

Stalno strokovno spopolnjevanje

Spirometrija

Urban Simončič (urban.simoncic@fmf.uni-lj.si)

1. Predvideno predznanje:

Aktivnost je primerna za dijake, ki so že usvojili naslednja znanja:

- *Gibanje tekočin in kontinuitetna enačba*
- *Bernoullijeva enačba*

2. Cilji:

- Dijaki bodo spoznali osnove spirometrije – fiziološke meritve delovanja pljuč.
- Dijaki bodo spoznali dve fizikalni zakonitosti, ki se lahko izkoriščata pri spirometriji:
 - povišan tlak zaradi ovire v toku tekočine (zastojni tlak),
 - padec tlaka pri toku tekočine po cevi v smeri toka.
- Dijaki bodo izkusili računalniški način zajemanja in obdelave podatkov z opremo Vernier.

3. Eksperimentalna določitev pretoka zraka

Eden od načinov merjenja hitrosti gibajočega se zraka izkorišča merjenje pod- ali nadtlakov, ki nastanejo zaradi spremenljive hitrosti zraka in/ali viskoznosti zraka. Če se zrak giblje po posodi z določeno obliko, lahko iz geometrije te posode in upoštevanjem kontinuitetne enačbe s pomočjo merjenja tlakov izrazimo hitrost in posledično pretok zraka.

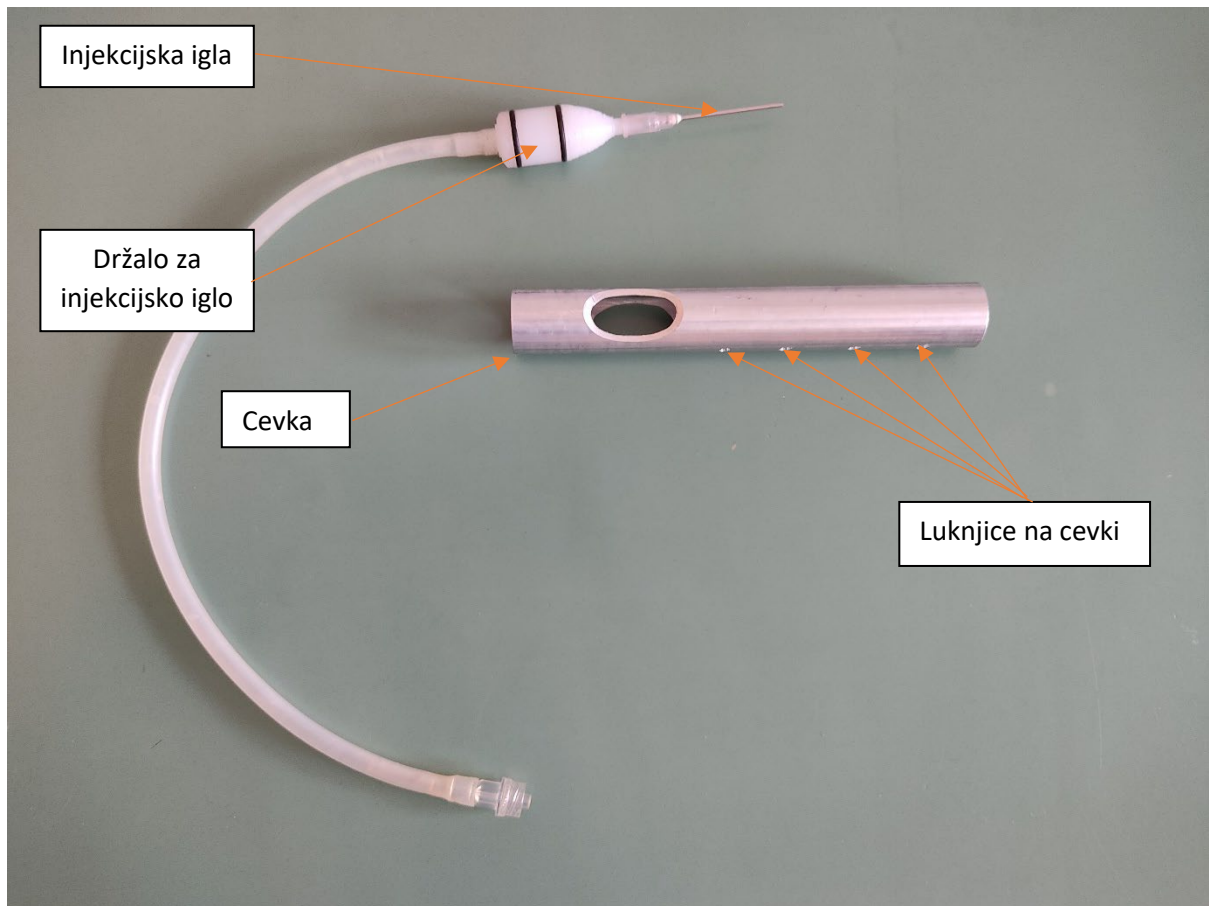
3.1. Oprema in postavitve

Za poskus potrebujemo sistem za zajem podatkov (npr. LabQuest2 in računalnik) in dva merilnika tlaka. Poleg tega potrebujemo še cevko z luknjicami, držalo za injekcijsko iglo in nekaj ostalega drobnega materiala, da lahko merimo tlake na različnih mestih v cevi (Slika 1). V cevko na Sliki 1 vstavimo držalo za injekcijsko iglo, katero lahko priklopimo na tlačni senzor.

3.2. Aktivnost 1: Merjenje zastojnega tlaka v cevi ob toku zraka skozi cev

Injekcijsko iglo priklopimo na tlačni senzor in zamašimo vse luknjice na cevki. Pihnemo skozi cevko (izdihnemo) in računalniško vzorčimo tlak v igli. Potem še vlečemo zrak skozi cev (vdihnemo) in spet vzorčimo tlak.

- a) Kaj se zgodi s tlakom, če pihamo v cev (izdihujemo) in kaj v primeru, ko vlečemo zrak iz cevi?
- b) Kako lahko razložimo rezultate?
- c) Lahko tako meritev uporabimo za izračun hitrosti zraka?



Slika 1: Oprema za eksperiment.

3.3. Aktivnost 2: Merjenje tlaka v cevi ob toku zraka skozi cev

Pri aktivnosti 1 smo merili zastojni tlak, ki nastane zaradi ovire v toku tekočine. V resnici nismo merili samo zastojnega tlaka, pač pa skupni tlak, ki je vsota zračnega tlaka, spremembe tlaka v cevi zaradi toka zraka po cevi in zastojnega tlaka. Sedaj nas zanima kaj se dogaja s tlakom v cevi, kot posledica zračnega toka skozi cev.

Na eno od luknjic priklopimo tlačni senzor, ostale pa zamašimo. Na ta način merimo tlak v cevi. Pihnemo skozi cevko (izdihnemo) in računalniško vzorčimo tlak. Potem še vlečemo zrak skozi cev (vdihujemo) in spet vzorčimo tlak.

- a) Kaj se dogaja s tlakom?
- b) Kako lahko pojasnimo rezultate meritev?

Tlačni senzor priklopimo še na druge luknje in tam vzorčimo tlak ob vdihu in izdihu, tako da imamo podatke o časovnem poteku tlaka za različne lege luknjic. Pri meritvah je različno intenziven vdih in izdih ob posamezni meritvi očiten vir negotovosti, zato je smiselno meritev večkrat ponoviti.



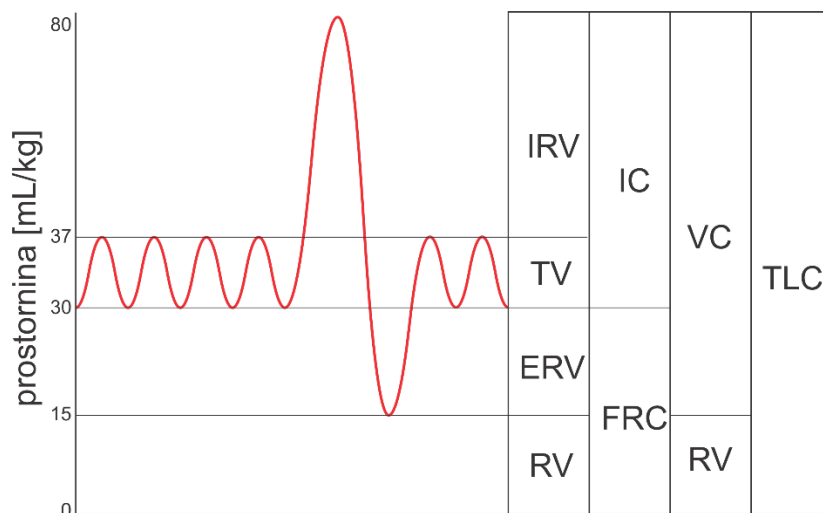
Slika 2: Sestavljena naprava za izvedbo eksperimenta. Odjem statičnega tlaka na drugi luknjici z leve. Tlačni senzorji niso priklopljeni.

4. Ozadje in motivacija

Spirometrija je neinvazivna diagnostična metoda, s katero merimo delovanje pljuč na osnovi hitrosti in volumna zraka, ki ga oseba vdihne ali izdihne. Spirometrija se uporablja za diagnosticiranje in ocenjevanje resnosti astme, razlikovanje med obstruktivnimi in restriktivnimi pljučnimi boleznimi, prepoznavanje oseb, pri katerih obstaja možnost tveganja za pljučno barotravmo, ter spremljanje naravne anamneze bolezni pri boleznih dihal. Redkeje se uporablja tudi za diagnosticiranje restriktivnih pljučnih motenj, ki omejujejo razširitev pljuč in s tem pljučni volumen.

Pljučni volumni so vsi volumni, ki so kazalci pljučne funkcije [2]. Ločimo naslednje pljučne volumne:

- **Rezidualni volumen (RV)** – prostornina zraka, ki ostane v pljučih po maksimalnem izdihu (okoli 1,2 L); s starostjo se veča,
- **Ekspiracijski rezervni volumen (ERV)** – volumen zraka, ki ga lahko dodatno izdihnemo po normalnem izdihu (okoli 1,2 L),
- **Dihalni volumen (TV)** – prostornina zraka, ki ga vdihnemo ali izdihnemo pri normalnem spontanem vdihu oziroma izdihu (okoli 0,4 L),
- **Inspiracijski rezervni volumen (IRV)** – prostornina zraka, ki ga lahko dodatno vdihnemo po normalnem vdihu (okoli 3,6 L).



Slika 3: Definicija pljučnih volumnov

S spirometrom lahko izmerimo tri od naštetih volumnov, ne moremo pa določiti rezidualnega volumna. Zapis, ki ga dobimo pri tej meritvi, imenujemo spirograf. S spirometrijo lahko določimo še nekatere druge parametre delovanja pljuč:

- **Vitalna kapaciteta (VC)** – največja količina zraka, ki se lahko izloči iz pljuč osebe po največjem navdih. Vitalna kapaciteta je enaka vsoti IRV, ERV in TV.
- **Prisilna vitalna zmogljivost (FVC)** – največja količina zraka, ki jo lahko oseba izpihne z največjo hitrostjo in naporom po globokem vdihu.
- **Volumen pri prisilnem izdihu v 1 sekundi (FEV1)** – največja količina zraka, ki ga je mogoče izdihniti v na silo v prvi sekundi, po globokem vdihu.
- **Vitalna zmogljivost pri prisilnem vdihu (FIVC)** – največja količina zraka, ki ga je mogoče vdihniti.
- **Največji pretok pri vdihu (PIF)** – vsiljeni največji pretok, ki ga je mogoče doseči med vdihom.
- **Največji pretok pri izdihu (PEF)** – največji pretok zraka, ki ga je mogoče doseči med izdihom.

5. Izdelava spirometra in eksperiment na prostovoljcu

Doslej smo spoznali spirometrijo in dve osnovni fizikalni načeli, ki se lahko izkoriščajta za določitev hitrosti zraka:

1. Tlak se v toku tekočine poviša pred oviro.
2. Pri toku tekočine po cevi tlak pada v smeri toka.

Sedaj bomo sestavili preprost spirometer in naredili nekaj fizioloških meritev. Pri aktivnosti 1 smo ugotovili kako izmeriti vsoto zastojnega tlaka in tlaka v cevi pri toku zraka skozi cev. Pri aktivnosti 2 smo pa ugotovili kako izmeriti tlak v cevi pri toku zraka skozi cev. Če hočemo dobiti zgolj zastojni tlak, moramo očitno meriti oba tlaka. Iz te meritve pa lahko potem računamo hitrost zraka in posledično pretok zraka.

5.1. Oprema in postavitvev

Injekcijska igla sega v cevki do druge luknjice (v smeri kamor kaže igla) in na to luknjico priklopimo merilnik tlaka, ostale luknjice pa zamašimo. Iz obeh meritev tlaka lahko izračunamo zastojni tlak, iz

njega pa (ob upoštevanju Bernoullijeve enačbe in gostote zraka) izračunamo hitrost zraka. Ob upoštevanju preseka cevi lahko iz hitrosti zraka izračunamo volumski pretok zraka.

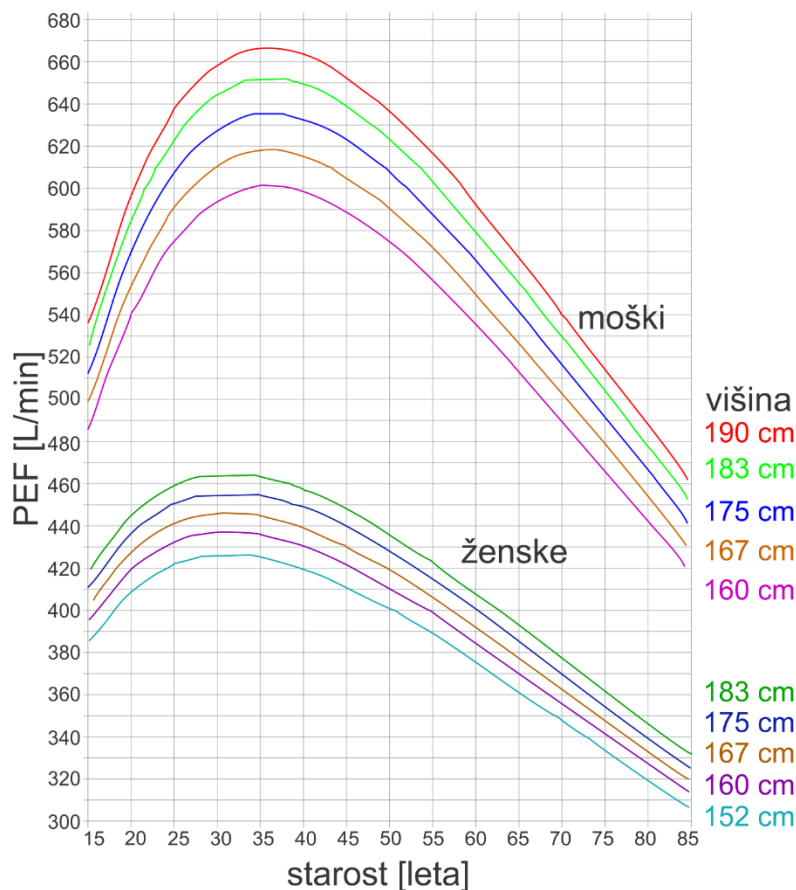
5.2. Aktivnost 3: Meritev največjega pretoka pri izdihu (PEF)

Sestavimo spirometer in skozi njega izdihnemo zrak kot le najhitreje zmoremo. Iz grafa časovne odvisnosti merjenih tlakov odčitamo maksimalen porast tlaka iz injekcijske igle in spremembo tlaka v cevi ob istem času. Iz teh dveh podatkov in geometrije cevke izračunamo maksimalen volumski pretok.

Vprašanja za razmislek

- Kakšne vrednosti pretoka dobite?
- Se ujemajo s pričakovanimi vrednostmi, glede na graf na Sliki 3?

normalne vrednosti za največji pretok pri izdihu (PEF)
EN 13826 ali EU skala



Slika 4: Tipične vrednosti PEF za oba spola, različne velikosti in različne starosti [1].

Reference:

[1] Häggström, Mikael (2014). "[Medical gallery of Mikael Häggström 2014](#)". *WikiJournal of Medicine* **1** (2).

[2] https://sl.wikipedia.org/wiki/Pljučni_volumni (Dostop: 16.01.2023)