

OSNOVNA ŠOLA MIHE PINTARJA TOLEDA
KIDRIČEVA 21, 3320 VELENJE
MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA
HITROST GIBANJA MEHURČKOV V RAZLIČNIH KAPLJEVINAH
Tematsko področje: FIZIKA

Avtor:
Luka Jevšenak, 8. razred

Mentor:
Dejan Zupanc, prof.

Velenje, 2013

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Mihe Pintarja Toleda v Velenju.

Mentor: Dejan Zupanc, prof.

Datum predstavitve:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD OŠ Mihe Pintarja Toleda, šolsko leto 2012/2013
KG mehurčki / hitrost / kapljevine / sila vzgona / sila upora
AV JEVŠENAK, Luka
SA ZUPANC, Dejan

KZ

ZA

LI 2013

IN **HITROST GIBANJA MEHURČKOV V RAZLIČNIH KAPLJEVINAH**

TD Raziskovalna naloga

OP VI, 18 str., 6 pregl., 5 graf., 8 sl., 4 pril., 4 vir.

IJ SL

JI sl

AI V raziskavi sem določil štiri kapljevine za delo: vodo, jedilno olje, motorno olje in med. Izbrane kapljevine se med seboj močno ločijo po viskoznosti. V merilnih valjih sem v kapljevinah spuščal zračne mehurčke in posnel njihovo gibanje proti gladini. S posnetka sem nato s programom Logger Pro določil hitrost in premer mehurčka. Ugotovil sem, da mehurčki v viskoznejših kapljevinah potujejo počasneje, ter da so večji mehurčki hitrejši. Ugotovil pa sem tudi, da imajo večji mehurčki večje Reynoldsovo število, kar vpliva na veljavnost zakonov upora. Sklepamo lahko, da manjši kot je mehurček in bolj kot je viskozna kapljevina, bolj velja linearni zakon upora ter večji kot je mehurček in manj kot je viskozna kapljevina, bolj velja kvadratni zakon upora. Na napako rezultatov najbolj vpliva merjenje premera mehurčka.

Kazalo vsebine

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Uvod | 1 |
| 2 | Pregled objav | 1 |
| 2.1 | Sila vzgona..... | 2 |
| 2.2 | Upor | 2 |
| 2.2.1 | Linearni zakon | 2 |
| 2.2.2 | Kvadratni zakon..... | 3 |
| 2.2.3 | Reynoldsovo število | 4 |
| 3 | Metode dela | 4 |
| 3.1 | Video analiza posnetkov | 5 |
| 4 | Rezultati..... | 7 |
| 4.1 | Voda..... | 7 |
| 4.2 | Jedilno sončnično olje..... | 8 |
| 4.3 | Motorno olje SAE 40..... | 9 |
| 4.4 | Med | 10 |
| 5 | Razprava | 11 |
| 5.1 | Enako veliki mehurčki v viskoznejši kapljevini potujejo počasneje | 11 |
| 5.2 | Večji mehurčki potujejo v vseh kapljevinah hitreje | 11 |
| 5.3 | Gibanje mehurčkov v vodi zavira kvadratni zakon upora. | 12 |
| 5.4 | Gibanje mehurčkov v medu zavira linearni zakon upora. | 12 |
| 5.5 | Mehurčki v motornem in jedilnem olju so v vmesnem področju kjer ne velja nobeden od obeh zakonov..... | 12 |
| 5.6 | Natančnost meritev in rezultatov | 13 |
| 6 | Zaključek | 13 |
| 7 | Povzetek | 14 |
| 8 | Zahvala | 15 |
| 9 | Priloge..... | 16 |
| 10 | Viri in literatura: | 19 |

Kazalo slik

| | | |
|----------|---|----|
| Slika 1: | Sile na mehurček | 1 |
| Slika 2: | K razlagi viskoznosti. Puščice predstavljajo različne hitrosti tekočine ob mehurčku | 3 |
| Slika 3: | Gibanje kapljevine ob mehurčku..... | 3 |
| Slika 4: | Merilni pripomočki | 5 |
| Slika 5: | Uporabljene kapljevine | 5 |
| Slika 6: | Video analiza gibanja mehurčka v jedilnem olju | 6 |
| Slika 7: | Sploščeni mehurček | 12 |

Kazalo grafov

| | |
|--|----|
| Graf 1: $s(t)$ za mehurček na sliki 6 | 6 |
| Graf 2: $s(t)$ za mehurčke v vodi | 7 |
| Graf 3: $s(t)$ za mehurčke v jedilnem olju | 8 |
| Graf 4: $s(t)$ za mehurčke v motornem olju | 9 |
| Graf 5: $s(t)$ za mehurčke v medu | 10 |

Kazalo tabel

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Mehurčki v vodi | 7 |
| Tabela 2: Mehurčki v jedilnem olju | 8 |
| Tabela 3: Mehurčki v motornem olju | 9 |
| Tabela 4: Mehurčki v medu | 10 |
| Tabela 5: Primerjava hitrosti podobno velikih mehurčkov v različnih kapljevinah | 11 |
| Tabela 6: Tabela viskoznosti kapljev | 16 |
| Tabela 7: Tabela viskoznosti vode v odvisnosti od temperature | 16 |
| Tabela 8: Tabela koeficienta upora pri različnih telesih | 17 |

1 Uvod

Namen naloge je s poskusom in meritvami raziskati, kako viskoznost kapljevine in velikost zračnih mehurčkov vplivata na hitrost dvigovanja le teh. Hitrost mehurčka pa določa, kateri zakon upora uravnovesi vzgon na mehurček. Pri manjših hitrostih velja linearni zakon, kjer je sila upora sorazmerna s hitrostjo mehurčka. Pri višjih hitrostih pa velja kvadratni zakon, kjer je sila upora sorazmerna s kvadratom hitrosti mehurčka. Namen naloge je tudi ugotoviti veljavnost zakonov upora za posamezno kapljevino.

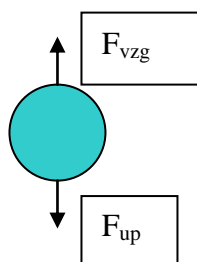
Hipoteze:

- Enako veliki mehurčki v viskoznejši kapljevini potujejo počasneje.
- Večji mehurčki potujejo v vseh kapljevinah hitreje.
- Gibanje mehurčkov v vodi zavira kvadratni zakon upora.
- Gibanje mehurčkov v medu zavira linearni zakon upora.
- Mehurčki v motornem in jedilnem olju so v vmesnem področju kjer ne velja nobeden od obeh zakonov.

2 Pregled objav

Sile na mehurček

Mehurčki v kapljevini potujejo navzgor zaradi sile vzgona. Ker hitrost mehurčka zaradi sile vzgona narašča, se sila upora tekočine na mehurček povečuje. Ko se sila vzgona in sila upora izenačita, je mehurček v ravnovesju in hitrost se ne spreminja več (Ambrožič s sod., 2004).



Slika 1: Sile na mehurček

2.1 Sila vzgona

Sila vzgona je enako velika kot teža tekočine, ki jo izpodrine telo (Arhimedov zakon) (Ambrožič s sod., 2004). Za mehurček v kapljevini velja:

$$F_{vzg} = \rho_{kapljevine} \cdot g \cdot V \quad (1)$$

ρ – gostota snovi

g – težni pospešek

$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ - prostornina mehurčka

r – polmer mehurčka

2.2 Upor

Zanima nas sila upora na gibajoči mehurček v kapljevini. Za izračun sile upora uporabljamo *linearni* ali *kvadratni zakon* upora (Strnad, 1989).

2.2.1 Linearni zakon

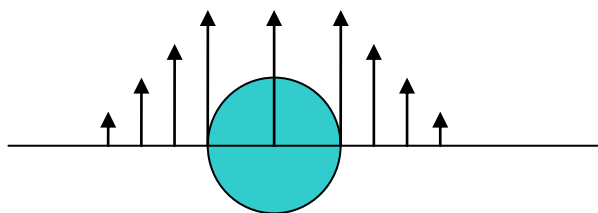
Linearni zakon upora je za mehurček (kroglo) (Strnad, 1989).

$$F = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v \quad (2)$$

v – hitrost mehurčka,

η – viskoznost kapljevine

in temelji na viskoznosti tekočine v kateri je gibajoči predmet. Viskoznost je fizikalna količina, ki podaja odziv tekočine na strižno deformacijo. Določena je kot razmerje med strižno napetostjo in strižno hitrostjo in podaja notranje trenje tekočin. Mednarodni sistem enot predpisuje za viskoznost izpeljano enoto $\frac{kg}{m \cdot s} = Pa \cdot s$ (<http://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>).



Slika 2: K razlagi viskoznosti. Puščice predstavljajo različne hitrosti tekočine ob mehurčku

2.2.2 Kvadratni zakon

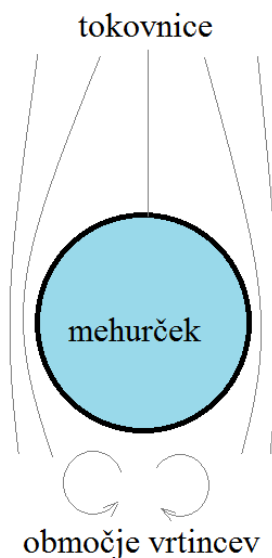
Kvadratni zakon upora je enak (Strnad, 1989).

$$F = \frac{1}{2} C_u \cdot p \cdot v^2 \cdot S \quad (3)$$

C_u - koeficient upora, za kroglo je 0,47

$S = \pi r^2$ – presek mehurčka

in je posledica zastojnega tlaka. Pred mehurčkom kapljevina miruje, zato je tam tlak enak tlaku v kapljevini. Za mehurčkom pa nastajajo vrtinci, kapljevina se giblje, zato je tam tlak nižji. Od višjega proti nižjemu tlaku na mehurček deluje sila.



Slika 3: Gibanje kapljevine ob mehurčku

2.2.3 Reynoldsovo število

Kdaj uporabimo *linearni* in kdaj *kvadratni zakon* izračunamo z *Reynoldsovim številom* (Re) (Strnad, 1989).

$$Re = 2r \cdot \rho \cdot v / \eta \quad (4)$$

Pri mehurčku (krogli) velja:

- Če je Re manjše kot 0,5 uporabimo *linearni zakon* (2)
- Če je Re večje kot 10^3 uporabimo *kvadratni zakon* (3)
- Vmes pa ne velja nobeden od obeh zakonov.

3 Metode dela

Najprej sem izbral kapljevine za delo. Odločil sem se za vodo, jedilno sončnično olje, motorno olje SAE 40 in med (mešanica cvetličnega in akacijevega medu brez dodatkov). V merilne valje sem nalil kapljevine. Vzel sem različno debele cevke s katerimi sem v kapljevinah delal različno velike mehurčke. Vse meritve so potekale pri sobni temperaturi zraka, temperatura kapljevin pa je bila 20⁰C. Viskoznost kapljevin se spreminja s temperaturo, najlažje pa v tabelah najdemo podatek pri temperaturi 20⁰C ali 25⁰C. Viskoznosti nekaterih kapljevin so zbrane v prilogi A. Kamero sem postavil približno na razdaljo dva metra od valja in potovanje mehurčkov posnel s kamero. Razlika v legi mehurčka in merila na valju je tako postala zanemarljiva. Film sem nato uvozil v program Logger Pro in z video analizo določil hitrost in velikost mehurčkov.



Slika 4: Merilni pripomočki



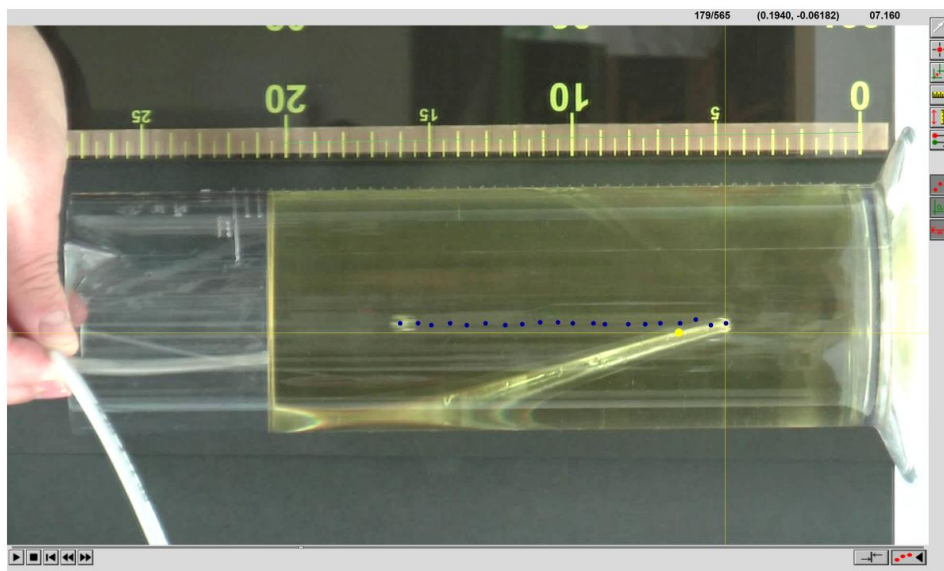
Slika 5: Uporabljene kapljevine

3.1 Video analiza posnetkov

Program Logger Pro je prvenstveno namenjen zajemanju in obdelavi podatkov z merilno opremo Vernier, s katero so opremljene srednje šole po Sloveniji. Omogoča pa tudi uvoz filmskih posnetkov fizikalnih poskusov in enostavno obdelavo le teh.

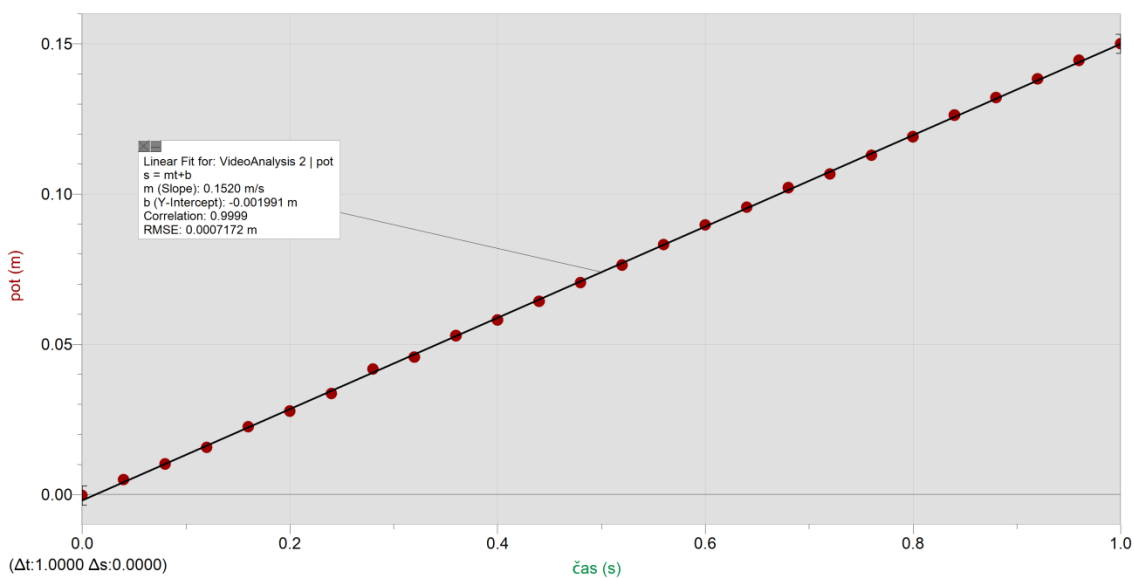
Najprej predvajamo film in izberemo mehurček. Z orodji na desni strani delovnega okna določimo koordinatni sistem (rumeni črti) in z zeleno črto določimo merilo (slika 6). Računalnik tako z razdalj na posnetku določi realne razdalje. Nato z modrimi pikicami sledimo gibanju mehurčka na zaporednih posnetkih. Časovni potek se avtomatsko razbere s filma (znana je hitrost zajemanja posnetkov). Medtem se sproti riše graf $s(t)$ (slika 7). Točke na grafu ležijo na premici,

kar pomeni, da je hitrost mehurčka stalna. Naklon premice predstavlja hitrost, to je koeficient m (slope) v okvirčku. Na sliki 7 znaša 0.1520 m/s. Premer mehurčka pa se izmeri s funkcijo Photo Distance, ki omogoča določanje razdalj na posnetkih.



Slika 6: Video analiza gibanja mehurčka v jedilnem olju.

Valj je bolje viden na sliki, če je film posnet obrnjeno.



Graf 1: $s(t)$ za mehurček na sliki 6

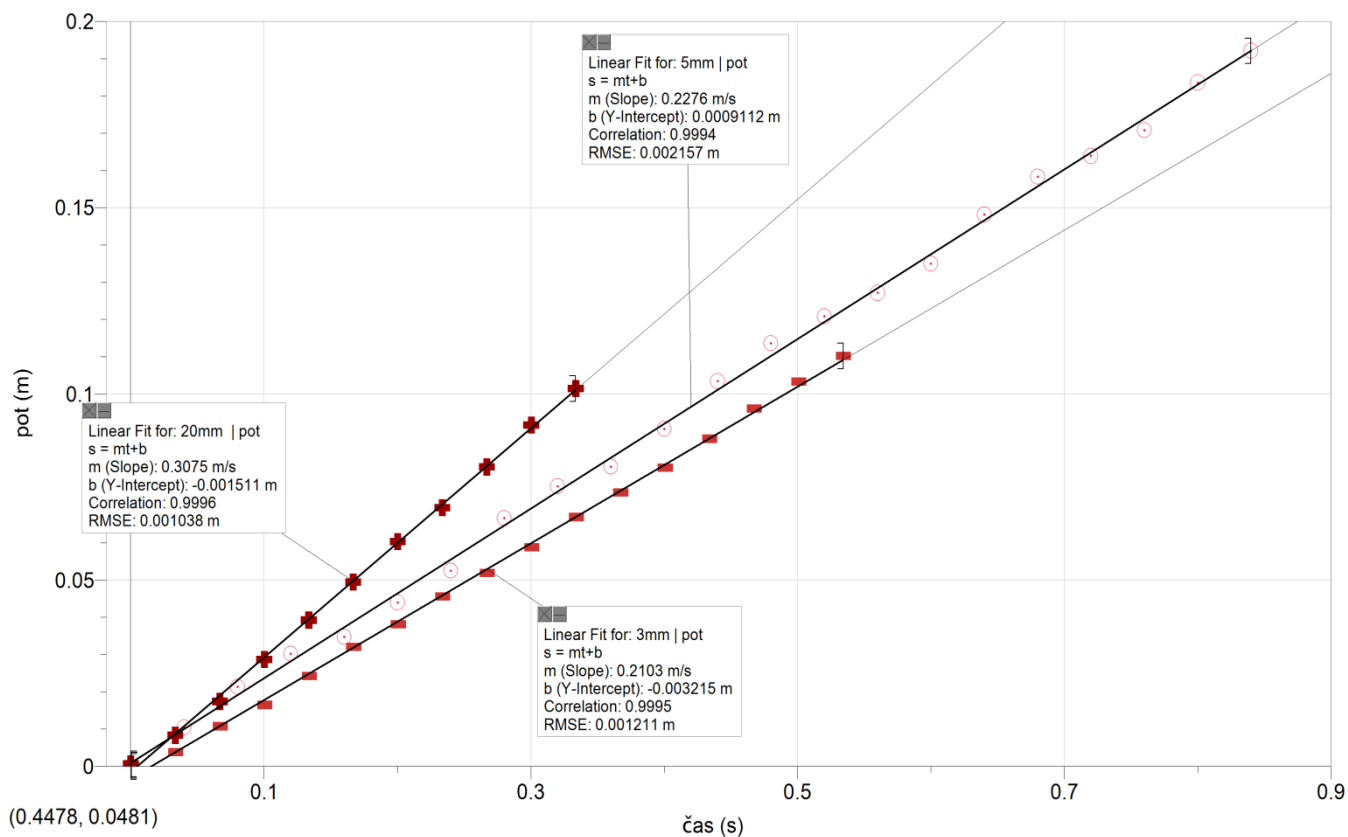
4 Rezultati

4.1 Voda

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad \eta = 1,002 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

Tabela 1: Mehurčki v vodi

| Premer (mm) | Hitrost (m/s) | Re |
|-------------|---------------|------|
| 3 | 0,210 | 630 |
| 5 | 0.228 | 1100 |
| 7 | 0,244 | 1700 |
| 12 | 0,253 | 2800 |
| 20 | 0.308 | 6200 |



Graf 2: $s(t)$ za mehurčke v vodi.

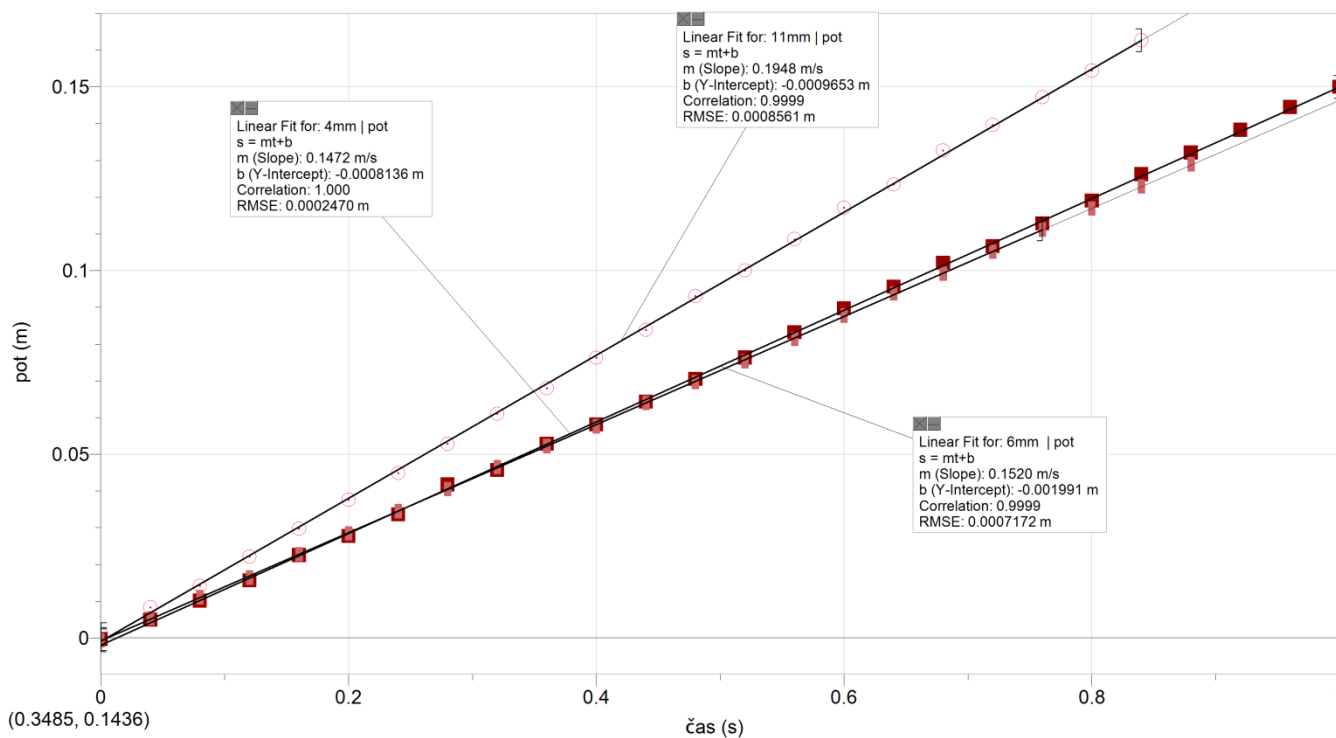
Zaradi preglednosti so na grafu prikazane samo vrednosti za mehurčke premera 20 mm, 5 mm in 3 mm. Kateremu mehurčku pripada katera premica je razvidno iz oznake v prvi vrstici okvirčka (npr. Linear Fit for: 3 mm).

4.2 Jedilno sončnično olje

$$\rho = 919 \text{ kg/m}^3 \quad \eta = 49,1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

Tabela 2: Mehurčki v jedilnem olju

| Premer (mm) | Hitrost (m/s) | Re |
|-------------|---------------|----|
| 4 | 0,147 | 11 |
| 6 | 0,152 | 17 |
| 11 | 0,195 | 40 |



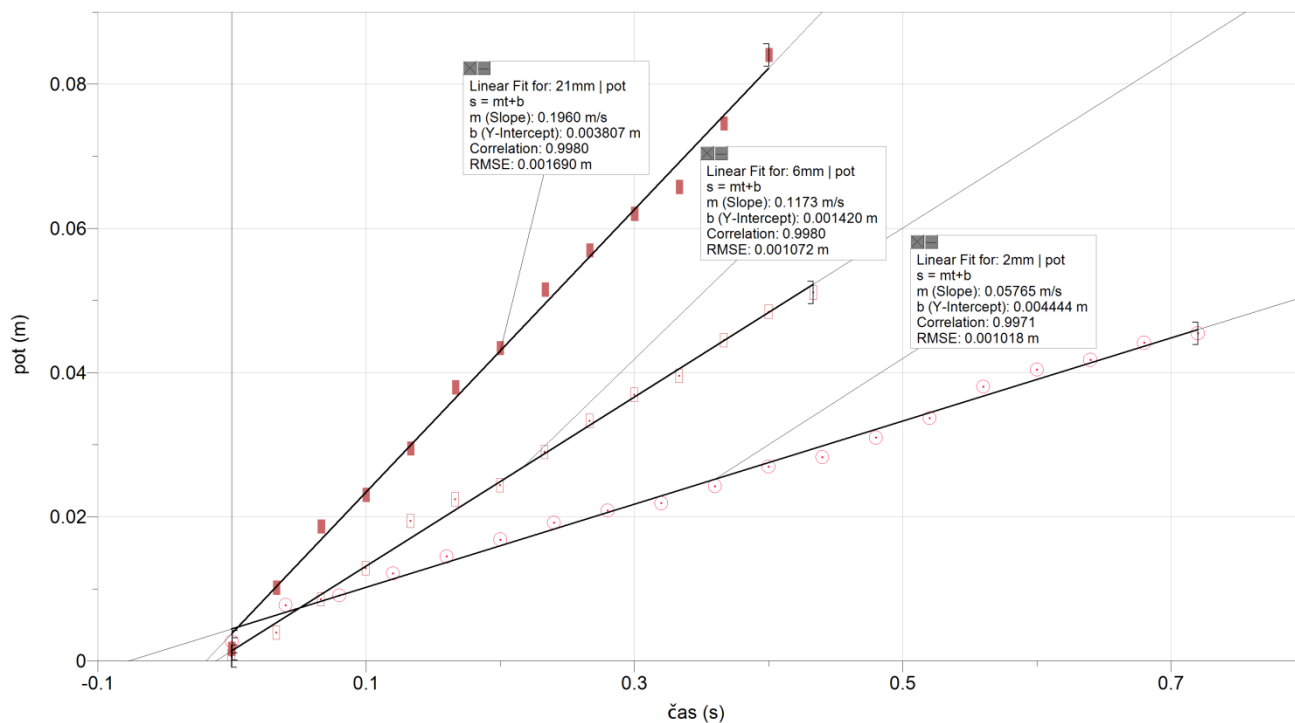
Graf 3: $s(t)$ za mehurčke v jedilnem olju.

4.3 Motorno olje SAE 40

$$\rho = 840 \text{ kg/m}^3 \quad \eta = 319 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

Tabela 3: Mehurčki v motornem olju

| Premer (mm) | Hitrost (m/s) | Re |
|-------------|---------------|------|
| 2 | 0,058 | 0,25 |
| 6 | 0,117 | 1,8 |
| 21 | 0,196 | 10 |



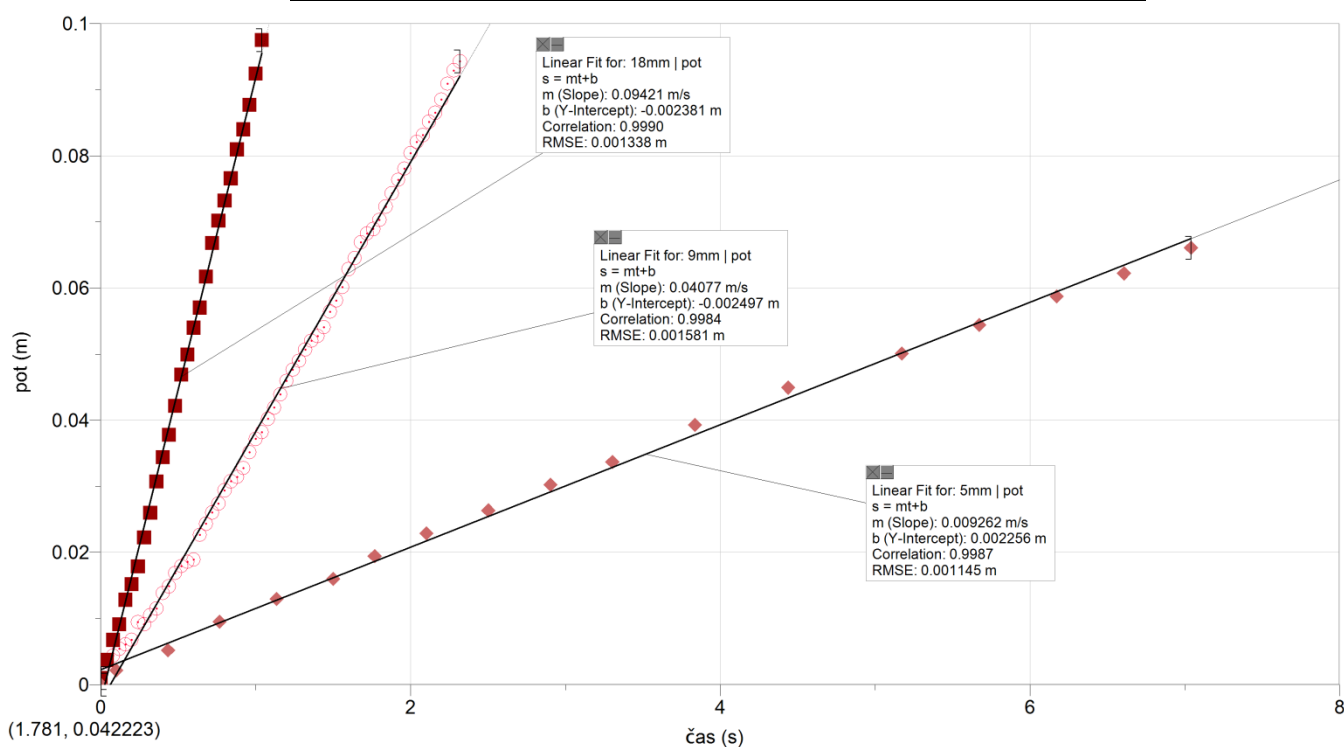
Graf 4: $s(t)$ za mehurčke v motornem olju.

4.4 Med

$$\rho = 1250 \text{ kg/m}^3, \quad \eta = 2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Tabela 4: Mehurčki v medu.

| Premer (mm) | Hitrost (m/s) | Re |
|-------------|---------------|-------|
| 5 | 0,0093 | 0,029 |
| 9 | 0,041 | 0,23 |
| 18 | 0,094 | 1,05 |



Graf 5: $s(t)$ za mehurčke v medu.

Za izračun Re se potrebuje podatek o viskoznosti kapljevine. Za med ni enoličnega podatka, pač pa je navedeno območje med 2000 in 10000 mPa·s (priloga A). Pri čebelarju sem vzel mešanico akacijevega in cvetličnega medu, ki velja za najbolj tekočo, pred meritvijo pa sem po nasvetu čebelarja med segrel na 40°C in tako preprečil, da bi med začel kristalizirati. Za viskoznost medu sem tako uporabil vrednost na spodnji meji 2000 mPa·s, hkrati pa je to za preverjanje postavljenih hipotez najmanj ugodna varianta. Če potrdim hipoteze z minimalno viskoznostjo, potem bodo potrjene tudi pri večjih vrednostih le-te.

5 Razprava

5.1 Enako veliki mehurčki v viskoznejši kapljevini potujejo počasneje

Tabela 5: Primerjava hitrosti podobno velikih mehurčkov v različnih kapljevinah

| Kapljevina | Viskoznost (mPa·s) | Premer (mm) | Hitrost (m/s) |
|--------------|--------------------|-------------|---------------|
| Voda | 1,002 | 5 | 0,228 |
| Jedilno olje | 49,1 | 6 | 0,152 |
| Motorno olje | 319 | 6 | 0,098 |
| Med | 1500 | 5 | 0,009 |

Primerjal sem hitrosti podobno velikih mehurčkov v različnih kapljevinah. Iz rezultatov prikazanih v tabeli 5 je razvidno, da je hipoteza brez izjeme potrjena.

5.2 Večji mehurčki potujejo v vseh kapljevinah hitreje

Rezultati v tabelah od 1 do 4 brez izjeme potrjujejo tudi to hipotezo. Je pa možno razbrati, da so pri vodi razlike v hitrosti različno velikih mehurčkov majhne (tabela 1, graf 1), pri medu pa velike (tabela 4, graf 4). Pogledamo lahko kaj o tem pravi teorija. V medu, kjer predpostavimo, da velja linearni zakon upora, izenačimo enačbi 1 in 2. Ko hitrost izrazimo s polmerom ugotovimo, da se pri 2-krat večjem polmeru hitrost mehurčka poveča kar za 4-krat. V vodi, kjer predpostavimo, da velja kvadratni zakon, pa izenačimo enačbi 1 in 3. Ko spet izrazimo hitrost ugotovimo, da se mora polmer mehurčka kar za 4-krat povečati, če hočemo dobiti 2-krat večjo hitrost. Pri medu se torej pričakujejo velike razlike v hitrosti mehurčkov, v vodi pa manjše in meritve to potrjujejo.

Opazi se, da se večji mehurčki predvsem v vodi sploščijo (slika 7). Ker se mehurček splošči, se njegov čelni presek (S , enačba 3) poveča. Sprememba oblike vpliva tudi na koeficient upora (C_u). Zaradi tega se verjetno poveča sila upora in hitrost je posledično manjša. Natančno tega nisem raziskoval, ker to ni namen moje naloge, je pa ideja za nadaljnje raziskovanje.



Slika 7: Sploščeni mehurček

5.3 Gibanje mehurčkov v vodi zavira kvadratni zakon upora.

Iz tabele 1 je razvidno, da za večje mehurčke velja kvadratni zakon upora. Pri 3 mm mehurčku pa je Re pod 1000, kar pomeni, da je prešel v vmesno območje med linearnim in kvadratnim zakonom. Iz meritev lahko sklepamo, da za manjše mehurčke nekje do premera 5 mm kvadratni zakon ne velja.

5.4 Gibanje mehurčkov v medu zavira linearni zakon upora.

Iz tabele 4 je razvidno, da za mehurčke premera več kot 10 milimetrov linearni zakon ne velja več. Za mehurček premera 5 mm linearni zakon dobro velja ($Re = 0,029$). Iz te meritve lahko izračunamo viskoznost uporabljenega medu, ko izenačimo silo vzgona in silo upora (enačbi 1 in 2, priloga D). Dobimo vrednost $\eta = 1,83 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ kar se dobro ujema z uporabljenimi vrednostjo $2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

5.5 Mehurčki v motornem in jedilnem olju so v vmesnem področju kjer ne velja nobeden od obeh zakonov.

Iz tabele 2 vidimo, da imajo vsi mehurčki v jedilnem olju Re med 1000 in 0,5 in so torej v vmesnem območju med zakonoma. Iz tabele 3 pa vidimo, da so večji mehurčki v motornem olju tudi v vmesnem območju, za 2 mm mehurček pa velja linearni zakon, saj ima Reynoldsovo število manjše od 0,5.

5.6 Natančnost meritev in rezultatov

Zaradi šibkega kontrasta med mehurčkom in kapljevino je zelo težko natančno določiti premer mehurčka. Tudi če si sliko povečamo, meja ostane zelo nejasna. Premeri mehurčkov so po lastni oceni določeni na 1mm natančno. Za najmanjši 2 mm mehurček je zato napaka kar 50%, pri največjem 21 mm pa približno 5%. Pri večjih mehurčkih pa napako dodatno povečuje sploščitev. Iz vseh grafov $s(t)$ za mehurčke se vidi, da se točke dobro prilegajo premici in je zaradi tega napaka pri določanju hitrosti zelo majhna.

Pri gibanju mehurčka proti gladini se zmanjšuje tlak. V vodi se tlak spremeni za 1 bar na približno 10 m. Pri merjenju so mehurčki prepotovali pot med 10 cm in 20 cm. To pomeni, da se je tlak zmanjšal za 1% do 2%, po plinski enačbi (Strnad, 1989) pa se je za prav toliko volumen mehurčka povečal. Rezultat tega bi lahko bil, da se hitrost mehurčka proti gladini rahlo povečuje, vendar na grafih tega ni zaznati. Ta napaka je očitno majhna v primerjavi z drugimi.

6 Zaključek

Rezultati potrjujejo hipotezi, da so mehurčki hitrejši v manj viskozni tekočini ter da večji mehurčki potujejo hitreje od manjših. Kar se tiče veljavnosti zakonov upora, pa rezultati niso tako prepričljivi. Očitno je, da ne moremo kar v naprej razglasiti, da v vodi vedno velja kvadratni zakon upora, v medu pa vedno linearni. Reynoldsovo število (Re) se z velikostjo mehurčka zelo spreminja: večji premer, večji Re . Zato mali mehurčki v vodi lahko padejo iz območja veljavnosti kvadratnega zakona, v medu pa veliki mehurčki uidejo veljavnosti linearnega zakona. Sklepamo lahko, da manjši kot je mehurček in bolj kot je viskozna kapljevina, bolj velja linearni zakon upora ter večji kot je mehurček in manj kot je viskozna kapljevina, bolj velja kvadratni zakon upora. Za šibko točko meritve se je izkazalo določanje premera mehurčka. Za večjo kakovost rezultatov bi bilo potrebno najprej na nek način izboljšati kontrast mehurčkov glede na kapljevino, kar bi omogočilo natančnejše merjenje premera. Drugič, meritve bi morale zajemati sistematično mehurčke vseh velikosti od premera 1 mm do 5 cm. Vendar pa bi pri velikih mehurčkih zagotovo nastopila dodatna težava, to je, da mehurček izgubi krogelno obliko in se splošči.

7 Povzetek

Namen naloge je s poskusom in meritvami raziskati, kako viskoznost kapljevine in velikost zračnih mehurčkov vplivata na hitrost dvigovanja le teh in ugotoviti kateri zakon upora uravnovesi silo vzgona v določeni kapljevini. Pri manjših hitrostih velja linearni zakon, kjer je sila upora sorazmerna s hitrostjo mehurčka. Pri višjih hitrostih pa velja kvadratni zakon, kjer je sila upora sorazmerna s kvadratom hitrosti mehurčka. Za določanje veljavnosti zakonov računamo Reynoldsovo število (Re). Če je Re manjši od 0,5 velja linearni zakon upora, če je Re večji od 1000, velja kvadratni zakon upora, vmes pa ne velja nobeden od obeh zakonov. Poskusi so bili opravljeni v štirih različnih kapljevinah: v šibko viskozni vodi (1 mPa·s), jedilnem (49 mPa·s) in motornem olju (319 mPa·s), ter zelo viskoznem medu (2000 mPa·s). V merilnem valju s kapljevino sem povzročal različno velike mehurčke s pomočjo injekcijske brizgalne in cevk različnih premerov. Med dvigovanjem sem mehurčke snemal in nato z video analizo v programu Logger Pro določil premer in hitrost mehurčkov. Hipotezi, da večji mehurčki v enaki kapljevini potujejo hitreje in da enako veliki mehurčki v viskoznejših kapljevinah potujejo počasneje, sem brez izjeme potrdil. Pri potrjevanju hipotez, kateri zakon upora velja v kateri kapljevini, pa rezultati niso tako prepričljivi. Največji mehurček v vodi premera 20 mm ima Re 6200, kar pomeni, da zanj dobro velja kvadratni zakon upora. Najmanjši mehurček v vodi premera 3mm pa ima Re le 630, kar pomeni, da je padel iz veljavnosti kvadratnega zakona v vmesno področje. Pri medu ima najmanjši mehurček premera 5mm Re 0,029, kar pomeni, da zanj dobro velja linearni zakon upora. Največji mehurček v medu premera 18mm pa ima Re 1,05, kar pomeni, da je preskočil veljavnost linearne zakona in pristal v vmesnem področju. Rezultati nakazujejo, da ne moremo kar v naprej razglasiti, da v vodi vedno velja kvadratni zakon upora, v medu pa vedno linearni. Reynoldsovo število (Re) se z velikostjo mehurčka zelo spreminja: večji premer, večji Re . Zato mali mehurčki v vodi lahko padejo iz območja veljavnosti kvadratnega zakona, v medu pa veliki mehurčki uidejo veljavnosti linearne zakona. Za šibko točko meritve se je izkazalo določanje premera mehurčka. Za večjo kakovost rezultatov bi bilo potrebno najprej na nek način izboljšati kontrast mehurčkov glede na kapljevino, kar bi omogočilo natančnejše merjenje premera. Pri velikih mehurčkih (premera okoli 20 mm) je na posnetkih lepo vidno, da pri dvigovanju izgubijo krogelno obliko in se sploščijo, kar tudi vpliva na natančnost rezultatov.

8 Zahvala

Rad bi se zahvalil svojemu mentorju za pomoč pri poskusih in pisanju naloge. Zahvalil bi se tudi očetu za idejo in spodbudo, da sem se odločil narediti raziskovalno nalogo. Predstavil mi je tudi program Logger Pro, ki mi je zelo olajšal delo pri analizi poskusov. Zahvala gre tudi dedku, ki je čebelar, da je izbral najprimernejši med za mojo raziskavo.

9 Priloge

Priloga A

Tabela 6: Tabela viskoznosti kapljev

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>)

| Kapljevina | Viskoznost mPa · s |
|--|---------------------------|
| sončnično olje (20 ⁰ C) | 49,1 |
| motorno olje SAE40 (20 ⁰ C) | 319 |
| med | 2000 – 10000 |
| acetone (25 ⁰ C) | 0,306 |
| benzen (25 ⁰ C) | 0,604 |
| etanol (25 ⁰ C) | 1,074 |
| tekoči dušik (77 K) | 0,158 |
| živo srebro (25 ⁰ C) | 1,526 |
| metanol (25 ⁰ C) | 0,544 |
| motorno olje SAE10 (20 ⁰ C) | 65 |
| olivno olje (25 ⁰ C) | 81 |
| kri (37 ⁰ C) | 3-4 |

Priloga B










Tabela 7: Tabela viskoznosti vode v odvisnosti od temperature

| Temperatura [°C] | Viskoznost [mPa · s] |
|-------------------------|-----------------------------|
| 10 | 1,308 |
| 20 | 1,002 |
| 25 | 0,894 |
| 30 | 0,7978 |
| 40 | 0,6531 |
| 50 | 0,5471 |
| 60 | 0,4658 |
| 70 | 0,4044 |
| 80 | 0,3550 |
| 90 | 0,3150 |
| 100 | 0,2822 |

Priloga C

Tabela 8: Tabela koeficienta upora pri različnih telesih

(http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient)

| | | |
|--------------------|--|------|
| krogla |  | 0.47 |
| polkrogla |  | 0.42 |
| trikotna prizma |  | 0.50 |
| kocka |  | 1.05 |
| nagnjena kocka |  | 0.80 |
| dolg valj |  | 0.82 |
| kratek valj |  | 1.15 |
| aerodinamično telo |  | 0.04 |
| letalsko krilo |  | 0.09 |

Priloga D

Hitrost mehurčka v odvisnosti od njegovega polmera

Linearni zakon:

$$F_{vzg} = F_{up}$$

$$\rho \cdot g \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$$

$$v = \frac{2 \cdot \rho \cdot g}{9 \cdot \eta} \cdot r^2 \quad (5)$$

Kvadratni zakon:

$$F_{vzg} = F_{up}$$

$$\rho \cdot g \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = \frac{1}{2} \cdot C_u \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$v = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{3 \cdot C_u}} \cdot \sqrt{r} \quad (6)$$

$$\text{Med } \eta = \frac{2 \cdot g \cdot \rho \cdot r^2}{9 \cdot v} \quad \eta = 1,83 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

10 Viri in literatura:

1. Ambrožič, M. in sodelavci. 2004. Fizika. Narava, življenje 1 (učbenik fizike za 8. razred OŠ). DZS, Ljubljana
2. Strnad, J. 1989. Fizika 1. del. Mehanika, toplota. DMFA Slovenije, Ljubljana
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient