

## Određivanje veze između koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti

U ovom istraživanju određivana je veza između koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti tečnosti. Merena je viskoznost i površinski napon vode i različitih koncentracija rastvora saharoze, kuhinjske soli, glicerina i acetona u vodi. Za sve ispitivane rastvore koeficijent površinskog napona je eksponencijalna funkcija recipročne vrednosti koeficijenta viskoznosti. S obzirom na raznolikost uzoraka može se smatrati da je dobijena zavisnost univerzalna osobina ovih fluida.

### Uvod

Koeficijent viskoznosti karakteriše viskoznu silu koja se javlja u unutrašnjosti tečnosti između dva susedna sloja. Na brži sloj viskozna sila deluje u suprotnom smeru od smera njegove brzine, a na sporiji sloj u smeru brzine. Pojavu viskoznosti eksperimentalno je istraživao Isak Njutn i postavio zakon viskoznosti kojim je određena sila trenja između slojeva tečnosti kao i njen koeficijent. Koeficijent viskoznosti brojno je jednak sili viskoznosti koja deluje na jedinicu površine između dva susedna sloja tečnosti pri jediničnoj vrednosti gradijenta brzine:

$$\eta = \frac{F_v}{S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}}$$

gde je  $F_v$  viskozna sila,  $S$  površina sloja i  $\Delta v/\Delta x$  gradijent brzine (Čaluković 2003). Vrednost koeficijenta viskoznosti zavisi od vrste tečnosti, temperature i koncentracije rastvora.

Sve površinske pojave na tečnostima ukazuju na to da se površina tečnosti ponaša kao zategnuta opna, odnosno da je površina u stanju napona. Molekuli tečnosti koji su u unutrašnjosti, pri povećanju granične površine tečnosti izlaze u površinski sloj. Pri tome oni izvrše rad  $\Delta A$  po jedinici površine  $\Delta S$ . Time se koeficijent površinskog napona definiše kao:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{\Delta S}$$

Posmatrano sa molekularnog aspekta, molekuli u unutrašnjosti tečnosti nalaze se u ravnoteži, jer su sferno simetrično okruženi molekulima iste vrste. Međutim, za molekule na površini tečnosti u sloju  $R = 2r$  (gde je  $r$  poluprečnik molekula) postoji rezultujuća sila koja deluje na njih i teži da ih uvuče u unutrašnjost tečnosti. Rezultujuća sila se javlja zato što je dejstvo sila na površinske molekule nesimetrično. Privlačne sile između molekula tečnosti i molekula pare iznad njene površine su manje. Kako postoji dinamička ravnoteža na površini tečnosti, neki molekuli napuštaju površinu tečnosti i prelaze u paru, a njihovo mesto zauzima isti broj molekula iz unutrašnjosti tečnosti koji ima najveću energiju. U tom procesu u jednom kratkom intervalu na površini tečnosti nastaje šupljina koju ostali molekuli iz površinskog sloja teže da popune, tako da međusobno deluju tangencijalnim silama. Stoga se koeficijent površinskog napona može definisati i kao tangencijalna sila koja zateže ivicu površinskog sloja tečnosti po jedinici dužine ivice:

$$\gamma = \frac{\Delta F}{\Delta l}$$

gde je  $\Delta l$  dužina proizvoljno malog pravolinijskog dela konture, a  $\Delta F$  sila površinskog napona koja deluje na njega (Čaluković 2003). Površinski napon zavisi od temperature i prirode tečnosti.

Mirjana Dimitrievska (1987), Bor, Devete brigade 11/10, učenica 2. razreda Gimnazije "Bora Stanković" u Boru

MENTOR:  
Jelena Grujić, ISP

U ovom istraživanju posmatrana je veza između koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti rastvora različitih koncentracija acetona, saharoze, kuhinjske soli i glicerina na konstantnoj temperaturi. Takođe je prikazana zavisnost koeficijenta površinskog napona i viskoznosti vode na različitim temperaturama.

## Neki modeli veze između koeficijenata viskoznosti i površinskog napona

Murkerije je 1953. godine predložio sledeću vezu ovih veličina (Quiemada *et al.* 2003):

$$\gamma = k \cdot \eta^n \quad (1)$$

gde su  $k$  i  $n$  parametri. Ova teorija nema eksperimentalnu potvrdu.

Andrate je 1947. godine pokazao da koeficijent viskoznosti eksponencijalno zavisi od temperature (Quiemada *et al.* 2003), a kako koeficijent površinskog napona linearno zavisi od temperature, dobijena je sledeća veza:

$$a \cdot \eta = e^{b/\gamma} \quad (2)$$

gde su  $a$  i  $b$  parametri karakteristični za tečnost, koja se takođe ne poklapa sa eksperimentalnim rezultatima.

Pratapi Narsiman su 1962. godine koristeći analogije između gasova i tečnosti objavili sledeću relaciju (Quiemada *et al.* 2003):

$$a \cdot \eta = e^{b \cdot \gamma} \quad (3)$$

gde su  $a$  i  $b$  parametri karakteristični za svaku tečnost. Međutim, oni su pokazali da ova relacija važi samo za tečnosti koje se nalaze na temperaturi između  $0^\circ$  i  $50^\circ$ . Pelofskaj je 1966. godine na osnovu Partapovog i Narsimanovog istraživanja došao do veze koja je bila povoljnija jer je važila za tečnosti na svim temperaturama (Pelofsky 1966, prema: Quiemada *et al.* 2003).

Veza između koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti prikazana je sledećom relacijom:

$$\gamma = A \cdot e^{B/\eta}$$

$$\ln \gamma = \ln A + \frac{B}{\eta}$$

gde je  $\gamma$  koeficijent površinskog napona,  $\eta$  koeficijent viskoznosti, a  $A$  i  $B$  parametri karakteristični za svaku tečnost.

## Materijal i metode

### Određivanje koeficijenta površinskog napona

Koeficijent površinskog napona određivan je metodom otkidanja prstena (Vučić 1979). Aparatura se sastoji iz stalka na kome se nalazi čaša iznad koje je postavljena opruga o koju je okačen prsten. Ovom metodom se prvo određuje koeficijent elastičnosti opruge, a zatim se meri izduženje opruge koje izaziva sila površinskog napona i na osnovu tog izduženja računa se sila površinskog napona. Koeficijent elastičnosti opruge određen je merenjem izduženja opruge za različite mase tereta.

Vrednosti koeficijenta površinskog napona dobijene su relacijom:

$$\gamma = \frac{k \cdot x}{(d_u + d_s) \cdot \pi}$$

gde je  $k$  koeficijent elastičnosti opruge,  $x$  izduženje koje izaziva sila površinskog napona,  $d_u$  unutrašnji prečnik prstena i  $d_s$  spoljašnji prečnik prstena. Greška ovih merenja izračunava se na sledeći način:

$$\Delta \gamma = \gamma \cdot \left( \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta d_s}{d_s} + \frac{\Delta d_u}{d_u} \right)$$

Merenja su vršena za različite koncentracije rastvora saharoze, glicerina, kuhinjske soli i acetona.

### Određivanje koeficijenta viskoznosti

Koeficijent viskoznosti određivan je Ostvaldom metodom kojom se određuje relativna viskoznost tečnosti u odnosu na vodu (Vučić 1979). Aparatura se sastoji iz jedne U-cevi u kojoj se nalazi kapilara na čijem je kraju proširenje.

Koeficijent viskoznosti određen je merenjem vremena za koje tečnost pređe rastojenje između zareza. Odatle se koeficijent viskoznosti dobija sledećom relacijom:

$$\eta = \frac{r \cdot t}{\rho_v \cdot t_v} \cdot \eta_v$$

gde je  $\eta$  traženi koeficijent viskoznosti,  $\rho$  gustina tečnosti,  $t$  vreme za koje tečnost pređe rastojanje

između zareza,  $\rho_v$  gustina vode,  $t_v$  vreme za koje voda pređe rastojanje između zareza,  $\eta_v$  viskoznost vode na temperaturi merenja. Greška ovog izračunavanja određuje se sledećom relacijom:

$$\Delta \eta = \eta \cdot \left( \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta t_v}{t_v} \right)$$

Kao i kod određivanja koeficijenta površinskog napona, merenja su vršena za različite koncentracije rastvora saharoze, glicerina, kuhinjske soli i acetona.

## Rezultati i diskusija

Na graficima A, B, C i D (slika 1) prikazane su zavisnosti logaritma koeficijenta površinskog napona od recipročne vrednosti koeficijenta viskoznosti. Parametri A i B za različite tečnosti dati su u tabeli 1.

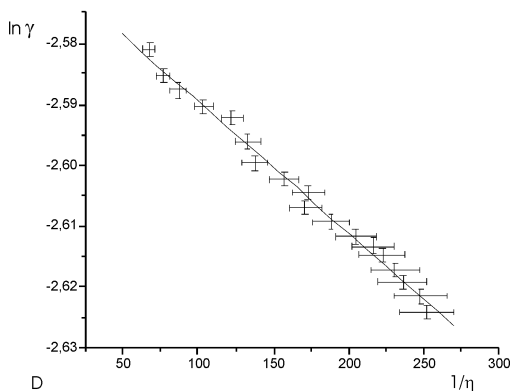
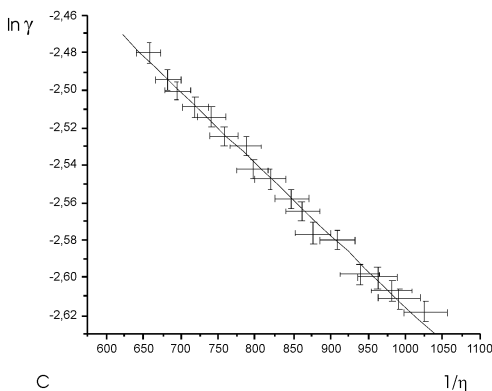
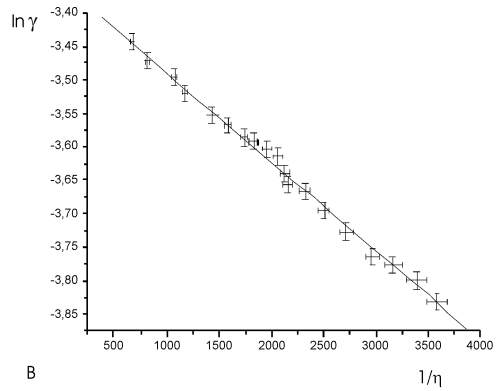
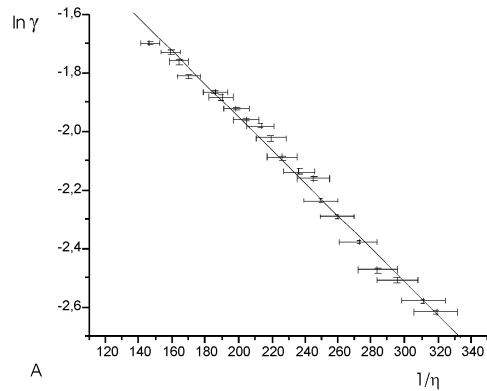
Tabela 1. Vrednosti parametra A i B za ispitivane rastvore

Vrsta tečnosti	$\ln A$	$\Delta(\ln A)$	$B \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{N} \cdot \text{s}} \right]$	$\Delta B \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{N} \cdot \text{s}} \right]$
Aceton	-3.358	0.005	-0.00013	0.000003
Saharozna	-2.568	0.001	-0.00022	0.000005
Voda	-2.548	0.001	-0.000072	0.0000006
NaCl	-2.234	0.007	-0.00038	0.000008
Glicerina	-0.827	0.03	-0.0056	0.0002

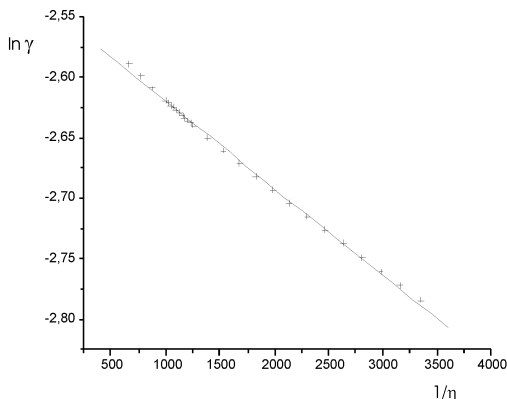
Na grafiku (slika 2) prikazana je zavisnost logaritma koeficijenta površinskog napona od recipročne vrednosti koeficijenta viskoznosti za vrednosti uzete iz tablica (Weast 1986; Dean 1985).

Slika 1. Zavisnost prirodnog logaritma koeficijenta površinskog napona od recipročne vrednosti koeficijenta viskoznosti za: glicerina (A), rastvor acetona (B), rastvor kuhinjske soli (C) i rastvor saharoze (D)

Figure 1. Relation between natural logarithm of the surface tension and the reciprocal viscosity for: glycerin solution (A), acetone solution (B), NaCl solution (C) and saharoze solution (D)



Na osnovu ovog istraživanja dobijena je linearna veza između prirodnog logaritma koeficijenta površinskog napona i recipročne vrednosti koeficijenta viskoznosti, jedino se kod vode mogu primetiti manja odstupanja od linearne zavisnosti. Jedna od mogućnosti zbog koje se javljaju ova odstupanja jeste metoda merenja koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti, jer su intenziteti ovih veličina uzeti iz gotovih tablica, pa je metod njihovog



Slika 2. Zavisnost prirodnog logaritma koeficijenta površinskog napona od recipročne vrednosti koeficijenta viskoznosti vode na različitim temperaturama

Figure 2. Relation between natural logarithm of the surface tension and the reciprocal viscosity for water on different temperatures

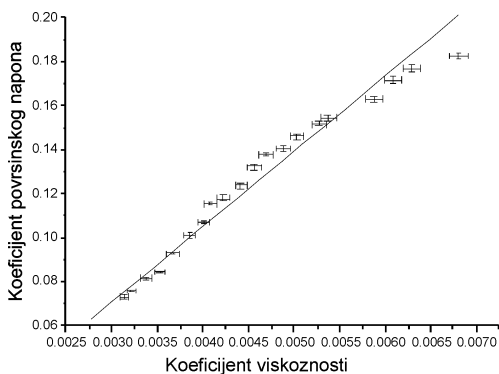
merjenja nepoznat. Međutim, kako su ova odstupanja mala, zavisnost koja se javlja kod vode može se aproksimirati kao linearna. Dobijeni rezultati parametara  $\ln A$  i  $B$  se mogu smatrati pouzdanim jer odstupanja nisu velika (3%). Kako ovi parametri do sada nisu mereni, ne postoje teorijske vrednosti sa kojima bi se mogli uporediti. Na osnovu dobijenih rezultata može se tvrditi da su dobijene vrednosti parametara karakteristične za svaku tečnost i za sada se ne naslućuje nikakva veza među njima. Veza između ovih parametara bi se mogla javiti ako bi se ispitivale slične tečnosti, što u ovom istraživanju nije bio slučaj, budući da je cilj bio da se pokaže da ova veza postoji kod različitih tečnosti i rastvora.

Veze između koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti predstavljene relacijama (1), (2) i (3), za eksperimentalno merene vrednosti rastvora glicerina i teblične vrednosti za vodu, prikazane su grafički.

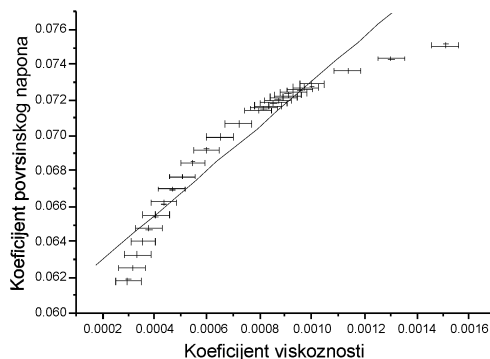
Na graficima sa slika 3, 4 i 5 pokazano je da veze koje su bile promovisane pre Pelofskajove nemaju eksperimentalno poklapanje sa relacijama (1), (2) i (3). Da bi one važile potrebno je da se na graficima dobije linearna zavisnost (jer su sve funkcije pre crtanja grafika linearizovane), što nije bio slučaj ni sa eksperimentalnim vrednostima dobijenim za glicerina, ni sa tabličnim vrednostima za vodu. Jedino je na grafiku 4A (slika 4) koji važi za relaciju (3) dobijena linearna zavisnost, što nije neočekivano jer ova relacija važi za rastvora tečnosti od 0 do 50°C

Slika 3. Zavisnost koeficijenta površinskog napona od koeficijenta viskoznosti glicerina (A) i vode (B)

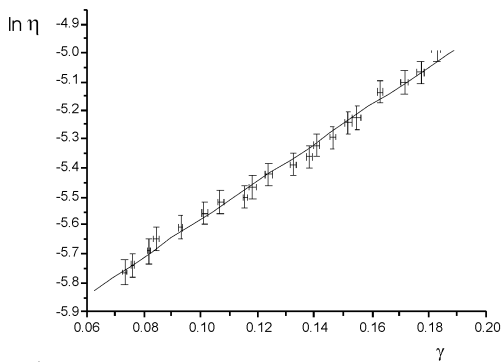
Figure 3. Relation between surface tension and viscosity for glycerin (A) and water (B)



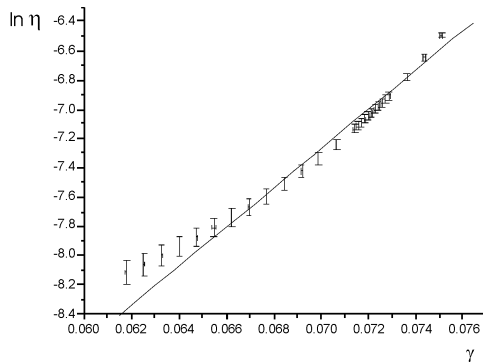
A



B



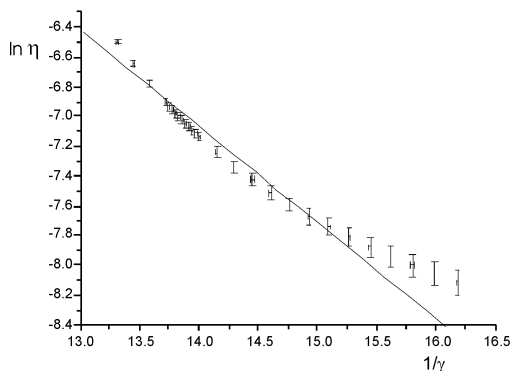
A



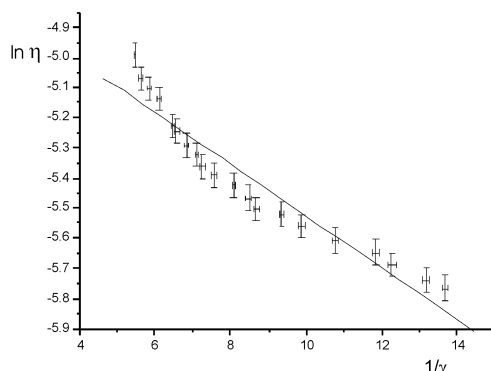
B

Slika 4. Zavisnost logaritma koeficijenta viskoznosti od koeficijenta površinskog napona za glicerin (A) i vodu (B)

Figure 4. Relation between the natural logarithm of viscosity and the surface tension for glycerin (A) and water (B)



A



B

Slika 5. Zavisnost logaritma koeficijenta viskoznosti od recipročne vrednosti koeficijenta površinskog napona za glicerin (A) i vodu (B)

Figure 5. Relation between the natural logarithm of viscosity and the reciprocal surface tension for glycerin (A) and water (B)

(eksperiment vršen na 25°C), međutim na grafiku 4B (slika 4), gde je prikazana zavisnost za vrednosti veličina za vodu na različitim temperaturama, pokazano je da ova relacija ipak ne važi.

Povezivanje ovih veličina nije neočekivano, jer obe veličine zavise od međumolekularnih sila u tečnosti. Pri kretanju fluida javlja se sila unutrašnjeg trenja između slojeva tečnosti (sila viskoznosti). Sila trenja nastaje zbog interakcije među molekulima susjednih slojeva tečnosti. Ovi molekuli interreaguju

takvim silama koje jedan sloj ubrzavaju, a drugi usporavaju. Površinski napon se javlja kao posledica interakcije molekula površinskog sloja tečnosti sa molekulima tečnosti i molekulima vazduha koji se nalaze neposredno iznad površinskog sloja. Kako je u oba slučaja u pitanju interakcija molekula različite vrste, moguće je na ovaj način povezati ove veličine. Naslućivanje veze između ovih veličina nastaje i zbog toga što obe veličine zavise od gustine i temperature tečnosti. Gustina i temperatura utiču na

brzinu kretanja molekula, dužinu slobodnog puta molekula, a samim tim i na njihovu energiju. Pokazano je da koeficijent viskoznosti i koeficijent površinskog napona zavise od energije molekula, tako da bi ovo mogao biti jedan od parametara preko kojih bi se mogle povezati ove veličine. Međutim, da bi se ove karakteristike ispitale potrebno je zaći dublje u strukturu tečnosti i supstanci koje se koriste, za šta nije bilo uslova u ovom istraživanju. Pokazano je i da veza ovih veličina ne zavisi od njihovog intenziteta, jer se za ispitivane tečnosti, kako za one sa velikom viskoznošću ili površinskim naponom, tako i za tečnosti male viskoznosti ili površinskog napona, došlo do istih zaključaka.

## Zaključak

Pri formulaciji svoje zakonitosti Pelofskaj, kao i drugi naučnici koji su se bavili određivanjem veze između koeficijenta viskoznosti i koeficijenta površinskog napona, tvrdili su da je relacija:

$$\ln \gamma = \ln A + \frac{B}{\eta}$$

( $\gamma$  koeficijent površinskog napona,  $\eta$  koeficijent viskoznosti, a  $A$  i  $B$  parametri karakteristični za svaku tečnost) primenjiva na sve ispitane tečnosti. Cilj ovog istraživanja bio je provera te relacije u slučaju različitih rastvora tečnosti. Na osnovu izvršenih merenja zaključeno je da postoji veza između koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti. Dobijeni rezultati parametara  $\ln A$  i  $B$  pokazuju da su ovi parametri karakteristični za svaku tečnost. Kako je ovo pokazano samo empirijski, za potpuno dokazivanje trebalo bi teorijski ispitati povezanost ove dve veličine na osnovu čega bi se moglo tvrditi da li zaista postoji veza između koeficijenta površinskog napona i koeficijenta viskoznosti. Veza između ove dve termodinamičke osobine rastvora može biti od velikog teorijskog značaja, kao putokaz ka boljem razumevanju mikro uticaja na ove makro osobine.

**Zahvalnost.** Zahvaljujem se svom mentoru Jeleni Grujić, koja mi je uvek pomagala u svemu što je bilo potrebno, kao i Petri Stojavljević na pomoći u traženju teorijske zavisnosti, Đorđu Radičeviću na zanimljivim idejama za prezentaciju i hemičarima na obezbeđenoj aparaturi i hemikalijama za eksperi-

ment. Posebnu zahvalnost dugujem svim učesnicima seminara Fizike 1 (Danijeli, Neveni, Uglješi, Vladi, Nenadu, Džodanu...) koji su mi pomogli u izvođenju veoma obimnog eksperimenta.

---

## Literatura

Čaluković N. 2003. *Fizika 2 za drugi razred matematičke gimnazije*. Beograd: Krug

Dean J. A. 1985. *Lange's handbook of chemistry thiteenth edition*. McGraw-Hill

Pelofsky A. H. 1966. *J. Chem. Eng. Data*, **11**: 394-397.

Queimada A. J. Marrucho I. M., Stenby E. H., Coutinho J. A. P. 2003. Generalized relation between surface tension and viscosity: a study on pure and mixed n-alkanes. Symposium on Thermophysical Properties, NIST, Boulder (USA), June 22-27, 2003. Dostupno na <http://www.symp15.nist.gov/pdf/p385.pdf>

Vučić V. 1979. *Osnovna merenja u fizici*. Beograd: Naučna knjiga

Weast R. C. 1986. *CRC Handbook or chemistry and physisc*. Florida: CRC press

---

*Mirjana Dimitrievska*

## Testing Relation Between Surface Tension and Viscosity

According to Pelofsky and other scientists who worked on determinating relation between surface tension and viscosity, the relation  $\ln \gamma = \ln A + \frac{B}{\eta}$  can be applied on all examined liquids. The objective of this work is testing that relation for different solutions. Surface tension was determined with the tearing off ring method. Viscosity was determined with Ostwald's method which determinates the relative viscosity of liquids related to water. It has been concluded that there is a relation between surface tension and viscosity. The results show that these parameters are unique for every fluid. 