarskog i izohorskog toplotnog kapaciteta raste sa porastom udjela etanola u smješi i to znatno više nego kad se dodaje biodizel. Razlike među smješama po pitanju $c_p - c_v$ su više na višim temperaturama nego na nižim.

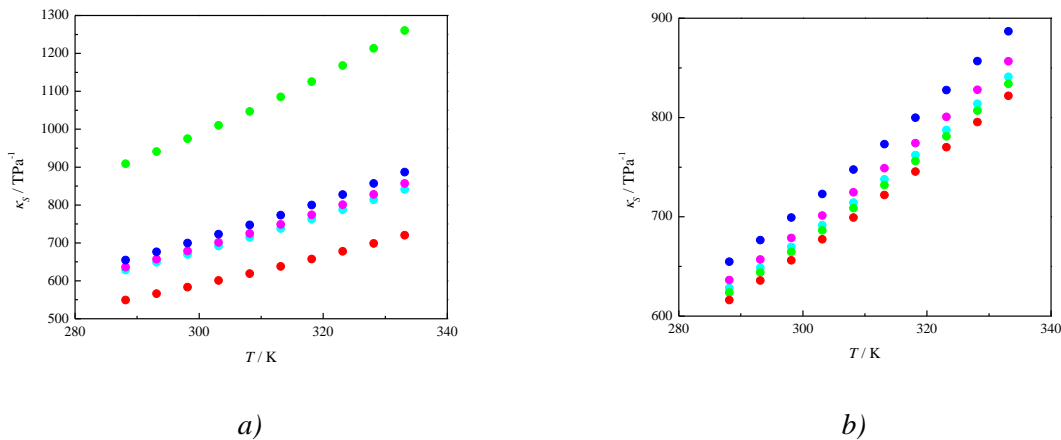


Slika 5.2.4.18. Razlike izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta za a) (●, ◆) SME, (●, ◆) etanol, (●, ◆) ED85SME10EtOH5, (●, ◆) ED80SME10EtOH10 i (●, ◆) EuroDizel na (●) 303.15 K i (◆) 413.15 K u zavisnosti od pritiska

Kada se porede vrijednosti pomenute razlike izračunate pomoću Kay-ovog pravila miješanja sa onim izvedenim iz mjerenih gustina na visokim pritiscima dobijaju se nešto lošija, ali i dalje zadovoljavajuća slaganja, AAD je 5.71 % i 5.20% ($0.019 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ i $0.016 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) redom za smješe sa 5 vol% i 10 vol%.

Za ternerne smješe dizela sa biodizelom i etanolom su određene i brzine prostiranja zvuka u uzorku, što je omogućilo računanje koeficijenta izentropskog sabijanja, a dalje, primjenom prethodno objašnjenih izvedenih termodinamičkih osobina, i specifičnih toplotnih kapaciteta pri konstantnom pritisku ili zapremini, sve na atmosferskom pritisku. Dobijene vrijednosti su date u Tabeli 75 u Prilogu, a njihove zavisnosti od temperature, kao i odnosi između smješa i čistih komponenti su prikazani na Slikama 5.2.4.19.-5.2.4.21.

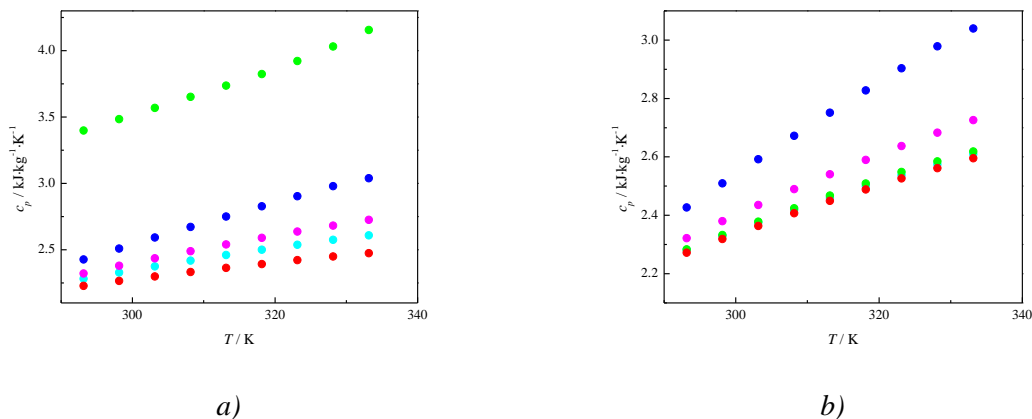
Koeficijent izentropskog sabijanja za ternerne smješe prati trend čistih supstanci od kojih su smješe napravljene, tj. gotovo linearno raste sa porastom pritiska. U skladu sa κ_S ternernih smješa sa ponaša intermolekulska slobodna dužina koja se računa direktno iz koeficijenta izentropske kompresibilnosti i bitno utiče na mogućnost sabijanja supstanci. Iako SME ima niže κ_S i L_f nego EuroDizel, vrijednosti ovih veličine za etanol su znatno više pa i smješe ova tri jedinjenja imaju veće koeficijent izentropskog sabijanja i intermolekulska slobodnu dužinu nego EuroDizela (Slika 5.2.4.19.). Kada se uporede binarne smješe EuroDizela sa SME i ternerne u koje je još dodat etanol (Slika 5.2.4.19.) primjećuje se da κ_S linearno opada sa dodatkom biodizela, a da isto tako raste sa povećanjem udjela etanola, što je primjetno i kod L_f . Pri malim udjelima i biodizela i etanola, vrijednosti izračunate za smješe su dosta slične onim kod čistog EuroDizela i to potvrđuje prednost korišćenja nižih smješa dizel goriva sa raznim dodacima.



Slika 5.2.4.19. Koeficijent izentropskog sabijanja ternernih smješa EuroDizela sa SME i etanolom

Na ovo termodinamičko svojstvo je, takođe, primjenjeno Kay-ovo pravilo miješanja i dobijena su prihvatljiva slaganja eksperimentalnih i procjenjenih vrijednosti: $AAD=0.495\%$ (oko 3.781 TPa^{-1}) za smještu sa 5 vol% etanola i $AAD=1.343\%$ (oko 10.47 TPa^{-1}) za onu sa 10 vol% etanola.

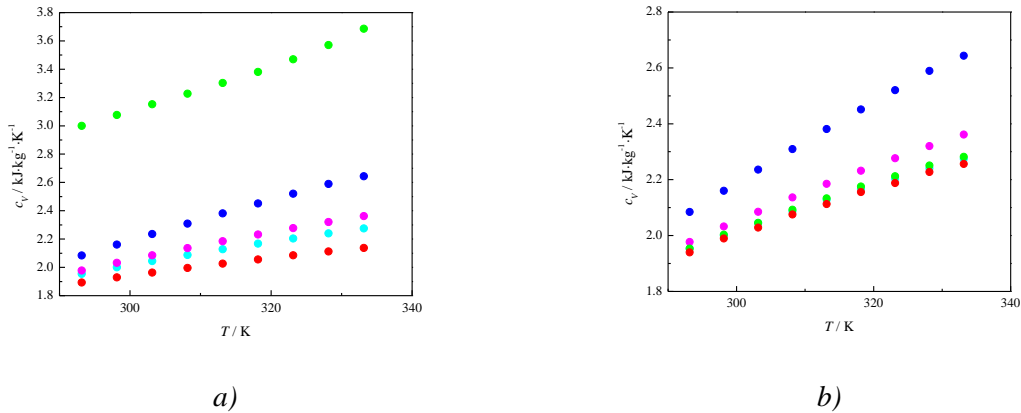
I specifični toplotni kapaciteti rastu sa porastom temperature, s tim što je taj rast nešto izraženiji za etanol nego za dizel i biodizel, pa je tako razlika među c_p ili c_v na različitim temperaturama viša za smješe sa većim udjelom etanola. SME imaju malo niže vrijednosti toplotnih kapaciteta u odnosu na dizel gorivo, ali zato etanol ima znatno veće pa tako i ternerne smješe, i pored određene količine biodizela u njima, rastu već sa dodatkom i malih količina, 5 vol%, etanola. I za čiste komponente i za smješe, bilo binarne ili ternerne, je primjećeno da je specifični toplotni kapacitet određen pri konstantnoj zapremini niži od onog određenog pri stalnom pritisku, što pokazuje da će pri istoj promjeni toplote u uzorku doći do veće promjene temperature ako se proces dovođenja / odvođenja toplote odvija bez promjene zapremine nego pri stalnom pritisku.



Slika 5.2.4.20. Specifični toplotni kapaciteti određeni pri konstantnom pritisku za a) (●) SME, (●) etanol, (●) ED85SME10EtOH5, (●) ED80SME10EtOH10 i (●) EuroDizel i b) (●) ED90SME10, (●) ED80SME20, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) ED80SME10EtOH10 u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

Sa Slika 5.2.4.20. i 5.2.4.21. se može zaključiti da se specifični toplotni kapaciteti smanjuju sa dodatkom biodizela u dizel gorivo, a da znatno više rastu sa porastom udjela etanola u smješama. Kay-ovo pravilo miješanja je za ove veličine dalo sljedeće rezultate: $AAD=1.024\%$ i 6.012% (oko $0.027 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ i $0.170 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) redom za

ED85SME10EtOH5 i ED80SME10EtOH10 pri poređenju izobarskog specifičnog toplotnog kapaciteta. Kada je poređen specifični toplotni kapacitet određen pri stalnoj zapremini dobijena su nešto bolja slaganja, AAD je 0.738 % (oko $0.016 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) za smješu sa 5 vol% etanola i 5.846 % (oko $0.143 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) za smješu sa 10 vol% etanola. Lako se može uočiti da su slaganja slabija za smješe sa većim udjelom etanola, a to bi se moglo objasniti time da je zamjene molskih udjela zapreminskim u Kay-ovom pravilu miješanja opravdana za smješe dizela sa biodizelom, ali u smješama sa etanolom nije zbog vrlo vjerovatnog reagovanja etanola sa biodizelom. I pored toga dobijene vrijednosti srednjih apsolutnih procentualnih odstupanja su prihvatljive za neke manje precizne industrijske proračune za smješe dizela sa biodizelom i nižim udjelima etanola.



Slika 5.2.4.21. Specifični toplotni kapaciteti određeni pri konstantnoj zapremini za a) (●) SME, (●) etanol, (●) ED85SME10EtOH5, (●) ED80SME10EtOH10 i (●) EuroDizel i b) (●) ED90SME10, (●) ED80SME20, (●) ED85SME10EtOH5 i (●) ED80SME10EtOH10 u zavisnosti od temperature na atmosferskom pritisku

ZAKLJUČCI

6.

U okviru ove doktorske disertacije ispitivana su termodinamička i transportna svojstva biodizela, dizel goriva i njihovih smješa na raznim temperaturama i pritiscima. Mjerene su gustine, viskoznosti, indeksi refrakcije i brzine zvuka pomenutih uzoraka na atmosferskom pritisku, kao i gustine na visokim pritiscima. Tokom rada na ovoj doktorskoj disertaciji izvršeno je uspostavljanje nove aparature i procedure merenja gustina na visokim pritiscima, kao i kalibracija uređaja.

Odabrana je klasična kalibraciona metoda koja koristi jedan referentni fluid. Za potrebe njene primjene vršena su mjerenja perioda oscilovanja vakuimirane U cijevi DMA HP uređaja na temperaturama 288.15-473.15 K, kao i mjerenja perioda oscilovanja mjerne ćelije ispunjene Millipore vodom na temperaturama 288.15-453.15 K i pritiscima 0.1-60 MPa. Kao alternativni referentni fluid korišćen je *n*-dekan za koji su periodi oscilovanja mjereni na temperaturama 373.15-433.15 K i atmosferskom pritisku.

Provjera procedure mjerenja i primjene odabrane kalibracione metode je izvršena na supstancama *n*-heksan, toluen i dihlor-metan, za koje postoji veliki broj objavljenih podataka o gustinama na različitim uslovima. Slaganje gustina test supstanci određenih na novoj aparaturi sa ranije objavljenim je odlično, sa srednjim apsolutnim procentualnim odstupanjem za *n*-heksan ispod 0.10 % (manje od $0.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), za toluen 0.08 % (manje od $0.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i za dihlor-metan oko 0.03 % (manje od $0.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Gustine mjerene na visokim pritiscima su modelovane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom i optimizovani parametri jednačine su poslužili za proračun izvedenih termodinamičkih veličina: koeficijenta izotermnog sabijanja, koeficijenta izobarskog toplotnog širenja, unutrašnjeg pritiska i razlike između specifičnog toplotnog kapaciteta određenog pri stalnom pritisku i pri stalnoj zapremini.

Postupak korelisanja gustina određenih na visokim pritiscima i računanja izvedenih volumetrijskih svojstava je, takođe, testiran na *n*-heksanu, toluenu i dihlor-metanu. Srednja prosječna procentualna odstupanja mjerenih od vrijednosti dobijenih iz modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine su za *n*-heksan bila 0.023% (manje od $0.15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), za toluen 0.008 % (oko $0.07 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i za dihlor-metan 0.019 % (oko $0.25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), što potvrđuje ispravnost odabira jednačine za korelisanje gustina na visokim pritiscima. Izračunate vrijednosti koeficijenata izotermnog sabijanja i izobarskog toplotnog širenja za test

supstance su poređene sa rezultatima koji se mogu naći u literaturi i dobijena se veoma dobra slaganja, što ide u prilog predloženoj metodologiji računanja izvedenih termodinamičkih veličina.

U ovoj doktorskoj disertaciji date su viskoznosti metil i etil estara viših masnih kiselina iz suncokretovog ulja u temperaturnom intervalu 288.15-373.15 K i viskoznosti metil estara viših masnih kiselina iz svinjske masti na temperaturama 298.15-373.15 K. Za pomenute estre masnih kiselina je provjerena usaglašenost karakterističnih veličina sa standardima za biodizele i pokazalo se da se metil i etil estri viših masnih kiselina ispitivani u ovoj doktorskoj tezi mogu smatrati biodizelima. Osim biodizela, ispitivane su i viskoznosti EuroDizela na temperaturama 288.15-373.15 K. Pokazalo se da su metil estri i suncokretovog ulja i svinjske masti manje viskozni od etil estara suncokretovog ulja i da ispitivani biodizeli imaju veću viskoznost od EurDizela.

Nakon čistih uzoraka mjerne su i viskoznosti binarnih smješa dizel goriva sa po 10 vol% i 20 vol% biodizela dobijenih iz suncokretovog ulja na temperaturama 288.15-373.15 K, sa korakom od 5 K, i atmosferskom pritisku. Viskoznosti smješa EuroDizela sa metil estrima suncokretovog ulja su manje od viskoznosti njegovih smješa sa istim udjelom etil estara suncokretovog ulja. Viskoznosti smješa EuroDizela sa biodizelima eksponencijalno rastu sa porastom udjela biodizela u smješama i to je opisano Grunberg-Nissan-ovim pravilom mješanja. Dobijena dobra slaganja mjerenih sa viskoznostima smješa proračunatih iz viskoznosti čistih komponenti su potvrda sa se pomenuto pravilo može koristiti za predviđanje viskoznosti smješa dizel goriva sa biodizelom.

Viskoznosti ternernih smješa EuroDizela sa metil i etil estrima suncokretovog ulja, po 5 vol% i po 10 vol%, su mjerena na temperaturama 288.15-373.15 K, korak 5 K, a smješa EuroDizela sa SME, 10 vol%, i etanolom, 5 vol% i 10 vol%, na 288.15-333.15 K zbog lakše isparljivog etanola, sve na atmosferskom pritisku. Pokazalo se da ternerne smješe imaju imaju slične viskoznosti kao i binarne smješe sa istim ukupnim udjelom biodizela. Dodatak etanola smješama dizela i biodizela bitno utiča na njihova svojstva pošto etanol ima znatno niže vrijednosti viskoznosti u odnosu na dizel i biodizel. Viskoznosti ternernih smješa sa etanolom opadaju da porastom udjela etanola, ali su za male udjele vrlo bliski vrijednostima čistog EuroDizela što ih preporučuje za upotrebu kao gorivo u dizel

motorima. Vogel-Fulcher-Tammann model se pokazao kao pravi izbor za obradu viskoznosti, kako čistih komponenti, tako i smješa biodizela sadizel gorivom.

Indeksi refrakcije biodizela dobijenih iz suncokretovog ulja i EuroDizela su mjereni u opsjegu temperatura 288.15-343.15 K na atmosferskom pritisku, a za LME su mjerenja vršena na temperaturama 288.15-343.15 K. Biodizeli suncokretovog ulja imaju znato viši indeks refrakcije nego metil estri svinjske masti, s tim što SME imaju viši indeks refrakcije od EuroDizela, a SEE niži.

Binarne smješe EuroDizela sa estrima suncokretovog ulja su, takođe, mjerene na refraktometru u temperaturnom opsjegu 288.15-343.15 K na atmosferskom pritisku. Kay-ovo jednostavno pravilo miješanja se pokazalo kao veoma dobro za predviđanje indeksa refrakcije smješa dizela sa biodizelom.

Kod ternernih smješa EuroDizela sa SME i SEE, mjerenim na temperaturama 288.15-343.15 K na atmosferskom pritisku, nisu primjećene veće razlike u indeksu refrakcije u odnosu na binarne smješe EuroDizela sa SME ili SEE sa istim ukupnim udjelom biodizela. S druge strane, etanol ima mnogo niži indeks refrakcije u odnosu na dizel i biodizele pa i ternerne smješe sa njim imaju niže indekse refrakcije u odnosu na čist EuroDizel, ali ta razlika nije toliko značajna kada su u pitanju smješe sa manjim udjelima etanola.

Gustine biodizela i dizela su mjerene na atmosferskom pritisku na temperaturama 288.15-363.15 K, osim za LME kod kojih je početna temperatura bila 298.15 K, sa korakom od 5 K. Osim atmosferskih uslova ispitano je ponašanje pomenutih biodizela i dizel goriva i na visokim pritiscima kroz mjerenje gustina. Periodi oscilovanja mjerne U ćelije DMA HP uređaja ispunjene estrima suncokretovog ulja su mjereni na 16 izoterma iz opsjega 288.15-413.15 K, a mjerenje LME je vršeno od početne temperature 298.15 K na 2 izoterme manje. Periodi oscilovanja ćelije ispunjene EuroDizelom su određeni na 11 izoterma u intervalu 293.15-413.15 K, a sva mjerenja na novoj aparaturi su vršena na pritiscima 0.1-60 MPa. Pokazalo se da su metil estri suncokretovog ulja gušći od etil estara istog ulja, te da oba imaju veću gustinu nego metil estri svinjske masti pod istim uslovima. Svi ispitivani biodizeli su gušći od EuroDizela, što je veoma bitno znati jer gustine, kao i viskoznosti, imaju ogroman uticaj na proces atomizacije i sagorjevanja goriva u dizel motoru.

Gustine binarnih smješa EuroDizela sa SME i sa SEE, 10 vol% i 20 vol%, su mjerene na temperaturama 288.15-363.15 K i atmosferskom pritisku, a pored toga su određene i njihove gustine na 11 izoterma iz intervala 293.15-413.15 K i pritiscima do 60 MPa. Smješe EuroDizela sa SME su gušće od onih sa SEE i gustina smješa dizela sa biodizelom raste sa porastom udjela biodizela u njima. Gustine ternernih smješa EuroDizela sa SME i SEE, po 5 vol% i po 10 vol%, su mjerene na istim opsezima temperatura kao i binarne smješe, bila na atmosferskom pritisku, bilo na visokim pritiscima do 60 MPa. Gustine ternernih smješa dizela sa biodizelima su veoma sličneo gustinama binarnih smješa dizela sa SME ili SEE sa istim ukupnim udjelom biodizela. Ternerne smješe dizela sa SME, 10 vol%, i etanolom, 5 vol% ili 10 vol%, su mjerene na temperaturama 288.15-333.15 K na atmosferskom pritisku i na 293.15-413.15 K na pritiscima 0.1-60 MPa. Gustine etanola su niže nego gustine EuroDizela gotovo jednako koliko su gustine SME više pa njihov zajednički uticaj rezultira time da su ternerne smješe ovih komponenti gotovo jednake gustine kao i čist Eurodizel, što je dobro zbog upotrebe u dizel motorima. Kay-ovo pravilo miješanja daje nešto lošije rezultate u predviđanju gustina smješa dizela sa biodizelom i etanolom, ali su oni i dalje prihvatljivi za industrijske proračune.

Gustine ispitivanih uzoraka, kako čistih tako i njihovih binarnih i ternernih smješa, na visokim temperaturama i pritiscima su korelisane modifikovanom Tammann-Tait-ovom jednačinom, što je dalo izuzetno dobre rezultate i omogućilo računanje izvedenih volumetrijskih veličina u istim opsezima temperature i pritiska u kojima su određene i gustine.

Koeficijent izoternskog sabijanja za sve ispitivane uzorke ima karakterističan oblik, raste sa porastom temperature pri stalnom pritisku i opada sa porastom pritiska duž izoterma. Vrijednosti κ_T dobijene za EuroDizel su više nego za biodizele među kojima su LME stišljiviji od SEE koji opet imaju veći koeficijent izoternskog sabijanja od SME. Kada se posmatraju binarne smješe EuroDizela sa biodizelima dobijenim iz suncokretovog ulja primjećuje se da su smješe sa SME manje stišljive od onih sa SEE i da κ_T opada sa porastom udjela biodizela u smješama. Koeficijenti izoternskog sabijanja ternernih smješa dizela sa biodizelima su gotovo identični onima izračunatim za binarne smješe dizela sa istim udjelom biodizela. Kod ternernih smješa dizela sa SME i etanolom dolazi do

promjena odnosa stišljivosti smješa i čistog biodizela. Etanol ima primjetno viši κ_T od dizela, a samim tim i od biodizela, pa i stišljivost ispitivanih ternernih smješa u kojima je on jedna od komponenti raste sa porastom udjela etanola.

Koeficijenti izobarskog toplotnog širenja, takođe, imaju karakterističan oblik, tj. opadaju sa porastom pritiska duž izoterme i izoterme se sjeku na nekom pritisku na kom je α_p nezavisno od temperature. Koeficijent izobarskog toplotnog širenja dizela je viši nego kod biodizela što favorizuje upotrebu biodizela u dizel motorima jer se pokazalo da viši α_p dovodi do većih gubitaka snage motora usljed ubrizgavanja manje mase goriva. Kod ispitivanih binarnih i ternernih smješa dizela sa biodizelima pritisak na kom se sjeku izoterme α_p je niži od 60 MPa pa je uočljiva karakteristična promjena zavisnosti koeficijenta izobarskog toplotnog širenja od temperature. Osim pomenute, mijenja se i zavisnost α_p od udjela biodizela u njima. Na pritiscima ispod onog presjeka njegovih izoterme α_p binarnih i ternernih smješa opada sa porastom udjela biodizela u njima, a iznad pomenutog pritiska blago raste. Promjena gustine sa promjenom temperature je viša za smješe Eurodizela sa SME nego sa SEE, a vrijednosti α_p za ternerne smješe su između vrijednosti za binarne sa istim ukupnim udjelom biodizela. Kod ternernih smješa dizela sa biodizelom i etanolom pritisak presjeka izoterme α_p je viši od 60 MPa pa za ove smješe pod uslovima ispitivanim u ovoj tezi važi da koeficijent izobarskog toplotnog širenja konstantno raste sa porastom temperature pri stalnom pritisku i opada kada pritisak izotermiski raste. α_p posmatranih ternernih smješa raste sa porastom udjela etanola i dodavanje etanola ima znatno veći uticaj na svojstva smješa od dodavanja biodizela, što upućuje na to da bi količine etanola u smješama sa dizelom i biodizelom trebalo držati na što manjem nivou zbog smanjenja snage motora. Pokazalo se da se i koeficijenti izobarskog toplotnog širenja binarnih i ternernih smješa dizela sa biodizelima i etanolom jednostavno mogu predvidjeti Kay-ovog pravila miješanja.

Unutrašnji pritisak za sve ispitivane supstance i smješe opada sa porastom temperature pri stalnom pritisku, a kada pritisak raste unutrašnji pritisak pada na nižim izotermama, a na višim raste. Ispitivani biodizeli imaju znatno veći unutrašnji pritisak nego dizela, a razlike među biodizelima su veoma male. p_{int} smješa dizela sa SME su nešto viši nego kod smješa sa SEE i promjena unutrašnje energije sa promjenom gustine smiješa raste sa porastom

udjela biodizela u njima. Unutrašnji pritisak ternernih smješa dizela sa biodizelima je vrlo sličan kao kod binarnih smješa sa istim udjelom biodizela. Kao i kod ostalih ispitivanih termodinamičkih veličina uticaj dodatka etanola u smješe dizela sa biodizelom je veoma izražen i p_{int} smješa sa etanolom raste kada se poveća udio etanola u njima. Unutrašnji pritisak binarnih i ternernih smješa dizela sa biodizelom i etanolom se, takođe, uspješno predviđa primjenom Kay-ovog pravila miješanja.

Razlike između specifičnih toplotnih kapaciteta određenih pri konstantnom pritisku i konstantnoj zapremini opadaju sa porastom pritiska pri stalnoj temperaturi. Ispitivni biodizeli imaju veću vrijednost pomenute razlike u odnosu na dizel gorivo, a kod LME je veća nego kod SEE i SME. Kod binarnih smješa se može primjetiti da je na nižim temperaturama razlika izobarskog i izohorskog toplotnog kapaciteta veća za smješe dizela sa SME, nego sa SEE, ali je na višim temperaturama situacija obrnuta. Vrijednosti ove veličine kod ternernih smješa dizela sa biodizelima se ne poklapaju toliko očigledno sa vrijednosti izračunatim za binarne smješe dizela sa istim udjelom biodizela. Uticaj dodavanja etanola u smješe dizela sa biodizelom izaziva veće promjene u ponašanju smješa nego dodatak biodizela dizelu pa tako razlika izobarskog i izohorskog specifičnog toplotnog kapaciteta ternernih smješa sa etanolom značajno raste sa povećanjem udjela etanola u njima. Kay-ovo pravilo miješanja se i ovdje nametnulo kao najjednostavnije rješenje za predviđanje c_p-c_v vrijednosti za binarne i ternerne smješe dizela sa biodizelom i etanolom iz vrijednosti dobijenih za čiste komponentne smješa.

Pored nabrojanih termodinamičkih veličina, za metil estre suncokretovog ulja, dizel goriva i njihove binarne smješe (10 vol% i 20 vol% SME) su izmjerene i brzine prostiranja zvuka u uzorku na temperaturama 288.15-343.15 K, korak od 5 K, i atmosferskom pritisku, a za ternerne smješe dizela sa SME, 10 vol% i etanolom, 5 vol% i 10 vol%, su ista mjerenja vršena na temperaturama do 333.15 K zbog niže temperature ključanja etanola. Brzina zvuka u svim uzorcima linearno opada sa porastom temperature na atmosferskom pritisku. Zvuk se brže prostire u ispitivanom biodizelu nego u dizel gorivu, a u njihovim smješama brzina zvuka linearno raste sa porastom udjela biodizela. S druge strane, brzina zvuka u etanolu je znatno niža nego u EuroDizelu pa tako sa porastom udjela etanola u smješama linearno opada brzina prostiranja zvuka u njima. Pošto je u binarne smješe dizela sa SME

nešto viša nego u čistom dizelu, smanjenje brzine zvuka u ternernim smješama usljed dodatka etanola je ublaženo tako da se rezultujuće vrijednosti za u ternernih smješa ne razlikuju toliko puno od onih izmjerenih za čist EuroDizel. To je bitno jer pokazuje da se smješe, kako binarne tako i ternerne, sa nižim udjelima dodataka dizel gorivu ponašaju vrlo slično čistom dizelu pa se mogu lakše uključiti u komercijalnu upotrebu kao gorivo za dizel motore. Ispitivana veličina za binarne i ternerne smješe se može jednostavno proračunati iz vrijednosti čistih komponenti primjenom Kay-ovog pravila miješanja sa zadovoljavajućom pouzdanošću.

Iz mjerenih gustina i brzina prostiranja zvuka u uzorku su izračunati koeficijenti izentropskog sabijanja za uzorke za koje su mjerene brzine zvuka i pod istim uslovima, koji za sve uzorke linearno raste sa porastom temperature. Dizel gorivo ima veće vrijednosti κ_S , kao i intermolekulske slobodne dužine, nego SME na istim uslovima što znači da će se gustine dizela više porasti kad se poveća pritisak u uzorku pri stalnoj entropiji nego što bi to bio slučaj kod biodizela. κ_S binarnih smješa dizela sa biodizelom opada sa porastom udjela biodizela. Suprotno tome, etanol ima znatno veće vrijednosti koeficijenta izentropskog sabijanja nego EuroDizel pa njegove vrijednosti za ternerne smješe dizela sa biodizelom i etanolom linearno rastu sa porastom udjela biodizela. Zbog malih udjela biodizela i etanola u smješama sa dizel gorivom izračunate vrijednosti κ_S za smješe su dosta bliske onima kod čistog dizel goriva i to dodatno ide u prilog ideji o korišćenju nižih smješa dizela sa različitim dodacima umjesto čistog. Kay-ovo pravilo miješanja se i ovdje pokazalo kao zadovoljavajući izbor za proračun vrijednosti smješa na osnovu sastava.

Izvedena volumetrijska svojstva, proračunata primjenom parametara optimizovanih pri obradi gustina na visokim pritiscima, su omogućila računanje i specifičnih toplotnih kapaciteta određenih pri stalnom pritisku ili zapremini za one uzorke za koje su određeni i koeficijenti izentropskog sabijanja. Ispitivani specifični toplotni kapaciteti za sve ispitivane uzorke rastu sa porastom temperature na atmosferskom pritisku. Oba posmatrana toplotna kapaciteta su veća za dizel gorivo nego za biodizel, što je nedostatak koji se nadomještuje njihovim miješanjem. Vrijednosti c_p i c_v smješa dizela sa biodizelom opadaju sa porastom udjela biodizela, ali su za smješe sa 10 vol% i 20 vol%, koje su ispitivane u okviru ove doktorske disertacije, dosta bliske vrijednostima za čisto dizel gorivo. Pošto su izobarski i

izohorski specifični toplotni kapaciteti etanola mnogo veći nego kod dizel goriva, i vrijednosti pomenutih veličina za ternerne smješe dizela sa biodizelom i etanolom će rasti sa porastom udjela etanola. Ovdje predstavljene ternerne smješe koje sadrže male udjele SME, 10 vol%, i etanola, 5 vol% ili 10 vol%, imaju slične vrijednosti c_p i c_v kao i čist dizel pa se zaključuje da se mogu koristiti kao gorivo u dizel motorima. Pokazalo se da je izobarski specifični toplotni kapacitet za sve posmatrane uzorke, bilo čiste supstance, bilo binarne ili ternerne smješe, viši od izohorskog što znači da će ista promjena toplote u uzorku dovesti do manje promjene temperature ako se toplota dovodi ili odvodi bez promjene pritiska nego kad se cijeli proces odvija pri stalnoj zapremini. Dodatak etanola dizelu povoljno utiče na svojstva goriva kada su ove veličine u pitanju, ali treba uzeti u obzir i ostale termodinamičke i transportne veličine koje bitno utiču na rad dizel motora pa izabrati optimalne udjele dodataka dizel gorivu. Kao i kod prethodno prikazanih veličina Kay-ovo pravilo miješanja je dalo dobre rezultate pri predviđanju c_p i c_v binarnih i ternernih smješa na osnovu vrijednosti proračunatih za čisto dizel gorivo, metil estre suncokretovog ulja i etanol.

Predstavljene rezultati mjerenih i proračunatih termodinamičkih i transportnih svojstava dizel goriva, biodizela, etanola i njihovih smješa, na različitim temperaturama i pritiscima, pokazuju da se svojstva čistih jedinjenja dosta razlikuju. U zavisnosti od količine različite supstance pokazuju ponašanje koje bi moglo da doprinese boljem radu dizel motora ili da poveća gubitke snage pa je potrebno naći njihov optimalan odnos u smješama u cilju izvlačenja najboljih svojstava od svake.

LITERATURA

7.

1. M. Lj. Kijevčanin, S. P. Šerbanović, I. R. Radović, B. D. Djordjević, A. Ž. Tasić, *Fluid Phase Equilib.* 251 (2007) 78
2. D. M. Bajić, G. R. Ivaniš, Z. Višak, E. M. Živković, S. P. Šerbanović, M. Lj. Kijevčanin, *J. Chem. Thermodyn.* 57 (2013) 510
3. M. Lj. Kijevčanin, I. R. Radović, B. D. Djordjević, A. Ž. Tasić, S. P. Šerbanović, *Thermochim. Acta* 525 (2011) 114
4. J. M. Vuksanović, G. R. Ivaniš, M. Lj. Kijevčanin, S. P. Šerbanović, Z. P. Višak, M. S. Calado, *Fluid Phase Equilib.* 352 (2013) 100
5. A. B. Knežević-Stevanović, S. P. Šerbanović, I. R. Radović, B. D. Djordjević, M. Lj. Kijevčanin, *J. Chem. Eng. Data* 58 (2013) 2932
6. B. Lagourette, C. Boned, H. Saint-Guirons, P. Xans, H. Zhou, *Meas. Sci. Technol.* 3 (1992) 699
7. M. J. P. Comuñas, J.-P. Bazile, A. Baylaucq, C. Boned, *J. Chem. Eng. Data* 53 (2008) 986
8. G. Knothe, J. Van Gerpen, J.E. Krahl. *The biodiesel handbook*. Illinois: AOCS Press; 2005.
9. F. Ma, M.A. Hanna, *Bioresour Technol* 1999; 70(1):1-15.
10. M. Canakci, *Bioresour Technol* 2006; 98:1167-75.
11. E.G. Shay, *Biomass Bioenerg* 1993; 4: 227-42.
12. J. Pullen, K. Saeed, *Energy* 2014; 72:1-16.
13. BS EN 14214:2012+A1:2014. Liquid petroleum products - Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications - Requirements and test methods
14. I. Barabás, I.A. Todoruț, Biodiesel quality, standards and properties. In: Montero G, Stoytcheva M, editors. *Biodiesel-quality, emissions and by-products*, In tech; 2011, p.3-28.
15. M.S. Graboski, R.L. McCormick, *Prog Energy Combust Sci* 1998;24(2):125-64.
16. J. Pullen, K. Saeed, *Energy* 2014; 72:17-34.
17. M.N. Lapuerta, O. Armas, J. Rodríguez-Fernández, *Prog Energy Combust Sci* 2008;34:198-223.
18. J.M. Dias, M.C.M. Alvim-Ferraz, M.F. Almeida, J.D.M. Díaz, M.S. Polo, J.R. Utrilla, *Fuel* 2012;94:418–25.

-
19. J.M. Dias, M.C.M. Alvim-Ferraz, M.F. Almeida, *Energy & Fuels* 2008, 22, 3889–3893
 20. J.M. Dias, M.C.M. Alvim-Ferraz, M.F. Almeida, *Bioresource Technology* 100 (2009) 6355–6361
 21. C. Carraretto, A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato, S. Tonon, *Energy* 29 (2004) 2195–2211
 22. B.S. Chauhan, R.K. Singh, H.M. Cho, H.C. Lim, *Renew Sust Energy Rev* 2016;59:1358–68.
 23. A.M. Liaquat, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, I.M. Rizwanul Fattah, *Energy* 2014;72:813–23.
 24. A. Nalgundwar, B. Paul, S.K. Sharma, *Fuel* 2016;173:172–9.
 25. M.J. Abedin, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, A. Sanjid, S.M. Ashrafur Rahman, I.M. Rizwanul Fattah, *Ind Crops Prod* 2014;59:96–104
 26. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009
 27. J. Malca, F. Freire, *Renew Sust Energy Rev* 2011;15:338–51.
 28. EN 590:2009 European standard for Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods, Supersedes EN 590:2004, April 2009
 29. F. Boudy, P. Seers, *Energ Convers Manage* 2009;50:2905–12.
 30. N.M.C.T. Prieto, A.G.M. Ferreira, A.G.T. Portugal, R.J. Moreira, J.B. Santos, *Fuel* 2015;141: 23–38.
 31. P. Benjumea, J. Agudelo, A. Agudelo, *Fuel* 2008;87:2069–75.
 32. M. Habrioux, J.P. Bazile, G. Galliero, J.L. Daridon, *J Chem Eng Data* 2015;60:902–8.
 33. M. Dzida, P. Prusakiewicz, *Fuel* 2008;87:1941–8.
 34. S.V.D. Freitas, J.J. Segovia, S.M.C. Marts, J. Zambrano, M.B. Oliveira, A.S. Lima, J.A.P. Coutinho, *Fuel* 2014;122:223–228
 35. G.R. Ivaniš, I.R. Radović, V.B. Veljković, M.Lj. Kijevčanin, *Fuel* 2016;165:244–51.
 36. A. Datta, B.K. Mandal, *Renew Sust Energy Rev* 2016;57:799–821.
 37. G. Fontaras, M. Kousoulidou, G. Karavalakis, T. Tzamkiozis, P. Pistikopoulos, L. Ntziachristos, E. Bakeas, S. Stournas, Z. S. Samaras, *Z. Environ Pollut* 2010;158:1451–45.
 38. G. Fontaras, G. Karavalakis, M. Kousoulidou, L. Ntziachristos, E. Bakeas, S. Stournas, Z. Samaras, *Environ Pollut* 2010;158:2496–503.

-
39. S. Geacai, O. Iulian, I. Nita, *Fuel* 2015;143:268–14.
 40. M.E.A. Fahd, P.S. Lee, S.K. Chou, Y. Wenming, C. Yap, *Renew Energ* 2014;68:282–88.
 41. L.F. Ramírez-Verduzco, B.E. García-Flores, J.E. Rodríguez-Rodríguez, A.R. Jaramillo-Jacob, *Fuel* 2011;90:1751–75.
 42. M.A. Wakil, M.A. Kalam, H.H. Masjuki, A.D. Atabani, I.M. Rizwanul Fattah, *Energ Convers Manage* 2015; 94: 5115;.
 43. M. Gülüm, A. Bilgin, *Fuel Process Technol* 2016;149:121–30.
 44. P.R. Kale, A.D. Kulkarni, S. Nandi, *Ind Eng Chem Res* 2014;53:19654–9.
 45. I. Nita, S. Geasai, O. Iulian, *Renew Energy* 2011;36:3417–23.
 46. S. Baroutian, M.K. Aroua, A.A.A. Raman, N.M.N. Sulaiman, *J Chem Eng Data* 2010;55:504–7.
 47. M.J. Pratas, S. Freitas, M.B. Oliveira, S.C. Monteiro, A.S. Lima, J.A.P. Coutinho, *J Chem Eng Data* 2010, 55, 3983–3990.
 48. R.E. Tate, K.C. Watts, C.A.W. Allen, K.I. Wilkie, *Fuel* 2006;85:1004–9.
 49. M.J. Pratas, M.B. Oliveira, M.J. Pastoriza-Gallego, A.J. Queimada, M.M. Pineiro, J.A.P. Coutinho, *Energy Fuels* 2011;25:3806–14.
 50. A. Schedemann, T. Wallek, M. Zeymer, M. Maly, J. Gmehling, *Fuel* 2013;107:483–92.
 51. C. Aparicio, B. Guignon, L.M. Rodriguez-Anton, P.D. Sanz, *J Therm Anal Calorim* 2007;89:13–9.
 52. M. Gülüm, A. Bilgin, *Fuel Process Technol* 2015;134:456–64.
 53. E. Alptekin, M. Canakci, *Renew Energ* 2008;33:2623–30.
 54. M.E. Tat, J.H. Van Gerpen, *JAOCs* 2000;77:1511–3.
 55. C.A.J. Nogueira, V.M. Nogueira, D.F. Santiago, F.A. Machado, F.A.N. Fernandes, R.S. Santiago-Aguiar, H.B. De Sant'Ana, *J Chem Eng Data* 2015;60:3120–31.
 56. T. Eryilmaz, M.K. Yesilyurt, *Renew Energ* 2016;95:233–47.
 57. A. M. Duncan, N. Pavlicek, C.D. Depcik, A.M. Scurto, S.M. Stagg-Williams, *Energy Fuels* 2012;26:7023–36.
 58. R.C. Parente, C.A.J. Nogueira, F.R. Carmo, L.P. Lima, F.A.N. Fernandes, R.S. Santiago-Aguiar, H.B. Sant'Ana, *J Chem Eng Data* 2011;56:3061–67.

-
59. C. Aparicio, B. Guignon, L.M. Rodriguez-Anton, P.D. Sanz, *J Agric Food Chem* 2007; 55:7394-8.
60. M. Tomic, L. Savin, R. Micic, M. Simikic, T. Furman, *Energy* 2014;65:101-8.
61. K. Rajagopal, G. Johnson Newton, J. Selwin Rajadurai, C. Adhikesavan, J. Johnson, J. *Int J Chem Tech Res* 2015;8:371-83.
62. G. Labeckas, S. Slaviskas, M. Maz'eika, *Energ Conv Man* 79 (2014) 698–720
63. C.D. Rakopoulos, K.A. Antonopoulos, D.C. Rakopoulos, *Energy* 2007;32(10):1791–808.
64. D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, E.C. Kakaras, E.G. Giakoumis, *Energy Conversion and Management* 49 (2008) 3155–3162
65. H. Chen, S.J. Shuai, J.X. Wang, *Proceedings of the Combustion Institute* 31 (2007) 2981–2989
66. S.H. Park, I.M. Youn, C.S. Lee, *Fuel* 90 (2011) 748–755
67. X. Shia, X. Panga, Y. Mua, H. Hea, S. Shuaib, J. Wangb, H. Chenb, R. Lib, *Atmospheric Environment* 40 (2006) 2567–2574
68. S.H. Park, I.M. Youn, C.S. Lee, *Fuel Processing Technology* 91 (2010) 1753–1760
69. A.K. Agarwal, *Progress in Energy and Combustion Science* 33 (2007) 233–271
70. A. Imran, M. Varman, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (2013) 739–751
71. L. Grunberg, A.H. Nissan, *Nature* 1949;164:799–800
72. X. Wang , K. Kang, H. Lang, *J. Chem. Thermodynamics* 103 (2016) 310–315
73. F.M. Gaciño , T. Regueira , A.V. Bolotov, A. Sharipov, L. Lugo, M. J.P. Comuñas , J. Fernández, *J. Chem. Thermodynamics* 93 (2016) 24–33
74. L.M. . Rodríguez-Anton, C. Aparicio, B. Guignon, P.D. Sanz, *Fuel* 87 (2008) 1934–1940
75. O. Fandiño, L. Lugo, M. J.P. Comuñas, E. R. López, J. Fernández, *J. Chem. Thermodynamics* 42 (2010) 84–89
76. G.A. Torín-Ollarves, J.J. Segovia, M. C. Martín, M. A. Villamañ, *J. Chem. Eng. Data* 2013, 58, 2717–2723

-
77. T. Ahmed, Hydrocarbon phase behaviour. Houston, TX. Gulf Publishing Company; 1989.
 78. B. Đorđević, V. Valent, S. Šerbanović, M. Kijevčanin, Termodinamika, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2015.
 79. F. Zdanski, Mehanika fluida. Teorija operacija količine kretanja, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1989.
 80. J. H. Dymond and R. Malhotra, International Journal of Thermophysics, Vol. 9, No. 6, 1988
 81. T. R. Muñiz, Ph.D.Thesis, Universidade de Santiago de Compostela , Španija, 2013.
 82. M. Kijevčanin, B. Đorđević, S. Šerbanović, Hemijsko-inženjerska termodinamika-zbirka dataka sa teorijskim osnovama, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2007.
 83. J. Safarov, F. Millero, R. Feistel, A. Heintz, E. Hassel, Thermodynamic properties of standard seawater: extensions to high temperatures and pressures. Ocean Sci 2009;5:235-46.
 84. M. Srinivasa Reddy, K. Thomas, S.S. Raju, A. Sreenivasa Rao, N. Sharmila, B. Hari Babu, J. Chem. Thermodynamics 101 (2016) 139–149
 85. J. D. Pandey, V. Sanguri, M. K. Yadav, A. Singh, Indian J chem A, 47 (2008) 1020-1025
 86. B. Jacobson, J chem phzs 20 (1952.) 927-928
 87. B. Jacobson Acta chem scand 6 (1952.) 1485-1498.
 88. I. R. Radović, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2008.
 89. V. D. Spasojević, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2014.
 90. A. B. Knežević-Stevanović, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2013.
 91. P. W. Bridgman *Proc. Am. Acad. Arts Sci.* 66 (1931) 185
 92. J. W. M. Boelhouwer *Physica* 26 (1960) 102 1
 93. P.J. Back, A.J. Easteal, R.L. Hurlle, L.A. Woolf, J. Phys. E: Sci. Instrum. 15 (1982) 360.

-
94. T. Kamimura, A. Iso, Y. Higashi, M. Uematsu, K. Watanabe, *Rev. Sci. Instrum.* 60 (1989) 3055-3061
 95. Y. Kabata, S. Yamaguchi, M. Takada, M. Uematsu, *J. Chem. Thermodyn.* 24 (1992) 785-796.
 96. A.J. Easteal, L.A. Woolf, *J. Chem. Thermodyn.* 17 (1985) 49-62.
 97. O. Osada, M. Sato, M. Uematsu, *J. Chem. Thermodyn.* 31 (1999) 451-463.
 98. T. Munakata, K. Kasahara, M. Uematsu, *J. Chem. Thermodyn.* 34 (2002) 807-819
 99. A.R.H. Goodwin, K.N. Marsh, W.A. Wakeham, *Measurement of the Thermodynamic Properties of Single Phases*, Elsevier, Amsterdam, 2003.
 100. R. Kleinrahm, W. Wagner, *J. Chem. Thermodynamics* 1986, 18, 739-760
 101. R. Kleinrahm, W. Duschek, W. Wagner, *J Chem Thermodyn* 1986, 18, 1103-1114
 102. Markus Richter · Reiner Kleinrahm · Stefan Glos · Wolfgang Wagner · Roland Span · Peter Schley · Martin Uhrig, *Int J Thermophys* (2010) 31:680–69
 103. W. Wagner, K. Brachthäuser, R. Kleinrahm, H.W. Lösch, *Int. J. Thermophys.* 16 (1995) 399-411.
 104. C.R. Chamorro, J.J. Segovia, M.C. Martín, M.A. Villamañan, J.F. Estela-Urbe, J.P.M. Trusler, *J.Chem. Thermodyn.* 38 (2006) 916-922.
 105. D. Sommer, R. Kleinrahm, R. Span, W. Wagner, *J. Chem. Thermodyn.* 43 (2011) 117-132.
 106. J. Klimeck, R. Kleinrahm, W. Wagner, *J. Chem. Thermodyn.* 33 (2001) 251-267
 107. M. Dix, J.M.N.A. Fareleira, Y. Takaishi, W.A. Wakeham, *Int. J. Thermophys.* 12 (1991) 357-370.
 108. A.A.H. Pádua, J.M.N.A. Fareleira, J.C.G. Calado, W.A. Wakeham, *Int. J. Thermophys.* 15 (1994) 229-243.
 109. F. Audonnet, A.A.H. Pádua, *Fluid Phase Equilib.* 216 (2004) 235-244.
 110. A.S. Pensado, A.A.H. Padua, M.J.P. Comuñas, J. Fernández, *J. Supercrit. Fluids* 44 (2008) 172-185.
 111. X. Meng, P. Zheng, J. Wu, Z. Liu, *J. Chem. Eng. Data* 53 (2008) 1474-1478.
 112. O. Kratky, H. Leopold, H. Stabinger, *Z. Angew. Phys.* 27 (1969) 273

-
113. I.M. Abdulagatov, J.T. Safarov, F.S. Aliyev, M.A. Talibov, A.N. Shahverdiyev, E.P. Hassel, *Fluid Phase Equilib.* 268 (2008) 21-33.
114. J. de la Cruz de Dios, C. Bouchot, L.A. Galicia Luna, *Fluid Phase Equilib.* 210 (2003) 175-197.
115. L. Fedele, S. Marinetti, F. Pernechele, S. Bobbo, M. Scattolini, *J. Chem. Eng. Data* 53 (2008) 1779-1784.
116. F. Alaoui, E. Montero, J.P. Bazile, M.J.P. Comuñas, C. Boned, *Fluid Phase Equilib.* 320 (2012) 43-48.
117. D. Cabaleiro, M.J. Pastoriza-Gallego, M.M. Piñeiro, J.L. Legido, L. Lugo, *J. Chem. Thermodyn.* 50 (2012) 80-88.
118. L. Moravkova, Z. Wagner, K. Aim, J. Linek, *J. Chem. Thermodyn.* 38 (2006) 861-870.
119. J. Berje, A. Schedemann, J. Gmehling, *Fluid Phase Equilib.* 300 (2011) 110-115.
120. Ivaniš GR, Tasić AŽ, Radović IR, Djordjević BD, Šerbanović SP, *KijevčaninMLj. J. Serb Chem Soc* 2015;80:1073-85.
121. R. L. Gardas, I. Johnson, D. M. D. Vaz, I. M. A. Fonseca, A. G. M. Ferreira, *J. Chem. Eng. Data* 52 (2007) 737
122. V. R. Ivaniš, Master rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2013.
123. J. Segovia, O. Fandiño, E. López, L. Lugo, M. C. Martín, J. Fernández, *J. Chem. Thermodyn.* 41 (2009) 632
124. F.H. Fisher, O.E. Dial, Jr., *Equation of state of pure water and sea water*, in *Proceeding of the Marine Physical Laboratory of the Scripps Institution of Oceanography*, (1975), San Diego, California, USA, p.1
125. C. Eckart, *Am. J. Sci.* 256 (1958) 225
126. G. S. Kell, E. Whalley, *Proc. Roy. Soc. A.* 258 (1965) 565
127. W. Wagner, A. Pruss, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 2002, 31, 387-535.
128. *TRC, Thermodynamic Tables*; Texas A&M University: College Station, 1996
129. *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, European Cooperation for Accreditation, EA-4/02, 1999.

-
130. N. D. Grozdanic, V. Najdanovic-Visak, M.Lj. Kijevcanin, S. P.Serbanovic, Nunes da Ponte M., Visak Z. P, *Fluid Phase Equilibria* 310 (2011) 198– 206
131. G.R. Ivanis a, J.M. Vuksanovic, M.S. Calado, M.Lj. Kijevcanina, S.P. Serbanovic Z.P. Visak , *Fluid Phase Equilibria* 316 (2012) 74–84
132. M. S. Calado, G. R. Ivaniš, J. M. Vuksanović, M. Lj. Kijevčanin, S. P. Šerbanović, Z. P. Višak, *Fluid Phase Equilibria* 344 (2013) 6-12
133. Z. P. Višak, M. S. Calado, J. M. Vuksanović, G. R. Ivaniš, A. S. H. Branco, N. D. Grozdanić, M. Lj. Kijevčanin, S. P. Šerbanović, *Arabian Journal of Chemistry* (2015), u štampi
134. O. Stamenković, Z. Todorović, M. Lazić, V. Veljković, D. Skala, *Bioresource Technology* 99 (2008) 1131-1140
135. D. Skala, S. Glišić, I. Lukič, A. Orlović, *Hemijska industrija* 58 (4) (2004) 176-185
136. V. Veljković, O. Stamenković, Z. Todorović, M. Lazić, D. Skala, *Fuel* 88 (2009), 1554-1562
137. Stojković IJ, Banković-Ilić IB, Veličković AV, Avramović JM, Stamenković OS, Povrenović DS, Veljković VB. *Chem Eng Technol* 39 (2016) 741-750
138. Avramović JM, Stamenković OS, Todorović ZB, Lazić ML, Veljković VB. *Chem Ind Chem Eng Q* 2012;18:115–27.
139. Knothe G. *Energy Fuels* 2012; 26:5265–5273
140. L. Lugo, M.J.P. Comuñas, E.R. López, J. Fernández, *Fluid Phase Equilib.* 186 (2001) 235
141. M. J. P. Comuñas ,E. R. Lopez, P. Pires, J. Garcia, J. Fernandez, *Int. J. Thermophys.* 21 (2000) 831
142. S. L. Randzio, J.-P. E. Grolier, J. R. Quint, D. J. Eatough, E. A. Lewis, L. D. Hansen, *Int. J. Thermophys.* 15 (1994) 415
143. Ph. Pruzan, *J. Chem. Thermodyn.* 23 (1991) 247
144. J. Troncoso, D. Bessières, C.A. Cerdeiriña, E. Carballo, L. Romaní, *Fluid Phase Equilib.* 208 (2003) 141

-
145. Y. A. Sanmamed, A. Dopazo-Paz, D. González-Salgado, J. Troncoso, L. Romani, *J. Chem. Thermodyn.* 41 (2009) 1060
146. J. L. Daridon, B. Lagourette, J.-P. E. Grolier, *Int. J. Thermophys.* 19 (1998) 145
147. I. Cibulka, T. Takagi, *J. Chem. Eng. Data* 44 (1999) 411
148. M. J. Assael, H. M. T. Avelino, N. K. Dalaouti, J. M. N. A. Fareleira, K. R. Harris, *Int. J. Thermophys.* 22 (2001) 789
149. F.A.M.M. Gonçalves, C.S.M.F. Costa, J.C.S. Bernardo, I. Johnson, I.M.A. Fonseca, A.G.M. Ferreira, *J. Chem. Thermodyn.* 43 (2011) 105
150. A.M. Demiriz, Ph.D. Thesis, University of Bochum, Bochum, Germany, 1986.
151. P. Morgado, J. Black, J. B. Lewis, C. R. Iacovella, C. McCabe, L. F.G. Martins, E. J. M. Filipe, *Fluid Phase Equilib.* 358 (2013) 161
152. J. M. Vuksanovic, E. M. Zivkovic, I. R. Radovic, B. D. Djordjevic, S. P. Serbanovic, M. Lj. Kijevcanin, *Fluid Phase Equilib.* 345 (2013) 28158. *Nas Fuel I*
153. Ivaniš GR, Radović IR, Veljković VB, Kijevčanin MLj. *Fuel* 184 (2016) 277–288.
154. E Lois, *Fuel* 86 (7), 1212-1213 (Letter to editor)
155. M. Dzida, S. Jezak, J. Sumara, M. Z arska, P. Goralski, *Fuel* 111 (2013) 165–171
156. Pratas MJ, Freitas S, Oliveira MB, Monteiro SC, Lima AS, Coutinho JAP. *J Chem Eng Data* 2011, 56, 2175–2180.
157. E. H. I. Ndiaye, M. Habrioux, J. A. P. Coutinho, M. L. L. Paredes, J. L. Daridon, *J. Chem. Eng. Data* 2013, 58, 1371–1377
158. E. Vercher, A. Vicent Orchille's, P. J. Miguel, A. Martí nez-Andreu, *J. Chem. Eng. Data* 2007, 52, 1468-1482
159. M. Iglesias, A. Torres, R. Gonzalez-Olmos, D. Salvatierra, *J. Chem. Thermodynamics* 40 (2008) 119–133
160. Sandra M. Garcia-Abarrio, Laura Vilorio, Luisa Haya, Jose S. Urieta, Ana M. Mainar, *Fluid Phase Equilibria* 308 (2011) 78– 89
161. R. Gonzalez-Olmos, M. Iglesias, *J. Chem. Thermodynamics* 39 (2007) 1557–1564
162. A. O. Suliman, Master rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2015.
163. Z. Simić, Završni rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2015.

-
164. A. Lazić, Završni rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2016.
165. J. M. Resa, C. González, J. M. Goenaga, M. Iglesias, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 87 (2007) 1, 237–245
166. Jianguo Zhou, Rongjiao Zhu, Hongfei Xu, Yiling Tian, *J. Chem. Thermodyn.* 42 (2010) 1429
167. Claudio A. Cerdeiriña, Clara A. Tovar, Diego González-Salgado, Enrique Carballo, Luis Romaní, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 3 (2001) 5230
168. M. Chorażewski, J.-P. E. Grolier, S. L. Randzio, *J. Chem. Eng. Data* 55 (2010) 5489
169. C. K. Zéberg-Mikkelsen, S. I. Andersen, *J. Chem. Eng. Data* 50 (2005) 524
170. A. J. Eastal, L. A. Woolf, *Int. J. Thermophys.* 6 (1985) 331
171. A. A. Abdussalam, G. R. Ivaniš, I. R. Radović, M. Lj. Kijevčanin, *J. Chem. Thermodynamics* 100 (2016) 89–99
172. Ivaniš GR, Tasić AŽ, Radović IR, Djordjević BD, Šerbanović SP, Kijevčanin MLj. *J. Serb Chem Soc* 2015;80:1423-33.
173. S.J. Ashcroft, D.R. Booker, J.C.R. Turner, *J. Chem. Soc., Faraday Trans.* 86 (1990) 145-149.
174. Y.A. Sanmamed, D. González-Salgado, J. Troncoso, C.A. Cerdeiriña, L. Romaní, *Fluid Phase Equilib.* 252 (2007) 96-102.
175. M.S. Durán-Zenteno, H.I. Pérez-López, L.A. Galicia-Luna, O. Elizalde-Solis, *J. Chem. Thermodyn.* 51 (2012) 126-131.

PRILOG

Tabele

Tabela 1. Specifikacije DMA 5000 gustinomjera

Opsjeg gustina:	0 do 3 g·cm ⁻³
Opsjeg radne temperature:	0 do +90 °C (32-194 °F)
Opsjeg radnih pritisaka:	0 do 10 bar (0 do 150 psi)
Rezolucija:	do 1·10 ⁻⁶ g/cm ³
Preciznost gustine:	do 0.00001 g/cm ³
Preciznost temperature:	0.001 °C
Ponovljivost s.d.:	do 1·10 ⁻⁶ g/cm ³
Materijal cijevi:	borosilikatno staklo
Zapremina mjerne ćelije:	približno 1 ml
Dimenzije / težina:	440 x 315 x 220 mm / 24 kg
Napajanje:	AC 100 do 240 V, 50 do 60 Hz
Potrošnja:	50 VA
Interfejsi:	RS 232 C kompjuterski interfejs, S-BUS interfejsi, eksterni analogni ulaz

Tabela 2. Specifikacije SVM 3000 viskometra

Opsjeg dinamičke viskoznosti:	0.2-20000 mPa·s
Opsjeg kinematske viskoznosti:	0.2-20000 mm ² ·s ⁻¹
Opsjeg gustine:	0.65 do 3 g·cm ⁻³
Opsjeg radne temperature:	10 do +105 °C (bez spoljašnjeg hlađenja)
Preciznost viskoznosti:	±0.35 % mjerene vrijednosti
Preciznost gustine:	±0.0005g/cm ³
Preciznost temperature:	0.02 °C (0.09 °F)
Ponovljivost viskoznosti:	±0.1 % mjerene vrijednosti
Materijal cijevi:	Hastelloy C-276
Zapremina mjerne ćelije:	približno 1 ml
Dimenzije / težina:	440 x 315 x 220 mm / 16 kg
Napajanje:	AC 100 do 240 V, 50 do 60 Hz
Potrošnja:	330 VA
Interfejsi:	RS 232 C kompjuterski interfejs, S-BUS interfejsi, eksterni analogni ulaz

Tabela 3. Specifikacije RXA 156 refraktometra

Opsjeg indeksa refrakcije:	1.32-1.56
Opsjeg radne temperature:	+10 do +70 °C (50-158 °F)
Izvor svjetlosti:	LED lampa, 589.3 nm
Preciznost indeksa refrakcije:	$2 \cdot 10^{-5}$
Preciznost temperature:	0.03 °C (0.09 °F)
Materijal cijevi:	Hastelloy C-276
Zapremina mjerne ćelije:	0.3-1 ml
Dimenzije / težina:	250 x 160 x 180 mm / 6 kg
Napajanje:	AC 100 do 240 V, 50 do 60 Hz
Potrošnja:	330 VA
Interfejsi:	RS 232 C kompjuterski interfejs, S-BUS interfejsi, eksterni analogni ulaz

Tabela 4. Specifikacije uređaja DSA 5000 M

Opsjeg gustina:	0 do 3 g/cm ³
Opsjeg brzine zvuka:	1000-2000 m·s ⁻¹
Opsjeg radne temperature:	0 do 70 °C
Opsjeg pritiska:	0-3 bar
Ponovljivost gustine:	do 0.000001 g/cm ³
Ponovljivost brzine zvuka:	0.1 m·s ⁻¹
Ponovljivost temperature:	0.001°C
Materijal cijevi:	Hastelloy C-276 / borosilikatno staklo
Zapremina mjerne ćelije:	približno 3 ml
Dimenzije / težina:	495 x 330 x 230 mm / 22.5 kg
Napajanje:	AC 100 do 240 V, 50 do 60 Hz
Potrošnja:	190 VA
Interfejsi:	RS 232 C kompjuterski interfejs, S-BUS interfejsi, eksterni analogni ulaz

Tabela 5. Specifikacije uređaja DMA HP

Opsjeg gustina:	0 do 3 g/cm ³
Opsjeg radne temperature:	-10 do +200 °C (14-392 °F)
Opsjeg radnih pritisaka:	0 do 700 bar (0 do 10000 psi)
Rezolucija:	0.000001 g/cm ³
Preciznost gustine:	do 0.0001 g/cm ³
Preciznost temperature:	0.05 °C (0.09 °F)
Ponovljivost s.d.:	do 0.00001 g/cm ³
Materijal cijevi:	Hastelloy C-276
Zapremina mjerne ćelije:	približno 2 ml
Dimenzije / težina:	440 x 315 x 220 mm / 24 kg
Napajanje:	AC 100 do 240 V, 50 do 60 Hz
Potrošnja:	330 VA
Interfejsi:	RS 232 C kompjuterski interfejs, S-BUS interfejsi, eksterni analogni ulaz

Tabela 6. Poređenje gustina ispitivanih supstanci sa literaturnim podacima na atmosferskom pritisku u cilju potvrde njihove čistoće

Supstanca	T (K)	$\rho / \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	
		Exp.	Literature
<i>n</i> -Hexan	288.15	664.164	664.03 [1] , 664.01 [2]
	293.15	659.665	659.56 [1] , 659.49 [2]
	298.15	655.134	655.07 [1] , 654.92 [2]
	303.15	650.569	650.53 [1] , 650.39 [2]
	308.15	645.967	645.94 [1] , 645.75 [2]
	313.15	641.330	641.29 [1] , 641.10 [2]
Dihlor-metan	293.15	1325.334	1326.35 [3]
	298.15	1316.104	1316.78 [3]
Toluen	298.15	862.199	862.1 [4] , 862.5 [5]
	308.15	852.848	853.0 [4]
	318.15	843.457	843.8 [4]
	328.15	834.01	834.5 [4]
	303.15	780.83	781.1 [10], 780.9 [15]
Etanol	313.15	772.10	772.3 [10], 772.1 [15]
	323.15	763.22	763.1 [10], 763.3 [15]
<i>n</i> -Dekan	328.15	726.449	727.2 [128]
	323.15	707.369	708.1 [128]
	333.15	699.637	700.4 [128]

Tabela 7. Odabrana svojstva ispitivanih biodizela i poređenje sa standardima [13,14]

Property	Unit	Limits		Test method	SME	SEE	LME
		Min	Max				
FAME content	% (m/m)	96.5	-	EN 14103	98.7	96.8	96.3
Density at 15 °C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185	888.2	883.7	-
Viscosity at 40 °C	mm ² /s	3.5 1.9	5.0 6.0	EN ISO 3104 D 445	4.915	4.524	4.687
Cetane number	-	51 [6] 47 [7]	-		51	51	72
Water content	mg/kg	-	500	EN ISO 12937 D 2709	110	150	355
Acid value	mg KOH/g	-	0.50	EN 14104 D 664	0.42	0,40	0.46
Iodine value	g I ₂ /100g	-	120	EN 14111	128	128	56
Polyunsaturated (≥4 double bonds) methyl esters	% (m/m)	-	1.00	EN 15779	0	0	0
Group I metals (Na+K)	mg/kg	-	5.0	EN 14108 EN 14109	<1	5	0.2
Linolenic (C18:3) acid ester	% (m/m)	-	12.0	EN 14103	0	0	0.24
Myristic (C14:0) acid ester	% (m/m)				0.08	0.08	0
Palmitic (C16:0) acid ester	% (m/m)				8.03	8.03	28.63
Stearic (C18:0) acid ester	% (m/m)				3.26	3.26	16.98
Oleic (C18:1) acid ester	% (m/m)				29.27	29.27	43.52
Linoleic (C18:2) acid ester	% (m/m)				59.32	59.32	10.63
Monoglyceride content	% (m/m)				0.4	0.3	1.1
Diglyceride content	% (m/m)				0.9	2.5	2.5
Triglyceride content	% (m/m)				0	0.4	0.1

Tabela 8. Period oscilovanja vakuumirane U ćelije DMA HP uređaja

T / K	τ / μ s
288.15	2369.374
293.15	2370.905
298.15	2372.443
303.15	2373.986
308.15	2375.542
313.15	2377.091
318.15	2378.664
323.15	2380.235
328.15	2381.808
333.15	2383.384
343.15	2386.566
353.15	2389.769
363.15	2392.996
373.15	2396.247
393.15	2402.816
413.15	2409.463
433.15	2416.216
453.15	2423.071
473.15	2430.006

Tabela 9. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene vodom

p / MPa	τ / μs	p (bar)	τ (μs)	p (bar)	τ (μs)
T=288.15K		T=293.15K		T=298.15K	
0.9625	2584.435	0.7375	2585.952	1.675	2587.438
7.525	2584.517	10.825	2586.076	11.6875	2587.56
32.35	2584.826	34.1125	2586.356	36.925	2587.868
51.85	2585.069	50.725	2586.568	50.8	2588.036
74.575	2585.345	77.6875	2586.897	75.8125	2588.34
100.975	2585.676	99.625	2587.163	109.3375	2588.743
151.825	2586.3	149.35	2587.767	150.8875	2589.24
201.6625	2586.906	199.1125	2588.364	199.8625	2589.825
250.075	2587.484	247.9375	2588.947	248.575	2590.388
275.9875	2587.802	297.5125	2589.531	304.2625	2591.039
299.9125	2588.087	345.5125	2590.09	351.7375	2591.6
325.975	2588.393	400.2625	2590.742	373.6	2591.847
351.775	2588.705	450.55	2591.312	453.325	2592.767
402.8125	2589.309	497.6125	2591.866	506.3875	2593.379
451.8625	2589.883	550.2625	2592.466	545.6125	2593.821
547.6375	2591.001	595.225	2592.982	592.225	2594.353
T=303.15K		T=308.15K		T=313.15K	
0.7	2588.858	1.9	2590.267	0.7	2591.608
14.725	2589.029	12.6625	2590.396	11.05	2591.733
31.4125	2589.23	31.7125	2590.626	33.7375	2592.004
50.9875	2589.465	50.65	2590.852	51.625	2592.22
74.5375	2589.743	76.9	2591.157	77.0125	2592.519
103.4875	2590.095	103.0375	2591.477	103.7125	2592.836
154.9	2590.703	152.8375	2592.065	152.9125	2593.408
200.35	2591.238	205.4125	2592.679	204.2125	2594.014
252.8875	2591.847	241.4125	2593.06	253.9375	2594.582
300.625	2592.413	304.7125	2593.833	301.6375	2595.141
350.3125	2592.982	349.8625	2594.341	350.05	2595.693
400.4125	2593.558	402.175	2594.948	402.9625	2596.289
447.8125	2594.094	450.9625	2595.489	448.675	2596.812
498.0625	2594.669	497.8	2596.028	502.4125	2597.411
553.1875	2595.288	543.4	2596.534	549.9625	2597.947
596.95	2595.782	595.8625	2597.125	594.325	2598.438
T=318.15K		T=323.15K		T=328.15K	
1.8625	2592.951	0.7	2594.233	0.8875	2595.502
11.9875	2593.072	8.7625	2594.328	12.175	2595.636
21.8125	2593.187	24.4375	2594.518	21.9625	2595.756
53.5	2593.567	50.425	2594.827	35.2375	2595.914
77.0125	2593.847	70.4125	2595.058	55.9	2596.16
103.4125	2594.157	104.3125	2595.463	73.9	2596.374
152.65	2594.727	151.4875	2596.011	100.825	2596.692

201.775	2595.309	200.1625	2596.585	151.6375	2597.289
248.6875	2595.842	253.1125	2597.187	202.1125	2597.876
296.5375	2596.399	301.4125	2597.749	253.9	2598.475
350.0875	2597.011	353.1625	2598.332	299.725	2599.001
402.325	2597.603	402.85	2598.904	351.475	2599.584
453.6625	2598.175	456.625	2599.503	403.0375	2600.175
499.975	2598.702	499.5625	2599.988	451.3375	2600.713
555.9625	2599.325	552.025	2600.572	498.55	2601.249
594.1375	2599.747	592.15	2601.017	563.275	2601.968
T=333.15K		T=343.15K		T=353.15K	
0.775	2596.741	1.9	2599.163	0.5875	2601.465
6.2875	2596.808	13.375	2599.301	1.825	2601.474
18.9625	2596.96	24.625	2599.437	12.4	2601.609
32.2	2597.113	51.25	2599.758	31.675	2601.845
50.5375	2597.338	76.375	2600.061	35.9125	2601.897
76.0375	2597.642	101.3125	2600.358	73.975	2602.356
110.3125	2598.047	151.1875	2600.941	102.325	2602.703
151.8625	2598.526	226.9375	2601.838	180.2875	2603.637
200.425	2599.1	249.775	2602.099	228.8125	2604.207
252.625	2599.706	301.375	2602.702	301.225	2605.062
307.9	2600.342	351.1375	2603.276	350.4625	2605.637
350.125	2600.814	402.325	2603.856	451.15	2606.788
402.4375	2601.421	451.1125	2604.415	501.25	2607.364
450.25	2601.951	500.2375	2604.968	592.825	2608.398
518.3125	2602.722	551.725	2605.545		
592.3	2603.544	575.35	2605.81		
T=363.15K		T=373.15K		T=393.15K	
0.7	2603.69	3.1375	2605.877	6.1375	2609.981
1.7875	2603.709	10.7875	2605.971	14.4625	2610.1
11.5	2603.826	31.7125	2606.235	30.8875	2610.314
19.1875	2603.919	52.4875	2606.498	50.8375	2610.591
54.1	2604.36	76.375	2606.807	75.4	2610.91
76.9	2604.642	101.05	2607.111	101.0875	2611.257
100.975	2604.939	177.4	2608.063	178.4125	2612.259
178.675	2605.875	250.525	2608.962	226.2625	2612.876
226.9375	2606.46	301.2625	2609.571	300.4375	2613.818
302.0125	2607.362	353.4625	2610.2	348.1	2614.415
351.0625	2607.936	401.875	2610.771	450.85	2615.693
452.2375	2609.112	449.9125	2611.345	501.175	2616.315
500.425	2609.677	503.425	2611.974	553.825	2616.948
592.15	2610.729	575.8	2612.817	589.7875	2617.379
T=413.15K		T=433.15K		T=453.15K	
6.4	2613.76	9.85	2617.276	20.3125	2620.586
8.65	2613.788	11.5375	2617.303	35.0875	2620.84
12.5875	2613.848	31.7125	2617.617	47.65	2621.055
32.05	2614.127	50.9875	2617.916	76.525	2621.546
50.125	2614.385	75.1	2618.285	104.575	2622.016
77.1625	2614.769	100.15	2618.669	154.6	2622.833

101.3125	2615.11	152.3125	2619.456	177.6625	2623.213
177.3625	2616.176	224.3125	2620.517	238.525	2624.184
227.725	2616.857	306.4375	2621.707	298.4875	2625.127
302.35	2617.86	376.975	2622.706	350.05	2625.915
375.8875	2618.841	402.7	2623.061	404.35	2626.74
402.7375	2619.19	451.0375	2623.734	447.7	2627.385
445.075	2619.739	506.5375	2624.494	500.0125	2628.155
499.3375	2620.44	554.95	2625.149	553.1875	2628.926
597.5875	2621.688	593.125	2625.66	593.725	2629.507

Tabela 10. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene *n*-dekanom na atmosferskom pritisku

T / K	$\tau / \mu\text{s}$
373.15	2544.113
393.15	2547.637
413.15	2551.096
433.15	2554.477

Tabela 11. Kalibracioni parametar konstruisane aparature za mjerenje gustina na visokim pritiscima $A(T)$

T / K	$A / 10^6$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$
288.15	0.93779
293.15	0.93642
298.15	0.93504
303.15	0.93365
308.15	0.93229
313.15	0.93088
318.15	0.92951
323.15	0.92813
328.15	0.92672
333.15	0.92530
343.15	0.92251
353.15	0.91970
363.15	0.91689
373.15	0.91371
393.15	0.90814
413.15	0.90267

Tabela 12. Kalibracioni parametar konstruisane aparature za mjerenje gustina na visokim pritiscima $B(T,p)$

p/ MPa	$B(T,p) / 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	5.26469	5.26380	5.26285	5.26190	5.26111	5.25997	5.25922	5.25832
1	5.26482	5.26393	5.26298	5.26202	5.26123	5.26010	5.25934	5.25844
5	5.26536	5.26448	5.26352	5.26257	5.26178	5.26065	5.25990	5.25899
10	5.26605	5.26517	5.26421	5.26326	5.26248	5.26134	5.26059	5.25968
15	5.26674	5.26587	5.26491	5.26395	5.26317	5.26204	5.26129	5.26038
20	5.26744	5.26657	5.26561	5.26465	5.26387	5.26274	5.26199	5.26108
25	5.26814	5.26727	5.26631	5.26536	5.26458	5.26344	5.26269	5.26178
30	5.26884	5.26797	5.26701	5.26606	5.26528	5.26415	5.26340	5.26249
35	5.26955	5.26868	5.26772	5.26677	5.26599	5.26486	5.26411	5.26320
40	5.27026	5.26939	5.26844	5.26748	5.26671	5.26558	5.26483	5.26392
45	5.27097	5.27010	5.26915	5.26820	5.26742	5.26630	5.26554	5.26464
50	5.27169	5.27082	5.26987	5.26892	5.26814	5.26702	5.26626	5.26536
55	5.27240	5.27153	5.27059	5.26964	5.26886	5.26774	5.26698	5.26609
60	5.27312	5.27225	5.27131	5.27036	5.26958	5.26846	5.26771	5.26681
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	5.25729	5.25620	5.25433	5.25240	5.25049	5.24651	5.24318	5.24048
1	5.25742	5.25632	5.25445	5.25252	5.25061	5.24625	5.24302	5.24057
5	5.25797	5.25687	5.25500	5.25307	5.25116	5.24680	5.24356	5.24112
10	5.25866	5.25756	5.25570	5.25377	5.25185	5.24749	5.24425	5.24182
15	5.25936	5.25826	5.25639	5.25447	5.25255	5.24819	5.24495	5.24251
20	5.26007	5.25896	5.25710	5.25517	5.25326	5.24889	5.24565	5.24322
25	5.26077	5.25967	5.25780	5.25588	5.25396	5.24960	5.24636	5.24393
30	5.26148	5.26038	5.25851	5.25659	5.25468	5.25031	5.24707	5.24464
35	5.26219	5.26109	5.25922	5.25730	5.25539	5.25102	5.24778	5.24535
40	5.26290	5.26181	5.25994	5.25802	5.25611	5.25174	5.24850	5.24606
45	5.26361	5.26253	5.26066	5.25874	5.25683	5.25246	5.24921	5.24678
50	5.26433	5.26325	5.26138	5.25945	5.25756	5.25318	5.24993	5.24749
55	5.26504	5.26397	5.26210	5.26017	5.25828	5.25389	5.25065	5.24820
60	5.26576	5.26470	5.26282	5.26089	5.25901	5.25462	5.25137	5.24891

Tabela 13. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene *n*-heksanom

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	2514.369	2515.066	2515.761	2516.455	2517.143	2517.827	2518.506	2519.182
1	2514.583	2515.288	2515.991	2516.694	2517.391	2518.084	2518.774	2519.461
5	2515.509	2516.247	2516.984	2517.723	2518.458	2519.192	2519.925	2520.657
10	2516.612	2517.387	2518.161	2518.941	2519.720	2520.498	2521.277	2522.059
15	2517.659	2518.467	2519.275	2520.090	2520.905	2521.723	2522.542	2523.367
20	2518.655	2519.491	2520.329	2521.176	2522.023	2522.874	2523.728	2524.590
25	2519.605	2520.466	2521.330	2522.204	2523.080	2523.960	2524.843	2525.737
30	2520.513	2521.396	2522.284	2523.182	2524.082	2524.988	2525.897	2526.817
35	2521.384	2522.287	2523.197	2524.116	2525.037	2525.965	2526.897	2527.840
40	2522.224	2523.144	2524.073	2525.011	2525.951	2526.900	2527.851	2528.815
45	2523.036	2523.973	2524.920	2525.875	2526.832	2527.799	2528.769	2529.752
50	2523.826	2524.779	2525.742	2526.713	2527.686	2528.671	2529.658	2530.658
55	2524.598	2525.567	2526.545	2527.532	2528.521	2529.523	2530.528	2531.545
60	2525.358	2526.343	2527.335	2528.337	2529.343	2530.362	2531.385	2532.421
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	2519.855	2520.529						
1	2520.145	2520.830	2522.152	2523.522	2524.682	2525.860	2528.015	2529.826
5	2521.385	2522.119	2523.544	2525.006	2526.338	2527.675	2530.213	2532.524
10	2522.836	2523.625	2525.162	2526.730	2528.238	2529.742	2532.681	2535.504
15	2524.187	2525.021	2526.657	2528.319	2529.966	2531.608	2534.868	2538.096
20	2525.447	2526.321	2528.040	2529.787	2531.543	2533.295	2536.809	2540.350
25	2526.627	2527.533	2529.326	2531.148	2532.987	2534.827	2538.539	2542.317
30	2527.736	2528.670	2530.525	2532.413	2534.316	2536.227	2540.093	2544.047
35	2528.784	2529.743	2531.651	2533.598	2535.549	2537.518	2541.505	2545.590
40	2529.781	2530.761	2532.717	2534.714	2536.706	2538.722	2542.809	2546.996
45	2530.737	2531.737	2533.734	2535.775	2537.806	2539.864	2544.041	2548.316
50	2531.661	2532.681	2534.716	2536.795	2538.866	2540.965	2545.234	2549.600
55	2532.564	2533.603	2535.674	2537.786	2539.907	2542.048	2546.424	2550.899
60	2533.454	2534.516	2536.623	2538.761	2540.947	2543.138	2547.645	2552.262

Tabela 14. Experimentalno određene gustine *n*-heksana na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	ρ / kg·m⁻³							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	664.06	659.58	655.06	650.51	645.90	641.27	636.56	631.83
1	664.95	660.51	656.02	651.51	646.94	642.36	637.69	633.01
5	668.77	664.47	660.14	655.80	651.40	647.00	642.53	638.06
10	673.29	669.16	665.00	660.84	656.63	652.43	648.17	643.93
15	677.54	673.55	669.55	665.55	661.51	657.48	653.41	649.36
20	681.55	677.68	673.82	669.96	666.07	662.19	658.27	654.39
25	685.34	681.58	677.83	674.10	670.33	666.59	662.80	659.06
30	688.93	685.27	681.63	678.00	674.34	670.71	667.04	663.42
35	692.34	688.77	685.22	681.69	678.13	674.59	671.02	667.50
40	695.60	692.11	688.65	685.20	681.72	678.27	674.79	671.36
45	698.73	695.31	691.93	688.55	685.15	681.79	678.39	675.04
50	701.76	698.41	695.09	691.79	688.46	685.17	681.85	678.58
55	704.70	701.42	698.17	694.93	691.67	688.46	685.22	682.02
60	707.58	704.38	701.18	698.02	694.83	691.69	688.53	685.41
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	627.07	622.31	-	-	-	-	-	-
1	628.30	623.59	613.86	603.80	593.47	583.26	560.79	536.55
5	633.54	629.06	619.78	610.33	600.61	591.01	570.34	548.33
10	639.63	635.39	626.63	617.79	608.74	599.79	580.99	561.27
15	645.25	641.22	632.89	624.55	616.07	607.68	590.36	572.44
20	650.45	646.59	638.64	630.69	622.69	614.76	598.60	582.07
25	655.26	651.56	643.93	636.29	628.68	621.15	605.87	590.39
30	659.75	656.17	648.82	641.43	634.13	626.94	612.33	597.62
35	663.95	660.47	653.37	646.18	639.14	632.22	618.13	603.99
40	667.91	664.53	657.63	650.63	643.79	637.11	623.44	609.75
45	671.68	668.38	661.67	654.85	648.18	641.70	628.41	615.10
50	675.30	672.08	665.54	658.94	652.38	646.09	633.21	620.30
55	678.82	675.68	669.30	662.96	656.50	650.38	637.99	625.57
60	682.29	679.23	673.02	667.00	660.62	654.68	642.92	631.14

Tabela 15. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene toluenom

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	2557.954	2558.683	2559.403	2560.127	2560.852	2561.578	2562.303	2563.030
1	2558.113	2558.847	2559.571	2560.299	2561.029	2561.759	2562.489	2563.222
5	2558.815	2559.567	2560.309	2561.057	2561.806	2562.557	2563.309	2564.063
10	2559.675	2560.448	2561.212	2561.983	2562.756	2563.532	2564.309	2565.090
15	2560.516	2561.309	2562.094	2562.886	2563.682	2564.481	2565.282	2566.087
20	2561.337	2562.149	2562.954	2563.767	2564.583	2565.404	2566.228	2567.056
25	2562.139	2562.969	2563.792	2564.624	2565.460	2566.301	2567.146	2567.997
30	2562.922	2563.769	2564.609	2565.459	2566.313	2567.173	2568.037	2568.908
35	2563.685	2564.548	2565.404	2566.271	2567.142	2568.019	2568.901	2569.791
40	2564.429	2565.307	2566.178	2567.059	2567.946	2568.840	2569.738	2570.645
45	2565.154	2566.045	2566.930	2567.825	2568.726	2569.635	2570.547	2571.470
50	2565.859	2566.763	2567.660	2568.568	2569.482	2570.404	2571.330	2572.266
55	2566.545	2567.461	2568.369	2569.288	2570.213	2571.148	2572.085	2573.034
60	2567.212	2568.138	2569.056	2569.985	2570.920	2571.866	2572.813	2573.773
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	2563.754	2564.483	2565.907	2567.348	2568.778	2570.190		
1	2563.952	2564.686	2566.130	2567.586	2569.032	2570.461	2573.267	2575.974
5	2564.817	2565.575	2567.100	2568.617	2570.130	2571.634	2574.611	2577.523
10	2565.871	2566.658	2568.262	2569.849	2571.438	2573.025	2576.193	2579.332
15	2566.895	2567.708	2569.373	2571.023	2572.680	2574.340	2577.674	2581.011
20	2567.888	2568.726	2570.437	2572.143	2573.860	2575.585	2579.065	2582.571
25	2568.850	2569.712	2571.458	2573.214	2574.985	2576.767	2580.374	2584.027
30	2569.783	2570.665	2572.441	2574.241	2576.060	2577.893	2581.610	2585.391
35	2570.684	2571.586	2573.388	2575.229	2577.091	2578.970	2582.785	2586.675
40	2571.556	2572.475	2574.304	2576.183	2578.084	2580.003	2583.906	2587.894
45	2572.397	2573.331	2575.194	2577.107	2579.044	2581.001	2584.984	2589.059
50	2573.207	2574.155	2576.061	2578.006	2579.978	2581.969	2586.028	2590.184
55	2573.987	2574.947	2576.909	2578.886	2580.890	2582.915	2587.047	2591.281
60	2574.737	2575.706	2577.743	2579.750	2581.787	2583.845	2588.051	2592.363

Tabela 16. Experimentalno određene gustine toluena na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	ρ / kg·m ⁻³							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	871.39	866.82	862.16	857.50	852.82	848.14	843.40	838.66
1	872.03	867.48	862.84	858.21	853.55	848.88	844.16	839.45
5	874.85	870.38	865.83	861.28	856.71	852.14	847.52	842.90
10	878.29	873.91	869.46	865.02	860.56	856.09	851.59	847.10
15	881.64	877.34	872.99	868.65	864.28	859.93	855.53	851.16
20	884.88	880.68	876.41	872.16	867.89	863.63	859.34	855.07
25	888.04	883.91	879.73	875.57	871.39	867.21	863.02	858.85
30	891.10	887.04	882.94	878.86	874.76	870.67	866.57	862.48
35	894.06	890.08	886.05	882.04	878.01	874.00	869.98	865.98
40	896.93	893.01	889.05	885.10	881.15	877.21	873.26	869.34
45	899.70	895.85	891.94	888.06	884.17	880.30	876.41	872.56
50	902.38	898.59	894.73	890.90	887.07	883.26	879.43	875.64
55	904.97	901.22	897.42	893.64	889.86	886.10	882.32	878.58
60	907.46	903.77	900.00	896.26	892.53	888.81	885.08	881.38
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	833.89	829.12	819.35	809.59	799.70	789.33	-	-
1	834.70	829.96	820.29	810.59	800.77	790.87	770.43	749.24
5	838.26	833.63	824.33	814.91	805.40	795.82	776.16	755.90
10	842.57	838.08	829.14	820.04	810.87	801.67	782.87	763.63
15	846.74	842.37	833.71	824.88	816.02	807.16	789.11	770.74
20	850.77	846.51	838.05	829.48	820.89	812.31	794.92	777.31
25	854.64	850.49	842.19	833.84	825.49	817.17	800.35	783.40
30	858.38	854.32	846.14	837.99	829.86	821.77	805.43	789.05
35	861.96	857.99	849.92	841.96	834.01	826.12	810.23	794.33
40	865.40	861.50	853.56	845.76	837.99	830.28	814.77	799.31
45	868.70	864.86	857.07	849.43	841.81	834.27	819.12	804.04
50	871.85	868.06	860.47	852.97	845.50	838.12	823.30	808.59
55	874.85	871.11	863.78	856.42	849.09	841.86	827.37	813.01
60	877.71	874.00	867.02	859.81	852.61	845.53	831.37	817.37

Tabela 17. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene dihlor-metanom

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	2652.720	2652.634	2652.534	2652.445	2652.330	2652.158		
1	2652.972	2652.896	2652.804	2652.724	2652.619	2652.466	2652.335	2652.187
5	2654.081	2654.043	2653.991	2653.946	2653.884	2653.809	2653.729	2653.636
10	2655.437	2655.443	2655.439	2655.438	2655.425	2655.426	2655.404	2655.374
15	2656.759	2656.808	2656.848	2656.888	2656.923	2656.978	2657.008	2657.034
20	2658.047	2658.135	2658.218	2658.297	2658.376	2658.471	2658.548	2658.623
25	2659.301	2659.427	2659.548	2659.665	2659.785	2659.907	2660.027	2660.148
30	2660.522	2660.681	2660.839	2660.992	2661.151	2661.293	2661.452	2661.613
35	2661.709	2661.899	2662.090	2662.278	2662.472	2662.632	2662.828	2663.026
40	2662.863	2663.081	2663.302	2663.522	2663.749	2663.930	2664.159	2664.391
45	2663.983	2664.226	2664.475	2664.726	2664.982	2665.191	2665.451	2665.715
50	2665.069	2665.334	2665.608	2665.888	2666.171	2666.419	2666.709	2667.004
55	2666.121	2666.406	2666.701	2667.009	2667.316	2667.620	2667.938	2668.264
60	2667.140	2667.442	2667.756	2668.089	2668.417	2668.797	2669.143	2669.500
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1								
1	2652.016	2651.831	2651.400	2650.862	2650.219	2649.407	2647.562	2644.533
5	2653.524	2653.397	2653.097	2652.714	2652.242	2651.642	2650.241	2647.913
10	2655.328	2655.267	2655.116	2654.905	2654.625	2654.256	2653.352	2651.772
15	2657.048	2657.048	2657.030	2656.971	2656.859	2656.687	2656.219	2655.262
20	2658.691	2658.747	2658.848	2658.921	2658.957	2658.952	2658.866	2658.423
25	2660.263	2660.370	2660.578	2660.767	2660.932	2661.070	2661.317	2661.293
30	2661.772	2661.924	2662.228	2662.519	2662.798	2663.057	2663.593	2663.912
35	2663.223	2663.417	2663.808	2664.189	2664.568	2664.931	2665.720	2666.321
40	2664.623	2664.855	2665.324	2665.788	2666.255	2666.709	2667.719	2668.557
45	2665.979	2666.246	2666.787	2667.326	2667.872	2668.410	2669.614	2670.662
50	2667.298	2667.596	2668.204	2668.814	2669.434	2670.051	2671.429	2672.674
55	2668.586	2668.912	2669.584	2670.264	2670.953	2671.650	2673.186	2674.633
60	2669.849	2670.202	2670.934	2671.686	2672.442	2673.224	2674.909	2676.579

Tabela 18. Experimentalno određene gustine dihlor-metana na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p/ MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	1334.47	1325.30	1316.02	1306.79	1297.43	1287.75	-	-
1	1335.60	1326.47	1317.24	1308.05	1298.73	1289.15	1279.67	1270.09
5	1340.57	1331.62	1322.58	1313.56	1304.44	1295.24	1285.99	1276.68
10	1346.63	1337.89	1329.08	1320.26	1311.38	1302.54	1293.56	1284.55
15	1352.53	1343.98	1335.39	1326.76	1318.10	1309.51	1300.79	1292.04
20	1358.25	1349.89	1341.49	1333.06	1324.60	1316.20	1307.70	1299.18
25	1363.80	1355.62	1347.40	1339.14	1330.89	1322.60	1314.31	1306.00
30	1369.19	1361.17	1353.12	1345.03	1336.95	1328.76	1320.65	1312.53
35	1374.41	1366.53	1358.64	1350.71	1342.80	1334.68	1326.74	1318.80
40	1379.46	1371.71	1363.96	1356.18	1348.43	1340.41	1332.62	1324.83
45	1384.34	1376.71	1369.09	1361.46	1353.84	1345.94	1338.30	1330.66
50	1389.06	1381.53	1374.02	1366.52	1359.03	1351.32	1343.82	1336.32
55	1393.60	1386.17	1378.75	1371.38	1364.01	1356.56	1349.19	1341.83
60	1397.98	1390.62	1383.29	1376.04	1368.76	1361.69	1354.44	1347.23
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1260.38	1250.60	1230.71	1210.27	1189.29	1167.39	1122.68	1072.32
5	1267.24	1257.73	1238.46	1218.75	1198.57	1177.67	1135.02	1087.92
10	1275.42	1266.23	1247.65	1228.75	1209.47	1189.65	1149.31	1105.69
15	1283.19	1274.29	1256.34	1238.14	1219.65	1200.75	1162.44	1121.71
20	1290.58	1281.94	1264.55	1246.97	1229.18	1211.05	1174.52	1136.16
25	1297.62	1289.22	1272.33	1255.29	1238.10	1220.63	1185.65	1149.23
30	1304.36	1296.17	1279.73	1263.16	1246.50	1229.59	1195.95	1161.12
35	1310.81	1302.81	1286.77	1270.63	1254.43	1238.00	1205.53	1171.99
40	1317.01	1309.19	1293.51	1277.75	1261.95	1245.95	1214.50	1182.05
45	1322.99	1315.33	1299.99	1284.58	1269.15	1253.52	1222.97	1191.48
50	1328.80	1321.27	1306.25	1291.17	1276.06	1260.81	1231.05	1200.47
55	1334.45	1327.04	1312.32	1297.57	1282.78	1267.89	1238.86	1209.22
60	1339.99	1332.69	1318.25	1303.83	1289.35	1274.85	1246.51	1217.91

Tabela 19. Gustine, dinamička viskoznost, indeksi refrakcije i brzine zvuka ispitivanih biodizela i EuroDizela na atmosferskom pritisku

T / K	SME				SEE		
	$\eta / \text{m Pa s}$	$\rho / 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	n_D	$u / \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\eta / \text{m Pa s}$	$\rho / 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	n_D
288.15	7.554	0.88816	1.46002	1431.54	8.221	0.88368	1.45635
293.15	6.471	0.88450	1.45798	1413.39	7.037	0.88002	1.45427
298.15	5.690	0.88086	1.45595	1395.38	6.180	0.87637	1.45209
303.15	5.003	0.87722	1.45392	1377.54	5.430	0.87273	1.44998
308.15	4.441	0.87360	1.45189	1359.88	4.810	0.86910	1.44768
313.15	3.937	0.86998	1.44986	1342.37	4.260	0.86548	1.44543
318.15	3.565	0.86637	1.44784	1325	3.854	0.86186	1.44360
323.15	3.223	0.86276	1.44581	1307.79	3.479	0.85825	1.44189
328.15	2.929	0.85916	1.44379	1290.74	3.157	0.85465	1.44012
333.15	2.649	0.85556	1.44179	1273.85	2.852	0.85105	1.43859
338.15	2.453	0.85197	1.43977	1257.16	2.637	0.84745	1.43771
343.15	2.259	0.84838	1.43778	1240.71	2.425	0.84386	1.43701
348.15	2.087	0.84480			2.238	0.84028	
353.15	1.935	0.84121			2.072	0.83669	
358.15	1.799	0.83763			1.924	0.83311	
363.15	1.677	0.83405			1.791	0.82953	
368.15	1.567				1.672		
373.15	1.471				1.569		

T / K	LME			EuroDizel			
	$\eta / \text{m Pa s}$	$\rho / 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	n_D	$\eta / \text{m Pa s}$	$\rho / 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	n_D	$u / \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
288.15	-	-	-	4.102	0.82928	1.45893	1385.31
293.15	-	-	-	3.555	0.82579	1.45683	1366.3
298.15	5.913	0.87186	1.44824	3.143	0.82230	1.45474	1347.47
303.15	5.180	0.86821	1.44622	2.789	0.81882	1.45264	1328.85
308.15	4.573	0.86457	1.44419	2.499	0.81533	1.45055	1310.39
313.15	4.037	0.86094	1.44217	2.258	0.81186	1.44843	1292.11
318.15	3.644	0.85732	1.44014	2.045	0.80838	1.44634	1273.99
323.15	3.282	0.85370	1.43813	1.862	0.80491	1.44423	1256.05
328.15	2.974	0.85009	1.43613	1.704	0.80143	1.44211	1238.27
333.15	2.682	0.84648	1.43410	1.56	0.79796	1.44003	1220.67
338.15	2.477	0.84288	1.43214	1.441	0.79448	1.43795	1203.25
343.15	2.275	0.83928	1.43015	1.334	0.79101	1.43588	1186.08
348.15	2.098	0.83569		1.239	0.78753		
353.15	1.941	0.83209		1.154	0.78404		
358.15	1.801	0.82850		1.078	0.78055		
363.15	1.676	0.82492		1.008	0.77706		
368.15	1.563			0.9451			
373.15	1.466			0.8898			

Tabela 20. Viskoznosti SME na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima izračunate prema metodi iz literature [144]

p/ MPa	η / mPa·s								
	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15	333.15
0.1	6.471	5.690	5.003	4.441	3.937	3.565	3.223	2.929	2.649
5	6.801	5.976	5.251	4.658	4.127	3.735	3.374	3.065	2.770
10	7.156	6.283	5.517	4.891	4.330	3.916	3.536	3.210	2.899
20	7.921	6.945	6.090	5.391	4.767	4.305	3.883	3.520	3.176
30	8.768	7.676	6.722	5.943	5.248	4.734	4.264	3.861	3.480
40	9.705	8.485	7.419	6.551	5.777	5.205	4.682	4.235	3.812
50	10.743	9.379	8.190	7.221	6.360	5.722	5.142	4.645	4.176
60	11.891	10.367	9.040	7.960	7.001	6.292	5.646	5.094	4.575
70	13.163	11.459	9.978	8.774	7.708	6.918	6.200	5.588	5.012
80	14.570	12.666	11.014	9.672	8.485	7.606	6.809	6.129	5.491
90	16.128	14.000	12.157	10.661	9.341	8.362	7.477	6.722	6.016
100	17.853	15.475	13.419	11.752	10.283	9.194	8.210	7.372	6.590
110	19.762	17.105	14.812	12.955	11.321	10.109	9.016	8.086	7.220
120	21.875	18.907	16.349	14.280	12.463	11.114	9.901	8.869	7.910
130	24.213	20.898	18.047	15.741	13.720	12.220	10.872	9.728	8.665
140	26.802	23.100	19.920	17.352	15.104	13.436	11.939	10.669	9.493
	343.15	348.15	353.15	358.15	363.15	368.15	373.15	343.15	
0.1	2.453	2.259	2.087	1.935	1.799	1.677	1.567	1.471	
5	2.564	2.360	2.179	2.019	1.876	1.748	1.633	1.532	
10	2.682	2.467	2.277	2.109	1.959	1.824	1.703	1.597	
20	2.935	2.697	2.486	2.300	2.134	1.986	1.852	1.735	
30	3.211	2.948	2.715	2.509	2.326	2.161	2.014	1.885	
40	3.514	3.222	2.964	2.737	2.534	2.353	2.190	2.048	
50	3.846	3.522	3.236	2.985	2.761	2.561	2.382	2.225	
60	4.208	3.850	3.534	3.256	3.009	2.788	2.590	2.418	
70	4.605	4.208	3.859	3.551	3.278	3.035	2.817	2.627	
80	5.039	4.600	4.213	3.874	3.572	3.304	3.063	2.854	
90	5.514	5.028	4.600	4.225	3.893	3.596	3.331	3.101	
100	6.034	5.496	5.023	4.609	4.242	3.915	3.623	3.369	
110	6.603	6.007	5.485	5.027	4.622	4.262	3.940	3.660	
120	7.226	6.567	5.989	5.483	5.036	4.639	4.285	3.977	
130	7.907	7.178	6.539	5.981	5.488	5.050	4.660	4.321	
140	8.652	7.846	7.140	6.524	5.980	5.497	5.067	4.694	

Tabela 21. Viskoznosti SEE na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima izračunate prema metodi iz literature [144]

p/ MPa	η / mPa·s								
	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15	333.15
0.1	7.037	6.180	5.430	4.810	4.260	3.854	3.479	3.157	2.852
5	7.396	6.491	5.699	5.045	4.465	4.037	3.642	3.303	2.982
10	7.782	6.824	5.988	5.297	4.685	4.233	3.817	3.459	3.122
20	8.614	7.543	6.609	5.839	5.158	4.654	4.191	3.794	3.420
30	9.535	8.338	7.295	6.436	5.678	5.118	4.603	4.162	3.746
40	10.554	9.216	8.053	7.095	6.251	5.627	5.054	4.564	4.104
50	11.682	10.187	8.889	7.821	6.882	6.186	5.550	5.006	4.496
60	12.932	11.260	9.811	8.621	7.576	6.802	6.095	5.491	4.926
70	14.314	12.446	10.830	9.503	8.340	7.478	6.693	6.023	5.397
80	15.845	13.757	11.954	10.475	9.181	8.222	7.349	6.606	5.912
90	17.539	15.206	13.195	11.547	10.107	9.040	8.071	7.245	6.477
100	19.414	16.808	14.564	12.729	11.127	9.940	8.862	7.946	7.096
110	21.490	18.578	16.076	14.031	12.249	10.928	9.732	8.716	7.773
120	23.788	20.535	17.745	15.467	13.485	12.015	10.687	9.559	8.516
130	26.331	22.698	19.587	17.049	14.845	13.211	11.736	10.485	9.329
140	29.147	25.089	21.620	18.794	16.343	14.525	12.887	11.500	10.221
	343.15	348.15	353.15	358.15	363.15	368.15	373.15	343.15	
0.1	2.637	2.425	2.238	2.072	1.924	1.791	1.672	1.569	
5	2.756	2.533	2.337	2.162	2.007	1.867	1.742	1.634	
10	2.883	2.648	2.442	2.258	2.095	1.948	1.817	1.703	
20	3.155	2.895	2.666	2.463	2.282	2.120	1.976	1.851	
30	3.452	3.164	2.911	2.687	2.487	2.308	2.149	2.011	
40	3.778	3.459	3.178	2.930	2.710	2.513	2.337	2.185	
50	4.134	3.781	3.471	3.196	2.953	2.735	2.541	2.373	
60	4.524	4.133	3.790	3.486	3.218	2.978	2.764	2.579	
70	4.950	4.517	4.138	3.803	3.506	3.241	3.005	2.802	
80	5.417	4.938	4.518	4.148	3.821	3.528	3.268	3.044	
90	5.928	5.397	4.933	4.525	4.163	3.841	3.554	3.307	
100	6.487	5.900	5.387	4.935	4.536	4.181	3.866	3.593	
110	7.098	6.449	5.882	5.383	4.943	4.551	4.204	3.904	
120	7.768	7.049	6.422	5.872	5.386	4.954	4.572	4.242	
130	8.500	7.705	7.012	6.405	5.869	5.393	4.972	4.609	
140	9.301	8.422	7.657	6.986	6.395	5.871	5.407	5.007	

Tabela 22. Viskoznosti LME na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima izračunate prema metodi iz literature [144]

p/ MPa	η / mPa·s							
	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15	333.15
0.1	5.913	5.180	4.573	4.037	3.644	3.282	2.974	2.682
5	6.210	5.437	4.797	4.232	3.817	3.436	3.112	2.805
10	6.529	5.712	5.036	4.440	4.003	3.601	3.259	2.936
20	7.217	6.305	5.551	4.888	4.401	3.954	3.574	3.216
30	7.977	6.959	6.119	5.381	4.839	4.342	3.920	3.523
40	8.818	7.682	6.745	5.924	5.320	4.768	4.300	3.860
50	9.746	8.479	7.435	6.521	5.849	5.236	4.716	4.228
60	10.773	9.359	8.196	7.179	6.431	5.750	5.173	4.632
70	11.908	10.331	9.035	7.903	7.071	6.314	5.673	5.075
80	13.162	11.403	9.959	8.701	7.774	6.933	6.223	5.560
90	14.549	12.587	10.978	9.578	8.548	7.614	6.825	6.091
100	16.081	13.894	12.102	10.544	9.398	8.361	7.486	6.673
110	17.775	15.336	13.340	11.608	10.333	9.181	8.210	7.310
120	19.648	16.928	14.705	12.779	11.361	10.082	9.005	8.008
130	21.717	18.685	16.209	14.068	12.491	11.071	9.877	8.773
140	24.005	20.625	17.868	15.487	13.733	12.157	10.833	9.611
	343.15	348.15	353.15	358.15	363.15	368.15	373.15	343.15
0.1	2.477	2.275	2.098	1.941	1.801	1.676	1.563	1.466
5	2.589	2.376	2.190	2.025	1.878	1.747	1.629	1.527
10	2.708	2.485	2.289	2.115	1.961	1.823	1.698	1.591
20	2.963	2.716	2.499	2.307	2.137	1.984	1.847	1.729
30	3.243	2.969	2.729	2.517	2.328	2.160	2.009	1.879
40	3.549	3.245	2.980	2.745	2.537	2.351	2.184	2.041
50	3.883	3.547	3.253	2.994	2.764	2.560	2.376	2.218
60	4.249	3.877	3.552	3.266	3.012	2.786	2.583	2.409
70	4.650	4.238	3.879	3.562	3.282	3.033	2.810	2.618
80	5.088	4.632	4.235	3.886	3.576	3.302	3.055	2.844
90	5.568	5.064	4.625	4.239	3.897	3.594	3.323	3.090
100	6.093	5.535	5.050	4.623	4.246	3.912	3.614	3.357
110	6.668	6.050	5.514	5.043	4.627	4.259	3.930	3.648
120	7.296	6.613	6.020	5.500	5.042	4.636	4.274	3.963
130	7.984	7.229	6.574	6.000	5.494	5.047	4.648	4.306
140	8.737	7.901	7.178	6.544	5.986	5.494	5.054	4.678

Tabela 23. Gustine, dinamička viskoznost, indeksi refrakcije i brzine zvuka etanol na atmosferskom pritisku

T / K	η / m Pa s	ρ / 10^3 kg m ⁻³	n_D	u / m·s ⁻¹
288.15	1.3009	0.793724	1.363827	1177.45
293.15	1.0812	0.789456	1.361975	1160.18
298.15	0.98869	0.785167	1.360088	1143.05
303.15	0.90502	0.780853	1.358139	1126.06
308.15	0.8327	0.776505	1.35604	1109.2
313.15	0.75872	0.772115	1.353944	1092.45
318.15	0.69478	0.767683	1.351887	1075.8
323.15	0.69354	0.763197	1.349632	1059.12
328.15	0.6357	0.758653	1.347116	1042.45
333.15	0.59033	0.754037	1.344391	1025.78

Tabela 24. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene SME

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	2561.421	2562.349	2563.284	2564.232	2565.175	2566.128	2567.088	2568.053
1	2561.552	2562.483	2563.421	2564.372	2565.318	2566.274	2567.236	2568.205
5	2562.133	2563.075	2564.024	2564.985	2565.945	2566.914	2567.889	2568.872
10	2562.847	2563.802	2564.765	2565.739	2566.716	2567.699	2568.690	2569.688
15	2563.547	2564.515	2565.492	2566.478	2567.470	2568.468	2569.474	2570.487
20	2564.235	2565.215	2566.205	2567.203	2568.209	2569.221	2570.240	2571.268
25	2564.909	2565.901	2566.904	2567.913	2568.933	2569.957	2570.989	2572.031
30	2565.571	2566.573	2567.588	2568.608	2569.640	2570.677	2571.722	2572.776
35	2566.220	2567.232	2568.257	2569.289	2570.332	2571.380	2572.437	2573.503
40	2566.855	2567.877	2568.913	2569.955	2571.008	2572.067	2573.135	2574.212
45	2567.478	2568.509	2569.554	2570.607	2571.668	2572.738	2573.816	2574.903
50	2568.087	2569.127	2570.181	2571.243	2572.313	2573.393	2574.480	2575.576
55	2568.683	2569.731	2570.793	2571.866	2572.942	2574.031	2575.127	2576.231
60	2569.267	2570.322	2571.391	2572.473	2573.555	2574.652	2575.757	2576.868
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	2569.022	2570.000	2571.966	2573.951	2575.954	2577.973		
1	2569.177	2570.158	2572.131	2574.123	2576.133	2578.161	2582.296	2586.452
5	2569.857	2570.852	2572.854	2574.877	2576.920	2578.983	2583.186	2587.428
10	2570.691	2571.702	2573.738	2575.799	2577.879	2579.984	2584.270	2588.611
15	2571.505	2572.533	2574.601	2576.697	2578.814	2580.958	2585.321	2589.756
20	2572.301	2573.343	2575.443	2577.571	2579.722	2581.903	2586.339	2590.861
25	2573.078	2574.134	2576.263	2578.422	2580.605	2582.819	2587.325	2591.926
30	2573.836	2574.905	2577.061	2579.249	2581.461	2583.707	2588.278	2592.952
35	2574.575	2575.657	2577.838	2580.053	2582.293	2584.567	2589.199	2593.939
40	2575.296	2576.388	2578.593	2580.833	2583.098	2585.399	2590.087	2594.886
45	2575.997	2577.100	2579.327	2581.589	2583.877	2586.202	2590.942	2595.794
50	2576.680	2577.792	2580.039	2582.322	2584.631	2586.977	2591.764	2596.662
55	2577.344	2578.465	2580.729	2583.031	2585.359	2587.723	2592.554	2597.491
60	2577.990	2579.118	2581.398	2583.717	2586.061	2588.441	2593.312	2598.281

Tabela 25. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene SEE

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$							
	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	2560.467	2561.391	2562.327	2563.273	2564.215	2565.166	2566.124	2567.086
1	2560.601	2561.527	2562.466	2563.414	2564.359	2565.314	2566.275	2567.239
5	2561.188	2562.127	2563.078	2564.036	2564.994	2565.962	2566.936	2567.914
10	2561.911	2562.864	2563.829	2564.799	2565.774	2566.757	2567.746	2568.740
15	2562.620	2563.586	2564.565	2565.547	2566.538	2567.535	2568.538	2569.548
20	2563.315	2564.295	2565.286	2566.280	2567.285	2568.296	2569.313	2570.338
25	2563.997	2564.989	2565.992	2566.998	2568.016	2569.040	2570.070	2571.108
30	2564.665	2565.668	2566.683	2567.700	2568.731	2569.767	2570.810	2571.861
35	2565.320	2566.333	2567.359	2568.388	2569.429	2570.477	2571.532	2572.595
40	2565.961	2566.984	2568.020	2569.060	2570.112	2571.170	2572.236	2573.310
45	2566.589	2567.621	2568.666	2569.717	2570.778	2571.846	2572.923	2574.007
50	2567.203	2568.244	2569.297	2570.358	2571.428	2572.505	2573.591	2574.686
55	2567.803	2568.852	2569.913	2570.985	2572.061	2573.147	2574.243	2575.346
60	2568.390	2569.446	2570.515	2571.596	2572.678	2573.772	2574.876	2575.987
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	2568.055	2569.029	2570.989	2572.970	2574.957	2576.964		
1	2568.211	2569.189	2571.155	2573.144	2575.139	2577.154	2581.247	2585.402
5	2568.899	2569.891	2571.887	2573.907	2575.938	2577.990	2582.152	2586.389
10	2569.742	2570.751	2572.783	2574.840	2576.912	2579.008	2583.252	2587.586
15	2570.566	2571.590	2573.655	2575.749	2577.859	2579.996	2584.318	2588.742
20	2571.370	2572.409	2574.506	2576.633	2578.779	2580.953	2585.350	2589.859
25	2572.155	2573.208	2575.335	2577.492	2579.672	2581.881	2586.348	2590.935
30	2572.920	2573.987	2576.141	2578.328	2580.537	2582.780	2587.311	2591.971
35	2573.666	2574.745	2576.925	2579.138	2581.376	2583.648	2588.240	2592.967
40	2574.393	2575.484	2577.687	2579.925	2582.187	2584.486	2589.135	2593.922
45	2575.100	2576.202	2578.426	2580.687	2582.972	2585.294	2589.996	2594.837
50	2575.788	2576.900	2579.144	2581.425	2583.729	2586.073	2590.822	2595.712
55	2576.457	2577.577	2579.839	2582.139	2584.460	2586.821	2591.614	2596.547
60	2577.106	2578.235	2580.512	2582.828	2585.163	2587.540	2592.372	2597.341

Tabela 26. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene LME

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$						
	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15
0.1	2561.377	2562.315	2563.257	2564.204	2565.156	2566.118	2567.083
1	2561.515	2562.456	2563.401	2564.352	2565.307	2566.271	2567.239
5	2562.124	2563.077	2564.035	2564.999	2565.968	2566.945	2567.928
10	2562.873	2563.840	2564.813	2565.793	2566.778	2567.771	2568.771
15	2563.607	2564.587	2565.575	2566.569	2567.570	2568.579	2569.595
20	2564.326	2565.319	2566.321	2567.329	2568.345	2569.368	2570.399
25	2565.030	2566.036	2567.050	2568.072	2569.101	2570.138	2571.183
30	2565.719	2566.737	2567.763	2568.798	2569.840	2570.889	2571.948
35	2566.394	2567.423	2568.460	2569.506	2570.561	2571.622	2572.693
40	2567.054	2568.093	2569.141	2570.198	2571.264	2572.337	2573.418
45	2567.699	2568.748	2569.806	2570.873	2571.949	2573.032	2574.124
50	2568.330	2569.387	2570.454	2571.530	2572.616	2573.709	2574.810
55	2568.946	2570.011	2571.087	2572.171	2573.265	2574.368	2575.476
60	2569.547	2570.620	2571.703	2572.795	2573.896	2575.008	2576.123
	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	2568.051	2570.006	2571.981	2573.965	2575.958		
1	2568.211	2570.173	2572.155	2574.147	2576.148	2580.215	2584.342
5	2568.914	2570.906	2572.919	2574.946	2576.982	2581.125	2585.333
10	2569.775	2571.803	2573.853	2575.920	2577.999	2582.230	2586.536
15	2570.615	2572.677	2574.762	2576.867	2578.986	2583.301	2587.698
20	2571.435	2573.528	2575.646	2577.787	2579.943	2584.336	2588.819
25	2572.234	2574.357	2576.506	2578.680	2580.871	2585.337	2589.899
30	2573.012	2575.163	2577.342	2579.546	2581.769	2586.303	2590.938
35	2573.770	2575.947	2578.153	2580.385	2582.637	2587.233	2591.936
40	2574.508	2576.708	2578.940	2581.197	2583.476	2588.129	2592.894
45	2575.225	2577.447	2579.702	2581.981	2584.285	2588.990	2593.811
50	2575.921	2578.162	2580.440	2582.738	2585.065	2589.816	2594.687
55	2576.597	2578.856	2581.153	2583.469	2585.815	2590.607	2595.522
60	2577.253	2579.526	2581.842	2584.172	2586.536	2591.363	2596.316

Tabela 27. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene EuroDizelom

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2550.116	2552.022	2553.959	2555.919	2557.890	2559.884
1	2550.257	2552.170	2554.113	2556.080	2558.059	2560.060
5	2550.878	2552.818	2554.789	2556.786	2558.797	2560.831
10	2551.639	2553.611	2555.616	2557.649	2559.698	2561.771
15	2552.384	2554.387	2556.423	2558.490	2560.574	2562.685
20	2553.113	2555.144	2557.210	2559.309	2561.426	2563.572
25	2553.824	2555.883	2557.977	2560.105	2562.254	2564.433
30	2554.520	2556.603	2558.724	2560.880	2563.058	2565.267
35	2555.198	2557.306	2559.451	2561.632	2563.838	2566.074
40	2555.861	2557.990	2560.157	2562.363	2564.593	2566.854
45	2556.506	2558.656	2560.844	2563.071	2565.324	2567.608
50	2557.135	2559.303	2561.511	2563.757	2566.030	2568.335
55	2557.748	2559.933	2562.157	2564.421	2566.713	2569.036
60	2558.344	2560.544	2562.784	2565.063	2567.371	2569.710
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	2561.885	2563.902	2565.929	2570.032	2574.151	
1	2562.069	2564.095	2566.132	2570.254	2574.395	
5	2562.877	2564.941	2567.017	2571.224	2575.462	
10	2563.859	2565.968	2568.093	2572.398	2576.751	
15	2564.813	2566.963	2569.132	2573.531	2577.990	
20	2565.737	2567.926	2570.137	2574.622	2579.179	
25	2566.632	2568.857	2571.106	2575.670	2580.318	
30	2567.497	2569.756	2572.040	2576.678	2581.406	
35	2568.334	2570.623	2572.938	2577.643	2582.445	
40	2569.140	2571.457	2573.801	2578.566	2583.434	
45	2569.918	2572.259	2574.628	2579.448	2584.372	
50	2570.666	2573.029	2575.420	2580.287	2585.261	
55	2571.385	2573.766	2576.177	2581.085	2586.099	
60	2572.074	2574.472	2576.898	2581.841	2586.888	

Tabela 28. Experimentalno određene gustine SME na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	888.03	884.40	880.75	877.15	873.49	869.86	866.21	862.58
1	888.54	884.92	881.28	877.69	874.04	870.43	866.80	863.18
5	890.79	887.21	883.63	880.08	876.50	872.94	869.36	865.81
10	893.53	890.00	886.49	883.00	879.49	876.00	872.49	869.02
15	896.20	892.73	889.29	885.85	882.41	878.98	875.54	872.13
20	898.81	895.39	892.01	888.62	885.25	881.88	878.50	875.16
25	901.36	897.99	894.66	891.32	888.01	884.69	881.38	878.10
30	903.84	900.51	897.24	893.95	890.69	887.43	884.17	880.94
35	906.25	902.97	899.74	896.51	893.29	890.09	886.88	883.70
40	908.60	905.37	902.18	898.99	895.82	892.66	889.50	886.37
45	910.89	907.69	904.54	901.40	898.27	895.16	892.04	888.96
50	913.11	909.95	906.84	903.74	900.65	897.57	894.50	891.45
55	915.27	912.15	909.06	906.01	902.94	899.91	896.88	893.86
60	917.36	914.27	911.22	908.21	905.16	902.16	899.17	896.18
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	858.94	855.33	848.07	840.81	833.55	825.94	-	-
1	859.56	855.96	848.73	841.50	834.27	827.09	812.70	798.07
5	862.24	858.71	851.61	844.52	837.44	830.41	816.33	802.07
10	865.52	862.07	855.12	848.19	841.28	834.44	820.72	806.91
15	868.70	865.32	858.52	851.75	845.00	838.33	824.96	811.56
20	871.79	868.48	861.81	855.19	848.59	842.08	829.04	816.03
25	874.79	871.54	865.00	858.52	852.06	845.70	832.97	820.30
30	877.70	874.50	868.09	861.73	855.40	849.19	836.74	824.40
35	880.51	877.37	871.07	864.83	858.62	852.53	840.35	828.30
40	883.24	880.14	873.95	867.82	861.72	855.75	843.81	832.03
45	885.88	882.82	876.72	870.69	864.69	858.82	847.12	835.57
50	888.42	885.40	879.39	873.46	867.54	861.77	850.27	838.92
55	890.88	887.88	881.96	876.10	870.26	864.58	853.28	842.10
60	893.25	890.27	884.42	878.64	872.86	867.25	856.12	845.09

Tabela 29. Experimentalno određene gustine SEE na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	T / K							
	288.15	293.15	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
0.1	883.45	879.80	876.17	872.55	868.89	865.26	861.62	857.97
1	883.97	880.33	876.71	873.11	869.46	865.84	862.21	858.58
5	886.25	882.66	879.09	875.53	871.95	868.39	864.81	861.24
10	889.03	885.50	882.00	878.50	874.99	871.50	867.99	864.49
15	891.74	888.27	884.84	881.39	877.94	874.52	871.07	867.65
20	894.39	890.97	887.60	884.20	880.82	877.45	874.07	870.72
25	896.97	893.60	890.28	886.94	883.62	880.31	876.99	873.69
30	899.48	896.16	892.89	889.60	886.33	883.07	879.81	876.57
35	901.92	898.65	895.43	892.18	888.97	885.76	882.55	879.36
40	904.30	901.07	897.89	894.70	891.52	888.36	885.20	882.07
45	906.61	903.42	900.28	897.13	894.00	890.88	887.77	884.68
50	908.85	905.70	902.59	899.49	896.40	893.32	890.25	887.20
55	911.03	907.91	904.84	901.78	898.72	895.67	892.64	889.63
60	913.14	910.06	907.00	903.99	900.96	897.94	894.95	891.97
	328.15	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	854.34	850.71	843.44	836.17	828.84	821.19	-	-
1	854.96	851.35	844.10	836.87	829.58	822.34	807.78	793.17
5	857.68	854.14	847.02	839.93	832.80	825.73	811.48	797.22
10	861.00	857.54	850.58	843.65	836.71	829.83	815.95	802.12
15	864.22	860.83	854.02	847.26	840.48	833.79	820.25	806.83
20	867.35	864.03	857.36	850.74	844.13	837.61	824.40	811.34
25	870.39	867.13	860.59	854.11	847.64	841.28	828.38	815.67
30	873.33	870.13	863.71	857.36	851.03	844.81	832.19	819.80
35	876.18	873.03	866.73	860.49	854.28	848.19	835.85	823.75
40	878.93	875.83	869.64	863.51	857.40	851.43	839.34	827.51
45	881.60	878.54	872.44	866.41	860.40	854.53	842.67	831.08
50	884.16	881.14	875.13	869.20	863.26	857.49	845.84	834.47
55	886.64	883.65	877.72	871.87	866.00	860.31	848.85	837.67
60	889.03	886.06	880.20	874.42	868.61	862.99	851.70	840.69

Tabela 30. Experimentalno određene gustine LME na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	T / K						
	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15	328.15
0.1	871.61	867.97	864.32	860.67	857.00	853.36	849.71
1	872.15	868.52	864.88	861.25	857.59	853.97	850.33
5	874.52	870.95	867.36	863.79	860.19	856.63	853.06
10	877.42	873.91	870.39	866.89	863.37	859.88	856.38
15	880.24	876.79	873.34	869.90	866.45	863.03	859.60
20	882.99	879.60	876.21	872.83	869.45	866.09	862.72
25	885.67	882.33	878.99	875.68	872.36	869.06	865.76
30	888.27	884.98	881.70	878.44	875.18	871.94	868.69
35	890.80	887.56	884.33	881.12	877.91	874.72	871.53
40	893.25	890.06	886.88	883.71	880.55	877.41	874.28
45	895.64	892.48	889.34	886.22	883.11	880.02	876.93
50	897.95	894.83	891.73	888.65	885.58	882.53	879.49
55	900.19	897.11	894.05	891.00	887.96	884.95	881.96
60	902.35	899.31	896.28	893.26	890.26	887.28	884.33
	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15
0.1	846.07	838.77	831.49	824.16	816.45	-	-
1	846.70	839.44	832.19	824.89	817.61	802.95	788.22
5	849.50	842.37	835.25	828.11	820.98	806.66	792.30
10	852.90	845.93	838.98	832.02	825.08	811.15	797.22
15	856.20	849.38	842.58	835.80	829.03	815.48	801.94
20	859.39	852.72	846.07	839.44	832.84	819.64	806.48
25	862.49	855.95	849.43	842.96	836.51	823.63	810.82
30	865.49	859.07	852.68	846.34	840.04	827.46	814.97
35	868.39	862.08	855.82	849.59	843.42	831.12	818.93
40	871.18	864.98	858.83	852.71	846.67	834.61	822.70
45	873.88	867.78	861.73	855.71	849.77	837.94	826.28
50	876.48	870.46	864.52	858.57	852.73	841.11	829.67
55	878.98	873.04	867.19	861.30	855.56	844.11	832.87
60	881.38	875.51	869.74	863.91	858.24	846.95	835.88

Tabela 31. Experimentalno određene gustine EuroDizela na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	825.8	818.8	811.9	804.9	797.9	790.9
1	826.4	819.4	812.5	805.5	798.5	791.6
5	828.8	821.9	815.1	808.3	801.5	794.7
10	831.7	825.0	818.4	811.7	805.1	798.4
15	834.6	828.0	821.5	815.0	808.5	802.0
20	837.4	831.0	824.6	818.2	811.9	805.5
25	840.1	833.8	827.5	821.3	815.1	808.9
30	842.7	836.5	830.4	824.3	818.2	812.1
35	845.3	839.1	833.1	827.1	821.2	815.2
40	847.7	841.7	835.8	829.9	824.0	818.2
45	850.1	844.2	838.3	832.5	826.8	821.1
50	852.4	846.5	840.8	835.1	829.4	823.8
55	854.6	848.8	843.1	837.5	831.9	826.4
60	856.7	851.0	845.4	839.8	834.3	828.9
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	783.8	776.8	769.3	755.2	740.9	
1	784.6	777.5	770.5	756.4	741.9	
5	787.8	781.0	774.1	760.3	746.3	
10	791.8	785.1	778.5	765.1	751.6	
15	795.6	789.1	782.7	769.7	756.7	
20	799.2	792.9	786.7	774.1	761.5	
25	802.7	796.6	790.5	778.3	766.1	
30	806.1	800.1	794.2	782.3	770.5	
35	809.3	803.5	797.7	786.1	774.6	
40	812.4	806.7	801.1	789.7	778.5	
45	815.4	809.8	804.2	793.2	782.2	
50	818.2	812.7	807.3	796.4	785.6	
55	820.9	815.4	810.1	799.4	788.8	
60	823.4	818.0	812.8	802.2	791.8	

Tabela 32. Gustine, dinamička viskoznost, indeksi refrakcije i brzine zvuka ispitivanih binarnih smješa biodizela i EuroDizela na atmosferskom pritisku

T / K	EuroDiesel + SME (10% vol.)				EuroDiesel + SME (20% vol.)			
	$\rho^a / 10^3$ kg m ⁻³	$\eta^b / \text{m Pa}$ s	n_D^c	$u / \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\rho^a / 10^3$ kg m ⁻³	$\eta^b / \text{m Pa}$ s	n_D^c	$u / \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
288.15	0.83458	4.249	1.45889	1386	0.84022	4.445	1.45894	1389.92
293.15	0.83106	3.684	1.45680	1367.07	0.83669	3.856	1.45685	1371.08
298.15	0.82755	3.261	1.45471	1348.32	0.83317	3.413	1.45477	1352.44
303.15	0.82405	2.892	1.45261	1329.78	0.82966	3.029	1.45269	1333.98
308.15	0.82055	2.591	1.45052	1311.4	0.82615	2.712	1.45060	1315.69
313.15	0.81706	2.335	1.44842	1293.18	0.82264	2.443	1.44850	1297.55
318.15	0.81357	2.114	1.44632	1275.12	0.81914	2.211	1.44641	1279.59
323.15	0.81008	1.926	1.44423	1257.23	0.81564	2.014	1.44433	1261.8
328.15	0.80659	1.763	1.44211	1239.53	0.81214	1.844	1.44223	1244.17
333.15	0.80310	1.619	1.44003	1221.97	0.80865	1.692	1.44015	1226.7
338.15	0.79961	1.496	1.43796	1204.6	0.80515	1.564	1.43809	1209.4
343.15	0.79612	1.385	1.43589	1187.46	0.80165	1.448	1.43604	1192.33
348.15	0.79263	1.287	-	-	0.79815	1.346	-	-
353.15	0.78913	1.199	-	-	0.79465	1.253	-	-
358.15	0.78563	1.119	-	-	0.79114	1.17	-	-
363.15	0.78213	1.047	-	-	0.78763	1.095	-	-
368.15	-	0.982	-	-	-	1.026	-	-
373.15	-	0.9277	-	-	-	0.9687	-	-
T / K	EuroDiesel + SEE (10% vol.)			EuroDiesel + SEE (20% vol.)				
	$\rho^a / 10^3$ kg m ⁻³	$\eta^b / \text{m Pa}$ s	n_D^c	$\rho^a / 10^3$ kg m ⁻³	$\eta^b / \text{m Pa}$ s	n_D^c		
288.15	0.83428	4.328	1.45888	0.83931	4.569	1.45865		
293.15	0.83076	3.753	1.45678	0.83578	3.962	1.45656		
298.15	0.82726	3.317	1.45469	0.83225	3.503	1.45448		
303.15	0.82376	2.947	1.45259	0.82874	3.110	1.45238		
308.15	0.82026	2.634	1.45049	0.82523	2.780	1.45029		
313.15	0.81677	2.373	1.44839	0.82172	2.502	1.44820		
318.15	0.81328	2.148	1.44628	0.81822	2.265	1.44610		
323.15	0.80979	1.956	1.44419	0.81471	2.062	1.44404		
328.15	0.80631	1.790	1.44207	0.81121	1.886	1.44193		
333.15	0.80282	1.642	1.44000	0.80772	1.729	1.43986		
338.15	0.79934	1.517	1.43793	0.80422	1.598	1.43779		
343.15	0.79585	1.404	1.43585	0.80072	1.478	1.43575		
348.15	0.79236	1.303	-	0.79721	1.373	-		
353.15	0.78886	1.213	-	0.79371	1.278	-		
358.15	0.78537	1.133	-	0.79020	1.193	-		
363.15	0.78186	1.060	-	0.78668	1.115	-		
368.15	-	0.9931	-	-	1.045	-		
373.15	-	0.9364	-	-	0.9854	-		

Tabela 33. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene binarnom smješom ED90SME10

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2551.216	2553.123	2555.055	2557.000	2558.975	2560.962
1	2551.356	2553.270	2555.208	2557.160	2559.143	2561.137
5	2551.976	2553.916	2555.881	2557.865	2559.879	2561.907
10	2552.735	2554.708	2556.705	2558.725	2560.777	2562.844
15	2553.479	2555.481	2557.509	2559.564	2561.651	2563.756
20	2554.206	2556.236	2558.294	2560.381	2562.501	2564.641
25	2554.916	2556.974	2559.059	2561.177	2563.327	2565.499
30	2555.611	2557.693	2559.804	2561.950	2564.129	2566.331
35	2556.289	2558.395	2560.530	2562.702	2564.906	2567.137
40	2556.951	2559.079	2561.236	2563.431	2565.660	2567.917
45	2557.597	2559.745	2561.923	2564.139	2566.390	2568.670
50	2558.226	2560.392	2562.590	2564.826	2567.095	2569.396
55	2558.839	2561.022	2563.237	2565.490	2567.777	2570.097
60	2559.436	2561.634	2563.865	2566.132	2568.434	2570.771
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	2562.961	2564.977	2566.999			
1	2563.145	2565.169	2567.200	2571.298	2575.450	
5	2563.950	2566.011	2568.081	2572.267	2576.517	
10	2564.931	2567.036	2569.151	2573.441	2577.806	
15	2565.882	2568.028	2570.186	2574.572	2579.044	
20	2566.804	2568.989	2571.186	2575.662	2580.232	
25	2567.697	2569.917	2572.152	2576.709	2581.369	
30	2568.561	2570.814	2573.083	2577.714	2582.455	
35	2569.395	2571.679	2573.979	2578.677	2583.491	
40	2570.201	2572.512	2574.840	2579.599	2584.477	
45	2570.977	2573.313	2575.666	2580.478	2585.412	
50	2571.724	2574.082	2576.458	2581.315	2586.296	
55	2572.442	2574.819	2577.215	2582.110	2587.130	
60	2573.131	2575.525	2577.937	2582.863	2587.914	

Tabela 34. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene binarnom smješom ED80SME20

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2552.358	2554.263	2556.189	2558.136	2560.104	2562.089
1	2552.499	2554.409	2556.342	2558.295	2560.270	2562.263
5	2553.115	2555.052	2557.013	2558.996	2561.002	2563.027
10	2553.872	2555.840	2557.835	2559.852	2561.896	2563.958
15	2554.612	2556.610	2558.636	2560.687	2562.766	2564.864
20	2555.337	2557.363	2559.419	2561.500	2563.612	2565.745
25	2556.045	2558.098	2560.182	2562.292	2564.435	2566.599
30	2556.738	2558.816	2560.925	2563.063	2565.235	2567.428
35	2557.414	2559.516	2561.650	2563.813	2566.011	2568.232
40	2558.075	2560.198	2562.354	2564.541	2566.763	2569.009
45	2558.720	2560.863	2563.039	2565.248	2567.492	2569.761
50	2559.348	2561.510	2563.705	2565.933	2568.197	2570.487
55	2559.961	2562.140	2564.351	2566.598	2568.878	2571.187
60	2560.558	2562.752	2564.978	2567.241	2569.536	2571.862
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	2564.084	2566.094	2568.127			
1	2564.266	2566.285	2568.327	2572.420	2576.564	
5	2565.065	2567.123	2569.201	2573.383	2577.623	
10	2566.039	2568.142	2570.264	2574.550	2578.902	
15	2566.984	2569.129	2571.292	2575.674	2580.132	
20	2567.901	2570.085	2572.287	2576.758	2581.311	
25	2568.790	2571.009	2573.248	2577.800	2582.442	
30	2569.650	2571.902	2574.175	2578.800	2583.522	
35	2570.482	2572.764	2575.068	2579.759	2584.553	
40	2571.286	2573.594	2575.927	2580.677	2585.535	
45	2572.061	2574.392	2576.753	2581.553	2586.466	
50	2572.808	2575.159	2577.544	2582.388	2587.348	
55	2573.527	2575.895	2578.302	2583.181	2588.180	
60	2574.217	2576.599	2579.026	2583.933	2588.963	

Tabela 35. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene binarnom smješom ED90SEE10

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2551.142	2553.047	2554.978	2556.928	2558.898	2560.885
1	2551.283	2553.194	2555.132	2557.089	2559.066	2561.061
5	2551.902	2553.842	2555.806	2557.793	2559.801	2561.830
10	2552.662	2554.634	2556.631	2558.655	2560.699	2562.768
15	2553.406	2555.408	2557.437	2559.494	2561.573	2563.680
20	2554.133	2556.165	2558.223	2560.311	2562.423	2564.565
25	2554.844	2556.903	2558.989	2561.107	2563.250	2565.424
30	2555.539	2557.623	2559.735	2561.881	2564.052	2566.257
35	2556.217	2558.324	2560.461	2562.632	2564.831	2567.064
40	2556.880	2559.008	2561.168	2563.362	2565.585	2567.844
45	2557.525	2559.674	2561.855	2564.070	2566.316	2568.598
50	2558.155	2560.321	2562.522	2564.756	2567.022	2569.325
55	2558.768	2560.950	2563.170	2565.421	2567.705	2570.026
60	2559.365	2561.562	2563.797	2566.063	2568.364	2570.701
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	2562.887	2564.893	2566.927			
1	2563.071	2565.086	2567.128	2571.220	2575.360	
5	2563.876	2565.928	2568.010	2572.189	2576.428	
10	2564.856	2566.952	2569.082	2573.362	2577.717	
15	2565.807	2567.944	2570.118	2574.494	2578.956	
20	2566.729	2568.905	2571.119	2575.584	2580.144	
25	2567.622	2569.833	2572.086	2576.632	2581.282	
30	2568.486	2570.730	2573.017	2577.638	2582.368	
35	2569.321	2571.594	2573.913	2578.602	2583.405	
40	2570.127	2572.427	2574.774	2579.524	2584.390	
45	2570.905	2573.228	2575.601	2580.404	2585.326	
50	2571.653	2573.998	2576.392	2581.242	2586.210	
55	2572.372	2574.735	2577.148	2582.038	2587.044	
60	2573.063	2575.440	2577.869	2582.792	2587.827	

Tabela 36. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene binarnom smješom ED80SEE20

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2552.201	2554.102	2556.033	2557.980	2559.947	2561.933
1	2552.341	2554.249	2556.186	2558.139	2560.114	2562.107
5	2552.959	2554.892	2556.858	2558.841	2560.847	2562.872
10	2553.717	2555.681	2557.680	2559.698	2561.742	2563.804
15	2554.459	2556.453	2558.483	2560.534	2562.613	2564.711
20	2555.185	2557.206	2559.266	2561.349	2563.460	2565.592
25	2555.894	2557.942	2560.030	2562.142	2564.284	2566.448
30	2556.588	2558.661	2560.774	2562.914	2565.084	2567.277
35	2557.265	2559.362	2561.499	2563.664	2565.861	2568.081
40	2557.926	2560.045	2562.205	2564.393	2566.614	2568.859
45	2558.571	2560.711	2562.891	2565.101	2567.343	2569.611
50	2559.199	2561.359	2563.557	2565.787	2568.049	2570.338
55	2559.812	2561.990	2564.205	2566.451	2568.731	2571.039
60	2560.408	2562.603	2564.832	2567.094	2569.389	2571.714
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	2563.930	2565.939	2567.968			
1	2564.112	2566.130	2568.168	2572.267	2576.413	
5	2564.912	2566.968	2569.045	2573.229	2577.471	
10	2565.886	2567.987	2570.110	2574.396	2578.750	
15	2566.832	2568.974	2571.141	2575.521	2579.980	
20	2567.749	2569.930	2572.137	2576.605	2581.160	
25	2568.639	2570.855	2573.099	2577.647	2582.290	
30	2569.499	2571.749	2574.027	2578.648	2583.372	
35	2570.332	2572.612	2574.920	2579.608	2584.404	
40	2571.136	2573.443	2575.779	2580.527	2585.386	
45	2571.912	2574.243	2576.604	2581.404	2586.319	
50	2572.659	2575.012	2577.394	2582.240	2587.203	
55	2573.378	2575.749	2578.150	2583.035	2588.038	
60	2574.069	2576.456	2578.872	2583.788	2588.823	

Tabela 37. Experimentalno određene gustine ED90SME10 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	831.1	824.1	817.1	810.0	803.0	796.0
1	831.6	824.6	817.7	810.6	803.7	796.7
5	834.0	827.2	820.3	813.4	806.6	799.8
10	837.0	830.3	823.6	816.8	810.2	803.5
15	839.8	833.3	826.7	820.1	813.6	807.1
20	842.6	836.2	829.7	823.3	817.0	810.6
25	845.3	839.0	832.7	826.4	820.2	813.9
30	847.9	841.7	835.5	829.3	823.3	817.2
35	850.5	844.4	838.3	832.2	826.2	820.3
40	852.9	846.9	840.9	835.0	829.1	823.3
45	855.3	849.4	843.5	837.6	831.8	826.1
50	857.6	851.8	845.9	840.2	834.5	828.8
55	859.8	854.0	848.3	842.6	837.0	831.4
60	862.0	856.3	850.6	844.9	839.4	833.9
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	788.9	781.8	774.4	-	-	
1	789.6	782.6	775.6	761.2	746.8	
5	792.9	786.0	779.1	765.2	751.2	
10	796.8	790.1	783.5	770.0	756.5	
15	800.6	794.1	787.6	774.6	761.6	
20	804.2	797.9	791.6	779.0	766.4	
25	807.8	801.6	795.5	783.2	771.0	
30	811.1	805.1	799.1	787.2	775.4	
35	814.4	808.5	802.6	791.0	779.5	
40	817.4	811.7	806.0	794.6	783.4	
45	820.4	814.7	809.1	798.0	787.0	
50	823.2	817.6	812.1	801.2	790.4	
55	825.9	820.4	815.0	804.2	793.6	
60	828.4	823.0	817.7	807.0	796.6	

Tabela 38. Experimentalno određene gustine ED80SME20 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	836.5	829.5	822.5	815.4	808.4	801.3
1	837.1	830.1	823.1	816.0	809.0	802.0
5	839.5	832.6	825.7	818.8	811.9	805.1
10	842.4	835.7	828.9	822.2	815.5	808.8
15	845.3	838.6	832.1	825.5	818.9	812.4
20	848.0	841.5	835.1	828.6	822.2	815.8
25	850.7	844.4	838.0	831.7	825.4	819.2
30	853.3	847.1	840.8	834.6	828.5	822.4
35	855.9	849.7	843.6	837.5	831.5	825.5
40	858.3	852.3	846.2	840.2	834.3	828.4
45	860.7	854.7	848.8	842.9	837.1	831.3
50	863.0	857.1	851.2	845.4	839.7	834.0
55	865.2	859.4	853.6	847.9	842.2	836.6
60	867.4	861.6	855.9	850.2	844.6	839.1
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	794.2	787.1	779.6	-	-	
1	794.9	787.8	780.8	766.5	752.0	
5	798.1	791.2	784.4	770.4	756.4	
10	802.0	795.3	788.7	775.2	761.6	
15	805.8	799.3	792.8	779.7	766.6	
20	809.4	803.1	796.8	784.1	771.4	
25	812.9	806.7	800.6	788.3	776.0	
30	816.3	810.2	804.3	792.3	780.3	
35	819.5	813.6	807.8	796.0	784.4	
40	822.6	816.8	811.1	799.6	788.3	
45	825.5	819.8	814.2	803.0	791.9	
50	828.3	822.7	817.3	806.2	795.3	
55	831.0	825.5	820.1	809.2	798.5	
60	833.6	828.1	822.8	812.0	801.5	

Tabela 39. Experimentalno određene gustine ED90SEE10 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	830.7	823.7	816.7	809.7	802.6	795.6
1	831.3	824.3	817.3	810.3	803.3	796.3
5	833.7	826.8	820.0	813.1	806.3	799.4
10	836.6	829.9	823.2	816.5	809.8	803.1
15	839.5	832.9	826.3	819.8	813.3	806.7
20	842.3	835.8	829.4	823.0	816.6	810.2
25	845.0	838.6	832.3	826.0	819.8	813.6
30	847.6	841.4	835.2	829.0	822.9	816.8
35	850.1	844.0	837.9	831.9	825.9	819.9
40	852.6	846.6	840.6	834.6	828.7	822.9
45	855.0	849.0	843.1	837.3	831.5	825.8
50	857.3	851.4	845.6	839.8	834.1	828.5
55	859.5	853.7	848.0	842.3	836.7	831.1
60	861.6	855.9	850.2	844.6	839.1	833.6
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	788.5	781.4	774.0	-	-	
1	789.3	782.2	775.2	760.9	746.4	
5	792.5	785.6	778.8	764.8	750.8	
10	796.5	789.7	783.1	769.6	756.1	
15	800.2	793.7	787.3	774.2	761.2	
20	803.9	797.5	791.3	778.6	766.0	
25	807.4	801.2	795.1	782.8	770.6	
30	810.8	804.7	798.8	786.8	775.0	
35	814.0	808.1	802.3	790.6	779.1	
40	817.1	811.3	805.7	794.2	783.0	
45	820.1	814.3	808.8	797.6	786.6	
50	822.9	817.2	811.8	800.8	790.0	
55	825.6	820.0	814.7	803.9	793.2	
60	828.1	822.6	817.3	806.7	796.2	

Tabela 40. Experimentalno određene gustine ED80SEE20 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	835.8	828.7	821.7	814.7	807.6	800.6
1	836.3	829.3	822.3	815.3	808.3	801.3
5	838.7	831.8	825.0	818.1	811.2	804.3
10	841.7	834.9	828.2	821.5	814.8	808.0
15	844.5	837.9	831.3	824.7	818.2	811.6
20	847.3	840.8	834.4	827.9	821.5	815.1
25	850.0	843.6	837.3	831.0	824.7	818.4
30	852.6	846.3	840.1	833.9	827.8	821.7
35	855.1	849.0	842.9	836.8	830.8	824.8
40	857.6	851.5	845.5	839.5	833.6	827.7
45	860.0	854.0	848.1	842.2	836.4	830.6
50	862.3	856.4	850.5	844.7	839.0	833.3
55	864.5	858.7	852.9	847.2	841.5	835.9
60	866.6	860.9	855.2	849.5	843.9	838.4
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	793.5	786.3	778.9	-	-	
1	794.2	787.1	780.1	765.8	751.3	
5	797.4	790.5	783.7	769.7	755.7	
10	801.3	794.6	788.0	774.5	760.9	
15	805.1	798.6	792.1	779.0	765.9	
20	808.7	802.4	796.1	783.4	770.7	
25	812.2	806.0	799.9	787.6	775.3	
30	815.6	809.5	803.6	791.6	779.6	
35	818.8	812.9	807.1	795.3	783.7	
40	821.9	816.1	810.4	798.9	787.6	
45	824.8	819.1	813.5	802.3	791.2	
50	827.6	822.0	816.5	805.5	794.7	
55	830.3	824.8	819.4	808.5	797.8	
60	832.9	827.4	822.1	811.3	800.8	

Tabela 41. Gustine, dinamička viskoznost i indeksi refrakcije ispitivanih ternernih smješa biodizela i EuroDizela na atmosferskom pritisku

T / K	ED90SME5SEE5			ED80SME10SEE10		
	η / m Pa s	ρ / 10^3 kg m ⁻³	n_D	η / m Pa s	ρ / 10^3 kg m ⁻³	n_D
288.15	4.2604	0.834404	1.458636	4.508	0.839767	1.458913
293.15	3.6959	0.83089	1.456545	3.9084	0.836241	1.456825
298.15	3.272	0.827382	1.454453	3.4532	0.83272	1.454743
303.15	2.9016	0.823879	1.452353	3.0645	0.829205	1.452659
308.15	2.5997	0.820381	1.450258	2.7442	0.825695	1.450571
313.15	2.3426	0.816884	1.448163	2.471	0.822189	1.448473
318.15	2.1217	0.813391	1.446093	2.2367	0.818684	1.446371
323.15	1.9324	0.809901	1.444014	2.0358	0.815186	1.444288
328.15	1.7686	0.806409	1.441901	1.8631	0.811687	1.442189
333.15	1.6235	0.80292	1.4398	1.7092	0.808192	1.440113
338.15	1.4997	0.799431	1.437737	1.5797	0.804691	1.438041
343.15	1.3887	0.795939	1.435728	1.4625	0.801193	1.435972
348.15	1.2898	0.792447		1.358	0.797693	
353.15	1.2011	0.78895		1.2644	0.794193	
358.15	1.1213	0.785449		1.1803	0.790687	
363.15	1.0491	0.781944		1.1042	0.787178	
368.15	0.92934			1.0348		
373.15	0.98374			0.97847		

Tabela 42. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene ternernom smješom ED90SME5SEE5

p / MPa	τ / μ s					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2551.153	2553.093	2555.021	2556.971	2558.940	2560.928
1	2551.295	2553.240	2555.174	2557.131	2559.108	2561.103
5	2551.917	2553.886	2555.849	2557.836	2559.843	2561.871
10	2552.680	2554.677	2556.674	2558.697	2560.741	2562.809
15	2553.426	2555.451	2557.479	2559.536	2561.616	2563.720
20	2554.156	2556.207	2558.265	2560.353	2562.466	2564.604
25	2554.869	2556.944	2559.031	2561.148	2563.292	2565.463
30	2555.565	2557.664	2559.777	2561.922	2564.095	2566.295
35	2556.245	2558.366	2560.504	2562.674	2564.873	2567.101
40	2556.908	2559.051	2561.210	2563.404	2565.628	2567.881
45	2557.555	2559.717	2561.897	2564.112	2566.359	2568.634
50	2558.185	2560.365	2562.564	2564.798	2567.065	2569.361
55	2558.798	2560.996	2563.212	2565.462	2567.748	2570.062
60	2559.395	2561.608	2563.839	2566.105	2568.407	2570.737
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	2562.923	2564.932	2566.952			
1	2563.107	2565.125	2567.154	2571.257	2575.396	
5	2563.911	2565.967	2568.036	2572.227	2576.463	
10	2564.890	2566.991	2569.107	2573.403	2577.751	
15	2565.841	2567.984	2570.144	2574.536	2578.989	
20	2566.762	2568.945	2571.145	2575.626	2580.177	
25	2567.655	2569.874	2572.112	2576.674	2581.315	
30	2568.519	2570.771	2573.043	2577.679	2582.402	
35	2569.355	2571.637	2573.940	2578.642	2583.439	
40	2570.161	2572.471	2574.802	2579.562	2584.426	
45	2570.939	2573.273	2575.629	2580.440	2585.363	
50	2571.687	2574.044	2576.420	2581.275	2586.249	
55	2572.407	2574.782	2577.177	2582.068	2587.085	
60	2573.099	2575.489	2577.900	2582.818	2587.870	

Tabela 43. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene ternernom smješom ED80SME10SEE10

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2552.283	2554.187	2556.111	2558.068	2560.029	2562.014
1	2552.423	2554.333	2556.264	2558.227	2560.196	2562.188
5	2553.039	2554.977	2556.936	2558.928	2560.928	2562.953
10	2553.796	2555.766	2557.757	2559.784	2561.821	2563.886
15	2554.536	2556.537	2558.560	2560.619	2562.692	2564.794
20	2555.261	2557.290	2559.343	2561.433	2563.539	2565.675
25	2555.970	2558.026	2560.106	2562.225	2564.362	2566.531
30	2556.663	2558.744	2560.851	2562.997	2565.162	2567.361
35	2557.341	2559.444	2561.575	2563.746	2565.938	2568.165
40	2558.003	2560.126	2562.280	2564.475	2566.691	2568.943
45	2558.649	2560.790	2562.966	2565.182	2567.421	2569.695
50	2559.279	2561.437	2563.633	2565.868	2568.127	2570.422
55	2559.894	2562.066	2564.280	2566.532	2568.809	2571.123
60	2560.492	2562.677	2564.907	2567.175	2569.468	2571.798
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	2564.011	2566.022	2568.046			
1	2564.193	2566.212	2568.246	2572.353	2576.489	
5	2564.993	2567.049	2569.121	2573.314	2577.547	
10	2565.966	2568.066	2570.185	2574.479	2578.825	
15	2566.912	2569.053	2571.214	2575.602	2580.053	
20	2567.829	2570.008	2572.210	2576.685	2581.233	
25	2568.718	2570.933	2573.171	2577.727	2582.363	
30	2569.579	2571.826	2574.099	2578.728	2583.444	
35	2570.412	2572.689	2574.993	2579.688	2584.476	
40	2571.216	2573.520	2575.852	2580.607	2585.459	
45	2571.993	2574.321	2576.678	2581.485	2586.393	
50	2572.741	2575.091	2577.469	2582.323	2587.278	
55	2573.461	2575.829	2578.227	2583.119	2588.113	
60	2574.152	2576.537	2578.951	2583.875	2588.899	

Tabela 44. Experimentalno određene gustine ED90SME5SEE5 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	830.79	823.92	816.91	809.87	802.84	795.80
1	831.34	824.50	817.52	810.50	803.51	796.51
5	833.76	827.03	820.17	813.30	806.45	799.59
10	836.72	830.12	823.41	816.70	810.01	803.33
15	839.59	833.12	826.54	819.99	813.46	806.94
20	842.38	836.02	829.58	823.17	816.79	810.42
25	845.09	838.84	832.53	826.25	820.00	813.78
30	847.71	841.57	835.37	829.22	823.10	817.01
35	850.26	844.22	838.12	832.08	826.08	820.11
40	852.73	846.77	840.78	834.84	828.95	823.09
45	855.11	849.24	843.34	837.49	831.70	825.94
50	857.41	851.62	845.80	840.03	834.33	828.67
55	859.64	853.92	848.17	842.47	836.85	831.27
60	861.78	856.13	850.44	844.80	839.26	833.75
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	788.72	781.60	774.13			
1	789.46	782.38	775.34	761.03	746.55	
5	792.70	785.79	778.93	765.02	750.96	
10	796.62	789.92	783.26	769.82	756.26	
15	800.40	793.89	787.43	774.42	761.33	
20	804.05	797.71	791.43	778.82	766.16	
25	807.56	801.38	795.27	783.02	770.75	
30	810.93	804.90	798.94	787.01	775.11	
35	814.17	808.27	802.44	790.81	779.23	
40	817.26	811.48	805.78	794.40	783.12	
45	820.22	814.55	808.96	797.80	786.78	
50	823.05	817.46	811.96	801.00	790.20	
55	825.73	820.22	814.81	803.99	793.39	
60	828.28	822.83	817.49	806.80	796.36	

Tabela 45. Experimentalno određene gustine ED80SME10SEE10 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	836.18	829.14	822.10	815.07	808.00	800.94
1	836.73	829.72	822.70	815.71	808.67	801.64
5	839.13	832.24	825.35	818.49	811.59	804.70
10	842.05	835.31	828.57	821.86	815.13	808.42
15	844.90	838.30	831.69	825.14	818.56	812.02
20	847.67	841.20	834.72	828.30	821.88	815.49
25	850.36	844.01	837.65	831.37	825.08	818.83
30	852.97	846.73	840.49	834.33	828.16	822.05
35	855.51	849.36	843.23	837.18	831.14	825.15
40	857.97	851.91	845.88	839.93	834.00	828.12
45	860.35	854.37	848.44	842.58	836.74	830.97
50	862.66	856.75	850.90	845.12	839.38	833.70
55	864.89	859.04	853.27	847.56	841.90	836.30
60	867.05	861.24	855.54	849.90	844.30	838.78
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
0.1	793.84	786.72	779.27			
1	794.58	787.50	780.46	766.15	751.64	
5	797.80	790.88	784.02	770.10	756.01	
10	801.70	794.98	788.32	774.85	761.26	
15	805.46	798.93	792.46	779.41	766.28	
20	809.09	802.72	796.44	783.78	771.07	
25	812.58	806.37	800.25	787.95	775.64	
30	815.94	809.87	803.90	791.93	779.97	
35	819.16	813.23	807.39	795.71	784.07	
40	822.25	816.43	810.73	799.30	787.94	
45	825.21	819.49	813.89	802.70	791.59	
50	828.03	822.40	816.90	805.91	795.01	
55	830.72	825.16	819.75	808.93	798.20	
60	833.27	827.78	822.44	811.75	801.17	

Tabela 46. Podaci za tečnost-tečnost ravnotežu etanola u EuroDizelu

w	T / K
0.08	326.15
0.09	331.65
0.02	300.15
0.03	311.15
0.08	325.15
0.09	333.65
0.94	300.15
0.88	323.15
0.86	326.15
0.81	341.15
0.70	352.15

Tabela 47. Gustine, dinamička viskoznost, indeksi refrakcije i brzina zvuka ispitivanih ternernih smješa biodizela i EuroDizela sa etanolom na atmosferskom pritisku

T / K	ED85SME10EtOH5				ED80SME10EtOH10			
	η / mPa·s	$\rho / 10^3$ kg·m ⁻³	n_D	u / m·s ⁻¹	η / mPa·s	$\rho / 10^3$ kg·m ⁻³	n_D	u / m·s ⁻¹
288.15	3.8835	0.832826	1.455001	1373.8	3.4156	0.830067	1.449505	1356.47
293.15	3.3849	0.829237	1.452792	1354.74	2.9729	0.826395	1.447323	1337.37
298.15	2.9929	0.825637	1.450698	1335.84	2.6463	0.822713	1.445138	1318.43
303.15	2.6563	0.822025	1.448662	1317.11	2.3579	0.819013	1.442946	1299.62
308.15	2.3732	0.818405	1.446591	1298.54	2.1137	0.815299	1.44075	1280.99
313.15	2.1345	0.814768	1.444472	1280.15	1.9083	0.811559	1.438882	1262.5
318.15	1.9257	0.811112	1.44235	1261.9	1.7239	0.807804	1.436955	1244.14
323.15	1.748	0.807455	1.440249	1243.78	1.5667	0.804026	1.435006	1225.88
328.15	1.5929	0.803774	1.438055	1225.79	1.4285	0.800223	1.432901	1207.66
333.15	1.4727	0.800072	1.435709	1207.93	1.3177	0.796386	1.429889	1189.91

Tabela 48. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene ternernom smješom ED85SME10EtOH5

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2550.679	2552.555	2554.423	2556.300	2558.190	2560.078
1	2550.824	2552.705	2554.580	2556.465	2558.362	2560.259
5	2551.460	2553.364	2555.270	2557.186	2559.118	2561.051
10	2552.239	2554.170	2556.113	2558.067	2560.040	2562.016
15	2553.000	2554.959	2556.935	2558.925	2560.937	2562.954
20	2553.744	2555.728	2557.736	2559.761	2561.808	2563.863
25	2554.469	2556.479	2558.517	2560.573	2562.655	2564.745
30	2555.177	2557.211	2559.277	2561.363	2563.475	2565.599
35	2555.867	2557.924	2560.016	2562.129	2564.271	2566.425
40	2556.539	2558.619	2560.735	2562.873	2565.041	2567.223
45	2557.193	2559.295	2561.433	2563.594	2565.786	2567.993
50	2557.829	2559.952	2562.110	2564.292	2566.506	2568.736
55	2558.448	2560.591	2562.766	2564.967	2567.201	2569.450
60	2559.049	2561.211	2563.402	2565.619	2567.870	2570.137
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
1	2562.180	2564.099	2566.012	2569.862	2573.744	
5	2563.007	2564.966	2566.924	2570.873	2574.868	
10	2564.014	2566.020	2568.031	2572.098	2576.223	
15	2564.991	2567.042	2569.101	2573.278	2577.524	
20	2565.938	2568.030	2570.136	2574.412	2578.770	
25	2566.855	2568.986	2571.134	2575.502	2579.962	
30	2567.742	2569.909	2572.095	2576.548	2581.098	
35	2568.599	2570.798	2573.020	2577.548	2582.180	
40	2569.426	2571.656	2573.909	2578.504	2583.207	
45	2570.222	2572.480	2574.761	2579.415	2584.180	
50	2570.989	2573.271	2575.577	2580.281	2585.098	
55	2571.726	2574.030	2576.356	2581.102	2585.961	
60	2572.433	2574.756	2577.099	2581.878	2586.769	

Tabela 49. Period oscilovanja U ćelije DMA HP uređaja napunjene ternernom smješom ED80SME10EtOH10

p / MPa	$\tau / \mu\text{s}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	2550.247	2552.121	2553.949	2555.789	2557.643	2559.479
1	2550.394	2552.273	2554.109	2555.957	2557.819	2559.663
5	2551.042	2552.943	2554.810	2556.692	2558.587	2560.473
10	2551.835	2553.763	2555.667	2557.589	2559.525	2561.458
15	2552.610	2554.563	2556.503	2558.463	2560.436	2562.415
20	2553.365	2555.344	2557.317	2559.312	2561.321	2563.342
25	2554.102	2556.106	2558.110	2560.138	2562.181	2564.240
30	2554.821	2556.848	2558.881	2560.940	2563.014	2565.109
35	2555.521	2557.571	2559.631	2561.718	2563.821	2565.949
40	2556.202	2558.275	2560.359	2562.472	2564.603	2566.759
45	2556.864	2558.959	2561.066	2563.202	2565.358	2567.541
50	2557.508	2559.624	2561.751	2563.908	2566.087	2568.293
55	2558.133	2560.270	2562.415	2564.591	2566.791	2569.017
60	2558.740	2560.896	2563.057	2565.249	2567.468	2569.711
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
1	2561.528	2563.369	2565.206	2568.843	2572.468	
5	2562.371	2564.258	2566.141	2569.889	2573.641	
10	2563.397	2565.337	2567.275	2571.153	2575.054	
15	2564.393	2566.382	2568.372	2572.371	2576.408	
20	2565.358	2567.393	2569.430	2573.541	2577.703	
25	2566.292	2568.370	2570.451	2574.663	2578.940	
30	2567.196	2569.312	2571.434	2575.739	2580.118	
35	2568.068	2570.220	2572.380	2576.768	2581.237	
40	2568.910	2571.094	2573.287	2577.749	2582.297	
45	2569.721	2571.934	2574.157	2578.683	2583.299	
50	2570.502	2572.739	2574.989	2579.570	2584.241	
55	2571.251	2573.510	2575.783	2580.410	2585.125	
60	2571.970	2574.246	2576.539	2581.203	2585.950	

Tabela 50. Experimentalno određene gustine ED85SME10EtOH5 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	828.52	821.36	814.07	806.68	799.29	791.79
1	829.09	821.95	814.69	807.34	799.98	792.52
5	831.58	824.54	817.42	810.22	803.01	795.71
10	834.61	827.70	820.74	813.71	806.69	799.58
15	837.55	830.77	823.95	817.09	810.24	803.31
20	840.41	833.74	827.07	820.36	813.67	806.91
25	843.18	836.62	830.08	823.51	816.98	810.38
30	845.86	839.41	832.99	826.56	820.16	813.71
35	848.45	842.10	835.80	829.49	823.22	816.91
40	850.96	844.71	838.51	832.31	826.16	819.97
45	853.38	847.23	841.12	835.02	828.98	822.90
50	855.71	849.65	843.63	837.62	831.68	825.70
55	857.96	851.98	846.04	840.11	834.25	828.37
60	860.12	854.23	848.35	842.49	836.71	830.90
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
1	785.09	777.56	769.98	754.52	738.87	
5	788.43	781.08	773.71	758.70	743.55	
10	792.49	785.35	778.21	763.73	749.16	
15	796.40	789.46	782.54	768.54	754.51	
20	800.16	793.41	786.69	773.15	759.61	
25	803.78	797.20	790.67	777.54	764.45	
30	807.26	800.83	794.48	781.72	769.03	
35	810.59	804.31	798.12	785.69	773.36	
40	813.79	807.64	801.58	789.45	777.44	
45	816.84	810.80	804.87	793.00	781.26	
50	819.74	813.81	807.99	796.34	784.83	
55	822.51	816.67	810.94	799.47	788.15	
60	825.13	819.37	813.72	802.39	791.21	

Tabela 51. Experimentalno određene gustine ED80SME10EtOH10 na umjerenim temperaturama i visokim pritiscima

p / MPa	$\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$					
	T / K					
	293.15	303.15	313.15	323.15	333.15	343.15
0.1	826.46	819.29	811.81	804.26	796.70	788.96
1	827.04	819.90	812.45	804.93	797.41	789.71
5	829.58	822.54	815.23	807.87	800.50	792.98
10	832.68	825.76	818.62	811.44	804.25	796.94
15	835.68	828.88	821.90	814.89	807.87	800.76
20	838.60	831.91	825.07	818.23	811.36	804.45
25	841.42	834.84	828.14	821.44	814.73	807.99
30	844.15	837.68	831.11	824.55	817.97	811.39
35	846.79	840.42	833.97	827.53	821.09	814.65
40	849.34	843.07	836.72	830.40	824.08	817.78
45	851.80	845.62	839.37	833.16	826.95	820.76
50	854.17	848.08	841.92	835.80	829.69	823.61
55	856.45	850.45	844.37	838.32	832.30	826.31
60	858.64	852.72	846.71	840.73	834.80	828.88
	353.15	363.15	373.15	393.15	413.15	
1	782.01	774.13	766.20	749.77	732.95	
5	785.43	777.75	770.04	754.10	737.84	
10	789.58	782.13	774.66	759.31	743.72	
15	793.57	786.35	779.11	764.30	749.32	
20	797.42	790.41	783.38	769.07	754.64	
25	801.12	794.30	787.47	773.61	759.69	
30	804.68	798.02	791.38	777.93	764.46	
35	808.09	801.59	795.11	782.03	768.96	
40	811.35	804.99	798.66	785.91	773.19	
45	814.47	808.23	802.03	789.57	777.15	
50	817.44	811.30	805.22	793.01	780.83	
55	820.26	814.21	808.24	796.22	784.25	
60	822.94	816.96	811.08	799.22	787.39	

Tabela 52. Parametri Vogel-Fulcher-Tammann modela za ispitivane biodizele i EuroDizel

	SME	SEE	LME	EuroDiesel
<i>A</i>	-2.550119	-2.574832	-2.608489	-3.006620
<i>B / K</i>	700.6109	729.5688	707.3334	714.7015
<i>C / K</i>	134.7472	132.1491	136.8035	126.1056
<i>AAD / %</i>	0.275	0.268	0.234	0.231
<i>MD / %</i>	0.698	0.685	0.745	0.754
<i>Bias / %</i>	-0.0005	-0.0006	-0.0004	-0.0003
σ / mPa·s	0.017	0.018	0.010	0.010

	ED90SME10	ED80SME20	ED90SEE10	ED80SEE20
<i>A</i>	-2.889504	-2.857371	-2.919894	-2.877802
<i>B / K</i>	684.6690	688.8122	698.6002	701.0252
<i>C / K</i>	130.0218	129.5573	128.6086	128.5102
<i>AAD / %</i>	0.216	0.206	0.209	0.208
<i>MD / %</i>	0.633	0.586	0.618	0.579
<i>Bias / %</i>	-0.0004	-0.0003	-0.0003	-0.0003
σ / mPa·s	0.009	0.008	0.008	0.008

	ED90SME5SEE5	ED80SME10SEE10
<i>A</i>	-2.912071	-2.8434
<i>B / K</i>	693.8963	685.2675
<i>C / K</i>	128.8292	130.3691
<i>AAD / %</i>	0.201	0.202
<i>MD / %</i>	0.608	0.608
<i>Bias / %</i>	-0.0004	-0.0004
σ / mPa·s	0.008	0.009

	ED85SME10EtOH5	ED80SME10EtOH1010	Etanol
<i>A</i>	-3.052447	-3.385730	-15.572637
<i>B / K</i>	700.45357	798.6966	13478.557
<i>C / K</i>	129.26880	114.9153	562.9735
<i>AAD / %</i>	0.179	0.200	0.224
<i>MD / %</i>	0.397	0.590	0.576
<i>Bias / %</i>	-0.0002	-0.0004	-0.0005
σ / mPa·s	0.005	0.008	0.003

Tabela 53. Parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine za test supstance

	<i>n</i> -Hexane	Toluene	Dichloromethane
$a_0 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	791.280	1082.499	1599.209
$a_1 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$	$-0.35271\cdot 10^{-1}$	-0.55689	-0.10023
$a_2 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-2}$	$-0.14039\cdot 10^{-2}$	$-0.60343\cdot 10^{-3}$	$-0.28367\cdot 10^{-2}$
b_0 / MPa	349.513	504.019	654.433
$b_1 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-1}$	-1.46894	-1.96093	-2.80478
$b_2 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-2}$	$0.15855\cdot 10^{-2}$	$0.20102\cdot 10^{-2}$	$0.30968\cdot 10^{-2}$
c_0	0.18450	0.15696	0.29779
c_1 / K^{-1}	$-0.58799\cdot 10^{-3}$	$-0.39307\cdot 10^{-3}$	$-0.11415\cdot 10^{-2}$
c_2 / K^{-2}	$0.87278\cdot 10^{-6}$	$0.54981\cdot 10^{-6}$	$0.15929\cdot 10^{-5}$
<i>AAD</i> / %	0.023	0.008	0.019
<i>MD</i> / %	0.191	0.028	0.128
<i>Bias</i> / %	0.002	0.003	0.001
$\sigma / \text{kg m}^{-3}$	0.209	0.090	0.332

Tabela 54. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva *n*-heksana

<i>p</i> / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
	288.15 K				293.15 K			
0.1	1.5076	1.2820	0.4731	244.9	1.5748	1.3124	0.4861	244.2
1	1.4865	1.2705	0.4706	245.3	1.5518	1.3000	0.4833	244.6
5	1.4000	1.2234	0.4606	246.8	1.4573	1.2493	0.4725	246.3
10	1.3057	1.1720	0.4502	248.6	1.3550	1.1943	0.4612	248.4
15	1.2238	1.1275	0.4417	250.5	1.2666	1.1470	0.4520	250.5
20	1.1521	1.0885	0.4348	252.3	1.1896	1.1057	0.4445	252.5
25	1.0887	1.0541	0.4292	254.0	1.1219	1.0694	0.4384	254.4
30	1.0322	1.0236	0.4246	255.8	1.0618	1.0372	0.4334	256.4
35	0.9815	0.9962	0.4208	257.5	1.0081	1.0084	0.4293	258.2
40	0.9359	0.9716	0.4179	259.2	0.9598	0.9826	0.4261	260.1
45	0.8945	0.9493	0.4155	260.8	0.9162	0.9592	0.4234	261.9
50	0.8568	0.9291	0.4137	262.5	0.8766	0.9380	0.4214	263.7
55	0.8223	0.9106	0.4123	264.1	0.8404	0.9187	0.4198	265.5
60	0.7906	0.8936	0.4113	265.7	0.8072	0.9010	0.4185	267.2
	298.15 K				303.15 K			
0.1	1.6475	1.3433	0.4985	243.0	1.7259	1.3749	0.5104	241.4
1	1.6221	1.3300	0.4956	243.4	1.6981	1.3605	0.5072	241.9
5	1.5188	1.2754	0.4837	245.4	1.5847	1.3018	0.4943	244.0
10	1.4075	1.2166	0.4715	247.7	1.4636	1.2389	0.4811	246.6
15	1.3121	1.1662	0.4616	250.0	1.3604	1.1852	0.4703	249.1
20	1.2294	1.1225	0.4535	252.2	1.2714	1.1388	0.4615	251.5
25	1.1569	1.0841	0.4468	254.4	1.1939	1.0983	0.4544	253.9
30	1.0930	1.0502	0.4414	256.5	1.1257	1.0626	0.4485	256.1
35	1.0360	1.0200	0.4370	258.5	1.0653	1.0309	0.4436	258.4
40	0.9849	0.9929	0.4333	260.6	1.0112	1.0025	0.4397	260.5
45	0.9389	0.9684	0.4304	262.5	0.9627	0.9769	0.4364	262.6
50	0.8972	0.9463	0.4281	264.4	0.9188	0.9537	0.4338	264.6
55	0.8593	0.9261	0.4262	266.3	0.8790	0.9326	0.4316	266.6
60	0.8245	0.9076	0.4248	268.2	0.8426	0.9133	0.4299	268.6
	308.15 K				313.15 K			
0.1	1.8108	1.4072	0.5217	239.4	1.9028	1.4401	0.5323	236.9
1	1.7801	1.3916	0.5182	239.9	1.8687	1.4232	0.5284	237.5
5	1.6555	1.3283	0.5042	242.2	1.7316	1.3551	0.5132	240.1
10	1.5234	1.2610	0.4898	245.1	1.5873	1.2829	0.4977	243.1
15	1.4117	1.2038	0.4782	247.8	1.4661	1.2221	0.4852	246.0
20	1.3159	1.1547	0.4687	250.4	1.3629	1.1700	0.4750	248.8

25	1.2329	1.1119	0.4610	252.9	1.2740	1.1249	0.4666	251.5
30	1.1602	1.0743	0.4546	255.3	1.1964	1.0854	0.4597	254.1
35	1.0960	1.0410	0.4493	257.7	1.1281	1.0504	0.4540	256.6
40	1.0388	1.0113	0.4450	260.0	1.0676	1.0193	0.4493	259.0
45	0.9876	0.9845	0.4414	262.2	1.0136	0.9913	0.4453	261.3
50	0.9414	0.9603	0.4384	264.3	0.9650	0.9660	0.4420	263.5
55	0.8996	0.9383	0.4360	266.4	0.9211	0.9431	0.4392	265.6
60	0.8615	0.9182	0.4340	268.4	0.8811	0.9221	0.4369	267.7
318.15 K				323.15 K				
0.1	2.0024	1.4738	0.5422	234.1	2.1105	1.5083	0.5513	230.8
1	1.9646	1.4555	0.5380	234.7	2.0685	1.4885	0.5468	231.5
5	1.8134	1.3820	0.5215	237.5	1.9013	1.4091	0.5289	234.5
10	1.6555	1.3047	0.5047	240.7	1.7282	1.3263	0.5108	238.0
15	1.5239	1.2400	0.4913	243.9	1.5853	1.2574	0.4963	241.3
20	1.4127	1.1848	0.4803	246.8	1.4652	1.1991	0.4846	244.5
25	1.3172	1.1372	0.4713	249.7	1.3627	1.1489	0.4749	247.4
30	1.2344	1.0957	0.4639	252.4	1.2743	1.1052	0.4669	250.3
35	1.1619	1.0590	0.4577	255.0	1.1972	1.0668	0.4602	253.0
40	1.0978	1.0264	0.4525	257.5	1.1293	1.0327	0.4546	255.5
45	1.0407	0.9972	0.4481	259.9	1.0690	1.0022	0.4498	258.0
50	0.9895	0.9708	0.4444	262.1	1.0151	0.9747	0.4457	260.3
55	0.9434	0.9469	0.4413	264.3	0.9667	0.9498	0.4421	262.5
60	0.9016	0.9251	0.4386	266.4	0.9229	0.9271	0.4391	264.6
328.15 K				333.15 K				
0.1	2.2279	1.5436	0.5597	227.3	2.3555	1.5797	0.5672	223.3
1	2.1811	1.5220	0.5547	228.0	2.3032	1.5563	0.5618	224.1
5	1.9958	1.4363	0.5354	231.2	2.0974	1.4637	0.5410	227.5
10	1.8059	1.3477	0.5160	234.9	1.8887	1.3688	0.5201	231.4
15	1.6504	1.2744	0.5005	238.4	1.7194	1.2909	0.5035	235.1
20	1.5206	1.2126	0.4879	241.7	1.5791	1.2256	0.4901	238.6
25	1.4106	1.1598	0.4775	244.8	1.4610	1.1699	0.4791	241.8
30	1.3162	1.1139	0.4689	247.7	1.3600	1.1218	0.4698	244.8
35	1.2341	1.0737	0.4617	250.5	1.2727	1.0798	0.4621	247.6
40	1.1622	1.0381	0.4556	253.1	1.1965	1.0426	0.4555	250.3
45	1.0985	1.0063	0.4503	255.6	1.1293	1.0094	0.4498	252.8
50	1.0418	0.9776	0.4458	257.9	1.0696	0.9796	0.4448	255.1
55	0.9909	0.9517	0.4419	260.2	1.0161	0.9527	0.4404	257.3
60	0.9451	0.9281	0.4384	262.3	0.9681	0.9281	0.4365	259.4
343.15 K				353.15 K				
1	2.5795	1.6270	0.5737	215.4	2.9053	1.7008	0.5824	205.7
5	2.3243	1.5189	0.5496	219.2	2.5865	1.5747	0.5547	210.0
10	2.0712	1.4102	0.5258	223.6	2.2780	1.4504	0.5279	214.8
15	1.8698	1.3223	0.5070	227.7	2.0380	1.3517	0.5069	219.2
20	1.7057	1.2495	0.4918	231.4	1.8457	1.2710	0.4901	223.2

25	1.5692	1.1881	0.4793	234.8	1.6880	1.2035	0.4762	226.8
30	1.4539	1.1353	0.4689	238.0	1.5563	1.1460	0.4646	230.0
35	1.3551	1.0894	0.4600	240.9	1.4445	1.0962	0.4546	233.0
40	1.2695	1.0491	0.4523	243.6	1.3485	1.0526	0.4460	235.7
45	1.1945	1.0132	0.4457	246.0	1.2649	1.0139	0.4383	238.1
50	1.1284	0.9810	0.4397	248.3	1.1917	0.9794	0.4314	240.2
55	1.0695	0.9519	0.4344	250.4	1.1268	0.9482	0.4250	242.2
60	1.0167	0.9255	0.4296	252.4	1.0690	0.9199	0.4191	243.9
363.15 K								
1	3.2895	1.7780	0.5880	195.3	3.7416	1.8588	0.5908	184.4
5	2.8887	1.6312	0.5569	200.1	3.2350	1.6889	0.5567	189.8
10	2.5115	1.4899	0.5272	205.4	2.7730	1.5294	0.5248	195.8
15	2.2250	1.3797	0.5043	210.2	2.4311	1.4075	0.5004	201.0
20	1.9996	1.2908	0.4860	214.4	2.1674	1.3106	0.4810	205.6
25	1.8175	1.2172	0.4709	218.2	1.9576	1.2310	0.4650	209.6
30	1.6672	1.1549	0.4581	221.6	1.7866	1.1641	0.4515	213.1
35	1.5410	1.1013	0.4472	224.5	1.6443	1.1068	0.4397	216.2
40	1.4333	1.0544	0.4376	227.2	1.5240	1.0569	0.4293	218.8
45	1.3405	1.0131	0.4289	229.5	1.4209	1.0129	0.4199	221.0
50	1.2594	0.9761	0.4211	231.5	1.3316	0.9737	0.4112	222.9
55	1.1881	0.9428	0.4139	233.2	1.2534	0.9384	0.4031	224.4
60	1.1249	0.9126	0.4070	234.6	1.1843	0.9064	0.3954	225.6
393.15 K								
1	4.8826	2.0327	0.5933	162.7	6.3497	2.2256	0.6007	143.8
5	4.0695	1.8125	0.5565	170.1	5.0723	1.9659	0.5741	155.1
10	3.3798	1.6174	0.5238	178.1	4.0732	1.7491	0.5529	167.4
15	2.8978	1.4744	0.4995	185.0	3.4155	1.5959	0.5382	178.0
20	2.5412	1.3635	0.4805	190.9	2.9484	1.4795	0.5270	187.3
25	2.2662	1.2740	0.4648	196.0	2.5988	1.3866	0.5177	195.4
30	2.0474	1.1997	0.4514	200.4	2.3269	1.3097	0.5097	202.6
35	1.8690	1.1365	0.4395	204.1	2.1090	1.2445	0.5023	208.8
40	1.7206	1.0816	0.4288	207.2	1.9304	1.1878	0.4953	214.2
45	1.5951	1.0334	0.4189	209.7	1.7811	1.1379	0.4883	219.0
50	1.4876	0.9905	0.4094	211.8	1.6545	1.0933	0.4812	223.0
55	1.3944	0.9518	0.4003	213.3	1.5456	1.0530	0.4738	226.5
60	1.3128	0.9166	0.3914	214.5	1.4509	1.0163	0.4660	229.4

Tabela 55. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva toluena

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
	288.15 K				293.15 K			
0.1	0.8424	1.0426	0.4267	356.5	0.8715	1.0553	0.4321	354.9
1	0.8359	1.0375	0.4255	356.7	0.8645	1.0499	0.4309	355.0
5	0.8084	1.0161	0.4206	357.2	0.8350	1.0272	0.4256	355.6
10	0.7766	0.9913	0.4151	357.8	0.8010	1.0011	0.4197	356.4
15	0.7473	0.9685	0.4102	358.4	0.7697	0.9771	0.4145	357.1
20	0.7203	0.9474	0.4058	359.0	0.7410	0.9551	0.4098	357.9
25	0.6952	0.9280	0.4019	359.6	0.7144	0.9347	0.4056	358.6
30	0.6719	0.9099	0.3985	360.2	0.6897	0.9158	0.4019	359.3
35	0.6502	0.8931	0.3954	360.8	0.6668	0.8983	0.3986	359.9
40	0.6300	0.8775	0.3927	361.4	0.6454	0.8820	0.3957	360.6
45	0.6110	0.8628	0.3902	361.9	0.6254	0.8667	0.3931	361.3
50	0.5932	0.8491	0.3881	362.5	0.6067	0.8525	0.3908	361.9
55	0.5764	0.8362	0.3863	363.0	0.5891	0.8391	0.3887	362.5
60	0.5606	0.8241	0.3846	363.6	0.5726	0.8265	0.3870	363.1
	298.15 K				303.15 K			
0.1	0.9023	1.0681	0.4373	352.9	0.9349	1.0812	0.4420	350.5
1	0.8948	1.0625	0.4359	353.0	0.9268	1.0752	0.4406	350.7
5	0.8631	1.0385	0.4303	353.7	0.8927	1.0498	0.4346	351.5
10	0.8266	1.0109	0.4240	354.6	0.8537	1.0208	0.4278	352.5
15	0.7933	0.9857	0.4183	355.5	0.8180	0.9943	0.4218	353.5
20	0.7626	0.9626	0.4133	356.3	0.7854	0.9700	0.4164	354.4
25	0.7344	0.9413	0.4089	357.1	0.7554	0.9477	0.4117	355.3
30	0.7083	0.9216	0.4049	357.9	0.7277	0.9271	0.4074	356.2
35	0.6840	0.9033	0.4014	358.7	0.7020	0.9080	0.4037	357.1
40	0.6615	0.8863	0.3982	359.5	0.6782	0.8903	0.4003	358.0
45	0.6405	0.8704	0.3954	360.2	0.6561	0.8738	0.3973	358.8
50	0.6208	0.8556	0.3930	360.9	0.6354	0.8585	0.3947	359.6
55	0.6023	0.8417	0.3908	361.6	0.6160	0.8441	0.3923	360.4
60	0.5850	0.8287	0.3889	362.3	0.5979	0.8305	0.3903	361.1
	308.15 K				313.15 K			
0.1	0.9694	1.0944	0.4464	347.8	1.0060	1.1079	0.4505	344.8
1	0.9607	1.0881	0.4449	348.0	0.9966	1.1012	0.4488	345.0
5	0.9240	1.0613	0.4384	348.9	0.9571	1.0728	0.4419	346.0
10	0.8821	1.0307	0.4312	350.1	0.9120	1.0405	0.4342	347.3
15	0.8440	1.0028	0.4248	351.1	0.8712	1.0112	0.4274	348.5
20	0.8092	0.9773	0.4191	352.2	0.8341	0.9846	0.4214	349.6

25	0.7773	0.9540	0.4141	353.2	0.8002	0.9601	0.4160	350.8
30	0.7479	0.9325	0.4096	354.2	0.7690	0.9377	0.4112	351.8
35	0.7208	0.9126	0.4055	355.2	0.7403	0.9170	0.4070	352.9
40	0.6956	0.8942	0.4020	356.1	0.7137	0.8978	0.4031	353.9
45	0.6723	0.8770	0.3988	357.0	0.6891	0.8800	0.3997	354.9
50	0.6505	0.8611	0.3959	357.9	0.6663	0.8634	0.3967	355.8
55	0.6302	0.8461	0.3934	358.7	0.6449	0.8480	0.3940	356.7
60	0.6112	0.8322	0.3912	359.5	0.6250	0.8335	0.3916	357.6
318.15 K				323.15 K				
0.1	1.0448	1.1215	0.4541	341.4	1.0859	1.1354	0.4574	337.8
1	1.0347	1.1144	0.4524	341.7	1.0749	1.1279	0.4556	338.1
5	0.9920	1.0845	0.4451	342.8	1.0288	1.0962	0.4478	339.3
10	0.9436	1.0504	0.4369	344.2	0.9767	1.0603	0.4391	340.8
15	0.8999	1.0196	0.4296	345.5	0.9299	1.0280	0.4314	342.2
20	0.8602	0.9917	0.4232	346.8	0.8875	0.9986	0.4247	343.6
25	0.8241	0.9661	0.4175	348.0	0.8490	0.9719	0.4186	344.9
30	0.7910	0.9427	0.4125	349.2	0.8139	0.9475	0.4133	346.2
35	0.7606	0.9211	0.4079	350.3	0.7817	0.9251	0.4085	347.4
40	0.7326	0.9012	0.4039	351.4	0.7521	0.9043	0.4042	348.6
45	0.7066	0.8827	0.4003	352.4	0.7248	0.8852	0.4004	349.7
50	0.6825	0.8655	0.3971	353.4	0.6994	0.8674	0.3970	350.8
55	0.6601	0.8495	0.3942	354.4	0.6759	0.8508	0.3939	351.8
60	0.6392	0.8345	0.3916	355.4	0.6540	0.8353	0.3912	352.8
328.15 K				333.15 K				
0.1	1.1295	1.1495	0.4604	333.9	1.1757	1.1638	0.4629	329.7
1	1.1176	1.1415	0.4584	334.2	1.1628	1.1554	0.4608	330.0
5	1.0677	1.1080	0.4501	335.5	1.1088	1.1199	0.4521	331.5
10	1.0116	1.0702	0.4409	337.1	1.0483	1.0801	0.4424	333.2
15	0.9614	1.0362	0.4328	338.7	0.9944	1.0444	0.4338	334.9
20	0.9161	1.0055	0.4257	340.2	0.9460	1.0123	0.4263	336.5
25	0.8751	0.9776	0.4193	341.6	0.9023	0.9832	0.4196	338.0
30	0.8378	0.9522	0.4137	342.9	0.8627	0.9566	0.4137	339.4
35	0.8037	0.9288	0.4086	344.2	0.8265	0.9324	0.4084	340.8
40	0.7724	0.9073	0.4041	345.5	0.7934	0.9101	0.4037	342.1
45	0.7435	0.8874	0.4001	346.7	0.7630	0.8895	0.3994	343.4
50	0.7169	0.8690	0.3965	347.8	0.7349	0.8704	0.3956	344.6
55	0.6922	0.8519	0.3932	348.9	0.7090	0.8527	0.3922	345.7
60	0.6692	0.8359	0.3904	349.9	0.6849	0.8362	0.3892	346.8
343.15 K				353.15 K				
0.1	1.2766	1.1932	0.4671	320.6	1.3897	1.2235	0.4698	310.8
1	1.2613	1.1837	0.4647	321.0	1.3716	1.2128	0.4672	311.3
5	1.1979	1.1441	0.4549	322.7	1.2969	1.1687	0.4564	313.2
10	1.1275	1.0999	0.4441	324.8	1.2147	1.1199	0.4446	315.6
15	1.0652	1.0607	0.4347	326.7	1.1428	1.0769	0.4344	317.8

20	1.0098	1.0256	0.4265	328.5	1.0793	1.0386	0.4255	319.8
25	0.9601	0.9939	0.4192	330.2	1.0228	1.0043	0.4177	321.8
30	0.9154	0.9652	0.4127	331.8	0.9721	0.9734	0.4107	323.6
35	0.8748	0.9390	0.4070	333.4	0.9265	0.9453	0.4045	325.3
40	0.8378	0.9151	0.4018	334.8	0.8852	0.9197	0.3990	326.9
45	0.8039	0.8931	0.3972	336.2	0.8476	0.8962	0.3940	328.4
50	0.7729	0.8727	0.3930	337.5	0.8132	0.8746	0.3895	329.8
55	0.7442	0.8539	0.3892	338.7	0.7816	0.8547	0.3854	331.2
60	0.7177	0.8363	0.3857	339.9	0.7525	0.8361	0.3816	332.4
363.15 K								
0.1	1.5165	1.2548	0.4715	300.4	1.6579	1.2871	0.4724	289.6
1	1.4950	1.2429	0.4686	300.9	1.6323	1.2739	0.4691	290.2
5	1.4067	1.1939	0.4569	303.2	1.5278	1.2197	0.4566	292.9
10	1.3106	1.1401	0.4442	305.9	1.4153	1.1608	0.4432	296.1
15	1.2273	1.0931	0.4333	308.4	1.3190	1.1099	0.4317	299.0
20	1.1545	1.0517	0.4238	310.8	1.2355	1.0652	0.4219	301.7
25	1.0902	1.0147	0.4155	313.0	1.1624	1.0257	0.4132	304.2
30	1.0330	0.9816	0.4082	315.1	1.0979	0.9904	0.4057	306.6
35	0.9818	0.9516	0.4016	317.0	1.0405	0.9586	0.3989	308.8
40	0.9357	0.9244	0.3958	318.8	0.9891	0.9299	0.3929	310.8
45	0.8939	0.8995	0.3905	320.4	0.9428	0.9037	0.3875	312.7
50	0.8559	0.8767	0.3857	322.0	0.9008	0.8797	0.3825	314.4
55	0.8211	0.8557	0.3814	323.4	0.8625	0.8577	0.3780	316.0
60	0.7892	0.8362	0.3773	324.8	0.8276	0.8373	0.3738	317.5
393.15 K								
1	1.9514	1.3389	0.4688	268.8	2.3272	1.4084	0.4700	249.0
5	1.8049	1.2743	0.4557	272.6	2.1243	1.3352	0.4587	254.7
10	1.6513	1.2055	0.4419	277.0	1.9175	1.2589	0.4472	261.2
15	1.5229	1.1470	0.4304	281.1	1.7491	1.1954	0.4379	267.4
20	1.4139	1.0965	0.4206	284.9	1.6090	1.1413	0.4303	273.1
25	1.3201	1.0524	0.4122	288.4	1.4907	1.0947	0.4239	278.4
30	1.2385	1.0135	0.4048	291.7	1.3894	1.0538	0.4185	283.3
35	1.1669	0.9788	0.3983	294.8	1.3017	1.0176	0.4138	288.0
40	1.1035	0.9475	0.3926	297.6	1.2248	0.9852	0.4096	292.3
45	1.0470	0.9192	0.3874	300.2	1.1570	0.9560	0.4059	296.4
50	0.9963	0.8935	0.3826	302.6	1.0967	0.9295	0.4025	300.2
55	0.9505	0.8698	0.3783	304.8	1.0426	0.9052	0.3994	303.7
60	0.9089	0.8481	0.3742	306.8	0.9939	0.8829	0.3965	307.0

Tabela 56. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva dihlor-metana

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
	288.15 K				293.15 K			
0.1	0.9766	1.3065	0.3774	385.4	1.0154	1.3370	0.3894	385.9
1	0.9690	1.2999	0.3762	385.5	1.0071	1.3298	0.3881	386.1
5	0.9368	1.2717	0.3711	386.2	0.9720	1.2993	0.3824	386.9
10	0.8996	1.2394	0.3654	387.0	0.9316	1.2645	0.3761	387.9
15	0.8654	1.2099	0.3604	387.9	0.8945	1.2329	0.3706	389.0
20	0.8339	1.1830	0.3561	388.8	0.8605	1.2040	0.3659	390.2
25	0.8047	1.1583	0.3523	389.8	0.8291	1.1776	0.3617	391.4
30	0.7776	1.1356	0.3491	390.9	0.8001	1.1534	0.3581	392.6
35	0.7523	1.1147	0.3463	391.9	0.7731	1.1311	0.3550	393.9
40	0.7288	1.0954	0.3439	393.1	0.7480	1.1105	0.3523	395.2
45	0.7068	1.0774	0.3419	394.3	0.7246	1.0914	0.3501	396.6
50	0.6861	1.0608	0.3402	395.5	0.7027	1.0737	0.3482	398.0
55	0.6667	1.0453	0.3389	396.8	0.6821	1.0573	0.3466	399.4
60	0.6484	1.0308	0.3378	398.1	0.6628	1.0420	0.3453	400.9
	298.15 K				303.15 K			
0.1	1.0575	1.3681	0.4010	385.6	1.1033	1.3999	0.4121	384.6
1	1.0485	1.3603	0.3995	385.8	1.0933	1.3914	0.4104	384.8
5	1.0100	1.3273	0.3932	386.8	1.0511	1.3557	0.4035	386.0
10	0.9660	1.2898	0.3863	388.1	1.0031	1.3151	0.3959	387.5
15	0.9258	1.2557	0.3803	389.4	0.9594	1.2785	0.3893	389.0
20	0.8890	1.2248	0.3750	390.7	0.9196	1.2453	0.3835	390.5
25	0.8552	1.1965	0.3704	392.1	0.8832	1.2151	0.3784	392.1
30	0.8241	1.1707	0.3664	393.6	0.8497	1.1875	0.3741	393.7
35	0.7952	1.1469	0.3630	395.0	0.8187	1.1621	0.3702	395.3
40	0.7684	1.1250	0.3600	396.5	0.7901	1.1388	0.3669	396.9
45	0.7435	1.1047	0.3575	398.0	0.7635	1.1173	0.3641	398.6
50	0.7202	1.0860	0.3553	399.6	0.7388	1.0974	0.3616	400.3
55	0.6984	1.0685	0.3535	401.2	0.7157	1.0790	0.3596	402.0
60	0.6780	1.0523	0.3520	402.8	0.6941	1.0618	0.3579	403.8
	308.15 K				313.15 K			
0.1	1.1529	1.4323	0.4226	382.7	1.2069	1.4654	0.4326	380.1
1	1.1419	1.4231	0.4208	383.0	1.1948	1.4553	0.4306	380.4
5	1.0956	1.3843	0.4132	384.4	1.1437	1.4133	0.4222	382.0
10	1.0430	1.3405	0.4049	386.0	1.0861	1.3660	0.4131	383.9
15	0.9955	1.3011	0.3976	387.8	1.0343	1.3236	0.4051	385.8
20	0.9524	1.2655	0.3912	389.5	0.9874	1.2855	0.3981	387.7

25	0.9130	1.2332	0.3857	391.2	0.9449	1.2509	0.3921	389.6
30	0.8770	1.2038	0.3808	393.0	0.9060	1.2194	0.3868	391.5
35	0.8438	1.1768	0.3766	394.8	0.8704	1.1907	0.3822	393.4
40	0.8132	1.1520	0.3730	396.5	0.8377	1.1644	0.3781	395.3
45	0.7848	1.1292	0.3698	398.3	0.8074	1.1402	0.3746	397.2
50	0.7585	1.1081	0.3670	400.2	0.7794	1.1178	0.3715	399.1
55	0.7340	1.0885	0.3647	402.0	0.7534	1.0972	0.3688	401.0
60	0.7111	1.0704	0.3627	403.8	0.7291	1.0780	0.3665	403.0
318.15 K				323.15 K				
1	1.2522	1.4882	0.4398	377.1	1.3147	1.5218	0.4482	373.1
5	1.1959	1.4427	0.4306	378.8	1.2523	1.4723	0.4382	374.9
10	1.1325	1.3915	0.4205	380.9	1.1826	1.4171	0.4272	377.2
15	1.0759	1.3459	0.4118	383.0	1.1206	1.3680	0.4177	379.5
20	1.0250	1.3050	0.4042	385.1	1.0652	1.3241	0.4094	381.7
25	0.9789	1.2680	0.3976	387.1	1.0152	1.2846	0.4022	383.9
30	0.9370	1.2345	0.3918	389.2	0.9700	1.2489	0.3959	386.1
35	0.8988	1.2040	0.3868	391.2	0.9288	1.2164	0.3904	388.2
40	0.8637	1.1760	0.3823	393.2	0.8912	1.1868	0.3855	390.3
45	0.8314	1.1503	0.3784	395.2	0.8567	1.1596	0.3812	392.4
50	0.8015	1.1267	0.3750	397.2	0.8249	1.1346	0.3774	394.5
55	0.7739	1.1048	0.3719	399.2	0.7955	1.1115	0.3740	396.5
60	0.7482	1.0845	0.3693	401.2	0.7682	1.0901	0.3710	398.5
328.15 K				333.15 K				
1	1.3827	1.5561	0.4559	368.3	1.4567	1.5910	0.4629	362.9
5	1.3135	1.5023	0.4450	370.3	1.3797	1.5327	0.4510	365.1
10	1.2366	1.4426	0.4330	372.8	1.2948	1.4681	0.4380	367.8
15	1.1687	1.3898	0.4227	375.3	1.2202	1.4114	0.4268	370.4
20	1.1082	1.3428	0.4137	377.6	1.1542	1.3610	0.4171	372.9
25	1.0540	1.3006	0.4059	379.9	1.0953	1.3160	0.4086	375.3
30	1.0051	1.2626	0.3990	382.2	1.0424	1.2756	0.4012	377.7
35	0.9608	1.2281	0.3930	384.5	0.9947	1.2390	0.3947	380.0
40	0.9204	1.1967	0.3877	386.6	0.9513	1.2057	0.3888	382.2
45	0.8835	1.1679	0.3829	388.8	0.9118	1.1753	0.3837	384.4
50	0.8496	1.1415	0.3787	390.9	0.8756	1.1474	0.3791	386.5
55	0.8183	1.1171	0.3750	393.0	0.8424	1.1217	0.3749	388.6
60	0.7894	1.0945	0.3716	395.0	0.8117	1.0979	0.3712	390.6
343.15 K				353.15 K				
1	1.6251	1.6632	0.4746	350.2	1.8248	1.7386	0.4834	335.5
5	1.5292	1.5944	0.4606	352.8	1.7044	1.6576	0.4671	338.4
10	1.4250	1.5191	0.4454	355.8	1.5756	1.5701	0.4497	341.9
15	1.3347	1.4537	0.4325	358.7	1.4657	1.4950	0.4349	345.2
20	1.2557	1.3961	0.4212	361.5	1.3710	1.4295	0.4221	348.2
25	1.1860	1.3450	0.4114	364.2	1.2883	1.3719	0.4110	351.1
30	1.1240	1.2994	0.4028	366.7	1.2155	1.3208	0.4013	353.7

35	1.0685	1.2583	0.3952	369.1	1.1509	1.2750	0.3926	356.2
40	1.0185	1.2212	0.3884	371.4	1.0932	1.2338	0.3849	358.6
45	0.9732	1.1873	0.3823	373.6	1.0413	1.1963	0.3779	360.7
50	0.9320	1.1564	0.3769	375.7	0.9943	1.1622	0.3716	362.8
55	0.8944	1.1279	0.3719	377.8	0.9517	1.1309	0.3658	364.7
60	0.8598	1.1016	0.3674	379.7	0.9127	1.1021	0.3605	366.4
363.15 K								
				373.15 K				
1	2.0610	1.8176	0.4894	319.2	2.3389	1.9003	0.4935	302.2
5	1.9088	1.7226	0.4710	322.7	2.1456	1.7899	0.4731	306.3
10	1.7489	1.6216	0.4515	326.7	1.9466	1.6745	0.4518	311.0
15	1.6149	1.5359	0.4350	330.4	1.7830	1.5779	0.4340	315.2
20	1.5009	1.4621	0.4208	333.8	1.6460	1.4956	0.4187	319.1
25	1.4028	1.3977	0.4085	336.8	1.5296	1.4244	0.4055	322.5
30	1.3173	1.3409	0.3977	339.7	1.4293	1.3621	0.3939	325.6
35	1.2421	1.2903	0.3880	342.2	1.3421	1.3069	0.3836	328.4
40	1.1755	1.2449	0.3794	344.6	1.2654	1.2575	0.3743	330.8
45	1.1160	1.2039	0.3716	346.7	1.1974	1.2130	0.3658	333.0
50	1.0626	1.1666	0.3645	348.7	1.1368	1.1726	0.3580	334.9
55	1.0144	1.1325	0.3579	350.4	1.0824	1.1358	0.3508	336.6
60	0.9705	1.1011	0.3519	352.0	1.0332	1.1019	0.3440	338.0
393.15 K								
				413.15 K				
1	3.0323	2.0785	0.4989	268.5	3.8848	2.2767	0.5141	241.1
5	2.7208	1.9369	0.4776	274.9	3.4026	2.1181	0.5007	252.2
10	2.4148	1.7940	0.4559	282.1	2.9522	1.9630	0.4877	264.7
15	2.1736	1.6778	0.4380	288.5	2.6121	1.8400	0.4774	276.0
20	1.9784	1.5810	0.4229	294.2	2.3458	1.7389	0.4687	286.3
25	1.8170	1.4985	0.4098	299.2	2.1313	1.6536	0.4613	295.6
30	1.6812	1.4271	0.3982	303.7	1.9547	1.5802	0.4545	304.0
35	1.5653	1.3644	0.3878	307.7	1.8066	1.5159	0.4484	311.7
40	1.4652	1.3087	0.3784	311.1	1.6806	1.4588	0.4426	318.6
45	1.3778	1.2587	0.3697	314.2	1.5720	1.4075	0.4370	324.9
50	1.3008	1.2135	0.3615	316.8	1.4773	1.3610	0.4315	330.6
55	1.2324	1.1722	0.3538	318.9	1.3941	1.3185	0.4261	335.7
60	1.1713	1.1344	0.3465	320.8	1.3203	1.2794	0.4205	340.3

Tabela 57. Parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine za ispitivane biodizele i EuroDizel

	SME	SEE	LME	EuroDizel
$a_0 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1097.369	1090.440	1083.603	1017.751
$a_1 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$	-0.72602	-0.71010	-0.69493	-0.61774
$a_2 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-2}$	$0.42840\cdot 10^{-5}$	$-0.22670\cdot 10^{-4}$	$-0.48288\cdot 10^{-4}$	$-0.120435\cdot 10^{-3}$
b_0 / MPa	448.483	440.770	441.385	403.608
$b_1 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-1}$	-1.47666	-1.45626	-1.46182	-1.36743
$b_2 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-2}$	$0.13201\cdot 10^{-2}$	$0.13071\cdot 10^{-2}$	$0.13109\cdot 10^{-2}$	$0.12429\cdot 10^{-2}$
C	$0.86053\cdot 10^{-1}$	$0.85956\cdot 10^{-1}$	$0.85654\cdot 10^{-1}$	$0.83137\cdot 10^{-1}$
$AAD / \%$	0.006	0.006	0.007	0.010
$MD / \%$	0.039	0.040	0.039	0.050
$Bias / \%$	0.001	0.002	0.001	-0.002
$\sigma / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	0.068	0.073	0.077	0.111

Tabela 58. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za SME

	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
p / MPa	288.15 K				293.15 K			
0.1	0.6484	0.8175	0.3344	363.2	0.6662	0.8209	0.3353	361.1
1	0.6444	0.8143	0.3337	363.2	0.6619	0.8176	0.3346	361.1
5	0.6272	0.8009	0.3308	362.9	0.6438	0.8037	0.3315	360.9
10	0.6070	0.7851	0.3274	362.7	0.6226	0.7874	0.3280	360.7
15	0.5882	0.7702	0.3243	362.3	0.6028	0.7720	0.3247	360.4
20	0.5706	0.7563	0.3214	361.9	0.5843	0.7577	0.3217	360.1
25	0.5540	0.7431	0.3187	361.5	0.5669	0.7441	0.3189	359.8
30	0.5384	0.7307	0.3162	361.1	0.5506	0.7314	0.3163	359.4
35	0.5237	0.7190	0.3138	360.6	0.5353	0.7193	0.3138	359.0
40	0.5098	0.7078	0.3117	360.1	0.5208	0.7079	0.3116	358.5
45	0.4967	0.6973	0.3097	359.5	0.5071	0.6971	0.3095	358.0
50	0.4843	0.6873	0.3078	358.9	0.4942	0.6869	0.3076	357.5
55	0.4725	0.6777	0.3060	358.3	0.4819	0.6771	0.3057	356.9
60	0.4613	0.6686	0.3044	357.7	0.4703	0.6678	0.3041	356.3
	298.15 K				303.15 K			
0.1	0.6846	0.8243	0.3360	358.9	0.7037	0.8277	0.3365	356.5
1	0.6801	0.8209	0.3352	358.9	0.6990	0.8243	0.3357	356.5
5	0.6610	0.8065	0.3320	358.8	0.6788	0.8094	0.3324	356.4
10	0.6387	0.7896	0.3283	358.6	0.6553	0.7919	0.3285	356.4
15	0.6179	0.7738	0.3249	358.4	0.6334	0.7756	0.3250	356.2
20	0.5984	0.7590	0.3218	358.2	0.6130	0.7603	0.3217	356.0
25	0.5802	0.7451	0.3189	357.9	0.5939	0.7460	0.3187	355.8
30	0.5632	0.7320	0.3162	357.5	0.5761	0.7326	0.3159	355.5
35	0.5471	0.7196	0.3137	357.2	0.5593	0.7199	0.3133	355.2
40	0.5320	0.7080	0.3113	356.7	0.5435	0.7079	0.3109	354.8
45	0.5178	0.6969	0.3092	356.3	0.5287	0.6966	0.3087	354.4
50	0.5043	0.6864	0.3072	355.8	0.5146	0.6859	0.3066	354.0
55	0.4915	0.6764	0.3053	355.3	0.5014	0.6757	0.3047	353.5
60	0.4794	0.6669	0.3035	354.7	0.4888	0.6660	0.3029	353.0
	308.15 K				313.15 K			
0.1	0.7235	0.8312	0.3369	353.9	0.7440	0.8347	0.3372	351.2
1	0.7185	0.8276	0.3361	353.9	0.7387	0.8310	0.3363	351.3
5	0.6972	0.8122	0.3326	354.0	0.7163	0.8150	0.3327	351.3
10	0.6724	0.7941	0.3286	353.9	0.6901	0.7964	0.3285	351.4
15	0.6494	0.7773	0.3249	353.9	0.6659	0.7790	0.3247	351.4
20	0.6280	0.7616	0.3215	353.7	0.6434	0.7629	0.3212	351.3

25	0.6080	0.7469	0.3184	353.6	0.6224	0.7477	0.3180	351.2
30	0.5893	0.7331	0.3155	353.3	0.6029	0.7335	0.3150	351.0
35	0.5718	0.7201	0.3128	353.1	0.5845	0.7202	0.3122	350.8
40	0.5553	0.7078	0.3104	352.8	0.5673	0.7077	0.3096	350.6
45	0.5398	0.6962	0.3081	352.4	0.5512	0.6958	0.3073	350.3
50	0.5252	0.6853	0.3059	352.1	0.5360	0.6846	0.3051	350.0
55	0.5114	0.6749	0.3039	351.7	0.5216	0.6740	0.3030	349.6
60	0.4983	0.6650	0.3021	351.2	0.5081	0.6639	0.3011	349.2
318.15 K				323.15 K				
0.1	0.7653	0.8383	0.3373	348.4	0.7873	0.8419	0.3373	345.5
1	0.7597	0.8344	0.3364	348.4	0.7814	0.8379	0.3363	345.5
5	0.7359	0.8179	0.3326	348.6	0.7563	0.8208	0.3324	345.7
10	0.7084	0.7986	0.3283	348.7	0.7272	0.8008	0.3280	345.9
15	0.6829	0.7807	0.3244	348.7	0.7004	0.7824	0.3238	346.0
20	0.6592	0.7641	0.3207	348.7	0.6755	0.7653	0.3201	346.1
25	0.6373	0.7485	0.3174	348.7	0.6525	0.7493	0.3166	346.1
30	0.6168	0.7340	0.3143	348.6	0.6310	0.7343	0.3135	346.0
35	0.5976	0.7203	0.3114	348.5	0.6110	0.7203	0.3105	346.0
40	0.5797	0.7074	0.3088	348.3	0.5923	0.7072	0.3078	345.8
45	0.5628	0.6953	0.3064	348.0	0.5747	0.6948	0.3053	345.7
50	0.5470	0.6839	0.3041	347.8	0.5582	0.6831	0.3030	345.4
55	0.5321	0.6731	0.3020	347.5	0.5427	0.6721	0.3009	345.2
60	0.5180	0.6628	0.3001	347.1	0.5281	0.6616	0.2989	344.9
328.15 K				333.15 K				
0.1	0.8101	0.8455	0.3371	342.4	0.8338	0.8492	0.3368	339.2
1	0.8039	0.8413	0.3362	342.4	0.8272	0.8449	0.3358	339.3
5	0.7774	0.8236	0.3321	342.7	0.7991	0.8265	0.3316	339.6
10	0.7467	0.8031	0.3275	342.9	0.7667	0.8053	0.3268	339.9
15	0.7184	0.7840	0.3232	343.1	0.7370	0.7857	0.3225	340.2
20	0.6923	0.7664	0.3194	343.3	0.7096	0.7675	0.3185	340.4
25	0.6681	0.7500	0.3158	343.3	0.6842	0.7507	0.3148	340.5
30	0.6457	0.7347	0.3125	343.4	0.6607	0.7350	0.3115	340.6
35	0.6247	0.7203	0.3095	343.4	0.6388	0.7203	0.3084	340.6
40	0.6052	0.7069	0.3067	343.3	0.6184	0.7065	0.3055	340.6
45	0.5869	0.6942	0.3042	343.2	0.5993	0.6936	0.3029	340.6
50	0.5697	0.6823	0.3018	343.0	0.5814	0.6814	0.3005	340.5
55	0.5536	0.6710	0.2996	342.8	0.5646	0.6700	0.2983	340.3
60	0.5383	0.6604	0.2976	342.5	0.5488	0.6591	0.2962	340.1
343.15 K				353.15 K				
0.1	0.8838	0.8566	0.3359	332.5	0.9374	0.8641	0.3346	325.4
1	0.8764	0.8519	0.3348	332.6	0.9291	0.8592	0.3334	325.6
5	0.8449	0.8323	0.3304	333.0	0.8938	0.8382	0.3287	326.2
10	0.8088	0.8097	0.3253	333.5	0.8535	0.8140	0.3233	326.8
15	0.7758	0.7889	0.3206	333.9	0.8169	0.7920	0.3184	327.4

20	0.7455	0.7697	0.3164	334.3	0.7834	0.7717	0.3140	327.9
25	0.7176	0.7519	0.3126	334.6	0.7526	0.7531	0.3100	328.4
30	0.6918	0.7354	0.3091	334.8	0.7243	0.7358	0.3063	328.7
35	0.6678	0.7201	0.3058	335.0	0.6982	0.7197	0.3030	329.1
40	0.6456	0.7057	0.3029	335.1	0.6739	0.7048	0.2999	329.3
45	0.6248	0.6922	0.3002	335.2	0.6514	0.6908	0.2972	329.5
50	0.6055	0.6796	0.2977	335.2	0.6304	0.6777	0.2946	329.7
55	0.5873	0.6677	0.2954	335.1	0.6108	0.6654	0.2922	329.8
60	0.5702	0.6565	0.2933	335.1	0.5924	0.6539	0.2901	329.8
363.15 K								
				373.15 K				
0.1	0.9950	0.8718	0.3328	318.1	1.0566	0.8797	0.3309	310.6
1	0.9856	0.8665	0.3316	318.3	1.0460	0.8740	0.3294	310.8
5	0.9460	0.8441	0.3266	319.0	1.0016	0.8501	0.3242	311.7
10	0.9010	0.8184	0.3209	319.9	0.9513	0.8228	0.3183	312.8
15	0.8602	0.7951	0.3158	320.6	0.9060	0.7982	0.3130	313.8
20	0.8232	0.7738	0.3112	321.3	0.8650	0.7758	0.3083	314.7
25	0.7894	0.7542	0.3071	322.0	0.8278	0.7553	0.3041	315.5
30	0.7583	0.7361	0.3034	322.5	0.7938	0.7365	0.3003	316.2
35	0.7297	0.7194	0.3000	323.0	0.7625	0.7191	0.2968	316.9
40	0.7033	0.7039	0.2968	323.4	0.7338	0.7030	0.2937	317.5
45	0.6789	0.6894	0.2940	323.8	0.7073	0.6881	0.2909	318.0
50	0.6561	0.6759	0.2914	324.1	0.6827	0.6742	0.2883	318.5
55	0.6350	0.6632	0.2891	324.3	0.6598	0.6612	0.2859	318.9
60	0.6152	0.6513	0.2869	324.5	0.6385	0.6490	0.2838	319.3
393.15 K								
				413.15 K				
1	1.1794	0.8893	0.3244	295.5	1.3297	0.9052	0.3190	280.3
5	1.1232	0.8623	0.3188	296.8	1.2587	0.8752	0.3135	282.3
10	1.0603	0.8319	0.3127	298.5	1.1804	0.8418	0.3074	284.7
15	1.0045	0.8048	0.3073	300.0	1.1116	0.8124	0.3022	286.9
20	0.9545	0.7803	0.3025	301.4	1.0508	0.7861	0.2977	289.1
25	0.9094	0.7581	0.2983	302.7	0.9967	0.7625	0.2938	291.1
30	0.8686	0.7379	0.2945	304.0	0.9480	0.7412	0.2904	293.0
35	0.8315	0.7193	0.2911	305.1	0.9041	0.7219	0.2875	294.9
40	0.7976	0.7023	0.2881	306.2	0.8643	0.7041	0.2849	296.6
45	0.7665	0.6866	0.2854	307.2	0.8280	0.6879	0.2826	298.2
50	0.7378	0.6720	0.2830	308.1	0.7948	0.6729	0.2806	299.8
55	0.7113	0.6584	0.2808	308.9	0.7643	0.6590	0.2788	301.3
60	0.6867	0.6457	0.2788	309.7	0.7361	0.6462	0.2773	302.6

Tabela 59. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za SEE

p / MPa	288.15 K				293.15 K			
	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	P_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	P_{int} / MPa
0.1	0.6619	0.8213	0.3324	357.4	0.6802	0.8250	0.3335	355.5
1	0.6578	0.8181	0.3317	357.4	0.6758	0.8217	0.3328	355.5
5	0.6399	0.8043	0.3288	357.3	0.6569	0.8075	0.3297	355.4
10	0.6189	0.7881	0.3254	357.1	0.6348	0.7907	0.3262	355.3
15	0.5993	0.7730	0.3223	356.8	0.6143	0.7751	0.3229	355.1
20	0.5810	0.7587	0.3194	356.5	0.5951	0.7604	0.3199	354.8
25	0.5639	0.7453	0.3168	356.2	0.5771	0.7466	0.3172	354.6
30	0.5477	0.7327	0.3143	355.8	0.5602	0.7336	0.3146	354.3
35	0.5325	0.7207	0.3120	355.4	0.5443	0.7214	0.3122	353.9
40	0.5182	0.7094	0.3099	354.9	0.5294	0.7098	0.3100	353.5
45	0.5047	0.6987	0.3079	354.4	0.5152	0.6988	0.3080	353.1
50	0.4918	0.6885	0.3061	353.9	0.5019	0.6883	0.3061	352.6
55	0.4797	0.6788	0.3044	353.4	0.4893	0.6784	0.3043	352.1
60	0.4682	0.6695	0.3028	352.8	0.4773	0.6690	0.3027	351.6
	298.15 K				303.15 K			
0.1	0.6991	0.8288	0.3344	353.4	0.7186	0.8326	0.3352	351.1
1	0.6944	0.8254	0.3337	353.4	0.7137	0.8291	0.3344	351.2
5	0.6745	0.8106	0.3305	353.4	0.6927	0.8138	0.3311	351.2
10	0.6513	0.7933	0.3268	353.3	0.6682	0.7959	0.3272	351.2
15	0.6297	0.7772	0.3234	353.2	0.6455	0.7792	0.3237	351.1
20	0.6095	0.7621	0.3203	353.0	0.6243	0.7637	0.3205	351.1
25	0.5906	0.7479	0.3174	352.8	0.6046	0.7491	0.3175	350.9
30	0.5730	0.7345	0.3148	352.6	0.5861	0.7354	0.3148	350.7
35	0.5564	0.7219	0.3123	352.3	0.5688	0.7225	0.3122	350.5
40	0.5408	0.7101	0.3100	352.0	0.5525	0.7103	0.3099	350.2
45	0.5261	0.6988	0.3079	351.6	0.5371	0.6988	0.3077	349.9
50	0.5122	0.6882	0.3060	351.2	0.5227	0.6879	0.3057	349.6
55	0.4990	0.6780	0.3042	350.8	0.5090	0.6776	0.3038	349.2
60	0.4866	0.6684	0.3025	350.3	0.4960	0.6678	0.3021	348.8
	308.15 K				313.15 K			
0.1	0.7389	0.8365	0.3358	348.7	0.7600	0.8403	0.3363	346.2
1	0.7338	0.8328	0.3350	348.8	0.7545	0.8365	0.3355	346.2
5	0.7116	0.8170	0.3315	348.9	0.7311	0.8201	0.3319	346.4
10	0.6858	0.7985	0.3276	348.9	0.7039	0.8011	0.3277	346.5
15	0.6618	0.7813	0.3239	349.0	0.6787	0.7833	0.3239	346.6
20	0.6396	0.7653	0.3206	348.9	0.6553	0.7668	0.3205	346.7

25	0.6189	0.7503	0.3175	348.9	0.6336	0.7514	0.3173	346.7
30	0.5996	0.7362	0.3146	348.7	0.6134	0.7370	0.3143	346.6
35	0.5814	0.7230	0.3120	348.6	0.5944	0.7234	0.3116	346.5
40	0.5644	0.7105	0.3096	348.4	0.5767	0.7106	0.3091	346.4
45	0.5484	0.6987	0.3073	348.1	0.5600	0.6986	0.3068	346.2
50	0.5334	0.6876	0.3053	347.8	0.5443	0.6872	0.3047	346.0
55	0.5192	0.6771	0.3033	347.5	0.5295	0.6765	0.3027	345.7
60	0.5057	0.6670	0.3016	347.2	0.5156	0.6663	0.3009	345.4
318.15 K				323.15 K				
0.1	0.7818	0.8443	0.3367	343.5	0.8044	0.8482	0.3369	340.7
1	0.7760	0.8403	0.3358	343.5	0.7983	0.8441	0.3360	340.7
5	0.7512	0.8233	0.3320	343.8	0.7721	0.8266	0.3321	341.0
10	0.7225	0.8036	0.3277	344.0	0.7418	0.8062	0.3276	341.3
15	0.6960	0.7853	0.3238	344.2	0.7139	0.7873	0.3236	341.6
20	0.6715	0.7684	0.3202	344.3	0.6881	0.7699	0.3199	341.8
25	0.6487	0.7525	0.3169	344.3	0.6643	0.7536	0.3165	341.9
30	0.6275	0.7377	0.3139	344.4	0.6420	0.7384	0.3134	342.0
35	0.6077	0.7238	0.3111	344.3	0.6213	0.7241	0.3105	342.0
40	0.5892	0.7107	0.3086	344.2	0.6020	0.7108	0.3079	342.0
45	0.5718	0.6984	0.3062	344.1	0.5839	0.6982	0.3054	341.9
50	0.5555	0.6868	0.3040	344.0	0.5669	0.6864	0.3032	341.8
55	0.5401	0.6759	0.3020	343.8	0.5509	0.6752	0.3011	341.7
60	0.5256	0.6655	0.3001	343.5	0.5358	0.6646	0.2992	341.5
328.15 K				333.15 K				
0.1	0.8278	0.8522	0.3370	337.7	0.8521	0.8562	0.3369	334.7
1	0.8213	0.8479	0.3360	337.8	0.8452	0.8518	0.3359	334.8
5	0.7936	0.8298	0.3320	338.2	0.8159	0.8330	0.3318	335.2
10	0.7617	0.8087	0.3274	338.5	0.7822	0.8113	0.3270	335.7
15	0.7323	0.7893	0.3232	338.9	0.7513	0.7913	0.3227	336.1
20	0.7052	0.7713	0.3194	339.1	0.7228	0.7728	0.3188	336.4
25	0.6802	0.7546	0.3159	339.3	0.6965	0.7556	0.3152	336.7
30	0.6569	0.7390	0.3127	339.5	0.6722	0.7396	0.3119	336.9
35	0.6353	0.7244	0.3098	339.6	0.6495	0.7247	0.3089	337.1
40	0.6151	0.7108	0.3071	339.7	0.6285	0.7108	0.3061	337.2
45	0.5962	0.6980	0.3046	339.7	0.6088	0.6977	0.3036	337.3
50	0.5785	0.6859	0.3023	339.6	0.5904	0.6853	0.3013	337.3
55	0.5619	0.6745	0.3002	339.5	0.5731	0.6737	0.2991	337.3
60	0.5462	0.6637	0.2982	339.4	0.5568	0.6627	0.2972	337.2
343.15 K				353.15 K				
0.1	0.9034	0.8644	0.3365	328.2	0.9584	0.8728	0.3356	321.5
1	0.8956	0.8597	0.3354	328.4	0.9497	0.8677	0.3345	321.6
5	0.8628	0.8396	0.3310	328.9	0.9129	0.8462	0.3298	322.4
10	0.8252	0.8164	0.3259	329.6	0.8709	0.8215	0.3244	323.2
15	0.7909	0.7952	0.3214	330.2	0.8327	0.7990	0.3196	324.0

20	0.7594	0.7756	0.3172	330.7	0.7980	0.7784	0.3153	324.7
25	0.7305	0.7575	0.3135	331.1	0.7661	0.7594	0.3114	325.3
30	0.7038	0.7408	0.3100	331.5	0.7368	0.7418	0.3078	325.8
35	0.6790	0.7252	0.3069	331.8	0.7098	0.7256	0.3046	326.3
40	0.6561	0.7106	0.3040	332.1	0.6848	0.7104	0.3017	326.7
45	0.6347	0.6970	0.3014	332.3	0.6615	0.6963	0.2990	327.1
50	0.6147	0.6842	0.2990	332.5	0.6399	0.6830	0.2966	327.4
55	0.5960	0.6722	0.2968	332.6	0.6197	0.6706	0.2943	327.7
60	0.5785	0.6608	0.2948	332.6	0.6008	0.6589	0.2923	327.9
363.15 K								
0.1	1.0173	0.8813	0.3344	314.4	1.0805	0.8899	0.3329	307.1
1	1.0075	0.8758	0.3332	314.6	1.0694	0.8841	0.3315	307.4
5	0.9662	0.8529	0.3282	315.5	1.0230	0.8596	0.3263	308.5
10	0.9193	0.8267	0.3226	316.6	0.9706	0.8319	0.3205	309.8
15	0.8770	0.8029	0.3176	317.5	0.9235	0.8068	0.3154	311.0
20	0.8385	0.7812	0.3131	318.4	0.8810	0.7840	0.3108	312.1
25	0.8034	0.7613	0.3091	319.2	0.8424	0.7632	0.3066	313.1
30	0.7713	0.7429	0.3055	320.0	0.8073	0.7441	0.3030	314.1
35	0.7418	0.7260	0.3022	320.7	0.7750	0.7265	0.2996	315.0
40	0.7146	0.7102	0.2992	321.3	0.7454	0.7102	0.2967	315.8
45	0.6894	0.6956	0.2965	321.8	0.7180	0.6951	0.2940	316.5
50	0.6659	0.6819	0.2940	322.3	0.6927	0.6811	0.2915	317.2
55	0.6442	0.6692	0.2918	322.7	0.6692	0.6680	0.2893	317.8
60	0.6238	0.6572	0.2897	323.1	0.6474	0.6557	0.2873	318.3
393.15 K								
1	1.2058	0.9012	0.3275	292.6	1.3593	0.9189	0.3231	277.9
5	1.1471	0.8736	0.3220	294.2	1.2852	0.8883	0.3177	280.2
10	1.0817	0.8426	0.3160	296.1	1.2037	0.8544	0.3118	282.9
15	1.0237	0.8150	0.3107	297.9	1.1323	0.8246	0.3069	285.5
20	0.9718	0.7902	0.3061	299.6	1.0694	0.7980	0.3026	287.9
25	0.9252	0.7677	0.3021	301.1	1.0133	0.7742	0.2989	290.3
30	0.8830	0.7472	0.2985	302.6	0.9632	0.7527	0.2957	292.5
35	0.8447	0.7285	0.2953	304.0	0.9179	0.7332	0.2930	294.7
40	0.8098	0.7113	0.2924	305.4	0.8770	0.7154	0.2906	296.7
45	0.7777	0.6955	0.2899	306.6	0.8397	0.6991	0.2886	298.7
50	0.7483	0.6808	0.2877	307.7	0.8056	0.6841	0.2868	300.5
55	0.7210	0.6671	0.2857	308.8	0.7743	0.6701	0.2853	302.3
60	0.6958	0.6544	0.2839	309.8	0.7454	0.6572	0.2840	304.0

Tabela 60. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za LME

p / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	p_{int} / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	p_{int} / MPa
298.15 K					303.15 K			
0.1	0.7007	0.8333	0.3390	354.5	0.7205	0.8375	0.3400	352.3
1	0.6960	0.8298	0.3383	354.5	0.7156	0.8339	0.3392	352.3
5	0.6759	0.8149	0.3350	354.5	0.6944	0.8184	0.3357	352.3
10	0.6525	0.7974	0.3311	354.4	0.6697	0.8003	0.3317	352.3
15	0.6307	0.7810	0.3276	354.2	0.6468	0.7834	0.3281	352.2
20	0.6104	0.7658	0.3244	354.0	0.6254	0.7676	0.3247	352.1
25	0.5914	0.7514	0.3214	353.8	0.6055	0.7529	0.3216	351.9
30	0.5736	0.7379	0.3186	353.5	0.5869	0.7390	0.3188	351.7
35	0.5570	0.7252	0.3160	353.2	0.5695	0.7260	0.3161	351.5
40	0.5413	0.7132	0.3137	352.9	0.5531	0.7137	0.3136	351.2
45	0.5265	0.7018	0.3115	352.5	0.5376	0.7020	0.3114	350.8
50	0.5125	0.6911	0.3094	352.0	0.5231	0.6910	0.3093	350.5
55	0.4993	0.6808	0.3075	351.6	0.5093	0.6806	0.3073	350.1
60	0.4868	0.6711	0.3057	351.1	0.4963	0.6707	0.3055	349.6
308.15 K					313.15 K			
0.1	0.7411	0.8417	0.3408	349.9	0.7624	0.8459	0.3414	347.3
1	0.7359	0.8379	0.3399	349.9	0.7569	0.8420	0.3406	347.4
5	0.7135	0.8219	0.3364	350.0	0.7332	0.8254	0.3368	347.5
10	0.6874	0.8032	0.3322	350.0	0.7058	0.8060	0.3325	347.6
15	0.6633	0.7857	0.3284	350.0	0.6804	0.7881	0.3286	347.7
20	0.6409	0.7695	0.3249	350.0	0.6568	0.7713	0.3250	347.7
25	0.6200	0.7543	0.3217	349.9	0.6349	0.7557	0.3217	347.7
30	0.6005	0.7401	0.3188	349.8	0.6145	0.7411	0.3186	347.7
35	0.5823	0.7267	0.3160	349.6	0.5954	0.7274	0.3158	347.5
40	0.5652	0.7141	0.3135	349.3	0.5776	0.7144	0.3132	347.4
45	0.5491	0.7022	0.3111	349.1	0.5608	0.7023	0.3108	347.2
50	0.5339	0.6909	0.3090	348.8	0.5450	0.6908	0.3085	346.9
55	0.5196	0.6803	0.3070	348.4	0.5301	0.6799	0.3065	346.6
60	0.5061	0.6702	0.3051	348.0	0.5161	0.6696	0.3046	346.3
318.15 K					323.15 K			
0.1	0.7846	0.8502	0.3420	344.6	0.8076	0.8545	0.3424	341.8
1	0.7787	0.8461	0.3411	344.7	0.8014	0.8503	0.3414	341.9
5	0.7537	0.8289	0.3372	344.9	0.7749	0.8325	0.3374	342.2
10	0.7247	0.8089	0.3327	345.1	0.7443	0.8118	0.3327	342.5
15	0.6980	0.7904	0.3286	345.3	0.7161	0.7926	0.3285	342.7
20	0.6732	0.7731	0.3249	345.4	0.6901	0.7749	0.3247	342.9

25	0.6502	0.7571	0.3215	345.4	0.6660	0.7584	0.3211	343.0
30	0.6289	0.7420	0.3183	345.4	0.6436	0.7430	0.3179	343.1
35	0.6089	0.7280	0.3154	345.4	0.6227	0.7285	0.3149	343.1
40	0.5902	0.7148	0.3127	345.3	0.6032	0.7150	0.3122	343.1
45	0.5727	0.7023	0.3103	345.1	0.5849	0.7023	0.3096	343.0
50	0.5563	0.6906	0.3080	344.9	0.5678	0.6903	0.3073	342.9
55	0.5408	0.6795	0.3059	344.7	0.5517	0.6790	0.3051	342.7
60	0.5262	0.6689	0.3039	344.5	0.5365	0.6683	0.3031	342.5
328.15				333.15				
0.1	0.8314	0.8588	0.3426	338.9	0.8561	0.8632	0.3427	335.8
1	0.8248	0.8545	0.3416	339.0	0.8491	0.8587	0.3417	335.9
5	0.7968	0.8360	0.3374	339.3	0.8195	0.8396	0.3374	336.3
10	0.7645	0.8146	0.3326	339.7	0.7853	0.8175	0.3324	336.8
15	0.7348	0.7949	0.3283	340.0	0.7540	0.7971	0.3279	337.2
20	0.7074	0.7766	0.3243	340.3	0.7253	0.7783	0.3238	337.5
25	0.6821	0.7597	0.3207	340.5	0.6987	0.7609	0.3201	337.8
30	0.6587	0.7438	0.3173	340.6	0.6741	0.7447	0.3167	338.0
35	0.6368	0.7291	0.3143	340.7	0.6513	0.7296	0.3135	338.2
40	0.6165	0.7152	0.3115	340.7	0.6300	0.7154	0.3107	338.3
45	0.5974	0.7022	0.3089	340.7	0.6102	0.7021	0.3080	338.4
50	0.5796	0.6900	0.3065	340.7	0.5916	0.6896	0.3056	338.4
55	0.5628	0.6784	0.3043	340.6	0.5741	0.6779	0.3033	338.3
60	0.5471	0.6675	0.3023	340.4	0.5578	0.6668	0.3013	338.3
343.15 K				353.15 K				
0.1	0.9084	0.8721	0.3426	329.4	0.9645	0.8813	0.3420	322.6
1	0.9005	0.8673	0.3415	329.5	0.9557	0.8761	0.3408	322.7
5	0.8672	0.8468	0.3368	330.1	0.9183	0.8541	0.3359	323.5
10	0.8291	0.8232	0.3316	330.7	0.8756	0.8289	0.3303	324.3
15	0.7943	0.8016	0.3268	331.3	0.8370	0.8060	0.3253	325.1
20	0.7625	0.7817	0.3225	331.8	0.8017	0.7850	0.3208	325.8
25	0.7332	0.7633	0.3186	332.2	0.7694	0.7656	0.3167	326.4
30	0.7062	0.7463	0.3150	332.6	0.7398	0.7478	0.3130	327.0
35	0.6812	0.7304	0.3118	332.9	0.7125	0.7312	0.3097	327.4
40	0.6580	0.7156	0.3088	333.2	0.6872	0.7158	0.3066	327.9
45	0.6364	0.7018	0.3060	333.4	0.6637	0.7014	0.3038	328.2
50	0.6163	0.6888	0.3035	333.6	0.6418	0.6880	0.3013	328.5
55	0.5974	0.6767	0.3012	333.7	0.6215	0.6754	0.2989	328.8
60	0.5797	0.6652	0.2991	333.7	0.6024	0.6635	0.2968	329.0
363.15 K				373.15 K				
0.1	1.0249	0.8906	0.3410	315.5	1.0896	0.9000	0.3398	308.1
1	1.0149	0.8850	0.3397	315.7	1.0783	0.8941	0.3383	308.4
5	0.9728	0.8615	0.3346	316.6	1.0309	0.8690	0.3329	309.5
10	0.9251	0.8347	0.3287	317.7	0.9775	0.8405	0.3268	310.8
15	0.8821	0.8104	0.3235	318.6	0.9297	0.8148	0.3215	312.1

20	0.8430	0.7882	0.3188	319.6	0.8864	0.7916	0.3167	313.2
25	0.8075	0.7679	0.3146	320.4	0.8473	0.7703	0.3124	314.3
30	0.7749	0.7493	0.3108	321.1	0.8116	0.7508	0.3086	315.2
35	0.7450	0.7320	0.3074	321.8	0.7789	0.7329	0.3051	316.1
40	0.7175	0.7160	0.3043	322.4	0.7488	0.7163	0.3020	316.9
45	0.6920	0.7011	0.3015	323.0	0.7212	0.7009	0.2992	317.7
50	0.6683	0.6872	0.2989	323.4	0.6955	0.6866	0.2966	318.4
55	0.6463	0.6742	0.2966	323.9	0.6718	0.6733	0.2943	319.0
60	0.6257	0.6620	0.2944	324.2	0.6496	0.6608	0.2922	319.5
393.15 K								
				413.15 K				
1	1.2186	0.9128	0.3348	293.5	1.3773	0.9322	0.3307	278.6
5	1.1585	0.8844	0.3290	295.1	1.3010	0.9005	0.3251	281.0
10	1.0916	0.8525	0.3227	297.1	1.2172	0.8655	0.3189	283.8
15	1.0323	0.8241	0.3172	298.9	1.1441	0.8347	0.3137	286.4
20	0.9794	0.7987	0.3124	300.6	1.0796	0.8073	0.3093	289.0
25	0.9319	0.7756	0.3081	302.2	1.0223	0.7828	0.3054	291.4
30	0.8890	0.7547	0.3044	303.7	0.9711	0.7608	0.3021	293.7
35	0.8500	0.7355	0.3011	305.2	0.9250	0.7407	0.2993	295.8
40	0.8145	0.7180	0.2981	306.5	0.8833	0.7225	0.2968	297.9
45	0.7820	0.7017	0.2955	307.8	0.8453	0.7058	0.2946	299.9
50	0.7521	0.6868	0.2931	309.0	0.8107	0.6904	0.2928	301.8
55	0.7245	0.6728	0.2910	310.1	0.7789	0.6762	0.2912	303.7
60	0.6990	0.6599	0.2891	311.1	0.7496	0.6630	0.2898	305.4

Tabela 61. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za EuroDizel

p / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	p_{int} / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	p_{int} / MPa
293.15 K								
0.1	0.8370	0.7577	0.3282	323.7	0.8472	0.8035	0.3307	319.5
1	0.8330	0.7520	0.3274	323.7	0.8430	0.7972	0.3298	319.6
5	0.8162	0.7279	0.3237	323.7	0.8249	0.7701	0.3258	319.7
10	0.7966	0.7000	0.3196	323.6	0.8038	0.7389	0.3213	319.8
15	0.7785	0.6742	0.3158	323.5	0.7845	0.7103	0.3172	319.8
20	0.7616	0.6503	0.3123	323.3	0.7665	0.6838	0.3134	319.8
25	0.7459	0.6281	0.3091	323.1	0.7498	0.6594	0.3100	319.7
30	0.7312	0.6075	0.3062	322.9	0.7343	0.6367	0.3069	319.6
35	0.7175	0.5882	0.3035	322.6	0.7198	0.6156	0.3040	319.4
40	0.7045	0.5702	0.3010	322.2	0.7062	0.5959	0.3014	319.2
45	0.6924	0.5533	0.2988	321.8	0.6934	0.5775	0.2990	319.0
50	0.6809	0.5375	0.2967	321.4	0.6814	0.5603	0.2967	318.7
55	0.6700	0.5225	0.2947	320.9	0.6700	0.5441	0.2947	318.3
60	0.6597	0.5084	0.2929	320.4	0.6593	0.5288	0.2928	317.9
313.15 K								
0.1	0.8577	0.8531	0.3326	314.7	0.8684	0.9068	0.3339	309.4
1	0.8531	0.8460	0.3316	314.8	0.8635	0.8987	0.3328	309.5
5	0.8336	0.8156	0.3273	315.1	0.8424	0.8645	0.3282	309.9
10	0.8110	0.7807	0.3224	315.3	0.8182	0.8254	0.3229	310.3
15	0.7903	0.7488	0.3180	315.5	0.7960	0.7898	0.3181	310.7
20	0.7712	0.7195	0.3139	315.7	0.7757	0.7573	0.3138	311.0
25	0.7535	0.6925	0.3103	315.7	0.7570	0.7275	0.3099	311.2
30	0.7371	0.6676	0.3069	315.8	0.7397	0.7001	0.3064	311.4
35	0.7218	0.6444	0.3039	315.7	0.7236	0.6747	0.3032	311.5
40	0.7075	0.6229	0.3011	315.7	0.7086	0.6512	0.3002	311.6
45	0.6941	0.6029	0.2985	315.5	0.6946	0.6294	0.2975	311.6
50	0.6816	0.5841	0.2962	315.4	0.6815	0.6090	0.2951	311.6
55	0.6697	0.5666	0.2940	315.2	0.6692	0.5900	0.2928	311.5
60	0.6586	0.5501	0.2921	314.9	0.6576	0.5722	0.2908	311.4
333.15 K								
0.1	0.8794	0.9648	0.3347	303.6	0.8906	1.0277	0.3349	297.3
1	0.8740	0.9557	0.3335	303.7	0.8848	1.0173	0.3336	297.5
5	0.8513	0.9171	0.3284	304.2	0.8603	0.9737	0.3282	298.2
10	0.8253	0.8732	0.3228	304.9	0.8324	0.9244	0.3222	299.0
15	0.8017	0.8335	0.3177	305.4	0.8072	0.8801	0.3168	299.7
20	0.7801	0.7975	0.3131	305.9	0.7843	0.8400	0.3120	300.4
343.15								

25	0.7603	0.7645	0.3090	306.3	0.7634	0.8036	0.3076	301.0
30	0.7420	0.7343	0.3053	306.6	0.7442	0.7703	0.3038	301.5
35	0.7251	0.7065	0.3019	306.9	0.7264	0.7398	0.3002	302.0
40	0.7094	0.6808	0.2989	307.1	0.7100	0.7117	0.2971	302.3
45	0.6948	0.6570	0.2961	307.3	0.6948	0.6858	0.2942	302.6
50	0.6811	0.6349	0.2935	307.4	0.6806	0.6618	0.2916	302.9
55	0.6684	0.6143	0.2912	307.5	0.6674	0.6395	0.2892	303.1
60	0.6564	0.5951	0.2891	307.5	0.6550	0.6187	0.2870	303.2
353.15 K								
0.1	0.9021	1.0957	0.3346	290.6	0.9138	1.1692	0.3339	283.7
1	0.8958	1.0839	0.3332	290.9	0.9070	1.1558	0.3324	284.0
5	0.8694	1.0345	0.3275	291.8	0.8786	1.0998	0.3263	285.1
10	0.8395	0.9791	0.3211	292.8	0.8467	1.0374	0.3196	286.4
15	0.8127	0.9295	0.3154	293.8	0.8182	0.9820	0.3137	287.6
20	0.7884	0.8850	0.3104	294.6	0.7925	0.9325	0.3085	288.6
25	0.7664	0.8447	0.3059	295.4	0.7693	0.8879	0.3039	289.6
30	0.7462	0.8081	0.3019	296.1	0.7482	0.8476	0.2998	290.6
35	0.7277	0.7746	0.2983	296.7	0.7288	0.8109	0.2961	291.4
40	0.7106	0.7440	0.2950	297.3	0.7111	0.7774	0.2928	292.1
45	0.6947	0.7158	0.2921	297.8	0.6947	0.7468	0.2898	292.8
50	0.6800	0.6897	0.2894	298.2	0.6795	0.7185	0.2872	293.4
55	0.6664	0.6656	0.2870	298.6	0.6654	0.6924	0.2848	294.0
60	0.6536	0.6431	0.2848	298.9	0.6522	0.6682	0.2826	294.5
373.15 K								
0.1	0.9258	1.2486	0.3329	276.6	0.9505	1.4265	0.3297	261.9
1	0.9184	1.2333	0.3312	276.9	0.9420	1.4065	0.3280	262.3
5	0.8879	1.1699	0.3248	278.2	0.9071	1.3246	0.3212	264.2
10	0.8538	1.0995	0.3178	279.8	0.8686	1.2352	0.3139	266.5
15	0.8236	1.0375	0.3117	281.2	0.8350	1.1576	0.3077	268.6
20	0.7966	0.9824	0.3064	282.6	0.8054	1.0896	0.3023	270.6
25	0.7723	0.9331	0.3017	283.8	0.7789	1.0295	0.2977	272.5
30	0.7502	0.8888	0.2975	285.0	0.7552	0.9760	0.2937	274.2
35	0.7301	0.8486	0.2938	286.0	0.7338	0.9280	0.2902	275.9
40	0.7117	0.8121	0.2905	287.0	0.7143	0.8847	0.2871	277.4
45	0.6948	0.7788	0.2876	287.9	0.6965	0.8454	0.2844	278.9
50	0.6792	0.7482	0.2850	288.7	0.6801	0.8097	0.2821	280.3
55	0.6647	0.7200	0.2827	289.5	0.6651	0.7769	0.2800	281.5
60	0.6512	0.6940	0.2806	290.2	0.6511	0.7469	0.2782	282.8
413.15 K								
0.1	0.9763	1.6309	0.3259	247.2				
1	0.9667	1.6049	0.3242	247.8				
5	0.9273	1.4991	0.3175	250.5				
10	0.8847	1.3858	0.3105	253.8				
15	0.8481	1.2891	0.3046	256.8				

20	0.8161	1.2055	0.2998	259.7
25	0.7880	1.1326	0.2957	262.4
30	0.7630	1.0684	0.2922	265.1
35	0.7407	1.0114	0.2893	267.6
40	0.7205	0.9604	0.2869	269.9
45	0.7022	0.9146	0.2848	272.2
50	0.6855	0.8731	0.2831	274.4
55	0.6702	0.8354	0.2816	276.5
60	0.6561	0.8010	0.2804	278.4

Tabela 62. Izvedene termodinamičke veličine za etanol na atmosferskom pritisku

	$\kappa_S / \text{TPa}^{-1}$	$c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$c_V / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$L_f / 10^{11} \text{ m}$
288.15	908.752	3.309828	2.919988	6.087
293.15	941.069	3.398072	2.999159	6.252
298.15	974.782	3.484243	3.076311	6.422
303.15	1009.968	3.568594	3.151714	6.596
308.15	1046.733	3.652194	3.22642	6.776
313.15	1085.213	3.736828	3.302224	6.961
318.15	1125.525	3.823735	3.380331	7.152
323.15	1168.081	3.921752	3.469606	7.350
328.15	1212.96	4.030987	3.57012	
333.15	1260.372	4.155293	3.685721	

Tabela 63. Izvedene termodinamičke veličine za SME i EuroDizel na atmosferskom pritisku

	SME				EuroDizel			
	$\kappa_S / \text{TPa}^{-1}$	$c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$c_V / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$L_f / 10^{-11} \text{ m}$	$\kappa_S / \text{TPa}^{-1}$	$c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$c_V / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$L_f / 10^{-11} \text{ m}$
288.15	549.4166	2.190488	1.856088	4.733	628.3547			5.062
293.15	565.9501	2.227864	1.892564	4.848	648.6916	2.28145	1.95325	5.191
298.15	583.0531	2.264811	1.928811	4.966	669.779	2.329423	1.999864	5.323
303.15	600.7351	2.299355	1.962855	5.087	691.6074	2.374869	2.044169	5.458
308.15	618.9937	2.331943	1.995043	5.211	714.275	2.418378	2.086616	5.597
313.15	637.8907	2.363472	2.026272	5.337	737.7681	2.460326	2.127726	5.739
318.15	657.4532	2.392876	2.055576	5.466	762.171	2.500238	2.166888	5.885
323.15	677.6945	2.42216	2.08486	5.598	787.4787	2.537339	2.203439	6.035
328.15	698.6319	2.449486	2.112386		813.7738	2.574476	2.240122	
333.15	720.2992	2.474061	2.137261		841.051	2.609095	2.274395	
338.15	742.6678	2.500608	2.164189		869.3713	2.639931	2.30513	
343.15	765.7183	2.513431	2.177531		898.6489	2.66628	2.33138	

Tabela 64. Parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine za ispitivane binarne smješe biodizela i EuroDizela

	ED90SME10	ED80SME20	ED90SEE10	ED80SEE20
$a_0 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1024.269	1031.306	1023.146	1030.538
$a_1 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$	-0.62274	-0.63036	-0.61805	-0.63058
$a_2 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-2}$	$-0.11794\cdot 10^{-3}$	$-0.11030\cdot 10^{-3}$	$-0.12508\cdot 10^{-3}$	$-0.10942\cdot 10^{-3}$
b_0 / MPa	400.243	403.938	399.888	402.619
$b_1 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-1}$	-1.34481	-1.35419	-1.34321	-1.34714
$b_2 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-2}$	$0.12088\cdot 10^{-2}$	$0.12161\cdot 10^{-2}$	$0.12070\cdot 10^{-2}$	$0.12071\cdot 10^{-2}$
C	$0.82748\cdot 10^{-1}$	$0.82957\cdot 10^{-1}$	$0.82818\cdot 10^{-1}$	$0.83153\cdot 10^{-1}$
$AAD / \%$	0.010	0.010	0.010	0.010
$MD / \%$	0.044	0.043	0.046	0.044
$Bias / \%$	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
$\sigma / \text{kg m}^{-3}$	0.107	0.105	0.109	0.105

Tabela 65. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED90SME10

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
293.15 K								
0.1	0.7518	0.8359	0.3299	325.9	0.7970	0.8461	0.3325	321.7
1	0.7462	0.8320	0.3291	325.9	0.7907	0.8419	0.3316	321.8
5	0.7223	0.8155	0.3256	325.9	0.7639	0.8240	0.3278	322.0
10	0.6947	0.7962	0.3216	326.0	0.7331	0.8033	0.3234	322.2
15	0.6691	0.7783	0.3180	326.0	0.7047	0.7842	0.3195	322.3
20	0.6455	0.7617	0.3146	325.9	0.6785	0.7665	0.3159	322.4
25	0.6235	0.7462	0.3116	325.8	0.6544	0.7501	0.3126	322.5
30	0.6031	0.7317	0.3088	325.7	0.6319	0.7347	0.3096	322.5
35	0.5840	0.7181	0.3063	325.5	0.6110	0.7204	0.3069	322.4
40	0.5662	0.7054	0.3039	325.2	0.5915	0.7070	0.3043	322.3
45	0.5494	0.6934	0.3018	325.0	0.5733	0.6944	0.3020	322.2
50	0.5337	0.6820	0.2998	324.6	0.5562	0.6825	0.2999	322.0
55	0.5189	0.6713	0.2979	324.3	0.5402	0.6713	0.2980	321.8
60	0.5049	0.6612	0.2963	323.9	0.5250	0.6608	0.2962	321.5
313.15 K								
0.1	0.8458	0.8565	0.3345	317.0	0.8987	0.8671	0.3359	311.7
1	0.8387	0.8519	0.3335	317.1	0.8907	0.8622	0.3348	311.8
5	0.8087	0.8327	0.3293	317.4	0.8569	0.8414	0.3303	312.3
10	0.7742	0.8104	0.3246	317.8	0.8183	0.8175	0.3251	312.8
15	0.7427	0.7900	0.3203	318.1	0.7832	0.7957	0.3205	313.3
20	0.7137	0.7711	0.3164	318.4	0.7510	0.7756	0.3163	313.7
25	0.6870	0.7537	0.3129	318.6	0.7216	0.7571	0.3126	314.1
30	0.6623	0.7375	0.3097	318.7	0.6944	0.7400	0.3092	314.4
35	0.6394	0.7224	0.3068	318.8	0.6693	0.7241	0.3061	314.6
40	0.6182	0.7083	0.3041	318.8	0.6461	0.7093	0.3032	314.8
45	0.5983	0.6951	0.3017	318.8	0.6245	0.6955	0.3007	314.9
50	0.5798	0.6827	0.2994	318.8	0.6043	0.6825	0.2983	315.0
55	0.5624	0.6710	0.2974	318.7	0.5855	0.6704	0.2962	315.0
60	0.5460	0.6600	0.2955	318.5	0.5679	0.6589	0.2942	315.0
333.15 K								
0.1	0.9560	0.8779	0.3366	305.9	1.0180	0.8890	0.3369	299.6
1	0.9469	0.8726	0.3355	306.0	1.0077	0.8833	0.3356	299.8
5	0.9088	0.8502	0.3306	306.6	0.9647	0.8591	0.3303	300.6
10	0.8655	0.8245	0.3250	307.4	0.9161	0.8315	0.3244	301.5
15	0.8263	0.8012	0.3201	308.0	0.8723	0.8066	0.3191	302.3
20	0.7907	0.7799	0.3157	308.6	0.8327	0.7840	0.3144	303.1
343.15								

25	0.7581	0.7603	0.3117	309.1	0.7967	0.7633	0.3102	303.8
30	0.7282	0.7423	0.3081	309.6	0.7638	0.7443	0.3064	304.4
35	0.7007	0.7256	0.3048	309.9	0.7337	0.7268	0.3030	304.9
40	0.6753	0.7100	0.3018	310.3	0.7059	0.7105	0.2999	305.4
45	0.6518	0.6956	0.2991	310.5	0.6803	0.6955	0.2971	305.8
50	0.6299	0.6821	0.2967	310.7	0.6565	0.6814	0.2946	306.2
55	0.6095	0.6695	0.2944	310.9	0.6345	0.6683	0.2923	306.5
60	0.5905	0.6576	0.2924	311.0	0.6139	0.6560	0.2902	306.7
353.15 K								
0.1	1.0851	0.9004	0.3366	292.9	1.1578	0.9120	0.3358	285.9
1	1.0735	0.8941	0.3352	293.1	1.1446	0.9052	0.3344	286.2
5	1.0248	0.8680	0.3296	294.1	1.0895	0.8771	0.3283	287.4
10	0.9701	0.8385	0.3233	295.2	1.0279	0.8455	0.3217	288.7
15	0.9212	0.8120	0.3177	296.3	0.9732	0.8173	0.3159	290.0
20	0.8772	0.7880	0.3128	297.2	0.9242	0.7918	0.3107	291.1
25	0.8374	0.7661	0.3084	298.1	0.8802	0.7688	0.3061	292.2
30	0.8012	0.7461	0.3044	298.9	0.8404	0.7479	0.3021	293.2
35	0.7681	0.7278	0.3009	299.6	0.8041	0.7287	0.2984	294.1
40	0.7378	0.7108	0.2977	300.2	0.7710	0.7111	0.2952	294.9
45	0.7099	0.6952	0.2948	300.8	0.7407	0.6948	0.2923	295.6
50	0.6842	0.6806	0.2922	301.3	0.7127	0.6797	0.2897	296.3
55	0.6603	0.6670	0.2899	301.8	0.6869	0.6657	0.2873	296.9
60	0.6381	0.6543	0.2878	302.1	0.6630	0.6526	0.2852	297.5
373.15 K								
0.1	1.2365	0.9238	0.3348	278.7	-	-	-	-
1	1.2214	0.9166	0.3331	279.0	1.3936	0.9399	0.3295	264.2
5	1.1588	0.8863	0.3267	280.4	1.3127	0.9051	0.3226	266.1
10	1.0894	0.8525	0.3197	282.0	1.2245	0.8667	0.3153	268.3
15	1.0282	0.8225	0.3137	283.5	1.1478	0.8332	0.3089	270.4
20	0.9738	0.7957	0.3084	284.9	1.0806	0.8036	0.3035	272.4
25	0.9251	0.7715	0.3037	286.2	1.0211	0.7772	0.2988	274.2
30	0.8813	0.7496	0.2995	287.4	0.9682	0.7535	0.2947	276.0
35	0.8416	0.7296	0.2959	288.5	0.9207	0.7321	0.2911	277.6
40	0.8055	0.7113	0.2926	289.5	0.8778	0.7126	0.2880	279.2
45	0.7725	0.6945	0.2897	290.5	0.8389	0.6948	0.2852	280.6
50	0.7422	0.6789	0.2871	291.3	0.8035	0.6785	0.2828	282.0
55	0.7143	0.6645	0.2848	292.1	0.7711	0.6634	0.2807	283.2
60	0.6886	0.6511	0.2827	292.9	0.7413	0.6495	0.2788	284.4
413.15 K								
1	1.5921	0.9643	0.3253	249.2				
5	1.4874	0.9247	0.3182	251.8				
10	1.3753	0.8819	0.3109	254.9				
15	1.2795	0.8451	0.3048	257.9				
20	1.1967	0.8130	0.2996	260.7				

25	1.1245	0.7847	0.2953	263.3
30	1.0608	0.7595	0.2916	265.8
35	1.0043	0.7370	0.2885	268.2
40	0.9538	0.7167	0.2858	270.5
45	0.9083	0.6983	0.2836	272.6
50	0.8671	0.6815	0.2817	274.7
55	0.8297	0.6661	0.2801	276.7
60	0.7956	0.6519	0.2787	278.5

Tabela 66. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED80SME20

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
293.15 K								
0.1	0.7431	0.8342	0.3324	329.0	0.7875	0.8441	0.3350	324.8
1	0.7376	0.8303	0.3316	329.0	0.7813	0.8400	0.3341	324.9
5	0.7144	0.8141	0.3281	329.1	0.7553	0.8224	0.3303	325.1
10	0.6874	0.7951	0.3241	329.1	0.7252	0.8020	0.3259	325.3
15	0.6624	0.7775	0.3205	329.1	0.6975	0.7832	0.3220	325.4
20	0.6393	0.7611	0.3172	329.0	0.6719	0.7658	0.3184	325.5
25	0.6178	0.7458	0.3142	328.9	0.6482	0.7496	0.3151	325.5
30	0.5978	0.7315	0.3114	328.7	0.6263	0.7344	0.3121	325.5
35	0.5791	0.7181	0.3088	328.5	0.6058	0.7203	0.3094	325.5
40	0.5616	0.7055	0.3065	328.3	0.5867	0.7070	0.3069	325.3
45	0.5451	0.6936	0.3043	328.0	0.5688	0.6946	0.3046	325.2
50	0.5297	0.6824	0.3023	327.7	0.5520	0.6828	0.3025	325.0
55	0.5151	0.6718	0.3005	327.3	0.5362	0.6717	0.3005	324.8
60	0.5014	0.6617	0.2988	326.9	0.5214	0.6612	0.2987	324.5
313.15 K								
0.1	0.8354	0.8542	0.3369	320.1	0.8873	0.8646	0.3382	314.8
1	0.8285	0.8498	0.3359	320.2	0.8795	0.8598	0.3372	314.9
5	0.7993	0.8309	0.3318	320.5	0.8467	0.8394	0.3327	315.4
10	0.7657	0.8090	0.3271	320.9	0.8090	0.8159	0.3276	315.9
15	0.7349	0.7889	0.3228	321.2	0.7747	0.7944	0.3230	316.4
20	0.7066	0.7703	0.3189	321.4	0.7434	0.7747	0.3188	316.8
25	0.6805	0.7531	0.3154	321.6	0.7146	0.7565	0.3151	317.1
30	0.6563	0.7371	0.3122	321.7	0.6880	0.7396	0.3117	317.4
35	0.6339	0.7222	0.3093	321.8	0.6634	0.7239	0.3086	317.6
40	0.6130	0.7083	0.3066	321.8	0.6406	0.7092	0.3058	317.8
45	0.5935	0.6952	0.3042	321.8	0.6194	0.6956	0.3032	317.9
50	0.5753	0.6829	0.3019	321.7	0.5996	0.6828	0.3008	317.9
55	0.5582	0.6714	0.2999	321.6	0.5811	0.6707	0.2987	318.0
60	0.5422	0.6605	0.2980	321.5	0.5638	0.6594	0.2967	317.9
333.15 K								
0.1	0.9434	0.8752	0.3390	309.0	1.0041	0.8860	0.3392	302.7
1	0.9346	0.8700	0.3378	309.1	0.9942	0.8804	0.3379	302.9
5	0.8976	0.8480	0.3330	309.7	0.9524	0.8566	0.3327	303.6
10	0.8554	0.8228	0.3275	310.4	0.9051	0.8296	0.3268	304.5
15	0.8172	0.7999	0.3226	311.1	0.8624	0.8052	0.3216	305.4
20	0.7824	0.7789	0.3182	311.6	0.8238	0.7829	0.3169	306.1
343.15								

25	0.7506	0.7596	0.3142	312.1	0.7887	0.7625	0.3127	306.8
30	0.7214	0.7418	0.3106	312.6	0.7565	0.7438	0.3090	307.4
35	0.6945	0.7253	0.3073	312.9	0.7270	0.7264	0.3055	307.9
40	0.6696	0.7099	0.3043	313.2	0.6998	0.7104	0.3025	308.4
45	0.6465	0.6957	0.3016	313.5	0.6746	0.6955	0.2997	308.8
50	0.6250	0.6823	0.2992	313.7	0.6513	0.6816	0.2971	309.1
55	0.6049	0.6698	0.2970	313.9	0.6296	0.6686	0.2948	309.4
60	0.5862	0.6580	0.2949	314.0	0.6094	0.6565	0.2927	309.6
353.15 K				363.15				
0.1	1.0698	0.8971	0.3389	296.0	1.1409	0.9084	0.3381	289.0
1	1.0586	0.8910	0.3376	296.2	1.1281	0.9018	0.3367	289.3
5	1.0113	0.8654	0.3320	297.2	1.0746	0.8743	0.3307	290.4
10	0.9582	0.8365	0.3257	298.3	1.0148	0.8433	0.3241	291.8
15	0.9105	0.8104	0.3202	299.3	0.9616	0.8156	0.3183	293.0
20	0.8676	0.7868	0.3153	300.2	0.9139	0.7906	0.3132	294.1
25	0.8288	0.7653	0.3109	301.1	0.8709	0.7679	0.3087	295.2
30	0.7934	0.7456	0.3069	301.9	0.8320	0.7473	0.3046	296.2
35	0.7610	0.7274	0.3034	302.6	0.7966	0.7283	0.3010	297.1
40	0.7313	0.7107	0.3002	303.2	0.7641	0.7109	0.2978	297.9
45	0.7040	0.6952	0.2974	303.8	0.7344	0.6948	0.2948	298.6
50	0.6787	0.6808	0.2948	304.3	0.7069	0.6799	0.2922	299.3
55	0.6552	0.6674	0.2924	304.7	0.6816	0.6661	0.2899	299.9
60	0.6334	0.6548	0.2903	305.1	0.6581	0.6531	0.2878	300.4
373.15 K				393.15 K				
0.1	1.2178	0.9199	0.3371	281.8	-	-	-	-
1	1.2032	0.9128	0.3354	282.1	1.3712	0.9356	0.3319	267.3
5	1.1426	0.8832	0.3291	283.5	1.2930	0.9016	0.3251	269.1
10	1.0752	0.8502	0.3222	285.0	1.2075	0.8641	0.3178	271.4
15	1.0157	0.8207	0.3162	286.5	1.1331	0.8313	0.3115	273.4
20	0.9627	0.7943	0.3109	287.9	1.0677	0.8022	0.3061	275.4
25	0.9152	0.7706	0.3062	289.2	1.0097	0.7762	0.3014	277.2
30	0.8724	0.7490	0.3021	290.4	0.9580	0.7529	0.2973	279.0
35	0.8335	0.7293	0.2984	291.5	0.9116	0.7317	0.2938	280.6
40	0.7982	0.7112	0.2952	292.5	0.8696	0.7125	0.2906	282.1
45	0.7658	0.6946	0.2923	293.4	0.8315	0.6949	0.2879	283.6
50	0.7361	0.6792	0.2897	294.3	0.7968	0.6788	0.2855	284.9
55	0.7087	0.6649	0.2873	295.1	0.7650	0.6639	0.2833	286.2
60	0.6834	0.6516	0.2853	295.8	0.7357	0.6501	0.2815	287.4
413.15 K								
1	1.5644	0.9594	0.3276	252.4				
5	1.4635	0.9208	0.3207	254.9				
10	1.3550	0.8790	0.3135	258.0				
15	1.2622	0.8430	0.3074	260.9				
20	1.1818	0.8115	0.3023	263.7				

25	1.1114	0.7837	0.2980	266.3
30	1.0493	0.7589	0.2943	268.8
35	0.9941	0.7367	0.2912	271.2
40	0.9446	0.7167	0.2886	273.4
45	0.9001	0.6985	0.2863	275.6
50	0.8598	0.6818	0.2844	277.6
55	0.8231	0.6666	0.2828	279.6
60	0.7895	0.6525	0.2814	281.5

Tabela 67. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED90SEE10

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
0.1	0.7527	0.8357	0.3293	325.4	0.7979	0.8460	0.3321	321.3
1	0.7471	0.8318	0.3285	325.4	0.7916	0.8418	0.3312	321.4
5	0.7232	0.8152	0.3250	325.4	0.7648	0.8239	0.3274	321.6
10	0.6955	0.7959	0.3210	325.5	0.7339	0.8032	0.3230	321.8
15	0.6699	0.7780	0.3174	325.5	0.7055	0.7841	0.3190	321.9
20	0.6462	0.7614	0.3140	325.4	0.6793	0.7664	0.3154	322.0
25	0.6243	0.7459	0.3110	325.3	0.6551	0.7499	0.3121	322.0
30	0.6038	0.7314	0.3082	325.1	0.6326	0.7346	0.3091	322.0
35	0.5847	0.7178	0.3056	324.9	0.6117	0.7203	0.3064	322.0
40	0.5668	0.7051	0.3033	324.7	0.5922	0.7068	0.3039	321.8
45	0.5500	0.6930	0.3011	324.4	0.5739	0.6942	0.3016	321.7
50	0.5343	0.6817	0.2991	324.0	0.5568	0.6824	0.2994	321.5
55	0.5194	0.6710	0.2973	323.7	0.5408	0.6712	0.2975	321.3
60	0.5054	0.6608	0.2956	323.3	0.5256	0.6606	0.2957	321.0
313.15 K				323.15 K				
0.1	0.8468	0.8566	0.3342	316.7	0.8997	0.8674	0.3357	311.4
1	0.8397	0.8520	0.3332	316.7	0.8917	0.8624	0.3346	311.5
5	0.8096	0.8327	0.3290	317.1	0.8579	0.8416	0.3301	312.0
10	0.7751	0.8105	0.3243	317.5	0.8192	0.8177	0.3250	312.6
15	0.7435	0.7900	0.3200	317.8	0.7840	0.7959	0.3204	313.1
20	0.7145	0.7712	0.3161	318.0	0.7519	0.7758	0.3162	313.5
25	0.6878	0.7537	0.3126	318.2	0.7223	0.7573	0.3124	313.8
30	0.6631	0.7375	0.3094	318.3	0.6952	0.7402	0.3090	314.1
35	0.6401	0.7224	0.3065	318.4	0.6701	0.7243	0.3059	314.3
40	0.6188	0.7083	0.3038	318.4	0.6468	0.7095	0.3031	314.5
45	0.5990	0.6951	0.3013	318.4	0.6251	0.6957	0.3005	314.6
50	0.5804	0.6827	0.2991	318.4	0.6050	0.6827	0.2982	314.7
55	0.5630	0.6710	0.2971	318.2	0.5861	0.6706	0.2960	314.7
60	0.5466	0.6600	0.2952	318.1	0.5685	0.6591	0.2941	314.7
333.15 K				343.15				
0.1	0.9570	0.8784	0.3366	305.7	1.0190	0.8897	0.3370	299.5
1	0.9479	0.8731	0.3355	305.8	1.0088	0.8839	0.3358	299.7
5	0.9098	0.8506	0.3306	306.5	0.9657	0.8597	0.3305	300.5
10	0.8664	0.8250	0.3250	307.2	0.9170	0.8322	0.3246	301.4
15	0.8272	0.8016	0.3201	307.9	0.8732	0.8073	0.3193	302.2
20	0.7915	0.7803	0.3157	308.4	0.8336	0.7846	0.3146	303.0

25	0.7589	0.7607	0.3117	308.9	0.7975	0.7639	0.3104	303.7
30	0.7290	0.7427	0.3081	309.4	0.7646	0.7449	0.3066	304.3
35	0.7015	0.7259	0.3048	309.8	0.7344	0.7273	0.3032	304.8
40	0.6760	0.7104	0.3018	310.1	0.7066	0.7111	0.3001	305.3
45	0.6525	0.6960	0.2991	310.4	0.6810	0.6960	0.2973	305.7
50	0.6306	0.6825	0.2967	310.6	0.6572	0.6820	0.2948	306.1
55	0.6102	0.6698	0.2945	310.7	0.6351	0.6689	0.2925	306.4
60	0.5911	0.6579	0.2924	310.8	0.6145	0.6566	0.2904	306.6
353.15 K								
0.1	1.0862	0.9012	0.3369	292.9	1.1590	0.9130	0.3363	286.0
1	1.0746	0.8950	0.3355	293.1	1.1457	0.9063	0.3348	286.3
5	1.0259	0.8689	0.3299	294.1	1.0905	0.8781	0.3288	287.4
10	0.9711	0.8393	0.3236	295.2	1.0289	0.8465	0.3222	288.8
15	0.9221	0.8128	0.3180	296.3	0.9741	0.8183	0.3163	290.0
20	0.8781	0.7888	0.3131	297.2	0.9251	0.7928	0.3112	291.2
25	0.8382	0.7669	0.3087	298.1	0.8811	0.7698	0.3066	292.3
30	0.8020	0.7469	0.3047	298.9	0.8412	0.7488	0.3026	293.3
35	0.7689	0.7285	0.3012	299.6	0.8049	0.7297	0.2989	294.2
40	0.7386	0.7116	0.2980	300.3	0.7718	0.7120	0.2957	295.0
45	0.7106	0.6959	0.2952	300.8	0.7414	0.6957	0.2928	295.8
50	0.6848	0.6813	0.2926	301.4	0.7134	0.6807	0.2902	296.5
55	0.6609	0.6678	0.2902	301.8	0.6876	0.6666	0.2878	297.1
60	0.6387	0.6551	0.2881	302.2	0.6636	0.6536	0.2857	297.6
373.15 K								
0.1	1.2377	0.9251	0.3354	278.8	-	-	-	-
1	1.2226	0.9178	0.3337	279.1	1.3948	0.9416	0.3304	264.4
5	1.1599	0.8875	0.3273	280.5	1.3139	0.9067	0.3236	266.3
10	1.0905	0.8537	0.3204	282.1	1.2256	0.8684	0.3162	268.6
15	1.0292	0.8237	0.3143	283.6	1.1489	0.8349	0.3099	270.7
20	0.9748	0.7969	0.3090	285.1	1.0816	0.8052	0.3044	272.7
25	0.9260	0.7727	0.3043	286.4	1.0221	0.7788	0.2998	274.6
30	0.8821	0.7507	0.3002	287.6	0.9691	0.7551	0.2957	276.3
35	0.8424	0.7308	0.2965	288.7	0.9215	0.7336	0.2921	278.0
40	0.8063	0.7125	0.2933	289.7	0.8786	0.7142	0.2890	279.6
45	0.7732	0.6956	0.2904	290.7	0.8397	0.6964	0.2863	281.0
50	0.7429	0.6801	0.2878	291.6	0.8043	0.6800	0.2839	282.4
55	0.7150	0.6657	0.2855	292.4	0.7718	0.6650	0.2818	283.7
60	0.6892	0.6522	0.2834	293.1	0.7420	0.6510	0.2799	284.9
413.15 K								
1	1.5934	0.9665	0.3264	249.6				
5	1.4887	0.9268	0.3194	252.2				
10	1.3764	0.8840	0.3121	255.3				
15	1.2806	0.8472	0.3060	258.3				
20	1.1978	0.8150	0.3009	261.1				

25	1.1255	0.7867	0.2966	263.8
30	1.0618	0.7616	0.2929	266.3
35	1.0052	0.7391	0.2898	268.8
40	0.9546	0.7187	0.2872	271.1
45	0.9091	0.7003	0.2850	273.3
50	0.8679	0.6835	0.2831	275.4
55	0.8305	0.6681	0.2815	277.3
60	0.7963	0.6538	0.2801	279.2

Tabela 68. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED80SEE20

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
0.1	0.7450	0.8346	0.3319	328.3	0.7894	0.8445	0.3345	324.2
1	0.7395	0.8307	0.3310	328.3	0.7832	0.8403	0.3336	324.3
5	0.7162	0.8144	0.3276	328.4	0.7571	0.8228	0.3298	324.4
10	0.6891	0.7955	0.3236	328.4	0.7269	0.8024	0.3255	324.6
15	0.6641	0.7779	0.3200	328.4	0.6992	0.7836	0.3215	324.8
20	0.6409	0.7615	0.3167	328.3	0.6736	0.7662	0.3180	324.8
25	0.6194	0.7462	0.3137	328.2	0.6498	0.7500	0.3147	324.9
30	0.5993	0.7319	0.3109	328.0	0.6278	0.7348	0.3117	324.8
35	0.5806	0.7185	0.3084	327.8	0.6073	0.7207	0.3090	324.8
40	0.5630	0.7059	0.3060	327.5	0.5881	0.7074	0.3065	324.7
45	0.5465	0.6940	0.3039	327.2	0.5702	0.6950	0.3042	324.5
50	0.5310	0.6828	0.3019	326.9	0.5534	0.6832	0.3021	324.3
55	0.5164	0.6722	0.3001	326.5	0.5375	0.6721	0.3001	324.1
60	0.5027	0.6621	0.2984	326.1	0.5227	0.6616	0.2984	323.8
313.15 K					323.15 K			
0.1	0.8373	0.8546	0.3364	319.5	0.8891	0.8649	0.3378	314.3
1	0.8304	0.8501	0.3355	319.6	0.8814	0.8601	0.3367	314.4
5	0.8011	0.8312	0.3313	319.9	0.8484	0.8397	0.3323	314.8
10	0.7674	0.8094	0.3266	320.3	0.8108	0.8163	0.3272	315.4
15	0.7366	0.7893	0.3224	320.6	0.7764	0.7948	0.3226	315.8
20	0.7082	0.7707	0.3185	320.8	0.7450	0.7751	0.3185	316.2
25	0.6820	0.7535	0.3150	321.0	0.7161	0.7568	0.3147	316.5
30	0.6578	0.7375	0.3118	321.1	0.6895	0.7400	0.3113	316.8
35	0.6354	0.7226	0.3089	321.2	0.6649	0.7243	0.3082	317.0
40	0.6144	0.7087	0.3063	321.2	0.6421	0.7096	0.3054	317.2
45	0.5949	0.6956	0.3038	321.2	0.6208	0.6960	0.3028	317.3
50	0.5767	0.6833	0.3016	321.1	0.6010	0.6832	0.3005	317.3
55	0.5595	0.6718	0.2995	321.0	0.5825	0.6711	0.2984	317.3
60	0.5435	0.6609	0.2977	320.8	0.5651	0.6598	0.2964	317.3
333.15 K					343.15			
0.1	0.9452	0.8755	0.3386	308.5	1.0059	0.8863	0.3388	302.2
1	0.9364	0.8703	0.3374	308.6	0.9960	0.8807	0.3376	302.4
5	0.8994	0.8483	0.3326	309.2	0.9542	0.8570	0.3324	303.2
10	0.8571	0.8231	0.3271	309.9	0.9068	0.8300	0.3265	304.1
15	0.8189	0.8002	0.3222	310.6	0.8641	0.8055	0.3213	304.9
20	0.7840	0.7792	0.3178	311.1	0.8254	0.7833	0.3166	305.6

25	0.7522	0.7600	0.3138	311.6	0.7902	0.7629	0.3124	306.3
30	0.7229	0.7422	0.3102	312.0	0.7580	0.7441	0.3087	306.9
35	0.6959	0.7257	0.3070	312.4	0.7284	0.7268	0.3052	307.4
40	0.6710	0.7103	0.3040	312.7	0.7012	0.7108	0.3022	307.8
45	0.6478	0.6960	0.3013	312.9	0.6760	0.6959	0.2994	308.2
50	0.6263	0.6827	0.2989	313.1	0.6527	0.6820	0.2968	308.6
55	0.6063	0.6702	0.2967	313.3	0.6310	0.6690	0.2945	308.8
60	0.5875	0.6584	0.2946	313.4	0.6107	0.6568	0.2925	309.1
353.15 K								
0.1	1.0716	0.8974	0.3386	295.6	1.1426	0.9087	0.3378	288.7
1	1.0603	0.8913	0.3372	295.9	1.1298	0.9021	0.3364	289.0
5	1.0131	0.8657	0.3316	296.8	1.0763	0.8746	0.3305	290.1
10	0.9598	0.8368	0.3254	297.9	1.0165	0.8436	0.3239	291.4
15	0.9122	0.8108	0.3199	298.9	0.9632	0.8159	0.3181	292.6
20	0.8692	0.7871	0.3150	299.8	0.9155	0.7909	0.3129	293.7
25	0.8303	0.7656	0.3106	300.6	0.8725	0.7683	0.3084	294.8
30	0.7949	0.7459	0.3067	301.4	0.8335	0.7476	0.3043	295.7
35	0.7625	0.7278	0.3031	302.1	0.7980	0.7287	0.3007	296.6
40	0.7327	0.7111	0.2999	302.7	0.7656	0.7113	0.2975	297.4
45	0.7053	0.6956	0.2971	303.3	0.7358	0.6952	0.2946	298.1
50	0.6800	0.6812	0.2945	303.7	0.7083	0.6803	0.2919	298.8
55	0.6565	0.6677	0.2921	304.2	0.6829	0.6664	0.2896	299.4
60	0.6347	0.6551	0.2900	304.5	0.6594	0.6534	0.2875	299.9
373.15 K				393.15 K				
0.1	1.2194	0.9202	0.3368	281.5	-	-	-	-
1	1.2049	0.9131	0.3351	281.8	1.3728	0.9359	0.3316	267.0
5	1.1442	0.8835	0.3288	283.1	1.2946	0.9019	0.3248	268.9
10	1.0768	0.8505	0.3219	284.7	1.2091	0.8644	0.3175	271.1
15	1.0173	0.8210	0.3159	286.2	1.1347	0.8315	0.3112	273.1
20	0.9643	0.7947	0.3106	287.5	1.0693	0.8024	0.3058	275.0
25	0.9167	0.7709	0.3060	288.8	1.0113	0.7764	0.3011	276.8
30	0.8739	0.7493	0.3018	289.9	0.9595	0.7530	0.2970	278.5
35	0.8350	0.7295	0.2982	291.0	0.9131	0.7319	0.2934	280.1
40	0.7996	0.7115	0.2949	292.0	0.8711	0.7127	0.2903	281.6
45	0.7672	0.6948	0.2920	292.9	0.8330	0.6951	0.2875	283.1
50	0.7375	0.6795	0.2894	293.8	0.7982	0.6789	0.2850	284.4
55	0.7101	0.6652	0.2870	294.6	0.7664	0.6640	0.2829	285.6
60	0.6847	0.6519	0.2849	295.3	0.7371	0.6501	0.2810	286.8
413.15 K								
1	1.5661	0.9596	0.3274	252.2				
5	1.4652	0.9210	0.3205	254.7				
10	1.3568	0.8792	0.3132	257.7				
15	1.2639	0.8431	0.3070	260.6				
20	1.1835	0.8115	0.3019	263.3				

25	1.1131	0.7837	0.2975	265.9
30	1.0510	0.7589	0.2938	268.3
35	0.9957	0.7366	0.2907	270.7
40	0.9462	0.7166	0.2880	272.9
45	0.9017	0.6983	0.2857	275.0
50	0.8613	0.6817	0.2837	277.0
55	0.8245	0.6664	0.2821	278.9
60	0.7909	0.6523	0.2807	280.7

Tabela 69. Izvedene termodinamičke veličine za binarne smješe biodizela sa EuroDizelom na atmosferskom pritisku

	ED90SME10				ED80SME20			
	$\kappa_S / \text{TPa}^{-1}$	$c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$c_V / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$L_f / 10^{-11} \text{ m}$	$\kappa_S / \text{TPa}^{-1}$	$c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$c_V / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$L_f / 10^{-11} \text{ m}$
288.15	623.7466			5.043	616.0691			5.012
293.15	643.8513	2.283223	1.953323	5.171	635.7843	2.27197	1.93957	5.139
298.15	664.6886	2.332399	2.003176	5.303	656.1911	2.31863	1.989213	5.269
303.15	686.2554	2.378066	2.045566	5.437	677.333	2.36317	2.02817	5.402
308.15	708.6357	2.423672	2.09219	5.575	699.2541	2.407033	2.075414	5.538
313.15	731.861	2.467638	2.133138	5.716	722.0053	2.449443	2.112543	5.678
318.15	755.9709	2.508454	2.175336	5.861	745.5902	2.488578	2.155372	5.821
323.15	780.9897	2.548020	2.21212	6.010	770.0508	2.525952	2.187752	5.968
328.15	806.9288	2.584414	2.250258		795.4411	2.561432	2.227233	
333.15	833.8952	2.618361	2.281761		821.7975	2.595097	2.256097	
338.15	861.8619	2.651531	2.316909		849.1488	2.625727	2.291104	
343.15	890.8101	2.678292	2.341392		877.4498	2.653143	2.313943	

Tabela 70. Parametri modifikovane Tammann-Tait-ove jednačine za ispitivane ternerne smješe biodizela i EuroDizel i etanola

	ED90SME5SEE5	ED80SME10SEE10	ED85SME10EtOH5	ED80SME10EtOH10
$a_0 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1021.680	1030.756	1012.806	990.200
$a_1 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$	-0.60867	-0.629390133	-0.537874897	-0.395407
$a_2 / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-2}$	-0.000138391	-0.000111422	-0.00030285	-0.000549803
b_0 / MPa	394.169	406.263	399.9848	391.001
$b_1 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-1}$	-1.31113	-1.361930	-1.332182	-1.278290
$b_2 / \text{MPa}\cdot\text{K}^{-2}$	0.001162874	0.001223701	0.001164545	0.001073084
C	0.0828596	0.08350626	0.084638361	0.085598916
$AAD / \%$	0.010	0.010	0.011	0.012
$MD / \%$	0.044	0.044	0.047	0.057
$Bias / \%$	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
$\sigma / \text{kg m}^{-3}$	0.104	0.103	0.114	0.131

Tabela 71. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED90SME5SEE5

p / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	P_{int} / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	P_{int} / MPa
293.15 K								
0.1	0.7538	0.8336	0.3253	324.1	0.7987	0.8442	0.3283	320.3
1	0.7482	0.8297	0.3245	324.1	0.7924	0.8400	0.3274	320.4
5	0.7242	0.8133	0.3211	324.2	0.7656	0.8223	0.3237	320.6
10	0.6965	0.7941	0.3172	324.2	0.7346	0.8017	0.3195	320.8
15	0.6708	0.7764	0.3137	324.3	0.7062	0.7827	0.3157	321.0
20	0.6471	0.7599	0.3105	324.2	0.6800	0.7652	0.3122	321.1
25	0.6251	0.7445	0.3076	324.1	0.6557	0.7488	0.3091	321.2
30	0.6046	0.7301	0.3049	324.0	0.6332	0.7336	0.3062	321.2
35	0.5854	0.7166	0.3024	323.8	0.6123	0.7194	0.3035	321.2
40	0.5675	0.7040	0.3002	323.6	0.5927	0.7061	0.3011	321.1
45	0.5507	0.6920	0.2981	323.4	0.5744	0.6936	0.2989	321.0
50	0.5349	0.6808	0.2962	323.1	0.5573	0.6818	0.2969	320.9
55	0.5201	0.6701	0.2945	322.7	0.5412	0.6707	0.2950	320.6
60	0.5060	0.6601	0.2929	322.4	0.5261	0.6601	0.2933	320.4
313.15 K								
0.1	0.8473	0.8551	0.3308	315.9	0.8998	0.8662	0.3327	311.0
1	0.8402	0.8506	0.3298	316.0	0.8918	0.8613	0.3316	311.1
5	0.8101	0.8314	0.3258	316.4	0.8580	0.8406	0.3272	311.6
10	0.7755	0.8093	0.3212	316.8	0.8193	0.8169	0.3223	312.2
15	0.7439	0.7890	0.3171	317.1	0.7841	0.7952	0.3178	312.7
20	0.7149	0.7703	0.3133	317.4	0.7520	0.7752	0.3137	313.1
25	0.6881	0.7530	0.3099	317.6	0.7225	0.7569	0.3101	313.5
30	0.6634	0.7369	0.3068	317.8	0.6953	0.7399	0.3068	313.8
35	0.6405	0.7219	0.3040	317.9	0.6702	0.7241	0.3038	314.1
40	0.6192	0.7079	0.3014	318.0	0.6469	0.7093	0.3011	314.3
45	0.5993	0.6947	0.2991	318.0	0.6253	0.6956	0.2986	314.5
50	0.5807	0.6824	0.2969	318.0	0.6051	0.6827	0.2963	314.6
55	0.5633	0.6708	0.2949	317.9	0.5863	0.6706	0.2943	314.6
60	0.5469	0.6599	0.2932	317.8	0.5686	0.6592	0.2924	314.7
333.15 K								
0.1	0.9567	0.8775	0.3340	305.5	1.0184	0.8891	0.3349	299.5
1	0.9477	0.8722	0.3328	305.6	1.0082	0.8834	0.3336	299.7
5	0.9096	0.8499	0.3281	306.3	0.9652	0.8593	0.3280	300.5
10	0.8663	0.8244	0.3227	307.0	0.9166	0.8319	0.3218	301.4
15	0.8271	0.8012	0.3179	307.7	0.8728	0.8071	0.3164	302.3
20	0.7914	0.7800	0.3136	308.3	0.8332	0.7846	0.3115	303.1
343.15								

25	0.7588	0.7605	0.3097	308.9	0.7973	0.7640	0.3072	303.8
30	0.7290	0.7426	0.3062	309.4	0.7644	0.7450	0.3033	304.5
35	0.7014	0.7259	0.3030	309.8	0.7342	0.7276	0.2999	305.0
40	0.6760	0.7105	0.3001	310.1	0.7065	0.7114	0.2968	305.5
45	0.6525	0.6961	0.2975	310.4	0.6808	0.6964	0.2939	306.0
50	0.6306	0.6827	0.2951	310.7	0.6571	0.6824	0.2914	306.4
55	0.6102	0.6701	0.2930	310.9	0.6350	0.6693	0.2891	306.7
60	0.5911	0.6583	0.2910	311.0	0.6144	0.6571	0.2871	307.0
353.15 K								
0.1	1.0853	0.9010	0.3349	293.1	1.1578	0.9131	0.3349	286.3
1	1.0737	0.8948	0.3336	293.3	1.1446	0.9064	0.3336	286.6
5	1.0251	0.8688	0.3280	294.3	1.0895	0.8783	0.3280	287.8
10	0.9704	0.8394	0.3218	295.5	1.0280	0.8468	0.3218	289.1
15	0.9216	0.8129	0.3164	296.5	0.9734	0.8186	0.3164	290.4
20	0.8776	0.7890	0.3115	297.5	0.9245	0.7932	0.3115	291.6
25	0.8378	0.7672	0.3072	298.4	0.8805	0.7702	0.3072	292.7
30	0.8016	0.7472	0.3033	299.2	0.8407	0.7493	0.3033	293.7
35	0.7686	0.7289	0.2999	299.9	0.8045	0.7301	0.2999	294.6
40	0.7383	0.7121	0.2968	300.6	0.7714	0.7125	0.2968	295.4
45	0.7104	0.6964	0.2939	301.2	0.7411	0.6963	0.2939	296.2
50	0.6846	0.6819	0.2914	301.7	0.7131	0.6812	0.2914	296.9
55	0.6607	0.6683	0.2891	302.2	0.6873	0.6672	0.2891	297.5
60	0.6385	0.6557	0.2871	302.6	0.6634	0.6542	0.2871	298.1
373.15 K								
0.1	1.2364	0.9256	0.3349	279.2				
1	1.2214	0.9183	0.3336	279.6	1.3940	0.9428	0.3294	264.9
5	1.1589	0.8880	0.3280	280.9	1.3132	0.9078	0.3225	266.8
10	1.0896	0.8542	0.3218	282.6	1.2250	0.8692	0.3150	269.0
15	1.0284	0.8242	0.3164	284.1	1.1484	0.8355	0.3086	271.0
20	0.9741	0.7974	0.3115	285.5	1.0812	0.8057	0.3031	273.0
25	0.9254	0.7732	0.3072	286.8	1.0218	0.7791	0.2983	274.8
30	0.8816	0.7512	0.3033	288.0	0.9688	0.7553	0.2942	276.5
35	0.8420	0.7313	0.2999	289.1	0.9213	0.7337	0.2905	278.1
40	0.8059	0.7129	0.2968	290.1	0.8784	0.7141	0.2873	279.6
45	0.7729	0.6961	0.2939	291.1	0.8396	0.6962	0.2845	281.0
50	0.7426	0.6805	0.2914	292.0	0.8042	0.6798	0.2821	282.4
55	0.7147	0.6661	0.2891	292.8	0.7718	0.6647	0.2799	283.6
60	0.6890	0.6527	0.2871	293.5	0.7420	0.6506	0.2780	284.7
413.15 K								
1	1.5944	0.9684	0.3255	250.0				
5	1.4896	0.9283	0.3183	252.5				
10	1.3772	0.8849	0.3106	255.5				
15	1.2813	0.8475	0.3042	258.3				
20	1.1985	0.8150	0.2988	260.9				

25	1.1261	0.7863	0.2943	263.5
30	1.0624	0.7608	0.2904	265.9
35	1.0058	0.7380	0.2871	268.1
40	0.9551	0.7174	0.2843	270.3
45	0.9096	0.6987	0.2818	272.4
50	0.8684	0.6817	0.2797	274.3
55	0.8310	0.6660	0.2780	276.1
60	0.7968	0.6516	0.2765	277.9

Tabela 72. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED80SME10SEE10

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
0.1	0.7433	0.8341	0.3282	328.9	0.7876	0.8441	0.3308	324.8
1	0.7379	0.8303	0.3274	328.9	0.7815	0.8400	0.3299	324.8
5	0.7147	0.8141	0.3239	328.9	0.7556	0.8224	0.3261	325.0
10	0.6879	0.7951	0.3199	328.8	0.7257	0.8021	0.3217	325.1
15	0.6631	0.7775	0.3163	328.7	0.6982	0.7833	0.3178	325.1
20	0.6401	0.7611	0.3130	328.6	0.6727	0.7658	0.3142	325.1
25	0.6187	0.7458	0.3099	328.4	0.6492	0.7496	0.3109	325.0
30	0.5988	0.7315	0.3071	328.1	0.6273	0.7344	0.3079	324.9
35	0.5801	0.7180	0.3045	327.8	0.6069	0.7203	0.3051	324.8
40	0.5627	0.7054	0.3021	327.5	0.5878	0.7070	0.3026	324.6
45	0.5463	0.6935	0.2999	327.1	0.5700	0.6945	0.3002	324.4
50	0.5309	0.6822	0.2979	326.7	0.5532	0.6827	0.2981	324.1
55	0.5163	0.6716	0.2960	326.3	0.5375	0.6716	0.2961	323.8
60	0.5026	0.6615	0.2943	325.8	0.5227	0.6610	0.2943	323.4
		313.15 K			323.15 K			
0.1	0.8355	0.8543	0.3327	320.1	0.8873	0.8646	0.3341	314.8
1	0.8286	0.8498	0.3317	320.2	0.8796	0.8598	0.3330	314.9
5	0.7996	0.8309	0.3276	320.4	0.8469	0.8395	0.3285	315.3
10	0.7662	0.8091	0.3229	320.7	0.8095	0.8160	0.3234	315.7
15	0.7356	0.7890	0.3186	320.9	0.7754	0.7945	0.3188	316.1
20	0.7074	0.7704	0.3148	321.0	0.7442	0.7748	0.3147	316.4
25	0.6814	0.7532	0.3112	321.1	0.7155	0.7566	0.3109	316.7
30	0.6574	0.7372	0.3080	321.2	0.6891	0.7396	0.3075	316.9
35	0.6350	0.7222	0.3050	321.2	0.6646	0.7239	0.3044	317.0
40	0.6142	0.7083	0.3023	321.1	0.6419	0.7093	0.3015	317.1
45	0.5948	0.6952	0.2999	321.0	0.6208	0.6956	0.2989	317.1
50	0.5766	0.6828	0.2976	320.8	0.6010	0.6827	0.2965	317.1
55	0.5596	0.6712	0.2955	320.6	0.5826	0.6706	0.2943	317.0
60	0.5436	0.6603	0.2936	320.4	0.5653	0.6592	0.2923	316.9
		333.15 K			343.15			
0.1	0.9433	0.8753	0.3349	309.0	1.0039	0.8861	0.3351	302.8
1	0.9346	0.8701	0.3337	309.2	0.9940	0.8805	0.3339	303.0
5	0.8978	0.8481	0.3289	309.7	0.9525	0.8568	0.3287	303.7
10	0.8559	0.8229	0.3234	310.3	0.9055	0.8298	0.3228	304.5
15	0.8179	0.8000	0.3185	310.9	0.8631	0.8054	0.3176	305.2
20	0.7833	0.7790	0.3141	311.3	0.8247	0.7831	0.3129	305.8

25	0.7516	0.7597	0.3101	311.7	0.7897	0.7627	0.3087	306.4
30	0.7225	0.7419	0.3064	312.1	0.7577	0.7439	0.3049	306.9
35	0.6957	0.7254	0.3032	312.4	0.7283	0.7266	0.3015	307.4
40	0.6709	0.7100	0.3002	312.6	0.7012	0.7105	0.2984	307.7
45	0.6479	0.6957	0.2974	312.7	0.6761	0.6956	0.2955	308.0
50	0.6264	0.6823	0.2950	312.9	0.6529	0.6817	0.2930	308.3
55	0.6065	0.6697	0.2927	312.9	0.6312	0.6687	0.2906	308.5
60	0.5878	0.6579	0.2906	312.9	0.6111	0.6564	0.2885	308.6
353.15 K								
0.1	1.0694	0.8972	0.3349	296.2	1.1403	0.9085	0.3342	289.2
1	1.0582	0.8911	0.3335	296.4	1.1276	0.9020	0.3327	289.5
5	1.0114	0.8656	0.3280	297.3	1.0745	0.8745	0.3268	290.6
10	0.9585	0.8367	0.3217	298.3	1.0151	0.8436	0.3203	291.8
15	0.9112	0.8107	0.3162	299.2	0.9622	0.8159	0.3145	292.9
20	0.8685	0.7871	0.3113	300.0	0.9148	0.7909	0.3094	294.0
25	0.8298	0.7655	0.3069	300.8	0.8720	0.7683	0.3048	294.9
30	0.7946	0.7458	0.3030	301.5	0.8333	0.7476	0.3008	295.8
35	0.7624	0.7277	0.2994	302.1	0.7980	0.7286	0.2971	296.6
40	0.7328	0.7109	0.2962	302.6	0.7657	0.7112	0.2938	297.3
45	0.7055	0.6954	0.2933	303.1	0.7360	0.6951	0.2909	298.0
50	0.6803	0.6809	0.2907	303.5	0.7086	0.6801	0.2882	298.5
55	0.6569	0.6674	0.2883	303.8	0.6834	0.6662	0.2859	299.1
60	0.6351	0.6548	0.2861	304.1	0.6599	0.6532	0.2837	299.5
373.15 K								
0.1	1.2169	0.9201	0.3332	282.1				
1	1.2024	0.9131	0.3315	282.4	1.3698	0.9359	0.3282	267.6
5	1.1423	0.8835	0.3253	283.6	1.2923	0.9020	0.3214	269.4
10	1.0754	0.8505	0.3184	285.1	1.2074	0.8647	0.3142	271.5
15	1.0163	0.8211	0.3124	286.5	1.1335	0.8319	0.3079	273.5
20	0.9636	0.7948	0.3071	287.8	1.0685	0.8028	0.3026	275.4
25	0.9163	0.7710	0.3025	289.0	1.0109	0.7768	0.2979	277.1
30	0.8737	0.7494	0.2983	290.1	0.9594	0.7535	0.2938	278.8
35	0.8350	0.7296	0.2947	291.1	0.9131	0.7324	0.2902	280.3
40	0.7998	0.7116	0.2914	292.0	0.8713	0.7131	0.2871	281.8
45	0.7675	0.6949	0.2884	292.8	0.8334	0.6955	0.2843	283.1
50	0.7379	0.6795	0.2858	293.6	0.7987	0.6793	0.2818	284.4
55	0.7106	0.6652	0.2834	294.3	0.7670	0.6644	0.2797	285.5
60	0.6853	0.6518	0.2813	294.9	0.7378	0.6505	0.2778	286.6
413.15 K								
1	1.5621	0.9598	0.3241	252.8				
5	1.4621	0.9214	0.3173	255.4				
10	1.3546	0.8798	0.3101	258.3				
15	1.2624	0.8438	0.3041	261.1				
20	1.1825	0.8123	0.2990	263.8				

25	1.1125	0.7846	0.2947	266.4
30	1.0507	0.7598	0.2910	268.8
35	0.9957	0.7376	0.2879	271.0
40	0.9465	0.7176	0.2852	273.2
45	0.9021	0.6993	0.2830	275.3
50	0.8618	0.6827	0.2810	277.3
55	0.8252	0.6674	0.2794	279.1
60	0.7917	0.6533	0.2780	280.9

Tabela 73. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED85SME10EtOH5

p / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	p_{int} / MPa	κ_T / GPa ⁻¹	α_p / 10 ⁻³ K ⁻¹	c_p-c_v / kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	p_{int} / MPa
293.15 K								
0.1	0.7715	0.8670	0.3447	329.3	0.8191	0.8822	0.3507	326.4
1	0.7657	0.8629	0.3438	329.3	0.8126	0.8778	0.3497	326.5
5	0.7412	0.8455	0.3400	329.4	0.7851	0.8589	0.3455	326.7
10	0.7128	0.8252	0.3356	329.4	0.7533	0.8371	0.3407	326.9
15	0.6866	0.8064	0.3315	329.3	0.7241	0.8169	0.3363	327.0
20	0.6623	0.7890	0.3278	329.2	0.6971	0.7982	0.3323	327.1
25	0.6398	0.7727	0.3245	329.1	0.6722	0.7808	0.3286	327.1
30	0.6188	0.7575	0.3214	328.8	0.6491	0.7647	0.3253	327.1
35	0.5992	0.7432	0.3185	328.6	0.6276	0.7495	0.3222	327.0
40	0.5809	0.7298	0.3159	328.3	0.6076	0.7354	0.3194	326.9
45	0.5637	0.7172	0.3134	328.0	0.5888	0.7221	0.3168	326.7
50	0.5475	0.7053	0.3112	327.6	0.5713	0.7095	0.3144	326.5
55	0.5323	0.6940	0.3091	327.2	0.5548	0.6977	0.3122	326.3
60	0.5180	0.6833	0.3072	326.7	0.5392	0.6866	0.3102	326.0
313.15 K								
0.1	0.8709	0.8979	0.3561	322.8	0.9273	0.9139	0.3608	318.4
1	0.8636	0.8931	0.3550	322.8	0.9190	0.9086	0.3596	318.5
5	0.8325	0.8726	0.3504	323.2	0.8839	0.8864	0.3545	319.0
10	0.7969	0.8489	0.3451	323.6	0.8439	0.8609	0.3488	319.7
15	0.7643	0.8272	0.3403	324.0	0.8074	0.8375	0.3436	320.2
20	0.7344	0.8072	0.3360	324.2	0.7741	0.8161	0.3389	320.7
25	0.7068	0.7887	0.3320	324.4	0.7436	0.7963	0.3346	321.1
30	0.6813	0.7715	0.3284	324.6	0.7155	0.7781	0.3308	321.4
35	0.6577	0.7555	0.3251	324.7	0.6896	0.7611	0.3273	321.7
40	0.6358	0.7405	0.3221	324.8	0.6655	0.7453	0.3241	321.9
45	0.6153	0.7265	0.3194	324.8	0.6432	0.7306	0.3212	322.1
50	0.5962	0.7134	0.3168	324.7	0.6223	0.7168	0.3185	322.2
55	0.5783	0.7010	0.3145	324.6	0.6029	0.7038	0.3160	322.2
60	0.5615	0.6893	0.3124	324.5	0.5847	0.6916	0.3138	322.2
333.15 K								
0.1	0.9888	0.9303	0.3648	313.3	1.0560	0.9471	0.3682	307.7
1	0.9794	0.9246	0.3635	313.5	1.0453	0.9409	0.3667	307.9
5	0.9397	0.9004	0.3579	314.2	1.0001	0.9146	0.3606	308.8
10	0.8945	0.8728	0.3517	315.0	0.9492	0.8847	0.3539	309.8
15	0.8537	0.8477	0.3461	315.8	0.9034	0.8576	0.3478	310.8
20	0.8166	0.8247	0.3410	316.5	0.8620	0.8331	0.3424	311.6
343.15								

25	0.7828	0.8037	0.3365	317.0	0.8244	0.8107	0.3375	312.4
30	0.7517	0.7843	0.3324	317.6	0.7901	0.7901	0.3332	313.1
35	0.7232	0.7663	0.3286	318.0	0.7587	0.7711	0.3292	313.8
40	0.6968	0.7497	0.3252	318.4	0.7298	0.7536	0.3256	314.3
45	0.6724	0.7341	0.3221	318.7	0.7031	0.7373	0.3224	314.8
50	0.6497	0.7197	0.3193	319.0	0.6784	0.7221	0.3194	315.3
55	0.6286	0.7061	0.3167	319.2	0.6554	0.7079	0.3168	315.6
60	0.6089	0.6934	0.3144	319.4	0.6341	0.6947	0.3143	316.0
353.15 K								
1	1.1172	0.9576	0.3692	301.7	1.1958	0.9747	0.3710	295.0
5	1.0658	0.9289	0.3626	302.8	1.1371	0.9434	0.3639	296.3
10	1.0081	0.8965	0.3553	304.1	1.0718	0.9084	0.3560	297.8
15	0.9567	0.8675	0.3488	305.2	1.0138	0.8771	0.3491	299.2
20	0.9104	0.8412	0.3430	306.3	0.9621	0.8490	0.3430	300.5
25	0.8687	0.8173	0.3379	307.3	0.9156	0.8237	0.3375	301.7
30	0.8307	0.7955	0.3333	308.2	0.8736	0.8006	0.3327	302.8
35	0.7961	0.7755	0.3291	309.0	0.8355	0.7795	0.3283	303.8
40	0.7644	0.7570	0.3253	309.7	0.8007	0.7601	0.3244	304.7
45	0.7352	0.7399	0.3220	310.4	0.7689	0.7422	0.3209	305.6
50	0.7083	0.7241	0.3189	311.0	0.7395	0.7256	0.3177	306.3
55	0.6834	0.7093	0.3161	311.5	0.7125	0.7103	0.3149	307.0
60	0.6603	0.6955	0.3136	312.0	0.6874	0.6959	0.3123	307.6
373.15 K								
1	1.2818	0.9922	0.3722	287.8	1.4788	1.0285	0.3727	272.4
5	1.2146	0.9581	0.3645	289.3	1.3901	0.9880	0.3639	274.4
10	1.1404	0.9202	0.3560	291.1	1.2938	0.9437	0.3544	276.8
15	1.0751	0.8866	0.3487	292.7	1.2106	0.9051	0.3462	279.0
20	1.0171	0.8566	0.3422	294.3	1.1378	0.8711	0.3392	281.0
25	0.9654	0.8297	0.3365	295.7	1.0737	0.8409	0.3330	282.9
30	0.9189	0.8053	0.3314	297.0	1.0167	0.8139	0.3277	284.7
35	0.8769	0.7831	0.3269	298.2	0.9658	0.7895	0.3230	286.4
40	0.8388	0.7627	0.3229	299.3	0.9199	0.7674	0.3188	288.0
45	0.8040	0.7441	0.3193	300.4	0.8784	0.7472	0.3151	289.4
50	0.7721	0.7269	0.3160	301.3	0.8407	0.7287	0.3118	290.8
55	0.7427	0.7109	0.3131	302.2	0.8062	0.7117	0.3089	292.0
60	0.7156	0.6961	0.3105	303.0	0.7746	0.6959	0.3063	293.2
413.15 K								
1	1.7143	1.0666	0.3711	256.1				
5	1.5963	1.0188	0.3613	258.7				
10	1.4708	0.9674	0.3509	261.8				
15	1.3644	0.9235	0.3423	264.6				
20	1.2730	0.8854	0.3350	267.4				
25	1.1936	0.8520	0.3287	269.9				
30	1.1239	0.8224	0.3233	272.3				

35	1.0623	0.7960	0.3187	274.6
40	1.0074	0.7723	0.3146	276.7
45	0.9581	0.7508	0.3111	278.7
50	0.9137	0.7312	0.3080	280.6
55	0.8734	0.7133	0.3053	282.4
60	0.8367	0.6968	0.3030	284.1

Tabela 74. Izračunata izvedena volumetrijska svojstva za ED80SME10EtOH10

p / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa	$\kappa_T / \text{GPa}^{-1}$	$\alpha_p / 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$c_p - c_v / \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	p_{int} / MPa
293.15 K								
0.1	0.7877	0.8721	0.3424	324.4	0.8369	0.8935	0.8369	323.6
1	0.7818	0.8679	0.7818	324.4	0.8302	0.8889	0.8302	323.6
5	0.7566	0.8499	0.7566	324.3	0.8018	0.8694	0.8018	323.7
10	0.7273	0.8291	0.7273	324.1	0.7691	0.8468	0.7691	323.8
15	0.7004	0.8097	0.7004	323.9	0.7390	0.8259	0.7390	323.8
20	0.6755	0.7918	0.6755	323.6	0.7113	0.8067	0.7113	323.8
25	0.6523	0.7750	0.6523	323.3	0.6857	0.7887	0.6857	323.7
30	0.6308	0.7594	0.6308	322.9	0.6620	0.7721	0.6620	323.5
35	0.6107	0.7448	0.6107	322.5	0.6400	0.7565	0.6400	323.3
40	0.5919	0.7310	0.5919	322.0	0.6194	0.7419	0.6194	323.1
45	0.5743	0.7180	0.5743	321.5	0.6002	0.7282	0.6002	322.8
50	0.5578	0.7058	0.5578	321.0	0.5821	0.7153	0.5821	322.5
55	0.5422	0.6943	0.5422	320.4	0.5652	0.7031	0.5652	322.1
60	0.5275	0.6833	0.5275	319.8	0.5493	0.6916	0.5493	321.7
313.15 K								
0.1	0.8906	0.9155	0.8906	321.8	0.9495	0.9381	0.9495	319.2
1	0.8831	0.9105	0.8831	321.9	0.9409	0.9326	0.9409	319.3
5	0.8510	0.8892	0.8510	322.2	0.9046	0.9093	0.9046	319.9
10	0.8142	0.8647	0.8142	322.6	0.8631	0.8827	0.8631	320.5
15	0.7806	0.8422	0.7806	322.8	0.8255	0.8583	0.8255	321.0
20	0.7498	0.8214	0.7498	323.0	0.7912	0.8360	0.7912	321.5
25	0.7215	0.8022	0.7215	323.2	0.7597	0.8154	0.7597	321.8
30	0.6953	0.7844	0.6953	323.3	0.7308	0.7964	0.7308	322.2
35	0.6710	0.7678	0.6710	323.3	0.7040	0.7787	0.7040	322.4
40	0.6485	0.7523	0.6485	323.3	0.6793	0.7623	0.6793	322.6
45	0.6275	0.7378	0.6275	323.2	0.6563	0.7470	0.6563	322.8
50	0.6078	0.7242	0.6078	323.1	0.6349	0.7326	0.6349	322.9
55	0.5895	0.7114	0.5895	322.9	0.6150	0.7192	0.6150	322.9
60	0.5722	0.6994	0.5722	322.7	0.5963	0.7065	0.5963	322.9
333.15 K								
0.1	1.0140	0.9613	1.0140	315.7	1.0850	0.9851	1.0850	311.4
1	1.0042	0.9552	1.0042	315.9	1.0738	0.9784	1.0738	311.7
5	0.9630	0.9298	0.9630	316.7	1.0268	0.9505	1.0268	312.6
10	0.9162	0.9007	0.9162	317.5	0.9738	0.9189	0.9738	313.8
15	0.8739	0.8744	0.8739	318.3	0.9262	0.8903	0.9262	314.8
20	0.8356	0.8503	0.8356	319.0	0.8833	0.8643	0.8833	315.8
343.15								

25	0.8006	0.8282	0.8006	319.7	0.8444	0.8407	0.8444	316.7
30	0.7686	0.8079	0.7686	320.2	0.8089	0.8190	0.8089	317.4
35	0.7391	0.7892	0.7391	320.7	0.7764	0.7990	0.7764	318.2
40	0.7119	0.7717	0.7119	321.1	0.7465	0.7805	0.7465	318.8
45	0.6868	0.7555	0.6868	321.5	0.7190	0.7634	0.7190	319.4
50	0.6635	0.7404	0.6635	321.8	0.6935	0.7475	0.6935	319.9
55	0.6417	0.7262	0.6417	322.0	0.6698	0.7326	0.6698	320.3
60	0.6214	0.7129	0.6214	322.2	0.6478	0.7186	0.6478	320.7
353.15 K								
1	1.1505	1.0022	1.1505	306.6	1.2351	1.0266	1.2351	300.9
5	1.0967	0.9715	1.0967	307.8	1.1733	0.9929	1.1733	302.3
10	1.0365	0.9370	1.0365	309.3	1.1047	0.9551	1.1047	304.0
15	0.9828	0.9060	0.9828	310.6	1.0440	0.9214	1.0440	305.5
20	0.9347	0.8780	0.9347	311.8	0.9899	0.8913	0.9899	307.0
25	0.8912	0.8526	0.8912	312.9	0.9414	0.8640	0.9414	308.3
30	0.8518	0.8295	0.8518	313.9	0.8976	0.8393	0.8976	309.5
35	0.8159	0.8082	0.8159	314.8	0.8579	0.8167	0.8579	310.7
40	0.7831	0.7886	0.7831	315.7	0.8217	0.7959	0.8217	311.7
45	0.7529	0.7705	0.7529	316.4	0.7887	0.7768	0.7887	312.7
50	0.7251	0.7537	0.7251	317.1	0.7582	0.7592	0.7582	313.6
55	0.6993	0.7381	0.6993	317.7	0.7302	0.7428	0.7302	314.4
60	0.6754	0.7235	0.6754	318.3	0.7043	0.7275	0.7043	315.1
373.15 K								
1	1.3287	1.0517	1.3287	294.4	1.5478	1.1040	1.5478	279.4
5	1.2575	1.0144	1.2575	296.0	1.4521	1.0583	1.4521	281.5
10	1.1790	0.9731	1.1790	298.0	1.3486	1.0086	1.3486	284.0
15	1.1102	0.9365	1.1102	299.8	1.2594	0.9654	1.2594	286.4
20	1.0493	0.9040	1.0493	301.5	1.1819	0.9275	1.1819	288.5
25	0.9950	0.8747	0.9950	303.0	1.1137	0.8940	1.1137	290.6
30	0.9463	0.8483	0.9463	304.5	1.0534	0.8640	1.0534	292.5
35	0.9024	0.8243	0.9024	305.9	0.9995	0.8370	0.9995	294.2
40	0.8626	0.8024	0.8626	307.1	0.9511	0.8125	0.9511	295.9
45	0.8263	0.7823	0.8263	308.3	0.9075	0.7903	0.9075	297.4
50	0.7931	0.7637	0.7931	309.3	0.8678	0.7699	0.8678	298.8
55	0.7626	0.7466	0.7626	310.3	0.8316	0.7511	0.8316	300.1
60	0.7344	0.7306	0.7344	311.2	0.7985	0.7338	0.7985	301.3
413.15 K								
1	1.8196	1.1592	1.8196	262.2				
5	1.6888	1.1030	1.6888	264.8				
10	1.5506	1.0431	1.5506	267.9				
15	1.4343	0.9921	1.4343	270.8				
20	1.3349	0.9481	1.3349	273.4				
25	1.2490	0.9097	1.2490	275.9				
30	1.1739	0.8758	1.1739	278.2				

35	1.1078	0.8457	1.1078	280.4
40	1.0491	0.8187	1.0491	282.4
45	0.9965	0.7942	0.9965	284.3
50	0.9493	0.7720	0.9493	286.0
55	0.9065	0.7518	0.9065	287.6
60	0.8676	0.7331	0.8676	289.1

Tabela 75. Izvedene termodinamičke veličine za binarne smješe biodizela sa EuroDizelom i etanolom na atmosferskom pritisku

	ED85SME10EtOH5				ED80SME10EtOH10			
	$\kappa_S / \text{TPa}^{-1}$	$c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$c_V / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$L_f / 10^{11} \text{m}$	$\kappa_S / \text{TPa}^{-1}$	$c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$c_V / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$L_f / 10^{11} \text{m}$
288.15	636.2074			5.093	654.7364			5.167
293.15	657.0666	2.3223	1.9779	5.224	676.5644	2.4266	2.0842	5.301
298.15	678.7377	2.3798	2.0322	5.359	699.2581	2.5095	2.1602	5.439
303.15	701.2468	2.4355	2.0850	5.496	722.897	2.5920	2.2358	5.581
308.15	724.6379	2.4893	2.1361	5.638	747.4663	2.6723	2.3092	5.726
313.15	748.9353	2.5406	2.1848	5.783	773.067	2.7510	2.3811	5.875
318.15	774.2211	2.5898	2.2316	5.932	799.7523	2.8278	2.4511	6.029
323.15	800.5612	2.6372	2.2768	6.085	827.6257	2.9031	2.5201	6.187
328.15	828.0068	2.6826	2.3200		856.8398	2.9787	2.5891	
333.15	856.6184	2.7258	2.3613		886.8459	3.0395	2.6433	

BIOGRAFIJA

Gorica R. Ivaniš, master inž. tehnologije, rođena je 22.10.1986. godine u Trebinju, Bosna i Hercegovina. Završila je osnovnu školu i opštu gimnaziju u Gacku, Bosna i Hercegovina.

Osnovne studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu započela je 2005/2006. školske godine, a završila 2009. godine sa prosečnom ocenom 9,19 na odseku za Hemijsko inženjerstvo. Završni rad pod nazivom "Energetska integracija i optimizacija rada reaktora" odbranila je sa ocenom 10 kod mentora prof. dr Mirjane Kijevčanin. Master studije je upisala 2009/2010. školske godine na istom odseku, a završila 2010. godine sa prosečnom ocenom 10, sa kojom je odbranila i master rad pod nazivom "Energetska analiza i integracija procesa u prehrambenoj industriji" pod rukovodstvom prof. dr Mirjane Kijevčanin. Dobitnik je Diplome fonda Panta S. Tutundžić za izuzetan uspeh na studijama, a takođe je bila i stipendista Ministarstva prosvete Republike Srbije na master studijama.

Školske 2010/2011. upisala je doktorske studije na matičnom fakultetu, na studijskom programu Hemijsko inženjerstvo. Položila je sve predviđene ispite na doktorskim studijama, kao i završni ispit, sa prosečnom ocenom 10.

Početkom 2014. godine pohađala je kurs "Promotion and Dissemination of Biomass Utilization Technology" u Japanu.

Od februara 2011. godine zaposlena je na Tehnološko-metalurškom fakultetu, prvo u zvanju istraživač pripravnik, a od aprila 2013. godine u zvanju istraživač saradnik na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije ON172063 pod nazivom "Novi industrijski i ekološki aspekti primene hemijske termodinamike na unapređenje hemijskih procesa sa višefaznim i višekomponentnim sistemima", kojim rukovodi prof. dr Mirjana Kijevčanin. U zvanje istraživača saradnika je ponovo izabrana u januaru 2016. godine.

Od školske 2011/2012. godine bila je angažovana u izvođenju računskih vežbi iz predmeta Programiranje.

Gorica R. Ivaniš je koautor većeg broja naučnih radova objavljenih u časopisima međunarodnog značaja i prezentovanih na konferencijama, kao i 1 tehničkog rešenja.

Aktivno koristi engleski jezik. Član je Srpskog hemijskog društva.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Горица Иваниш

број индекса 4073/2010

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Термодинамичка и транспортна својства биодизела и њихових смјеша са

дизел горивом на високим притисцима

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Горица Иваниш

Број индекса 4073/2010

Студијски програм Хемијско инжењерство

Наслов рада Термодинамичка и транспортна својства биодизела и
њихових смјеша са дизел горивом на високим притисцима

Ментор Др Мирјана Кијевчанин, редовни професор

Потписани/а Горица Иваниш

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Термодинамичка и транспортна својства биодизела и
њихових смјеша са дизел горивом на високим притисцима

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, _____

1. Ауторство - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.