

OŠ Gustava Šiliha Laporje
Laporje 31, 2318 Laporje



MERJENJE VITALNE PLJUČNE KAPACITETE S POMOČJO ARHIMEDOVEGA ZAKONA

Področje: fizika
Raziskovalna naloga

Avtorja: Jurij Hojnik in Uroš Sobotič Verdnik, 9. a

Mentorja: Marijan Krajncan, prof., in Alenka Fidler, prof.

Lektorica: Božena Brence, prof.

Laporje, marec 2016

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujema mentorjema, gospodu Marjanu Krajncanu in gospe Alenki Fidler, ki sta naju pri delu natančno usmerjala.

Še posebej se zahvaljujema gospe Sonji Šunko-Koražija, dr. med., iz Internistične pulmološke ambulante Slovenska Bistrica, ki nam je omogočila meritve spirometrije, ter gospe Nataliji Čavničar, ki je te meritve izvedla.

Prav tako se zahvaljujema gospe Boženi Brence za lektoriranje raziskovalne naloge in gospe Tini Lešnik za prevod povzetka.

KAZALO

1	UVOD	6
2	TEORETIČNI DEL	7
2.1	Dihala	7
2.1.1	Nos, nosna in obnosne votline	7
2.1.2	Žrelo	8
2.1.3	Grlo	8
2.1.4	Sapnik in sapnici	8
2.1.5	Pljuča	9
2.2	Dihalna pot	10
2.3	Zmogljivost ali kapaciteta pljuč	12
2.3.1	Merjenje vitalne pljučne kapacitete	13
2.4	Arhimedov zakon	13
2.4.1	Plovnost	14
2.5	Boyle-Mariottov zakon	14
3	EKSPERIMENTALNI DEL	16
3.1	Namen raziskave	16
3.2	Cilji raziskave	16
3.3	Hipoteze	16
3.4	Metodologija	16
3.5	Postopki zbiranja podatkov	16
3.5.1	Vzorec eksperimentalne skupine	16
3.5.2	Postopki zbiranja podatkov v bazenu	17
3.5.3	Merjenje vitalne pljučne kapacitete s spirometrom	18
3.5.4	Uporabljeni pripomočki	19
3.5.5	Izračuni	19
3.6	Rezultati meritev	20
3.6.1	Opazovanje plovnosti pri normalnem dihanju	20
3.6.2	Opazovanje plovnosti pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu	20
3.6.3	Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino	21
3.6.4	Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino in izračun vitalne pljučne kapacitete	21
3.6.5	Rezultati spirometrije	22
4	RAZPRAVA	23
5	ZAKLJUČEK	25
6	LITERATURA IN VIRI	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Dihala. _____	7
Slika 2: Deli žrela. _____	8
Slika 3: Shematski prikaz pljuč. _____	9
Slika 4: Shematski prikaz izmenjave plinov v pljučnem mešičku. _____	10
Slika 5: Dihalna pot od sapnika do pljučnih mešičkov. _____	10
Slika 6: Dogajanje med vdihom in izdihom. _____	11
Slika 7: Dihalni volumni in pljučna kapaciteta. _____	12
Slika 8: Vzgon. _____	14
Slika 9: Prikaz Boyle-Mariottovega zakona. _____	15
Slika 10: Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino. _____	17
Slika 11: Priprava na merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino in izračun vitalne pljučne kapacitete. _____	18
Slika 12: Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino. _____	18
Slika 13: Merjenje volumna potapljaške maske. _____	20
Slika 14: Merjenje volumna votlih delov potapljaške maske. _____	20
Slika 15: Grafično predstavljeni rezultati spirometrije za osebe 1, 2 in 3. _____	23

KAZALO TABEL

Tabela 1: Spreminjanje tlaka glede na globino. _____	15
Tabela 2: Vzorec eksperimentalne skupine. _____	16
Tabela 3: Kategorizacija prehranjenosti. _____	19
Tabela 4: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino. _____	21
Tabela 5: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu ter izračun vitalne pljučne kapacitete za osebo 1. _____	21
Tabela 6: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu ter izračun vitalne pljučne kapacitete za osebo 2. _____	22
Tabela 7: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu ter izračun vitalne pljučne kapacitete za osebo 3. _____	22
Tabela 8: Rezultati spirometrije za osebo 1. _____	22
Tabela 9: Rezultati spirometrije za osebo 2. _____	22
Tabela 10: Rezultati spirometrije za osebo 3. _____	23
Tabela 11: Primerjava plovnosti glede na ITM. _____	24
Tabela 12: Primerjava izmerjene vitalne pljučne kapacitete s spirometrom in izračunane vitalne pljučne kapacitete z eksperimentom. _____	24

UPORABLJENI SIMBOLI

F	silna
g	gravitacija
h	globina
ITM	indeks telesne mase
max	maksimalen
min	minimalen
p	tlak
ρ	gostota
V	volumen
VCmax	maksimalna vitalna pljučna kapaciteta

POVZETEK

Cilj naše naloge je bilo ugotoviti, ali je možno izmeriti vitalno pljučno kapaciteto s pomočjo Arhimedovega zakona v bazenu. Menili smo, da lahko to izmerimo na dva načina, in sicer s potapljanjem telesa in merjenjem vzgona pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino in na podlagi meritev teže pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino.

Meritve smo opravili v bazenu, rezultate pa primerjali z rezultati spirometrije, ki smo jo opravili v pulmološki ambulanti.

Ugotovili smo, da s potapljanjem telesa in merjenjem vzgona pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino ne merimo vitalne pljučne kapacitete, temveč plovnost telesa. Plovnost ljudi se razlikuje.

S pomočjo meritev teže pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino smo dokaj natančno izračunali vitalno pljučno kapaciteto, in sicer tako, da smo od izmerjenega rezultata sile vzmetne tehtnice na telo pri maksimalnem izdihu odšteli izmerjen rezultat sile vzmetne tehtnice na telo pri maksimalnem vdihu. Dobljeni volumen je vsota inspiratornega rezervnega, dihalnega in ekspiratornega rezervnega volumna pljuč, ki predstavlja vitalno pljučno kapaciteto.

Z raziskovalno nalogo smo dokazali, da lahko z razliko vzgonov pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu potopljene osebe tik pod gladino dokaj natančno določimo vitalno pljučno kapaciteto.

Ključne besede: vitalna pljučna kapaciteta, spirometrija, Arhimedov zakon, vzgon

ABSTRACT

Title: Measuring the lung capacity by means of Archimedes principle

The purpose of this research is to identify the possibilities of measuring lung capacity in a pool with the use of Archimedes principle. Our presumption was that this can be done in two ways: firstly with immersing the body and measurement of buoyancy by maximum inhalation with adding weight until neutral floating position directly under the surface, and secondly, by means of measuring weight after immersing the body by maximum inhalation and maximum exhalation directly under the surface.

Measurement was made in the pool; the results were compared with spirometry result performed by a pulmonary specialist.

It has been discovered that by sinking of the object and measurement of buoyancy by maximum inhalation, with adding weight until neutral floating position directly under the surface, we cannot measure vital lung capacity, but flotation of the body. Flotation of humans differs.

By measurement of weight after immersing the body by maximum inhalation and maximum exhalation directly under the surface, we can accurately calculate the vital lung capacity. We have subtracted the measured force of dynamometer on a body by maximum inhalation from measured force of dynamometer on a body by maximum exhalation. The force was turned into volume by implementation of Archimedes principle. The volume acquired is the sum of inspiratory reserve, breathing and expiratory reserve lung volume, which represent lung capacity.

It has been proven that the vital lung capacity can be determined quite accurately by subtraction of buoyancy by maximum inhalation and maximum exhalation of a person immersed directly under the surface.

Key words: vital lung capacity, spirometry, Archimedes principle, buoyancy

1 UVOD

Z raziskovalno nalogo želimo raziskati, ali lahko s pomočjo Arhimedovega zakona izmerimo vitalno pljučno kapaciteto. Totalne pljučne kapacitete ne moremo izmeriti, saj ne moremo izmeriti rezidualnega volumna.

Postavili smo si naslednje hipoteze.

- Hipoteza A: Predpostavljamo, da imamo ljudje različno plovnost.
- Hipoteza B: Predpostavljamo, da lahko z dodatno maso, ki je potrebna, da se pri maksimalnem vdihu potopimo do nevtralne plovnosti tik pod gladino, predvidimo, katera oseba ima večjo in katera manjšo vitalno pljučno kapaciteto.
- Hipoteza C: Predpostavljamo, da lahko z razliko vzgonov pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu potopljene osebe tik pod gladino dokaj natančno izračunamo vitalno pljučno kapaciteto.

V teoretičnem delu naloge smo preučili dihala, dihalno pot in pljučne kapacitete ter Arhimedov in Boyle-Mariottov zakon.

Dihala skrbijo za izmenjavo kisika in ogljikovega dioksida med zrakom in krvjo. Ko vdihnemo, zrak potuje skozi nosno ali ustno votlino, skozi žrelo in grlo, kjer je poklopec, ki skrbi, da v sapnik ne zaide hrana ali tekočina, in glasilke. Iz grla vodi sapnik, ki se deli na dve sapnici, ki vodita v pljuča. Vsaka sapnica se deli na vedno manjše cevke vse do pljučnih mehurčkov, ki predstavljajo najbolj dejavni del pljuč. Na zunanji strani so mešički prekriti z velikim številom kapilar. Ker so stene mešičkov in kapilar zelo tanke, izmenjava plinov skozi njih poteka nemoteno (Dolinar idr., 2015).

Pljučno dihanje omogočajo dihalni gibi, ki jih ritmično izvajajo dihalne mišice, s krčenjem in sproščanjem trebušne prepone, zunanjih in notranjih medrebrnih mišic. Dihalne mišice povzročajo spremembe tlaka v dihalni poti in v pljučnih mešičkih, zato zrak prihaja v pljuča in iz njih (Dolinar idr., 2015).

Prostornina zraka v pljučih se spreminja. Poznamo dihalni, inspiratorni, ekspiratorni in rezidualni volumen pljuč. Pljučna kapaciteta je vsota dveh ali več pljučnih volumnov. Vitalna pljučna kapaciteta je vsota inspiratornega rezervnega, dihalnega in ekspiratornega rezervnega volumna in znaša od 3 do 5 litrov, pri športnikih lahko tudi do 8 litrov (Dolinar idr., 2015; Veselič, 1993).

Podatke smo zbirali z eksperimentiranjem, ki je potekalo v treh delih. Prvi in tretji del sta potekala v Športnem parku Ruše, kjer smo opravili:

- meritve eksperimentalne skupine,
- opazovanje plovnosti pri normalnem dihanju,
- opazovanje plovnosti pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu,
- merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino,
- merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino in izračun vitalne pljučne kapacitete.

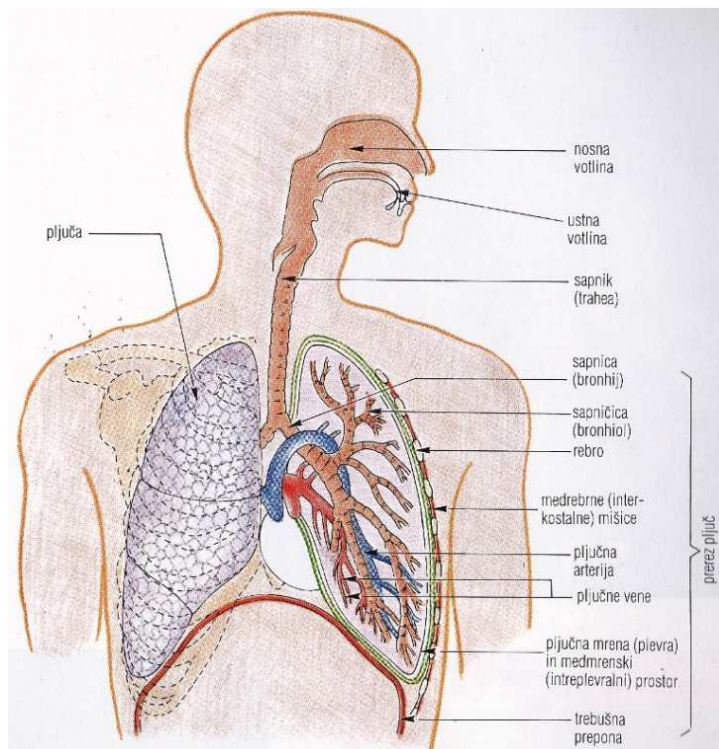
Drugi del je potekal v Internistični pulmološki ambulanti pri Sonji Šunko-Koražija, dr. med., v Slovenski Bistrici, kjer smo opravili spirometrijo.

Na koncu smo rezultate in izračune, dobljene z meritvami v bazenu, primerjali z rezultati spirometrije in na podlagi tega potrdili oziroma ovrgli hipoteze.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Dihala

Telesne celice morajo biti nenehno preskrbljene s kisikom. Le-ta je nujno potreben za celično dihanje, kjer se iz hranilnih molekul sprošča energija, ki je nujno potrebna za številne procese v celicah. Za preskrbo telesnih celic s kisikom in za odstranjevanje ogljikovega dioksida iz tkiv skrbijo dihalna in obtočila. Dihanje, ki je glavna naloga dihal, zajema prenos zraka v pljuča in iz njih ter izmenjavo plinov v pljučnih mešičkih. Dihanje telesnim celicam zagotavlja zadostno količino kisika iz zunanjega okolja, hkrati pa omogoča oddajanje ogljikovega dioksida, ki nastane pri presnovi v celicah (Dolinar idr., 2015).



Slika 1: Dihala.

(Vir: Anselme idr., 1999, str. 181)

Dihalni sistem sestavljajo dihalne poti in pljuča. Deli dihalne poti zrak očistijo, ogrejejo, ovlažijo in ga vodijo v pljuča. Dihalna pot je ves čas odprta, da je dotok zraka v pljuča nemoten. Deli dihalne poti so (Dolinar idr., 2015, str. 278):

- nos,
- nosna votlina z obnosnimi votlinami,
- žrelo,
- grlo,
- sapnik, ki se cepi na sapnici, te na tanjše sapnice, nato na bronhiole, iz katerih se bočijo pljučni mehurčki,
- pljuča.

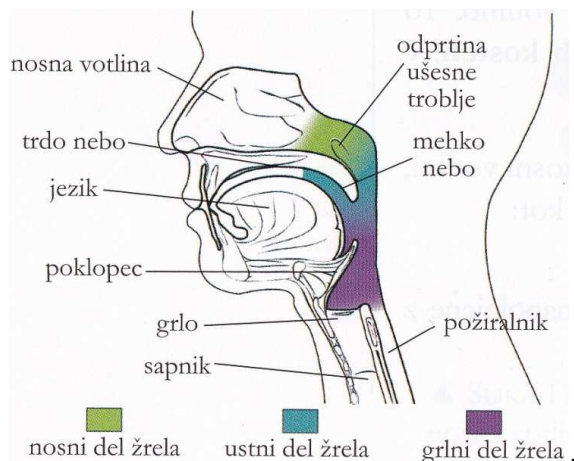
2.1.1 Nos, nosna in obnosne votline

Nos predstavlja skupaj z ustno votlino vhod v dihalna. Je čutilo za voh. Nosno votlino na dve polovici deli nosni pretin, ki je spredaj iz hrustanca, zadaj pa koščen. Nosna votlina je v celoti prekrita s sluzjo in ima mnogo žlez (Velepič, 1993).

Obnosne votline najdemo v čelnici, sitki, zgornji čeljustnici in zagozdnic. Pri dihanju imajo obnosne votline enako nalogo kot glavna nosna votlina, poleg tega pa se v njih krepi glas, prav od tu pa izvira tudi glasovni zven (Velepič, 1993).

2.1.2 Žrelo

Žrelo je približno 12 centimetrov dolga mišična cev, ki je na vrhu pritrjena na lobanjsko bazo. Predstavlja križišče prebavne in dihalne poti in je edini del dihal, v katerem poleg zraka najdemo še hrano in tekočino (Anselme idr., 1999).



Slika 2: Deli žrela.
(Vir: Dolinar idr., 2015, str. 282)

Na sliki 2 so prikazani zgornji ali nosni del žrela, ki leži za nosno votlino, ustni del žrela, ki leži za ustno votlino in sega spodaj do poklopca, in grlni del žrela, ki je za grlom in ob njem. V nosnem delu žrela se nahajajo žrelnica, obe tubarni bezgavki in odprtina ušesne troblje, ki povezuje votlino srednjega ušesa z nosnim delom žrela. Na stranskih stenah ustnega dela žrela so mandlji in koren jezika z jezično bezgavko (Dolinar idr., 2015).

2.1.3 Grlo

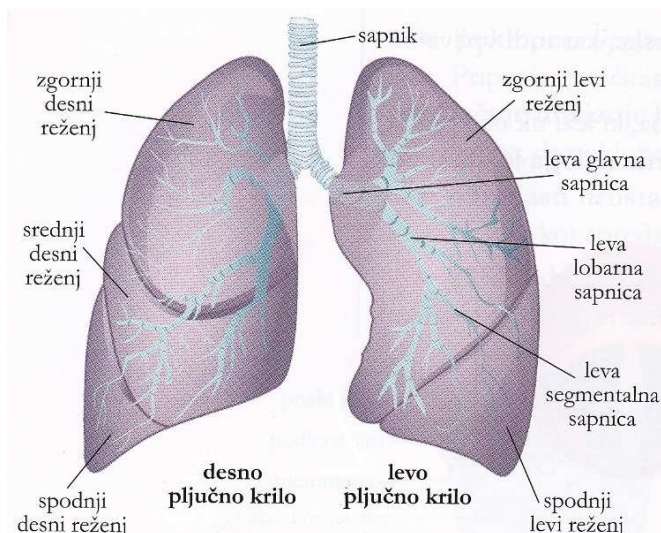
Grlo leži v višini četrtega do petega vratnega vretenca in je sestavljeno iz več hrustancev, mišic in vezi. Največji hrustanec se imenuje ščitasti hrustanec in je bolj izrazit pri moških kot pri ženskah. Imenujemo ga Adamovo jabolko. Na zgornji del ščitastega hrustanca sta pripeta podjezičnica in poklopec. Poklopec ščiti grlo, da vanj ne zaide hrana in tekočina. Hrustance pokriva sluznica, ki oblikuje dva para prožnih gub. Zgornji par sta nepravi, spodnji par pa pravi glasilki. Glasilki sta med dihanjem razmaknjeni, ob nastajanju glasa pa sta tesno skupaj. Spodnji del grla se nadaljuje v sapnik (Anselme idr., 1999).

2.1.4 Sapnik in sapnici

Sapnik poteka skozi vrat v prsni koš in se v višini petega prsnega vretenca razdeli na levo in desno sapnico oziroma bronhij. Sapnik in sapnici so zgrajeni iz hrustančnih obročkov, ki omogočajo, da so nenehno odprti in da lahko zrak nemoteno prehaja skozi njih. Vsaka sapnica vodi v svoje pljučno krilo in se konča s številnimi pljučnimi mešički. Stene sapnika in sapnic so prekrite s sluzjo, ki lovi prah in ostale manjše delce, ki so se izmuznile skozi nosno votlino. Vse te snovi, ki se naložijo na sluzi, iz telesa izkašljamo (Velepič, 1993).

2.1.5 Pljuča

Pljuča so občutljiv in dobro zaščiten organ, ki leži v prsni votlini in je zaščiten s prsnim košem in prsno mrežo. Pri novorojenčku so pljuča svetlo oranžne barve, z leti pa zaradi vdihavanja prahu posivijo. Zgrajena so iz bronhialnega vejevja, elastičnega veziva, krvnih žil, limfatičnega tkiva in vegetativnih živcev. Imajo obliko stožca, ki se spodaj prilega obliki trebušne prepone, zgoraj pa so koničasta. Z vrhom segajo do višine ključnice v zgornjo odprtino prsnega koša (Dolinar idr., 2015).

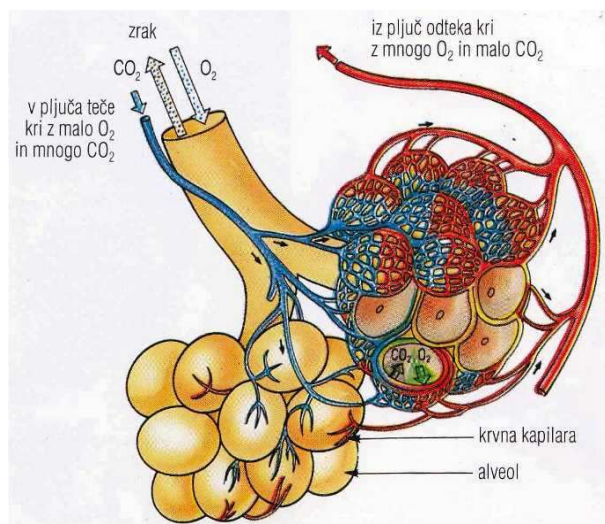


Slika 3: Shematski prikaz pljuč.
(Vir: Dolinar idr., 2015, str. 282)

Pljuča imajo dva dela, to sta levo in desno pljučno krilo. Med pljučnimi krili je medpljučje, kjer ležijo številni organi, kot so srce, požiralnik, sapnik in še nekateri drugi. Desno pljučno krilo leži nekoliko nižje od levega in je v primerjavi z levim nekoliko širše. Desno pljučno krilo ima tri, levo pljučno krilo pa dva režnja. Na sredini med pljučnima ploskvama je pljučna lina, skozi katero vstopajo sapnica, arterije, vene, limfni vodi in živci. Glavni sapnici se v pljučnih krilih delita na veliko manjših sapnic. Stena sapnic je podprta z nepravilno oblikovanimi hrustančnimi ploščicami. Vse sapnice se končajo s pljučnimi mešički ali alveoli (Dolinar idr., 2015).

Desno in levo pljučno krilo ter notranjo steno prsne votline ovija tanka prsna membrana, ki se imenuje poprsnica ali pleura. Poprsnica je zgrajena iz notranjega in zunanega lista. Notranji list imenujemo popljučnica. Popljučnica prekriva pljuča. Zunanji list imenujemo stenska mreža. Prekriva notranjo steno prsnega koša, površino trebušne prepone ter medpljučje. Med obema listoma je okoli 10–20 mikrometrov velik plevralni prostor. V njem se nahaja serozna tekočina, ki zmanjšuje trenje med dihanjem in omogoča podtlak, zato lahko med dihalnimi gibi pljuča sledijo premikom prsnega koša (Dolinar idr., 2015).

Pljučni mešički so najbolj dejavni del pljuč. V pljučih je okoli 300 milijonov pljučnih mešičkov s funkcionalno površino, ki meri okoli 70 m². Zaradi tako velike površine je izmenjava plinov med krvjo in pljučnimi mešički zelo dobra. Med posameznimi pljučnimi mešički so tudi prašnice, to so celice, ki ustavijo še zadnje delce prahu v zraku. Na zunanji strani so mešički prekriti z velikim številom kapilar. Ker so stene mešičkov in kapilar zelo tanke, izmenjava plinov skozi njih poteka nemoteno. Notranjo površino pljučnega mešička prekriva tanka plast tekočine, ki je zelo pomembna, saj se morajo plini najprej raztopiti, da lahko vstopijo skozi membrane v celico in iz nje (Dolinar idr., 2015).

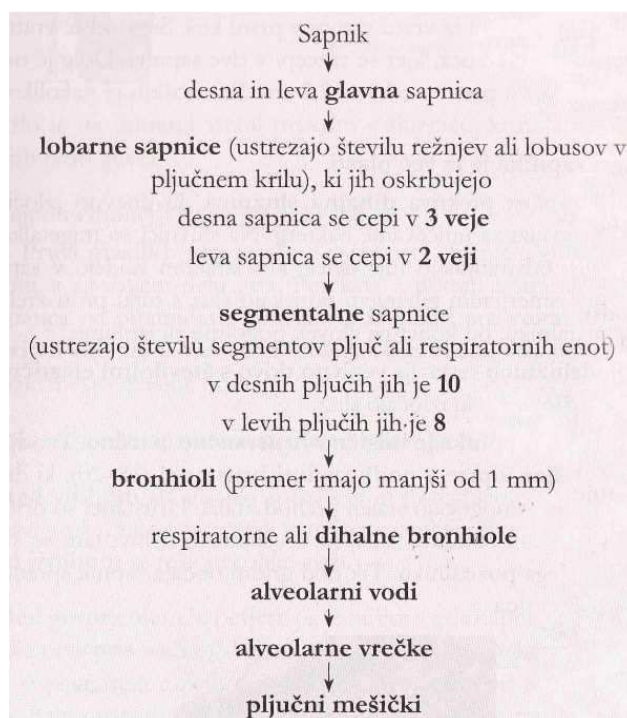


Slika 4: Shematski prikaz izmenjave plinov v pljučnem mešičku.
(Vir: Anselme idr., 1999, str. 181)

2.2 Dihalna pot

Dihalni plini se po telesu prenašajo v več fazah (Dolinar idr., 2015).

- 1. faza: Pljučno dihanje, pri katerem zrak z vdihom vstopa v pljuča, z izdihom pa izstopa iz njih.
- 2. faza: Zunanje dihanje, pri katerem se s pomočjo difuzije izmenjujejo dihalni plini med krvjo v pljučnih kapilarah in zrakom v pljučnih mešičkih.
- 3. faza: Prenos dihalnih plinov po krvnem obtoku. Kisik se prenaša iz pljuč do srca in nato do vseh tkiv po telesu, ogljikov dioksid pa iz vseh telesnih tkiv nazaj v pljuča.
- 4. faza: Notranje dihanje, pri katerem se izmenjujejo dihalni plini med krvjo in celicami v tkivih. Notranjemu dihanju sledi celično dihanje.

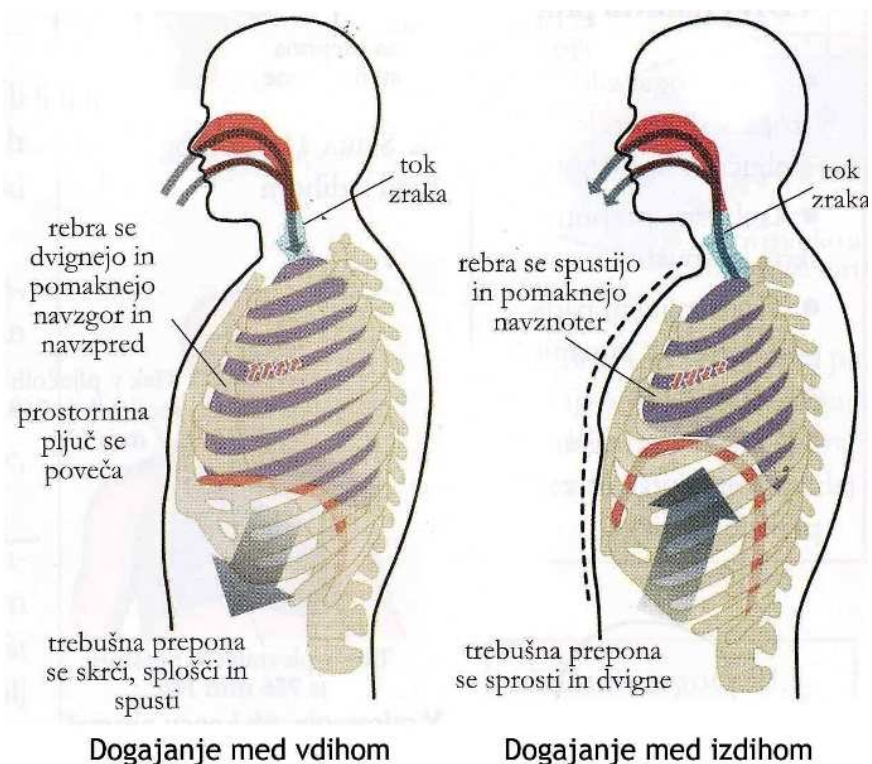


Slika 5: Dihalna pot od sapnika do pljučnih mešičkov.
(Vir: Dolinar idr., 2015, str. 286)

Dihalna pot se prične v nosni ali ustni votlini. Kadar telo potrebuje veliko kisika, običajno dihamo skozi usta, saj tako dihamo hitreje. Priporočljivejše je dihanje skozi nos, saj se zrak v nosni votlini navlaži, očisti in segreje. Zrak nato potuje skozi žrelo do sapnika, nato po desni in levi glavni sapnici, po lobarnih in segmentalnih sapnicah do bronhiol vse do pljučnih mešičkov, v katerih poteka izmenjava plinov, kar prikazuje slika 5.

Pljučno dihanje omogočajo dihalni gibi, ki jih ritmično izvajajo dihalne mišice, s krčenjem in sproščanjem trebušne prepone, zunanjih in notranjih medrebrnih mišic. Dihalne mišice povzročajo spremembe tlaka v dihalni poti in v pljučnih mešičkih, zato zrak prihaja v pljuča in iz njih. Med vdihom vstopa zrak, bogat s kisikom, v dihalno pot do pljučnih mešičkov. Pri tem se trebušna prepona skrči in spusti, prsna votlina pa se razširi, s čimer se poveča prostornina pljuč. Posledično tlak v pljučih pade pod vrednost zunanjega zračnega tlaka, kar omogoči, da začne zrak vdirati skozi dihalne poti v pljuča do pljučnih mešičkov. To poteka tako dolgo, dokler se tlak v pljučih in zunanji zračni tlak ne izenačita. Vdihu sledi izdih, pri katerem se trebušna prepona in medrebrne mišice sprostijo, prsna votlina se vrne v prvotni položaj. Pljuča se skrčijo in začnejo stiskati pljučne mešičke. Tlak v pljučnih mešičkih in v pljučih naraste nad zunanji zračni tlak. Zrak, bogat z ogljikovim dioksidom, se začne iztiskati iz pljuč (Dolinar idr., 2015).

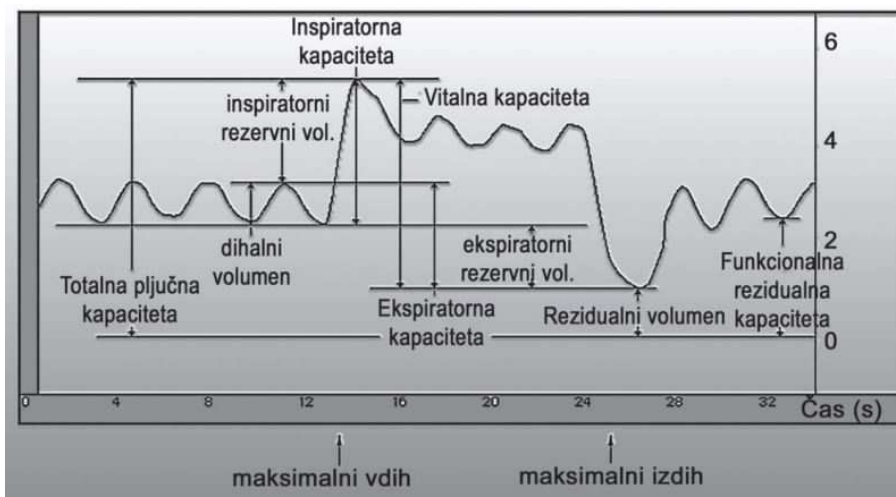
Hitrost dihanja uravnava center za dihanje, ki ga najdemo v podaljšanem hrbtnem mozgu in je izredno občutljiv na količino ogljikovega dioksida v krvi. Odrasel človek vdihne približno 16 do 18-krat na minuto, mlajši človek nekoliko pogosteje, novorojenček 40 do 50-krat, starejši človek pa diha počasneje. Medtem ko je med spanjem dihanje počasnejše, je pri večjem telesnem naporu dihanje hitrejše in bolj globoko, ker je potreba po kisiku večja (Velepič, 1993).



Slika 6: Dogajanje med vdihom in izdihom.
(Vir: Dolinar idr., 2015, str. 291, 292)

2.3 Zmožljivost ali kapaciteta pljuč

Pri mirovanju zdrav človek vsakič vdihne oziroma izdihne približno 0,5 litrov zraka. Pri telesni aktivnosti se zaradi potrebe po večji količini kisika hitrost in prostornina dihanja povečata (Dolinar idr., 2015).



Slika 7: Dihalni volumni in pljučna kapaciteta.

(Vir: Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru, 2015)

Prostornina zraka v pljučih se spreminja (Dolinar idr., 2015; Veselič, 1993).

- Dihalni volumen (V_T) je majhna količina zraka v pljučih, ki se izmenjuje pri dihalnih gibih med mirovanjem telesa. Znaša okoli 0,5 litra, med telesno vadbo pa se lahko poveča do 3 litre.
- Inspiratorni rezervni volumen (IRV) ali globok vdih je maksimalna prostornina zraka, ki ga lahko dodatno vdihnemo po normalnem vdihu. Znaša okoli 2,1 do 3,1 litra.
- Ekspiratorni rezervni volumen (ERV) ali globoki izdih je maksimalna prostornina zraka, ki ga lahko izdihnemo po normalnem izdihu. S silo lahko izdihnemo okoli 1 liter zraka več, kot je dihalni volumen.
- Rezidualni volumen (RV) je prostornina zraka, ki ostane v pljučih po maksimalnem izdihu. Znaša med 1 do 2 litra, s starostjo narašča.

Pljučna kapaciteta je vsota dveh ali več pljučnih volumnov. Ločimo naslednje kapacitete (Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru, 2015; Dolinar idr., 2015).

- Inspiratorna kapaciteta (IC) je vsota dihalnega in inspiratornega rezervnega volumna ($IC = V_T + IRV$). Pri mladih odraslih moških znaša okoli 3,3 litra, pri mladih odraslih ženskah okrog 1,9 litra.
- Ekspiratorna kapaciteta (EC) je vsota dihalnega in ekspiratornega rezervnega volumna ($EC = V_T + ERV$). Pri mladih odraslih moških znaša okoli 1 liter, pri mladih odraslih ženskah okrog 0,7 litra.
- Funkcionalna rezidualna kapaciteta (FRC) je vsota ekspiratornega rezervnega in rezidualnega volumna ($FRC = ERV + RV$).
- Vitalna kapaciteta (VC) je vsota inspiratornega rezervnega, dihalnega in ekspiratornega rezervnega volumna ($VC = IRV + V_T + ERV$). Znaša od 3 do 5 litrov, pri športnikih lahko tudi do 8 litrov.
- Totalna pljučna kapaciteta (TLC) je vsota inspiratornega rezervnega, dihalnega, ekspiratornega rezervnega in rezidualnega volumna ($TLC = IRV + V_T + ERV + RV$).

»Vitalna kapaciteta je prostornina zraka, ki ga lahko maksimalno izdihnemo po maksimalnem vdihu in znaša okoli 5 litrov. Odvisna je od spola, starosti, telesne konstitucije in telesne kondicije. S telesno vadbo lahko prostornino pljučnih mešičkov povečamo in tako dobijo pljuča ob vdihu več kisika. Nekateri športniki lahko vdihnejo tudi do 8 litrov zraka« (Dolinar idr., 2015, str. 294).

2.3.1 Merjenje vitalne pljučne kapacitete

Osnovna preiskava za oceno pljučne funkcije je spirometrija. Testiranje pljučne funkcije je pomembno za klinično presojo ob sumu ali ob že znani pljučni bolezni. Služi kot dopolnilo v procesu postavljanja diagnoze za določitev stopnje bolezni ter za spremljanje terapevtskih ukrepov. Spirometrija zajema meritve vitalne kapacitete, forsiranih ekspiratornih in inspiratornih volumnov (Korenin, 2008).

Postopek spirometrije sestavljajo trije manevri (Korenin, 2008, str. 158):

- maksimalni vdih,
- podaljšani izdih, dokler se ne izpiha ves zrak iz pljuč,
- forsirani izdih, pri katerem se izpiha zrak s vso močjo kar se da hitro.

Pri spirometriji se dobljeni rezultati izrazijo v odstotkih glede na predvideno normalno vrednost za posamezno starostno skupino preiskovanca. Spirometer se čisti dnevno z alkoholnimi robčki. Cev se pri spirometru menjuje na 24 ur. Po uporabi se razkuži in sterilizira (Korenin, 2008).

2.4 Arhimedov zakon

Vzgon lahko opazujemo v vseh tekočinah. Sila vzgona nastane zato, ker se tlak v tekočini z globino h večja. Tlak na spodnji strani telesa je večji kot na zgornji strani telesa, kar pomeni, da na spodnjo stran telesa deluje večja sila. Rezultanta sil kaže navzgor. Poleg globine na tlak v tekočini vplivata še gostota tekočine (gostota vode ρ znaša 1000 kg/m^3) in težni pospešek g , ki znaša 10 m/s^2 (Johnson, 1996).

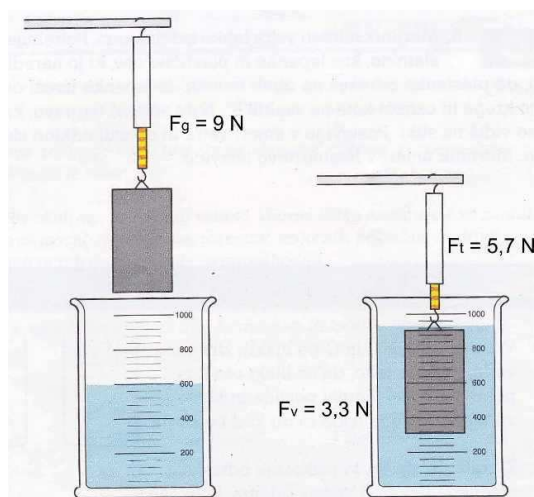
$$p \left[\frac{N}{m^2} \right] = g \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot h[m] \cdot \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Arhimedov zakon govori o hidrostatičnem vzgonu, ki je enak teži izpodrinjene tekočine.

$$F_v[N] = g \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot V[m^3] \cdot \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Teža telesa, potopljenega v mirujočo tekočino, je navidezno manjša za težo izpodrinjene tekočine. Hidrostatični tlak, ki deluje na zgornji strani telesa, je manjši od hidrostatičnega tlaka od spodaj. Razlika teh dveh vrednosti je sila, ki potisne telo navzgor. Ta sila, ki deluje na telo, potopljeno v tekočino, se imenuje vzgon. Vzgon ni odvisen od gostote potopljenega telesa, temveč od gostote tekočine, v katero je potopljeno telo. Isto telo v različnih tekočinah lahko potone, plava ali lebdi (Bez nec idr., 2004; Pistotnik, 2002; Johnson, 1996).

Na sliki 8 je na primeru razložen Arhimedov zakon. Kovinski kvader smo obesili na vzmetno tehtnico in odčitali težo ($F_g = 9 \text{ N}$). Kvader smo potopili v vodo in izmerili silo vzmetne tehtnice ($F_t = 5,7 \text{ N}$). Zaradi sile vode na potopljeni kvader se je teža kvadra zmanjšala za $3,3 \text{ N}$, torej je vzgon $3,3 \text{ N}$. Z merilnega valja lahko odčitamo prostornino potopljenega kvadra (330 ml) in izračunamo težo izpodrinjene tekočine. Teža 1 litra vode je 10 N , torej je teža izpodrinjene tekočine $3,3 \text{ N}$. Po velikosti je enaka vzgonu.



Slika 8: Vzgon.
(Vir: Beznec idr., 2004, str. 66)

2.4.1 Plovnost

Plovnost je lastnost mirujočega telesa, da se obdrži na vodni gladini. Na vsako telo, ki je v vodi, delujeta dve sili, in sicer sila teže (F_g), ki kaže navpično navzdol, in sila vzgona (F_{vz}), ki je enaka teži izpodrinjene tekočine in kaže navpično navzgor. Od velikosti teh dveh sil so možna tri stanja plovnosti (Zupan, Plevnik, 2009, str. 21).

- $F_{vz} < F_g$: negativna plovnost, telo se potopi.
- $F_{vz} = F_g$: nevtralna plovnost, telo lebdi v vodi pod gladino.
- $F_{vz} > F_g$: pozitivna plovnost, telo se dvigne proti vodni gladini in izplava na gladino, tako da je samo del telesa potopljen v vodo in je izpolnjeno $F_{vz} = F_g$.

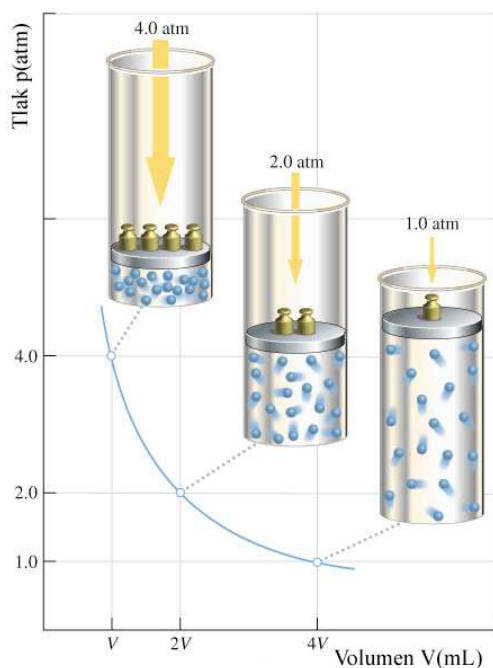
Spremembe plovnosti lahko nastanejo zaradi dihanja, volumna potapljaške maske, potapljaške obleke in plovnosti plavuti (Pistotnik, 2002). Pri naši raziskavi smo izkoristili spremembe plovnosti, ki nastanejo zaradi dihanja. Potapljaške obleke in plavuti nismo uporabljali, vzgona potapljaške maske in uteži pa pri izračunih nismo upoštevali, saj naše meritve niso tako natančne in ta dva podatka bistveno ne vplivata na naše rezultate.

2.5 Boyle-Mariottov zakon

Plovnost telesa v vodi ni stalna, saj se zaradi povečane globine oziroma pritiska, ki se veča z globino, spreminja. Večji pritisk v globinah stiska vse votline s plini, ki nimajo čvrstega ogrodja (prsni koš, nosne in druge votline) in jim zmanjšuje volumen, s tem pa se zmanjšuje tudi plovnost telesa. Telo z globino pospešeno tone (Pistotnik, 2002).

Boyle-Mariottov zakon je eden izmed plinskih zakonov, ki obravnava medsebojno odvisnost tlaka (p) in volumna (V) pri konstantni temperaturi (T).

$$p_1 \left[\frac{N}{m^2} \right] \cdot V_1 [m^3] = p_2 \left[\frac{N}{m^2} \right] \cdot V_2 [m^3]$$



Slika 9: Prikaz Boyle-Mariottovega zakona.
 (Vir: Marciuš, 2015)

Boyle-Mariottov zakon najlažje prikažemo tako, da plin zapremo v valj s pomičnim batom, kot kaže slika 9. Ob spreminjanju tlaka se spreminja tudi volumen. Produkt obeh količin je konstanten. Zračni tlak je približno 1 bar. Na globini 10 metrov se tlak podvoji glede na tlak na površini in znaša 2 bara. Volumen zraka se zato zmanjša na polovico začetnega volumna. Na globini 20 metrov se absolutni pritisk poveča na 3 bare, volumen zraka se zmanjša na tretjino.

Tabela 1: Spreminjanje tlaka glede na globino (IAHD Adriatic, 2015).

Absolutni tlak	Globina	Volumen zraka	Simulacija volumna zraka v pljučih (primer: $V_{\text{pljuč}} = 6 \text{ l}$)
1 bar	0 m	1 l	6 l
2 bar	10 m	0,5 l	3 l
3 bar	20 m	0,33 l	2 l
4 bar	30 m	0,25 l	1,5 l

Iz tabele 1 razberemo, da se največje spremembe volumna zraka zgodijo v prvih 10 metrih globine.

Eksperimentalni del naše raziskave je potekal v bazenu globine 2 metra. Na dnu bazena je tlak 1,2 bara. Najboljše bi bilo, če bi lahko eksperiment izvajali tako, da bi bilo človeško telo v horizontalnem položaju tik pod gladino. Zaradi nehomogene zgradbe človeškega telesa in s tem povezanega ravnotežja telesa v vodi na tak način ne bi mogli narediti meritev. Zato smo kljub poznavanju Boyle-Mariottovega zakona izbrali vertikalni položaj s potopitvijo glave tik pod gladino.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Namen raziskave

Namen naše raziskave je ugotoviti, ali je možno izmeriti vitalno pljučno kapaciteto s pomočjo Arhimedovega zakona v bazenu.

3.2 Cilji raziskave

Cilj raziskave je izmeriti vitalno pljučno kapaciteto s pomočjo Arhimedovega zakona v bazenu.

3.3 Hipoteze

Zastavili smo si naslednje hipoteze.

- Hipoteza A: Predpostavljamo, da imamo ljudi različno plovnost.
- Hipoteza B: Predpostavljamo, da lahko z dodatno maso, ki je potrebna, da se pri maksimalnem vdihu potopimo do nevtralne plovnosti tik pod gladino, predvidimo, katera oseba ima večjo in katera manjšo vitalno pljučno kapaciteto.
- Hipoteza C: Predpostavljamo, da lahko z razliko vzgonov pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu potopljene osebe tik pod gladino dokaj natančno izračunamo vitalno pljučno kapaciteto.

3.4 Metodologija

V raziskovalni nalogi smo uporabili metodo eksperimenta.

3.5 Postopki zbiranja podatkov

Podatke smo zbirali z eksperimentiranjem, ki je potekalo v treh delih.

- Prvi del zajema zbiranje podatkov v bazenu v Športnem parku Ruše 17. 2. 2016, ko smo preverjali hipotezi A in B.
- Drugi del zajema merjenje pljučne funkcije v Internistični pulmološki ambulanti Slovenska Bistrica 18. 2. 2016.
- Tretji del zajema zbiranje podatkov v bazenu v Športnem parku Ruše 25. 2. 2016, ko smo preverjali hipotezo C.

3.5.1 Vzorec eksperimentalne skupine

Tabela 2: Vzorec eksperimentalne skupine.

Oseba	Spol	Starost v letih	Višina v cm	Masa v kg	ITM
1	moški	14	173	68	22,7
2	moški	58	178	86	27,1
3	ženski	37	168	63	22,3

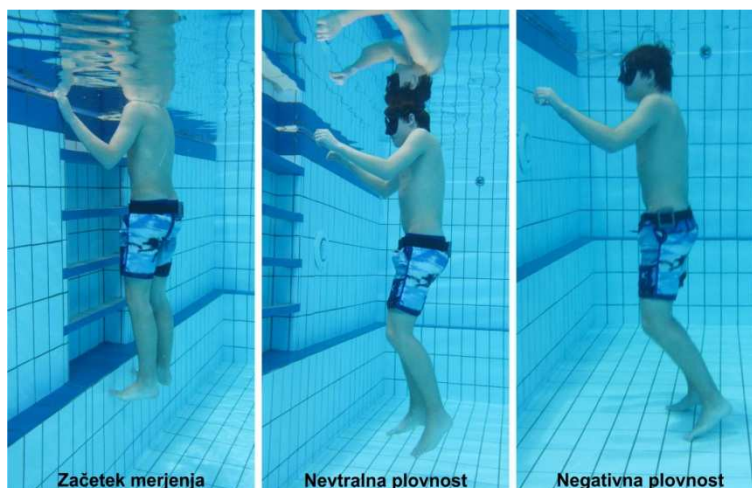
V raziskavi so sodelovale tri osebe različnih starosti, 2 moška in 1 ženska. Oseba 1 in oseba 3 imata po kategorizaciji prehranjenosti normalno telesno maso (ITM = 18,5 do 24,9), oseba 2 ima prekomerno telesno maso (ITM = 25 do 29,9).

Vse tri osebe se zmerno ukvarjajo s športom in so nekadilci.

3.5.2 Postopki zbiranja podatkov v bazenu

Pred pričetkom eksperimentiranja smo določili natančne postopke dela. Ves čas eksperimentiranja smo sproti beležili ugotovitve.

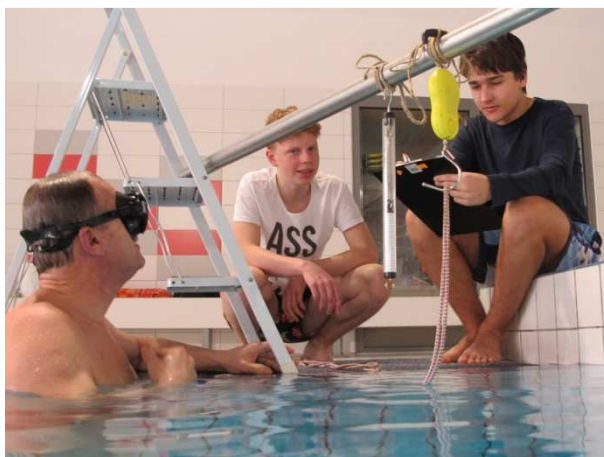
1. Izbira bazena.
 - Športni park Ruše, globina bazena je 2 metra.
2. Meritve eksperimentalne skupine.
 - Meritve višine in mase.
3. Opazovanje plovnosti pri normalnem dihanju.
 - Potek: Vertikalni položaj telesa, noge so rahlo pokrčene, rahlo držanje z rokami za rob bazena, normalni vdih in normalni izdih, opazovanje plovnosti osebe pri normalnem vdihu in normalnem izdihu.
4. Opazovanje plovnosti pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu.
 - Potek: Vertikalni položaj telesa, noge so rahlo pokrčene, rahlo držanje z rokami za rob bazena, maksimalni vdih/izdih, opazovanje plovnosti osebe pri maksimalnem vdihu/izdihu.
5. Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino.
 - Priprava: Tehtanje uteži, pasa in maske.
 - Potek: Vertikalni položaj telesa, noge so rahlo pokrčene, rahlo držanje z rokami za rob bazena, maksimalni vdih, dodajanje uteži na potapljaški pas do nevtralne plovnosti tik pod gladino.



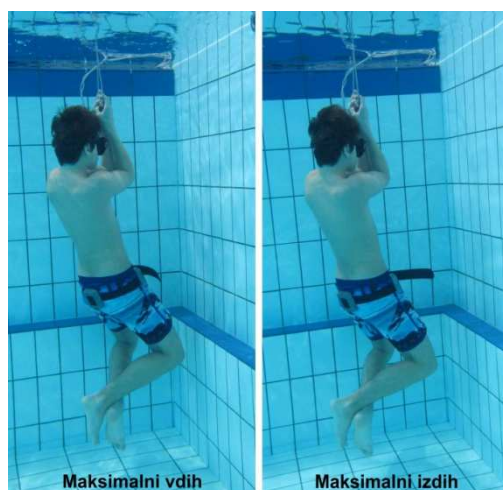
Slika 10: Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino.

(Avtor: Jurij Hojnik)

6. Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino in izračun vitalne kapacitete.
 - Priprava: Na dveh stranicah bazena ob njegovem kotu namestitev dveh lestev, na njih nameščen drog, na drog obešeni vzmetna in elektronska tehtnica, s katerih visi vrv z zanko približno 5 cm pod gladino bazena, dodatna obremenitev oseb z maso 6,1 kg (uteži, maska in pas).
 - Potek: Vertikalni položaj telesa, noge so rahlo pokrčene, maksimalni vdih, držanje z rokami za vrvno zanko, umiritev telesa, tehtanje oziroma merjenje sile vzmetne tehtnice; maksimalni izdih, držanje z rokami za vrvno zanko, umiritev telesa, tehtanje oziroma merjenje sile vzmetne tehtnice; izračun vitalne pljučne kapacitete.



Slika 11: Priprava na merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino in izračun vitalne pljučne kapacitete.
(Avtor: Alenka Fidler)



Slika 12: Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino.
(Avtor: Jurij Hojnik)

3.5.3 Merjenje vitalne pljučne kapacitete s spirometrom

Meritve smo opravili v Internistični pulmološki ambulanti pri Sonji Šunko-Koražija, dr. med., v Slovenski Bistrici. Meritve je opravila diplomirana medicinska sestra, gospa Natalija Čavničar.

Medicinski delavec v računalnik najprej vnese podatke o spolu, starosti, masi in višini preiskovanca. Označi tudi, ali je preiskovanec kadilec ali ne. Preiskovanec sede na stol. Na nosu ima nameščeno ščipalko, ki mu onemogoča dihanje skozi nos. Preiskovanec v ustnik spirometra najprej normalno diha, nato zrak na vso moč vdihne, nato pa ves zrak izdihne v ustnik spirometra. Spirometer izmeri količino oziroma volumen vpuhanega zraka v določenih časih izdiha. Spirometer na papir nariše krivulje vdihne in izdihne, ki omogočajo oceno pljučne funkcije, pri čemer se upoštevajo podatki preiskovanca, kot so spol, starost, masa, višina, in parametri okolice, kot so temperatura, tlak in vlažnost ob meritvi (Kopčavar-Gučar, 2015).

3.5.4 Uporabljeni pripomočki

Uporabljena pripomočka za meritve teže in višine oseb:

- elektronska tehtnica (do 150 kg),
- višinomer.

Uporabljeni pripomočki za meritve v bazenu:

- vzmetna tehtnica (do 100 N),
- elektronska tehtnica (do 5 kg),
- pas za uteži,
- svinčene uteži z različno maso od 100 g do 2000 g,
- kovinski drog,
- dve lestvi,
- vrv iz kevlarja,
- potapljaška maska (vzgon maske = 0,6 N),
- fotoaparati s podvodnim ohišjem.

Uporabljena pripomočka za meritve spirometrije:

- spirometer,
- računalnik.

3.5.5 Izračuni

a. Indeks telesne mase (ITM)

Indeks telesne mase je enostavna indirektna metoda za oceno maščevja v telesu. Izračunamo ga tako, da maso telesa v kilogramih delimo s kvadratom telesne višine v metrih.

$$ITM = \frac{\text{telesna masa} \left[\frac{kg}{m^2} \right]}{(\text{višina telesa})^2}$$

Tabela 3: Kategorizacija prehranjenosti (MS 2 d. o. o.).

Telesna masa	ITM $\left[\frac{kg}{m^2} \right]$
Podhranjenost	ITM do 18,5
Normalna telesna masa	ITM = 18,5 do 24,9
Prekomerna telesna masa	ITM = 25 do 29,9
Debelost	ITM = 30 do 40
Ekstremna debelost	ITM nad 40

b. Vzgon potapljaške maske

Z vzmetno tehtnico smo izmerili težo potapljaške maske, ki znaša 1,7 N.

Volumen potapljaške maske smo izmerili s potapljanjem maske v vodo. Ko smo masko odstranili iz posode, smo v posodo iz merilnega valja dolili vodo. Volumen dolite vode predstavlja volumen potapljaške maske. Izmerjeni volumen potapljaške maske je 0,11 l.

Volumen votlih delov potapljaške maske smo izmerili tako, da smo v notranji del potapljaške maske vlili vodo iz merilnega valja in odčitali, koliko vode smo porabili. Izmerjeni volumen votlih delov potapljaške maske je 0,12 l.

Ugotovili smo, da nam maska zaradi svoje mase zmanjša vzgon za 1,7 N, zaradi volumna same maske in njenih votlih delov pa poveča vzgon za 2,3 N. Vzgon maske je 0,6 N.



Slika 13: Merjenje volumna potapljaške maske.
(Avtor: Jurij Hojnik)



Slika 14: Merjenje volumna votlih delov potapljaške maske.
(Avtor: Jurij Hojnik)

c. Izračun vitalne pljučne kapacitete s pomočjo eksperimenta v bazenu

Pri izračunih smo upoštevali najnižji izmerjeni rezultat pri maksimalnem vdihu ter najvišji izmerjeni rezultat pri maksimalnem izdihu in ne izračunanih srednjih vrednosti, saj vedno ne vdihnemo oziroma ne izdihnemo enako močno.

Vitalno pljučno kapaciteto smo izračunali tako, da smo od izmerjenega rezultata sile vzmetne tehtnice na telo pri maksimalnem izdihu odšteli izmerjen rezultat sile vzmetne tehtnice na telo pri maksimalnem vdihu. Dobili smo silo F [N], ki smo jo z upoštevanjem Arhimedovega zakona pretvorili v volumen V [m³]. Dobljeni volumen je vsota inspiratornega rezervnega, dihalnega in ekspiratornega rezervnega volumna pljuč, ki predstavlja vitalno pljučno kapaciteto.

3.6 Rezultati meritev

3.6.1 Opazovanje plovnosti pri normalnem dihanju

Medtem ko se oseba 3 pri normalnem vdihu ni potopila, sta osebi 1 in 2 pričeli toniti. Pri normalnem izdihu so se potopile vse tri osebe.

3.6.2 Opazovanje plovnosti pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu

Pri maksimalnem vdihu so imele vse tri osebe pozitivno plovnost, pri maksimalnem izdihu so imele vse tri osebe negativno plovnost.

Pri maksimalnem izdihu smo opazili, kako na naše telo deluje Boyle-Mariottov zakon. Sprva se je naše telo potapljalo počasi, bolj kot smo se približevali dnu bazena, hitreje smo se potapljali (padali) proti dnu. Na 2 metrih globine je namreč absolutni tlak 1,2 bara, kar pomeni, da se zaradi povečevanja tlaka zmanjšuje volumen zračnih prostorov v telesu. S tem se zmanjšuje sila vzgona v primerjavi s težo, ki ostaja enaka. Končni rezultat je pospešeno gibanje navzdol.

3.6.3 Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plavnosti tik pod gladino

Pri masi uteži, ki smo jo potrebovali do nevtralne plavnosti tik pod gladino, smo upoštevali maso svinčenih uteži, maso pasa in maso potapljaške maske. Pri rezultatih nismo upoštevali vzgona pasu, uteži in potapljaške maske. Vse tri osebe so uporabljale uteži iz svinca, isto potapljaško masko in isti pas, zaradi česar vzgon pasu, uteži in potapljaške maske ni bistveno vplival na rezultate našega eksperimenta. Prav tako smo pri izračunih zanemarili Boyle-Mariottov zakon, saj so se vse tri osebe potopile do nevtralne plavnosti tik pod gladino.

Izvajali smo štiri meritve, saj posameznik vedno ne vdihne maksimalne količine zraka. Pri izračunih smo upoštevali srednjo vrednost.

Tabela 4: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plavnosti tik pod gladino.

Meritev	Masa uteži				Srednja vrednost
	1.	2.	3.	4.	
Oseba 1	1,6 kg	1,9 kg	1,8 kg	1,9 kg	1,8 kg
Oseba 2	2,5 kg	2,6 kg	2,5 kg	2,4 kg	2,5 kg
Oseba 3	3,3 kg	3,4 kg	3,7 kg	3,5 kg	3,5 kg

Iz tabele 4 je razvidno, da je oseba 1 za potop do nevtralne plavnosti pri maksimalnem vdihu tik pod gladino potrebovala maso 1,8 kg, oseba 2 maso 2,5 kg in oseba 3 maso 3,5 kg.

Kako pomembno je, da so vse tri osebe imele pri eksperimentu v nevtralni plavnosti podoben položaj telesa (vertikalno, tik pod gladino), smo dokazali tako, da smo pri vsaki osebi k tej izmerjeni masi uteži dodali svinčeno utež z maso 1 kg. Vse tri osebe so se pri maksimalnem vdihu potopile na dno bazena. Ko so sedele na dnu bazena, so na tla odložile to dodatno utež. Tlak tik pod gladino znaša približno 1 bar, na dnu bazena globine 2 metra pa približno 1,2 bara. Zaradi razlike v tlaku, ki se povečuje z globino (Boyle-Mariottov zakon), se je telo vseh treh oseb nekoliko dvignilo nad dno bazena in potem počasi ponovno tonilo.

3.6.4 Merjenje vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino in izračun vitalne pljučne kapacitete

Meritve vzgona pri maksimalnem vdihu in izdihu smo opravljali z elektronsko tehtnico, saj zaradi skale na vzmetni tehtnici (100 N), ki je na 5 N natančna, nismo mogli odčitati vrednosti dovolj natančno.

Najprej smo morali zagotoviti, da se bo telo potopilo tudi pri maksimalnem vdihu, zato smo na telo dodali dodatne uteži z maso 6,1 kg (masa uteži + masa pasa + masa potapljaške maske).

Tabela 5: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu ter izračun vitalne pljučne kapacitete za osebo 1.

Meritev	Masa vseh uteži = 6,1 kg					Upoštevana vrednost	Izračunana vitalna kapaciteta
	1.	2.	3.	4.	5.		
Max izdih	90 N	89 N	90 N	88 N	89 N	90 N	4,6 l
Max vdih	44 N	48 N	47 N	46 N	45 N	44 N	
Razlika = max izdih – max vdih						46 N	

Izračunana vitalna kapaciteta osebe 1 je 4,6 litra.

Tabela 6: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu ter izračun vitalne pljučne kapacitete za osebo 2.

Meritev	Masa vseh uteži = 6,1 kg					Upoštevana vrednost	Izračunana vitalna kapaciteta
	1.	2.	3.	4.	5.		
Max izdih	70 N	71 N	72 N	72N	70 N	72 N	4,7 l
Max vdih	26 N	27 N	25 N	26 N	25 N	25 N	
Razlika = max izdih – max vdih						47 N	

Izračunana vitalna pljučna kapaciteta osebe 2 je 4,7 litra.

Tabela 7: Rezultati merjenja vzgona pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu ter izračun vitalne pljučne kapacitete za osebo 3.

Meritev	Masa vseh uteži = 6,1 kg					Upoštevana vrednost	Izračunana vitalna kapaciteta
	1.	2.	3.	4.	5.		
Max izdih	65 N	64 N	64 N	64N	65 N	65 N	3,8 l
Max vdih	28 N	27 N	27 N	27 N	28 N	27 N	
Razlika = max izdih – max vdih						38 N	

Izračunana vitalna pljučna kapaciteta osebe 3 je 3,8 litra.

3.6.5 Rezultati spirometrije

Tabela 8: Rezultati spirometrije za osebo 1 (Internistična pulmološka ambulanta Slovenska Bistrica).

Oseba 1	Norme	Izmerjena	Odstopanja
Maksimalna vitalna kapaciteta (VCmax)	4,41 l	4,94 l	112 %
Inspiratorni rezervni volumen (IRV)	/	2,42 l	/
Ekspiratorni rezervni volumen (ERV)	/	1,08 l	/
Dihalni volumen (VT)	/	1,45 l	/
Forsirana vitalna kapaciteta (FVCex)	4,41 l	4,88 l	111 %

Izmerjena vitalna pljučna kapaciteta osebe 1 je 4,94 litra in je nekoliko nad normami (112 %).

Tabela 9: Rezultati spirometrije za osebo 2 (Internistična pulmološka ambulanta Slovenska Bistrica).

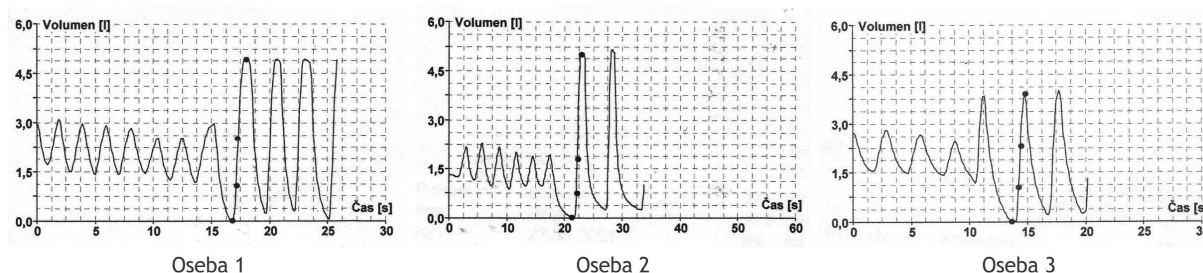
Oseba 2	Norme	Izmerjena	Odstopanja
Maksimalna vitalna kapaciteta (VCmax)	4,59 l	4,99 l	109 %
Inspiratorni rezervni volumen (IRV)	/	3,23 l	/
Ekspiratorni rezervni volumen (ERV)	/	0,74 l	/
Dihalni volumen (VT)	/	1,03 l	/
Forsirana vitalna kapaciteta (FVCex)	4,39 l	4,79 l	109 %

Izmerjena vitalna pljučna kapaciteta osebe 2 je 4,99 litra in je nekoliko nad normami (109 %).

Tabela 10: Rezultati spirometrije za osebo 3 (Internistična pulmološka ambulanta Slovenska Bistrica).

Oseba 3	Norme	Izmerjena	Odstopanja
Maksimalna vitalna kapaciteta (VCmax)	3,66 l	3,93 l	107 %
Inspiratorni rezervni volumen (IRV)	/	1,63 l	/
Ekspiratorni rezervni volumen (ERV)	/	1,05 l	/
Dihalni volumen (VT)	/	1,25 l	/
Forsirana vitalna kapaciteta (FVCex)	3,59 l	3,86 l	108 %

Izmerjena vitalna pljučna kapaciteta osebe 3 je 3,93 litra in je nekoliko nad normami (107 %).



Slika 15: Grafično predstavljeni rezultati spirometrije za osebe 1, 2 in 3.
 (Vir: Internistična pulmološka ambulanta Slovenska Bistrica)

Iz grafično prikazanih rezultatov spirometrije je razvidno, da pri vseh treh osebah dihalni volumen pri normalnem dihanju niha in da vedno pri maksimalnem izdihu ne izdihnejo vsega zraka. To je tudi razlog, da smo pri izračunih vitalne pljučne kapacitete s pomočjo eksperimenta upoštevali najnižji izmerjeni rezultat pri maksimalnem vdihu ter najvišji izmerjeni rezultat pri maksimalnem izdihu in ne izračunanih srednjih vrednosti (tabele 5, 6, 7).

4 RAZPRAVA

Cilj naše naloge je bilo ugotoviti, ali je možno izmeriti vitalno kapaciteto s pomočjo Arhimedovega zakona v bazenu. Menili smo, da lahko to izmerimo na dva načina, in sicer:

- s potapljanjem telesa in merjenjem vzgona pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino in
- na podlagi meritev teže pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu tik pod gladino.

Hipoteza A: Predpostavljamo, da imamo ljudje različno plovnost.

Hipotezo A smo preverjali z opazovanjem plovnosti oseb pri normalnem vdihu in izdihu (dihalni volumni) ter z merjenjem vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino.

Pri normalnem vdihu se oseba 3 ni potopila, osebi 1 in 2 pa sta pri normalnem vdihu že pričeli toniti.

Pri merjenju vzgona pri potapljanju telesa pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino smo ugotovili, da je imela največji vzgon oseba 3 (35 N), nekoliko manjšega oseba 2 (25 N) in najmanjšega oseba 1 (18 N).

Največji vzgon je imela oseba 3, ki je tudi pri normalnem vdihu in izdihu imela večjo plovnost kot osebi 1 in 2.

Tako kot smo ugotovili že s pomočjo literature, so naši rezultati pokazali, da imamo različni ljudje različno plovnost. Hipotezo A smo potrdili.

Hipoteza B: Predpostavljamo, da lahko z dodatno maso, ki je potrebna, da se pri maksimalnem vdihu potopimo do nevtralne plovnosti tik pod gladino, predvidimo, katera oseba ima večjo in katera manjšo vitalno pljučno kapaciteto.

Ugotovili smo, da je imela največji vzgon oseba 3 (35 N), nekoliko manjšega oseba 2 (25 N) in najmanjšega oseba 1 (18 N). Ko smo te rezultate primerjali z rezultati, dobljenimi s pomočjo spirometrije, kjer je imela najmanjšo vitalno kapaciteto oseba 3 (3,93 l), nekoliko večjo oseba 1 (4,94 l) in največjo oseba 2 (4,99 l), smo ugotovili, da na takšen način ne moremo izmeriti vitalne pljučne kapacitete. Hipoteze B nismo potrdili.

Ugotovili smo, da smo s potapljanjem telesa in merjenjem vzgona pri maksimalnem vdihu z dodajanjem uteži do nevtralne plovnosti tik pod gladino merili plovnost telesa. Rezultate meritev smo primerjali z izračunanim indeksom telesne mase in na takšen način preverili, ali indeks telesne mase vpliva na plovnost.

Tabela 11: Primerjava plovnosti glede na ITM.

	Dodatna masa, potrebna do nevtralne plovnosti	ITM
Oseba 1	1,8 kg	22,7
Oseba 2	2,5 kg	27,1
Oseba 3	3,5 kg	22,3

Kot je razvidno iz tabele 11, je imela največjo plovnost oseba 3, ki je imela tudi najmanjši indeks telesne mase. Najmanj plovna je bila oseba 1, ki ni imela najmanjšega indeksa telesne mase. Iz dobljenih rezultatov ne moremo potrditi, da indeks telesne mase vpliva na plovnost, saj je naš vzorec tako majhen, da teh rezultatov ne moremo posploševati.

Hipoteza C: Predpostavljamo, da lahko z razliko vzgonov pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu potopljene osebe tik pod gladino natančno izračunamo vitalno pljučno kapaciteto.

Tabela 12: Primerjava izmerjene vitalne pljučne kapacitete s spirometrom in izračunane vitalne pljučne kapacitete z eksperimentom.

Izmerjena VCmax	Eksperiment	Spirometrija	Odstopanja
Oseba 1	4,6 l	4,94 l	0,34 l
Oseba 2	4,7 l	4,99 l	0,29 l
Oseba 3	3,8 l	3,93 l	0,13 l

V tabeli 11 prikazujemo odstopanja od izračunane vitalne pljučne kapacitete z našim eksperimentom od rezultatov spirometrije. Maksimalno odstopanje je 0,34 l, minimalno odstopanje pa 0,13 l.

Ugotovili smo, da lahko z razliko vzgonov pri maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu potopljene osebe tik pod gladino dokaj natančno določimo vitalno kapaciteto. S tem smo hipotezo C potrdili. Odstopanja so možna zaradi več razlogov.

- Pri eksperimentu smo imeli težave pri odčitavanju teže na elektronski tehtnici, ki je zelo občutljiva. Ker osebe svojega telesa niso mogle popolnoma umiriti (visenje na vrvi ob zadrževanju sape), so se izpisane številke nenehno spreminjale.
- Pri merjenju s spirometrom smo bili umirjeni in usmerjeni zgolj v dihanje, pri eksperimentalnem delu pa smo morali paziti na več stvari hkrati.
- Predvidevamo, da bi natančnejše meritve dobili z večjim številom ponovitev, saj oseba vedno, četudi se trudi, ne vdihne oziroma izdihne maksimalno.

Z našo raziskovalno nalogo smo dokazali, da je vitalno pljučno kapaciteto pljuč dokaj natančno možno izmeriti tudi s pomočjo Arhimedovega zakona v bazenu.

5 ZAKLJUČEK

V okviru raziskovalne naloge smo:

- spoznali dihalo, različne dihalne volumne in pljučne kapacitete ter merjenje le-teh;
- se seznanili z Arhimedovim in Boyle-Mariottovim zakonom ter preverili njuno delovanje v bazenu;
- spoznali in izvedli postopek spirometrije;
- z eksperimentom potrdili, da imamo različni ljudje različno plovnost, ki ni odvisna od mase posameznika;
- z eksperimentom potrdili, da se plovnost spreminja tudi z dihanjem;
- na podlagi meritev v bazenu dokaj natančno izračunali vitalno kapaciteto oseb;
- ugotovili, da je pri eksperimentalnem delu potrebno upoštevati različne dejavnike, ki vplivajo na potek in rezultate eksperimenta.

Raziskovalna naloga je bila zelo zanimiva, še posebej eksperimentalni del, ki je potekal v bazenu. Po pregledu literature smo si najprej zastavili hipotezi A in B. Hipotezo B smo po rezultatih spirometrije zavrnil in ugotovili, da nismo merili vitalne pljučne kapacitete, temveč plovnost. Ugotovili smo, da smo Arhimedov zakon napačno razumeli in na podlagi tega naš eksperiment napačno zastavili. Ponovno smo preučili literaturo in iskali načine, kako bi lahko dosegli zastavljen cilj naloge. Postavili smo hipotezo C, ki smo jo kasneje tudi potrdili.

Zanimivo je bilo, da smo lahko prvič uporabljali podvodni fotoaparati in se pod vodstvom inštruktorja potapljanja tudi potopili s potapljaško opremo.

Za nadaljnje raziskave predlagamo, da bi poskušali na večjem vzorcu ugotoviti, ali indeks telesne mase vpliva na plovnost. Poskušali bi lahko izmeriti dihalni volumen in primerjati dihalni volumen oseb v mirovanju in med naporom.

6 LITERATURA IN VIRI

- Anselme, B., Périlleux É., Richard, D. *Biologija človeka: Anatomija, fiziologija, zdravje*. Ljubljana: DZS, 1999.
- Dolar, M., Cunk Manić, V., Tarman Šmit, I. *Anatomija in fiziologija človeka: Učbenik za program Zdravstvena nega, Farmaceutski tehnik, Zobotehnik, Kozmetični tehnik in tehnik laboratorijske biomedicine*. Podsmreka: Pipinova knjiga, 2015.
- Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru. *Vaja 11: Pljučni volumni*. Dostop: <http://fnm.um.si/attachments/article/603/vaja5.pdf> (22. 12. 2015).
- IAHD Adriatic, 2015. *Fizika in fiziologija potapljanja*. (interno gradivo).
- Johnson, K. *Fizika: Preproste razlage fizikalnih pojavov*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1996.
- Kopčavar-Guček, N. *Diagnostične preiskave: Spirometrija*. Dostop: <http://www.drmed.org/wp-content/uploads/2014/06/29-Spirometrija.pdf> (22. 12. 2015).
- Korenin, K. Vloga medicinske sestre pri diagnostiki otroka in mladostnika s pljučno boleznijo, *Slovenska pediatrija*, 2008, let. 15, št. 2, str. 157–161.
- Marcuš, M. *Boyle-Mariottov zakon*. Dostop: <http://mmarcus.fizika.org/samp/seminar22.php> (20. 12. 2015).
- MS 2 d. o. o. *Indeks telesne teže, izračun*. 2011. Dostop: http://hujsaj-zdravo.si/hujsanje/izracuni/index_telesne_mase_izracun/ (20. 12. 2015).
- Pistotnik, B. *Potapljanje za vsakogar: priročnik za prosto potapljanje*. Ljubljana: Fakulteta za šport, 2002.
- Velepič, M. *Somatologija za program bolničar*. Ljubljana: Državna založba Slovenije, 1993.
- Zupan, A. in Plevnik M. *Plavanje in druge oblike gibanja distrofikov v vodi*. Ljubljana: Društvo distrofikov Slovenije: Inštitut republike Slovenije za rehabilitacijo, 2009.