

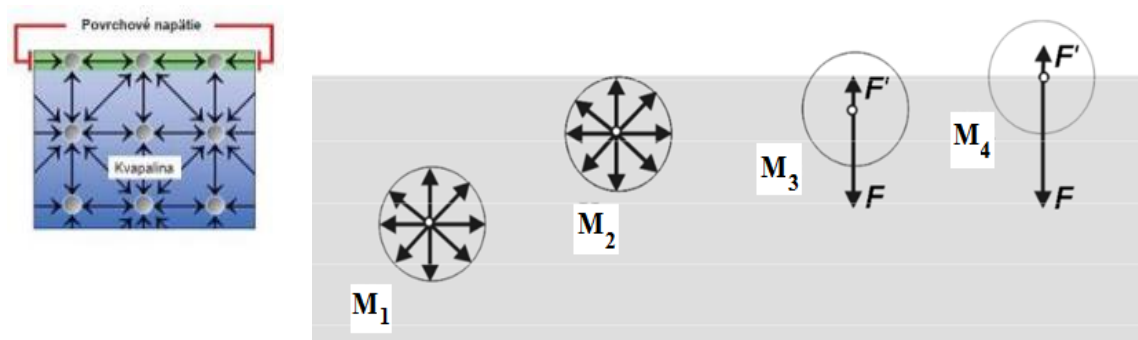
Práca 7 POVRCHOVÉ NAPÄTIE

Úloha 7.1 Stalagmometrické stanovenie povrchového napätia kvapalín metódou váženia kvapiek

Úloha 7.2 Stalagmometrické stanovenie povrchového napätia kvapalín metódou počítania kvapiek

Kvapaliny (kvapalné skupenstvo) tvoria prechod medzi tuhým a plynným skupenstvom. Molekuly kvapalín ako aj molekuly tuhých látok a plynov sú v neustálom pohybe (Brownov pohyb). Nie sú pevne viazané na jedno miesto, môžu sa po sebe klzať. Molekuly kvapalín sa vyznačujú malými vzájomnými vzdialenosťami medzi sebou (rádovo 0,1 nm), na rozdiel od plynov. V najbližšom okolí sú usporiadané pravidelne (obrázok 7.1a). Zväčšovaním vzdialenosti medzi nimi sa pravidelnosť usporiadania znižuje. V dôsledku malých vzdialeností, molekuly kvapalín pôsobia na seba navzájom veľkými príťažlivými silami, ktorých veľkosť sa znižuje zvyšovaním vzdialenosti molekúl. Tieto sily ovplyvňujú vlastnosti kvapaliny, hlavne vlastnosti jej povrchu, ktorý tvorí rozhranie medzi kvapalinou a jej parou, alebo iným plynom.

Molekuly kvapaliny sa pohybujú v celom objeme kvapaliny (obrázok 7.1).



a b

Obrázok 7.1 a - Usporiadanie molekúl v kvapaline a povrchové napätie

prevzaté [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://zona.fmed.uniba.sk/uploads/media/STALAGMOMETRIA.pdf](https://zona.fmed.uniba.sk/uploads/media/STALAGMOMETRIA.pdf)

b - Výslednice príťažlivých síl medzi molekulami v roztoku

Okolo každej molekuly možno myšlienkovy opísať guľu, ktorú nazývame **sférou molekulového pôsobenia**.

- Na molekuly vo vnútri kvapaliny (M_1 a M_2 na obrázku 7.1b), pôsobia rovnako veľké príťažlivé sily molekúl, ktoré obklopujú sledovanú molekulu.

Výslednica príťažlivých síl, ktorými molekuly pôsobia na sledovanú molekulu, sa rovná nule.

- Výslednica síl pôsobiacich na molekulu nachádzajúcu sa v povrchovej vrstve kvapaliny (M_3 a M_4 na obrázku 7.1b) smeruje kolmo do kvapaliny, pretože príťažlivé sily medzi molekulami plynu a kvapaliny sú zanedbateľné. Týmto je vyvolaná snaha kvapalín mať čo najmenší povrch pri danom objeme, teda tvar gule, lebo guľa má zo všetkých geometrických telies najmenší povrch.

Existencia fázového rozhrania (napr. kvapalina - plyn) a jeho mechanických vlastností podmieňuje fungovanie biofyzikálne významných javov, ako sú napríklad povrchové napätie a kapilárne javy

Povrchové napätie (γ)

Na ľubovoľnú čiaru s dĺžkou (ℓ) ležiacou v povrchu kvapaliny pôsobí sila (F), ktorá tiež leží v povrchu kvapaliny a je kolmá na uvažovanú čiaru. Podiel uvedenej sily a dĺžky čiary sa nazýva povrchové napätie (označenie γ alebo tiež σ).

$$\gamma = \frac{F}{\ell} \quad [\text{N m}^{-1}] \quad (1)$$

Práca potrebná na zväčšenie povrchu kvapaliny (dS) sa nazýva **povrchová energia** (dE)

$$dE = \gamma dS \rightarrow \gamma = \frac{dE}{dS} \quad (2)$$

Povrchové napätie závisí od: druhu a vlastností samotnej kvapaliny
vlastností fázy nad povrchom kvapaliny
teploty (zvyšovaním teploty povrchové napätie klesá)

Javy na rozhraní kvapalina a pevný povrch

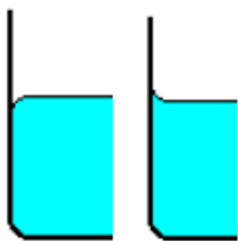
Nalejme kvapalinu do nádoby - obrázok 7.2. V mieste kde sa fázové rozhranie medzi plynom a kvapalinou stretáva s pevným povrchom (stena nádoby alebo trubica), bude správanie kvapaliny závisieť od vzájomného pomeru kohéznych a adhézných síl:

Kohézne sily sú príťažlivé sily pôsobiace medzi molekulami jednej látky, napr. voda-voda.

Adhézne sily sú príťažlivé (prilnavé) sily pôsobiace medzi molekulami rôznych látok, napr. voda-sklo.

Z obrázku 7.2 možno vidieť, že kvapalina v nádobe vytvára dva typy povrchov:

- **vypuklý (konvexný) povrch** (obrázok 7.2 a) - ak sú kohézne sily väčšie ako adhézne, kvapalina nezmáča steny nádoby, napr. ortuť a sklo
- **dutý (konkávny) povrch** (obrázok 7.2 b) - ak sú adhézne sily väčšie ako kohézne, kvapalina zmača steny nádoby, napr. voda a sklo



a b

Obrázok 7.2 Povrchy kvapalín na rozhraní nádoba-kvapalina:

a - vypuklý (konvexný), **b** - dutý (konkávny),

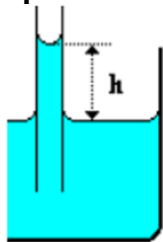
Kapilárne javy

Keď ponoríme tenkú kapiláru (trubičku) zvisle do nádoby s kvapalinou, nastáva zmena výšky hladiny v kapiláre, ktorú popisujú:

- **kapilárna elevácia** - kvapalina v kapiláre vystúpi vyššie ako je hladina kvapaliny v nádobe, meniskus v kapiláre je konkávny - obrázok 7.3 a.

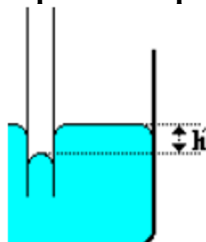
• **kapilárna depresia** - kvapalina v kapiláre klesne nižšie ako je hladina kvapaliny v nádobe, meniskus v kapiláre je konvexný - obrázok 7.3 b.

kapilárna elevácia



- zvýšenie hladiny kvapaliny v kapiláre
- konkávny meniskus
- prevláda adhézia

kapilárna depresia

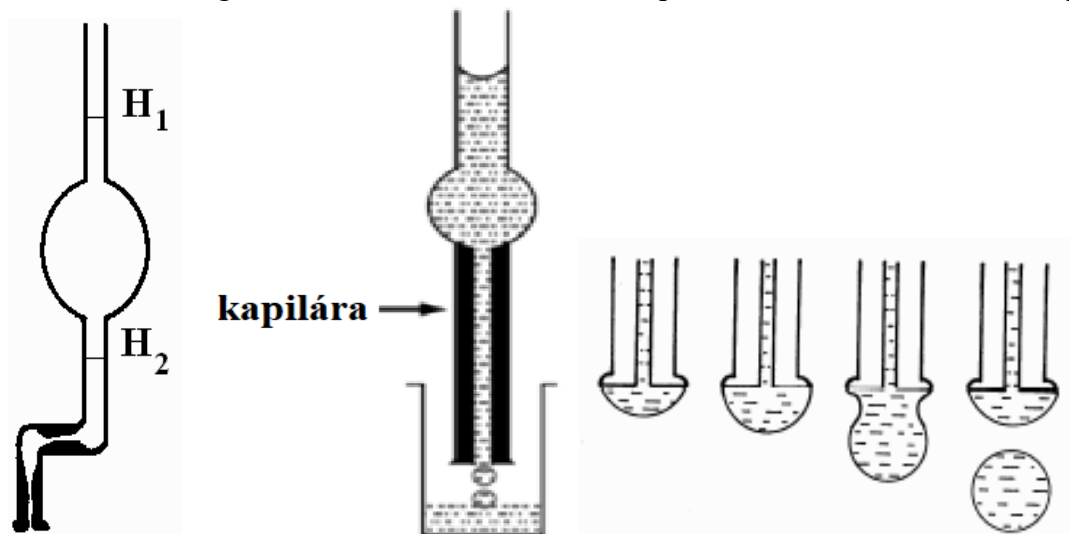


- zníženie hladiny kvapaliny v kapiláre
- konvexný meniskus
- prevláda kohézia

Obrázok 7.3 Kapilárne javy

Úloha 7.1 Stalagmometrické stanovenie povrchového napätia kvapalín metódou váženia kvapiek

Povrchové napätia v tejto práci budete merať pomocou Traubeho stalagmometra (obrázok 7.4). Stalagmometer je sklenená trubica v strednej časti rozšírená a pod a nad rozšírením sú rysky. Spodná časť stalagmometra je zúžená do kapiláry, aby sa spomalil prietok kvapaliny. Dolná časť kapiláry je ukončená širšou zabrúsenou plochou pre správnu tvorbu kvapiek. Kvapalina sa nasáva do stalagmometra vrchnou časťou trubice pomocou balónika, alebo vodnej vývevy.



a b

Obrázok 7.4 a - stalagmometer, **b** - vznik kvapky

Ak kvapalina vyteká z úzkej zvislej trubice s kapilárou (stalagmometer - obrázok 7.4), na jej spodnom okraji sa tvoria kvapky.

Na to, aby sa kvapka s hmotnosťou (m) odtrhla (odkvapla) z trubice stalagmometra - obrázok 7.4 b, musí jej tiaž ($G = m g$) prekonať povrchové napätie (γ), ktoré pôsobí na vonkajšom obvode kapiláry s polomerom (r).

V okamihu odkvapnutia (obrázok 7.4 b) platí vzťah:

$$m g = 2 \pi r \gamma \quad (3)$$

Ako možno sledovať z obrázku 7.4, neodtrhne sa celá kvapka, ale asi len 2/3 jej objemu. Pri stanovení povrchového napätia metódou váženia kvapiek postupujeme tak, že odvážime určitý

počet kvapiek kvapaliny so známym povrchovým napätím (obyčajne je ňou destilovaná voda) - m_{voda} a rovnaký počet kvapiek neznámej kvapaliny - m_N .

Zo vzťahu (3) vyjadríme povrchové napätia vody - γ_{voda} a neznámej kvapaliny γ_N :

$$\gamma_{voda} = \frac{m_{voda} g}{2 \pi r} \quad \gamma_N = \frac{m_N g}{2 \pi r} \quad [\text{N m}^{-1}] \quad (4)$$

Pre ľubovoľnú kvapalinu (označme i) môžeme upraviť vzťahy (4) na tvar:

$$\frac{\gamma_i}{m_i} = \frac{g}{2 \pi r} \quad (5)$$

Výraz na pravej strane vzťahu (5) obsahuje len konštanty, aj výraz na ľavej strane vzťahu (γ / m_i) musia byť konštantami pre vodu aj neznámu kvapalinu a rovnajú sa. Z týchto úvah vzťah (6) je rovnosťou pomerov hmotností odtrhnutých častí kvapiek a povrchových napätí pre neznámu kvapalinu a vodu:

$$\frac{\gamma_N}{\gamma_{voda}} = \frac{m_N}{m_{voda}} \quad (6)$$

Zo vzťahu (6) pre výpočet povrchového napätia neznámej kvapaliny **metódou váženia kvapiek** platí:

$$\gamma_{N-váž} = \frac{m_N}{m_{voda}} \gamma_{voda} \quad [\text{N m}^{-1}] \quad (7)$$

$\gamma_{N-váž}$ je povrchové napätie neznámej kvapaliny odmerané vážením kvapiek $[\text{N m}^{-1}]$

γ_{voda} je povrchové napätie porovnávacej kvapaliny - destilovaná voda $[\text{N m}^{-1}]$

m_N je hmotnosť určitého počtu kvapiek neznámej kvapaliny $[\text{g}]$

m_{voda} je hmotnosť rovnakého počtu kvapiek porovnávacej kvapaliny $[\text{g}]$

Cieľ práce

Namerať povrchové napätie pripravených roztokov pomocou Traubeho stalagmometra metódou váženia kvapiek

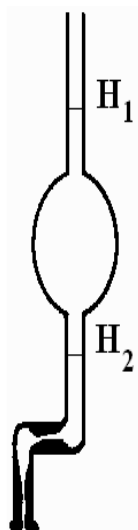
Pomôcky

stalagmometer s príslušenstvom, navažovačky s vrchnákmi, analytické váhy vážiace na tri desatinné miesta, roztoky kvapalín a destilovaná voda

Postup

Merania povrchového napätia obidvomi metódami (váženie i počítanie kvapiek) budete robiť pomocou **Traubeho stalagmometra** (obrázok 7.5).

1. Odčítajte teplotu na teplomeri v laboratóriu (t) a hodnotu zapíšte do tabuľky 7.1.
2. Pred meraním skontrolujte stalagmometer (má byť suchý a čistý) a upevnite ho zvislo do stojana.
3. Odvážte dve suché a čisté navažovačky i s vrchnákmi a hmotnosti prázdnych navažovačiek (m_0) zapíšte do tabuľky 7.1.
4. Na hornú časť trubice stalagmometra opatrne nasadíte hadičku vodnej vývevy a nasajte destilovanú vodu z kadičky tak, aby úroveň hladiny vody bola dostatočne vysoko nad ryskou (H_1 , obrázok 7.5).



5. Hadičku vývevy odstráňte zo stalagmometra a ukazovákomp opatrne uzatvorte hornú trubicu stalagmometra.

6. Do prvej navažovačky nechajte (prvý študent) odkvapkať 20-50 kvapiek destilovanej vody (počet kvapiek zadá učiteľ).

7. Keďže pracujete v dvojici, znovu nasajte destilovanú vodu do stalagmometra a druhý študent nechá odkvapkať rovnaký počet kvapiek destilovanej vody do druhej navažovačky.

8. Po skončení meraní destilovanej vody odvážte obe navažovačky s vodou a hmotnosti (navážovačka + kvapky vody = m^*) zapíšte do tabuľky 7.1.

9. Vodu vylejte z navažovačiek, vysušte ich a pripravte na ďalšie meranie.

10. Stalagmometer vysušte vodnou vývevou a pripravte ho na meranie prvého neznámeho roztoku.

Obrázok 7.5 Traubeho stalagmometer

11. Pri meraní pripravených roztokov neznámej látky postupujte rovnako ako pri meraní destilovanej vody - opakujte body 4-10.

12. Do tabuľky 7.1 zapisujte hmotnosti (m^{**} = navažovačka + kvapky neznámej kvapaliny) - vždy dve merania.

13. Po skončení všetkých meraní stalagmometer prepláchnite destilovanou vodou a vysušte vodnou vývevou.

Spracovanie výsledkov meraní povrchového napätia metódou váženia kvapiek

Do tabuľky 7.1 doplňte a vypočítajte:

1. Hmotnosť kvapiek destilovanej vody (m_{voda}):

$$m_{voda} = m^* - m_0 \quad [g] \quad (8)$$

2. Hmotnosť kvapiek meraných kvapalín (m_N):

$$m_N = m^{**} - m_0 \quad [g] \quad (9)$$

3. Povrchové napätie destilovanej vody pre odmeranú laboratórnu teplotu (t) podľa vzťahu:

$$\gamma_{vody} = (75,872 - 0,154 t - 0,00022 t^2) \cdot 10^{-3} \quad [N m^{-1}] \quad (10)$$

4. Povrchové napätia kvapalín metódou váženia kvapiek ($\gamma_{N-váž}$) vypočítajte podľa vzťahu (7).

5. Priemerné hodnoty povrchových napätí ($\overline{\gamma_N}$) vypočítajte pre všetky merané kvapaliny.

Tabuľka 7.1 Namerané a vypočítané hodnoty na stanovenie povrchového napätia metódou váženia kvapiek

$t = \dots\dots\dots^\circ C$ $N =$ počet kvapiek

meraná veličina - symbol rozmer	navážovačka 1	navážovačka 2
hmotnosť prázdnej navažovačky - m_0 [g]		
hmotnosť navažovačky s vodou - m^* [g]		
hmotnosť kvapiek vody (vzťah 8) - m_{vod} [g]		

pokračovanie tabuľky 7.1

meraná veličina - symbol rozmer	navažovačka 1	navažovačka 2
hmotnosť navažovačky s kvapalinou 1 - m^{**1} [g]		
hmotnosť navažovačky s kvapalinou 2 - m^{**2} [g]		
hmotnosť navažovačky s kvapalinou 3 - m^{**3} [g]		
hmotnosť kvapiek kvapaliny 1 (vzťah 9) - m_N1 [g]		
hmotnosť kvapiek kvapaliny 2 - m_N2 [g]		
hmotnosť kvapiek kvapaliny 3 - m_N3 [g]		
povrchové napätie pre destilovanú vodu (vzťah 10)	$\gamma_{voda} = \dots\dots\dots N\ m^{-1}$	
povrchové napätie kvapaliny 1 - γ_N1 -váž (vzťah 7)		
povrchové napätie kvapaliny 2 - γ_N2 -váž [N m ⁻¹]		
povrchové napätie kvapaliny 3 - γ_N3 -váž [N m ⁻¹]		
priemerná hodnota povrchového napätia kvapaliny 1	$\overline{\gamma_N1} = \dots\dots\dots N\ m^{-1}$	
priemerná hodnota povrchového napätia kvapaliny 2	$\overline{\gamma_N2} = \dots\dots\dots N\ m^{-1}$	
priemerná hodnota povrchového napätia kvapaliny 3	$\overline{\gamma_N3} = \dots\dots\dots N\ m^{-1}$	

Práca 7-B Stalagmometrické stanovenie povrchového napätia kvapalín metódou počítania kvapiek

Pre objem kvapaliny medzi dvomi ryskami stalagmometra platí: $V = \frac{m}{\rho}$

Počet kvapiek, ktoré odkvapnú z rovnakého objemu označíme - N_i .

Pre hmotnosti odkvapnutých kvapiek neznámej kvapaliny od rysky H1 po rysku H2 (m_N) a destilovanej vody (m_{voda}) z rovnakého objemu platí:

$$m_N = \frac{V \rho_N}{N_N} \quad m_{voda} = \frac{V \rho_{voda}}{N_{voda}} \quad [N\ m^{-1}] \quad (11)$$

ρ_N je hustota neznámej kvapaliny [kg m⁻³]

ρ_{voda} je hustota porovnávacej kvapaliny - destilovaná voda [kg m⁻³]

N_N je počet kvapiek neznámej kvapaliny odtrhnutých z objemu V

N_{voda} je počet kvapiek porovnávacej kvapaliny - voda - odtrhnutých z objemu V

Vo vzťahu (11) udávajú symboly (m_N) - hmotnosť jednej kvapky neznámej kvapaliny a (m_{voda}) - hmotnosť jednej kvapky vody.

Po dosadení vzťahov (11) do (6) dostaneme:

$$\frac{\gamma_N}{\gamma_{voda}} = \frac{m_N}{m_{voda}} \rightarrow \frac{\gamma_N}{\gamma_{voda}} = \frac{\frac{\rho_N}{N_N}}{\frac{\rho_{voda}}{N_{voda}}} \xrightarrow[\text{zlomku}]{\text{po úprave}} \frac{\gamma_N}{\gamma_{voda}} = \frac{\rho_N N_{voda}}{N_N \rho_{voda}} \quad (12)$$

Výsledný vzťah pre výpočet povrchového napätia neznámej kvapaliny metódou počítania kvapiek:

$$\gamma_{N-poč} = \frac{\rho_N N_{voda}}{N_N \rho_{voda}} \gamma_{voda} \quad [N\ m^{-1}] \quad (13)$$

Cieľ práce

Namerať povrchové napätie pripravených roztokov pomocou Traubeho stalagmometra metódou počítania kvapiek.

Postup

1. Pomocou vývevy nasajte destilovanú vodu z kadičky tak, aby úroveň jej hladiny bola dostatočne vysoko nad ryskou (**H1**, obrázok 7.5).
2. Hadičku vývevy odstráňte zo stalagmometra a ukazovákomp opatrne nastavte hladinu destilovanej vody na rysku **H1**.
3. Prvý študent počíta počet kvapiek, ktoré sa odtrhnú zo stalagmometra od hornej rysky **H1**, po spodnú rysku **H2**. Počet kvapiek (N_{voda}) zapíše do tabuľky 7.2.
4. Znovu nasajte destilovanú vodu do stalagmometra, upravte meniskus destilovanej vody na rysku **H1** a druhý študent počíta počet odtrhnutých kvapiek.
5. Po skončení meraní destilovanej vody stalagmometer vysušte vodnou vývevou a pripravte ho na meranie prvého neznámeho roztoku.
6. Pri meraní neznámych roztokov postupujte rovnako ako pri meraní destilovanej vody – opakujte body 1-5.
7. Do tabuľky 7.2 zapisujte počet kvapiek kvapalín vykvapkaných v rozmedzí rysiek **H1** - **H2** meraných dvakrát - (N_N).
8. Do tabuľky 7.2 zapíše hustotu destilovanej vody z tabuľky priloženej pri práci pri laboratórnej teplote a tiež hustoty roztokov zo štítkov na fľašiach.
9. Po skončení meraní stalagmometer prepláchnite dôkladne destilovanou vodou a vysušte vodnou vývevou.

Tabuľka 7.2 Namerané a vypočítané hodnoty na stanovenie povrchového napätia metódou počítania kvapiek

$t = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$

meraná veličina - symbol - rozmer	meranie 1	meranie 2
počet odtrhnutých kvapiek destilovanej vody - N_{voda}		
počet odtrhnutých kvapiek kvapaliny 1 - N_{N1}		
počet odtrhnutých kvapiek kvapaliny 2 - N_{N2}		
počet odtrhnutých kvapiek kvapaliny 3 - N_{N3}		
hustota destilovanej vody	$\rho_{voda} = \dots\dots\dots \text{kg m}^{-3}$	
hustota kvapaliny 1	$\rho_{N1} = \dots\dots\dots \text{kg m}^{-3}$	
hustota kvapaliny 2	$\rho_{N2} = \dots\dots\dots \text{kg m}^{-3}$	
hustota kvapaliny 3	$\rho_{N3} = \dots\dots\dots \text{kg m}^{-3}$	
povrchové napätie destilovanej vody (vzťah 10)	$\gamma_{voda} = \dots\dots\dots \text{N m}^{-1}$	
povrchové napätie kvapaliny 1 - $\gamma_{N-poč1}$ (vzťah 13)		
povrchové napätie kvapaliny 2 - $\gamma_{N-poč2}$ [N m^{-1}]		
povrchové napätie kvapaliny 3 - $\gamma_{N-poč3}$ [N m^{-1}]		
priemerná hodnota povrchového napätia kvapaliny 1	$\overline{\gamma_{N1}} = \dots\dots\dots \text{N m}^{-1}$	
priemerná hodnota povrchového napätia kvapaliny 2	$\overline{\gamma_{N2}} = \dots\dots\dots \text{N m}^{-1}$	
priemerná hodnota povrchového napätia kvapaliny 3	$\overline{\gamma_{N3}} = \dots\dots\dots \text{N m}^{-1}$	

Spracovanie výsledkov meraní povrchového napätia metódou počítania kvapiek

Do tabuľky 7.2 doplňte a vypočítajte:

1. Hustotu destilovanej vody pri odmeranej laboratórnej teplote z tabuľky pri práci.

2. Povrchové napätie destilovanej vody pre odmeranú laboratórnu teplotu (t) podľa vzťahu (10) - odpíšte z tabuľky 7.1.
3. Povrchové napätia kvapalín metódou počítania kvapiek ($\gamma_{N-poč}$) podľa vzťahu (13).
4. Priemerné hodnoty povrchových napätí ($\overline{\gamma_{Nl}}$) pre všetky merané kvapaliny.
5. Nakreslite závislosť $\gamma_{roztokov} = f(\rho_{roztokov})$ pre všetky merané kvapaliny (vrátane vody) metódou váženia aj počítania kvapiek (budete mať dve závislosti), ale body nespájajte.
6. V závere vyhodnoťte, ako povrchové napätie závisí od hustoty neznámej kvapaliny.

