

Delovni listi za Medicinsko biofiziko

Študijsko leto 2021-2022

Verzija: 27. 9. 2021

Popravki in komentarji se zbirajo na [tem naslovu](#).

1 Risanje in odčitavanje z grafov

Naloga 1: analiza eksponentnih sprememb

V naravi (in v medicini) pogosto srečamo eksponentne spremembe, zato moramo znati z eksponentno funkcijo dobro rokovati. Pri tej vaji bomo eksponentno funkcijo risali v linearizirani obliki oz. na grafih z logaritemsko skalo ter take grafe analizirali.

V tabeli so podatki za število obolelih z virusom 2019-nCov na Kitajskem, ki jih je zbirala univerza Johns Hopkins v ZDA, pri čemer so podatke začeli meriti 20. 1. 2020. Število obolelih s časom narašča zelo hitro in radi bi preverili, ali gre za eksponentno naraščanje.

Če število obolelih s časom narašča eksponentno, ga lahko z enačbo zapišemo kot:

$$N(t) = N_0 e^{kt} = N_0 2^{t/t_2} \quad (1.1)$$

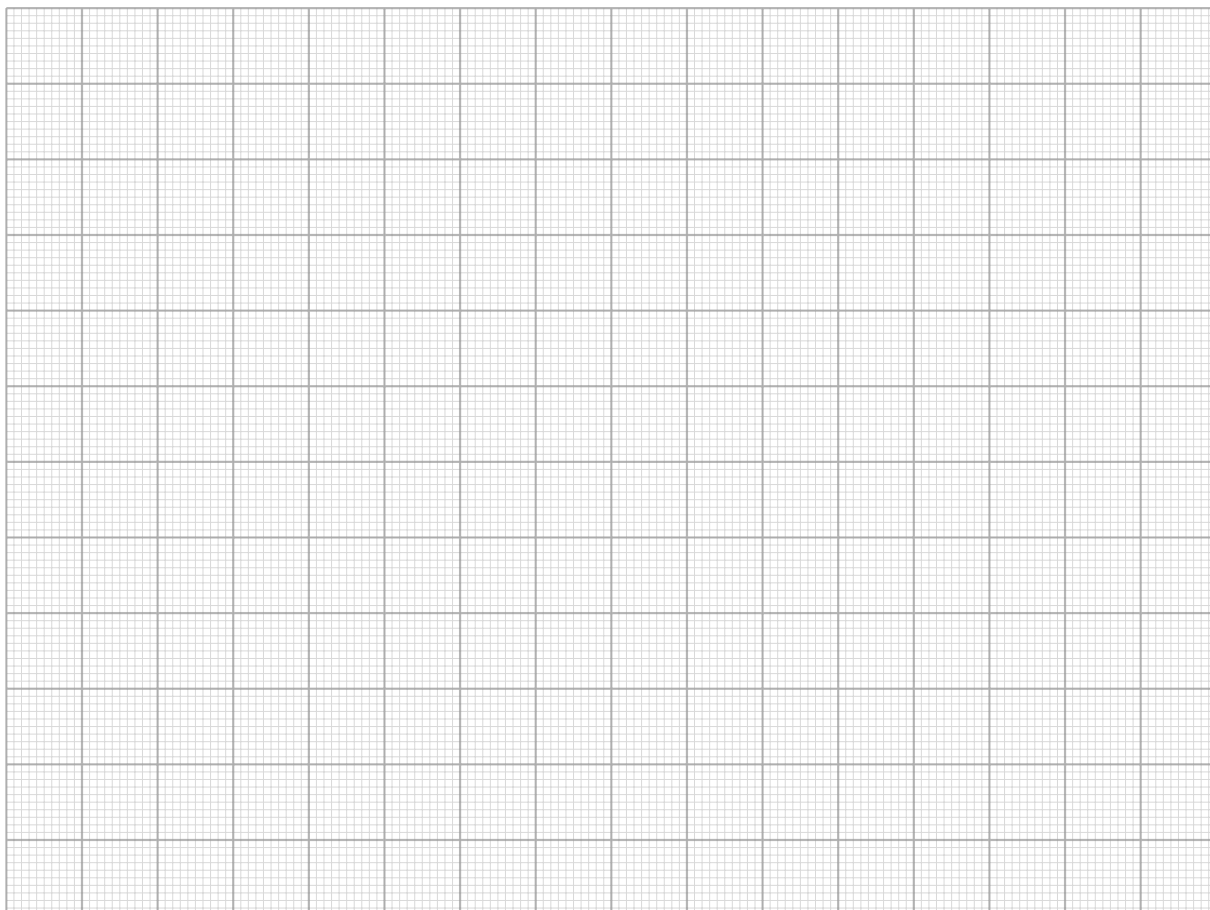
Oba zapisa sta ekvivalentna, razlikujeta se le v osnovi, s katero smo eksponentno funkcijo zapisali. N_0 je število obolelih ob začetku merjenja (ob času 0). Konstanto k včasih imenujemo *hitrostna konstanta*, konstanto t_2 pa *podvojitveni čas*, saj označuje čas, v katerem se število obolelih podvoji.

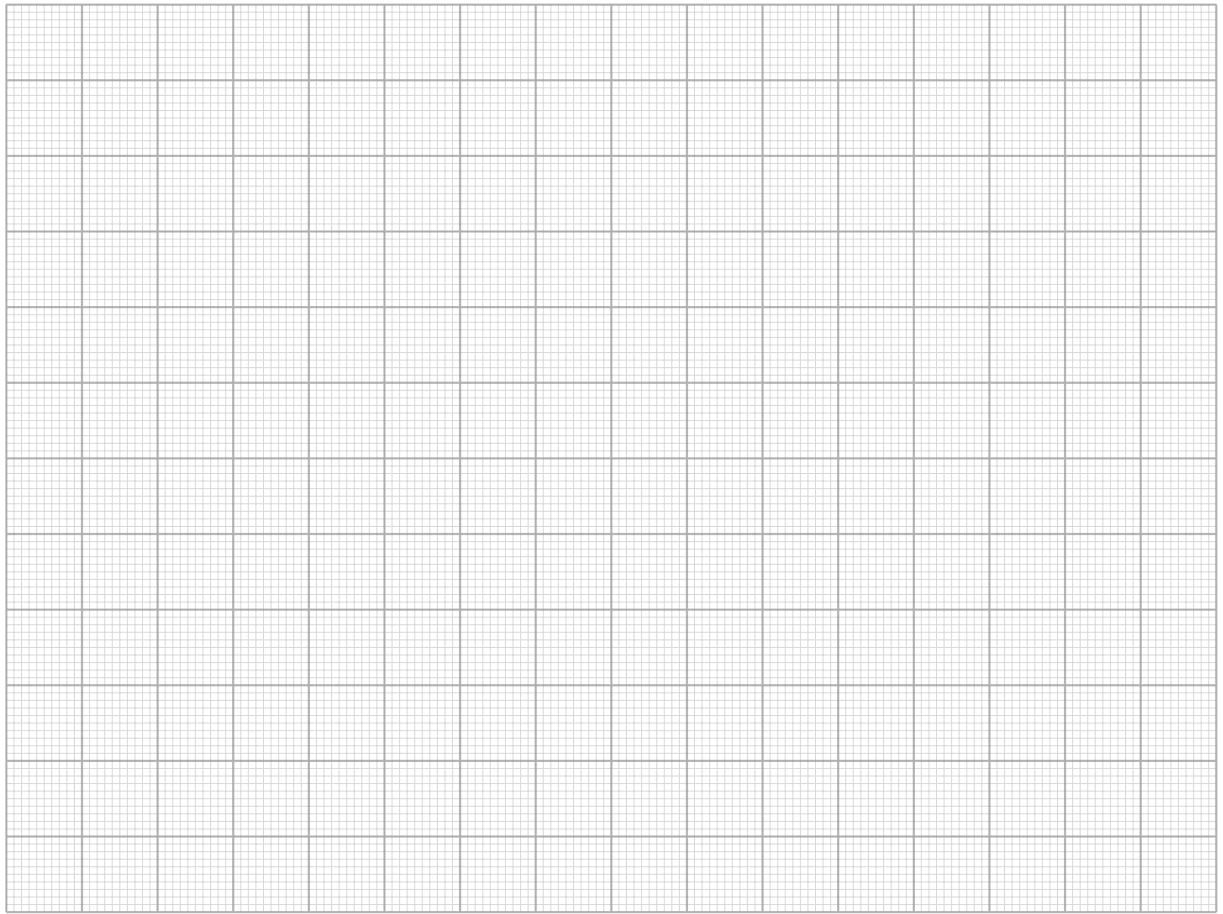
t [dan]	N	
0	278	
2	547	
4	916	
6	2700	
8	6000	

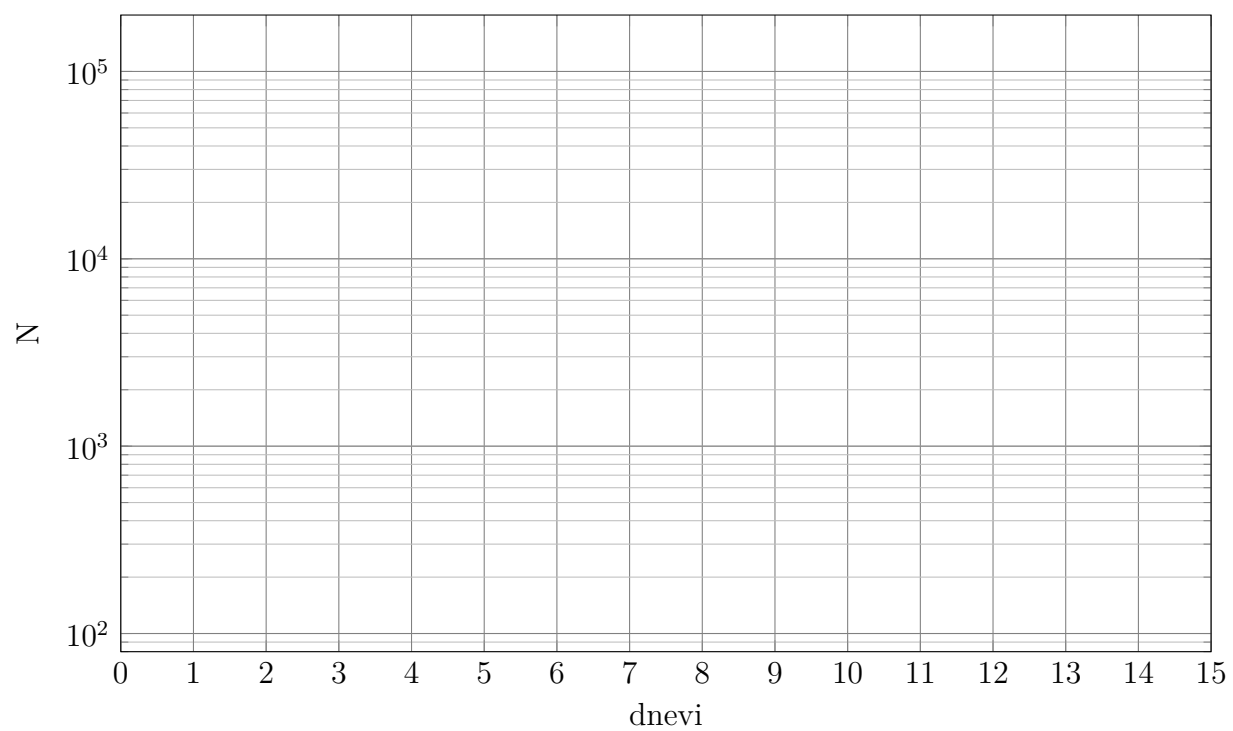
- Kakšna je zveza med hitrostno konstanto in podvojitvenim časom?
- Narišite diagram, ki prikazuje, kako število obolelih narašča s časom.
- Narišite lineariziran diagram, s katerim preverite hipotezo, da število obolelih narašča eksponentno s časom.
- Odvisnost naraščanja števila obolelih od časa narišite še na grafu z logaritemsko skalo.
- Koliko obolelih lahko pričakujemo 12. dan po začetku štetja?
- Iz lineariziranega grafa določite hitrostno konstanto oz. podvojitveni čas števila obolelih.

g) Konstanti določite še iz grafa z logaritemsko skalo.

h) * Bi znali oceniti natančnost vaših napovedi?







Naloga 2: razbiranje vrednosti količin z grafov

Grafi so odličen pripomoček za nazorno prikazovanje odvisnosti med različnimi količinami, saj lahko z njih poleg samih vrednosti količin razberemo tudi, kako hitro se te količine spreminjajo. Matematični operaciji, ki sta s tem povezani, sta odvod in integral, ki sta v srednji šoli morda veljali za eni od najstrašnejših matematičnih operacij. Pri tej nalogi bomo spoznali, da je ta sloves neupravičen, saj imata obe zelo nazoren grafični pomen - odvod ni nič drugega kot naklon krivulje na grafu, integral pa je površina pod krivuljo.

Pri nalogi bomo obravnavali povezavo med spreminjanjem prostornine mehurja in prostorninskim pretokom v mehur. Ob tem se lahko spomnimo, da med obema veljata zvezi:

$$\Delta V = \Phi_V \Delta t \quad \text{in} \quad \Phi_V = \frac{\Delta V}{\Delta t}. \quad (1.2)$$

Z drugimi besedami, prostorninski pretok opisuje, kolikšna prostornina tekočine se v določenem času pretoči (kar je v našem primeru tudi kar enako spremembi prostornine mehurja v določenem času), spremembo prostornine v določenem času pa lahko izračunamo, če pomnožimo prostorninski pretok s tem časom. Strogo vzeto lahko zgornji enačbi uporabimo le, če je pretok konstanten. Če se pretok spreminja in je v vsakem trenutku drugačen, raje uporabimo zapis z odvodom in integralom:

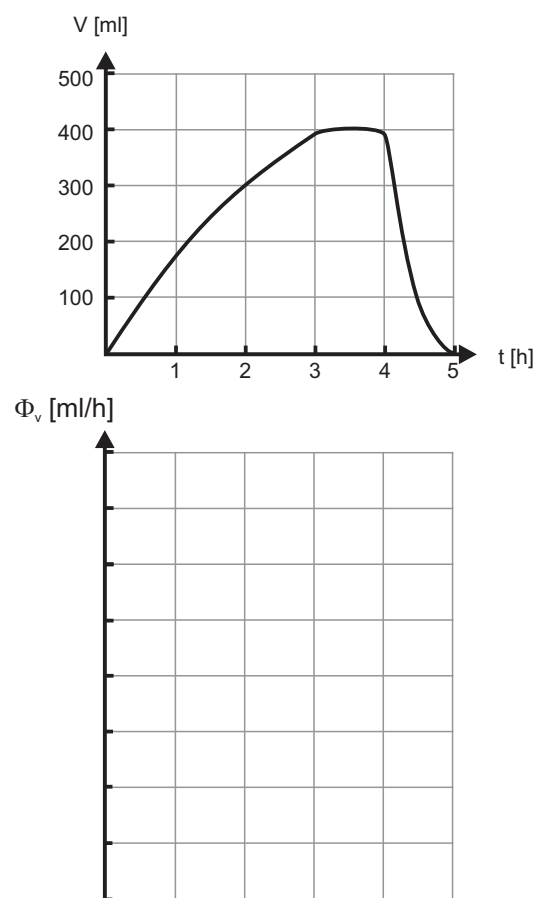
$$\Delta V = \int \Phi_V dt \quad \text{in} \quad \Phi_V = \frac{dV}{dt} \quad (1.3)$$

V nadaljevanju naloge bomo videli, kako si lahko zvezo med pretokom in prostornino nazorno prikažemo tudi grafično, brez uporabe zgornjih enačb.

Naloga 2.1

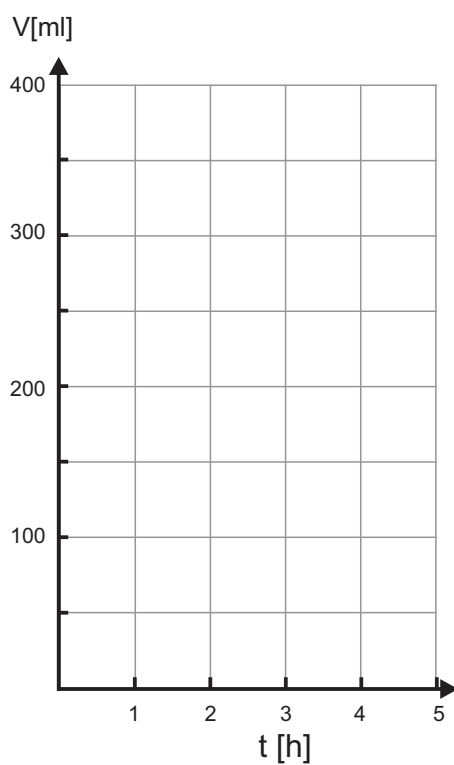
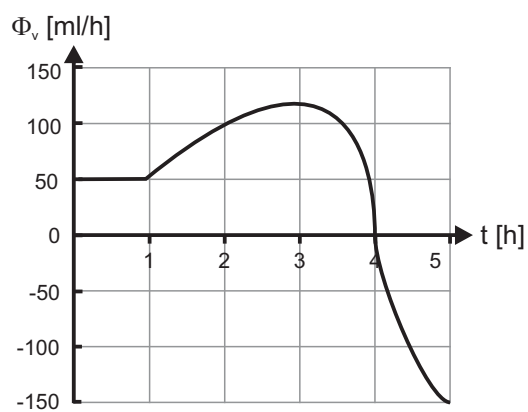
Graf prikazuje, kako se je prostornina mehurja pri nekem pacientu spreminjala s časom.

- Kdaj se prostornina mehurja ni spreminjala?
- Kolikšen je prostorninski pretok ob času $t = 2 \text{ h}$?
- Ob katerem času se je mehur polnil najhitreje?
- Ob katerem času je bil prostorninski pretok iz mehurja največji?
- Na spodnji graf narišite, kako se je s časom spreminjal prostorninski pretok v mehur.



Naloga 2.2

Graf prikazuje, kolikšen je bil pri nekem drugem pacientu prostorninski pretok v mehur.



- Ob katerem času v mehur nič ne priteka in nič ne odteka?
- Ob katerem času je bil prostorninski tok v mehur največji?

- c) Približno za koliko se je spremenila prostornina mehurja v prvih dveh urah?
- d) Približno za koliko se je spremenila prostornina mehurja v prvih petih urah?
- e) Na spodnji graf narišite, kako se je s časom spreminjala prostornina mehurja.

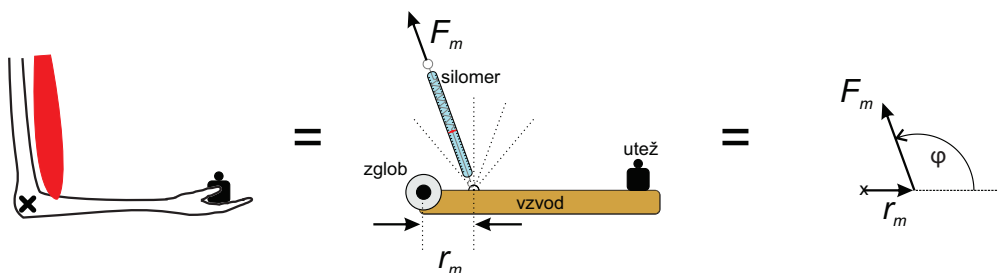
2 Obremenitve skeleta in mišic

Naše telo si lahko s stališča mehanike predstavljamo kot zapleten sistem vzvodov (kosti), ki so med seboj povezani z zglobi (sklepi) in jih premikamo ter uravnovešamo s silami mišic. Pri tej vaji bomo ponovili zakone mehanike, ki nam pomagajo pri razumevanju obremenitev skeleta in mišic v telesu. Naučili se bomo, kako so te obremenitve odvisne od anatomskih posebnosti (dolžine kosti, njihove usmerjenosti in oblike, ter od položajev prijemališč mišic) ter da so lahko v nekaterih primerih te obremenitve tudi zelo velike.

Uporabili bomo preprost model podlakti: prečko (podlaket), ki je z zglobom (komolec) pritrjena na ogrodje, vlogo bicepsa pa bo imel silomer (dinamometer). Na eno stran prečke (v dlan) bomo postavili utež ter s silomera odčitali silo, s katero mora delovati biceps, da je roka v ravnovesju. Pri tem bomo lahko spreminjali smer delovanja mišice, prav tako pa bomo lahko na prečki izbirali med prijemališči mišice z različnimi oddaljenostmi od komolca.

Pozor: navor je odvisen od smeri sile, zato moramo biti pri računanju navora pazljivi, da kot smeri sile pravilno označimo! Kot ponavadi definiramo, kot je prikazano na spodnji sliki, in v takem primeru lahko navor sile mišice zapišemo z izrazom

$$M_m = F_m r_m \sin \varphi \quad (2.1)$$

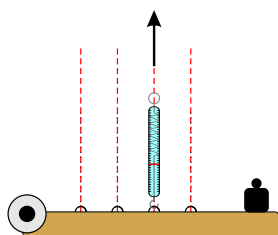


Slika 2.1: Shema preprostega modela podlakti, ki ga bomo uporabljali pri vaji.

Naloga 1: odvisnost sile od položaja prijemališča

Izmerite odvisnost sile od položaja prijemališča, če je sila navpična, podlaket pa vodoravna. Na označeno mesto (dlan) položite izbrano utež in na 4 prijemališčih izmerite silo mišice (F_m), ki je potrebna, da prečka miruje v vodoravnem položaju (prečka naj bo poravnana z rdečo črto). Silomer (sila mišice) naj deluje navpično navzgor.

Ko ocenjujete poravnanoost prečke, naj bodo oči v višini prečke. V pomoč za določanje pravokotne smeri so na ozadju modela narisane zelene črte.



Za vsako prijemališče izmerite oddaljenost od komolca (t. j. dolžino ročice mišice, r_m) ter podatek skupaj z izmerjeno velikostjo ravnovesne sile zapišite v tabelo. Izračunajte tudi navor, ki ga v tem primeru ustvarja mišica.

r_m [cm]	F_m [N]	M_m []

Izmerite še maso uteži (m_u), dolžino ročice uteži (r_u) ter izračunajte navor, ki ga ustvarja utež.

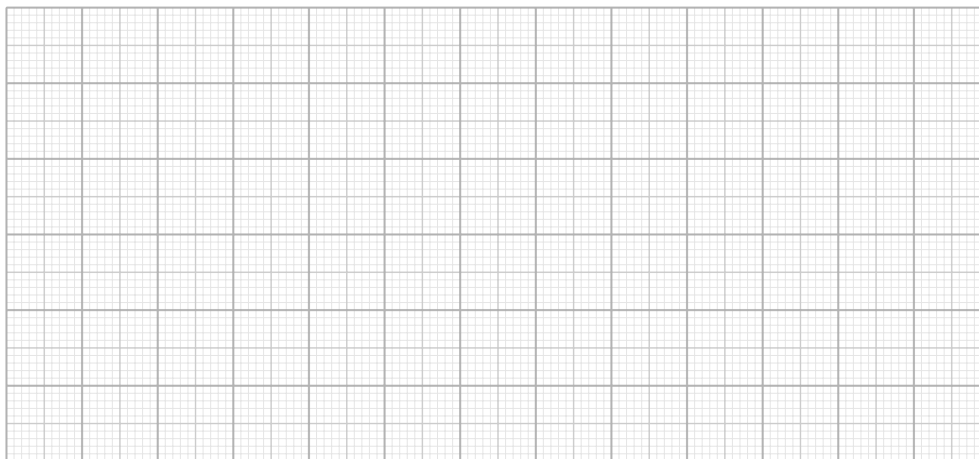
Masa uteži: $m_u =$

Sila teže uteži: $F_u =$

Ročica uteži: $r_u =$

Navor uteži: $M_u =$

Narišite graf odvisnosti sile mišice od njene ročice. Pozor: če osi in enote na grafu niso napisane, jih morate označiti sami!

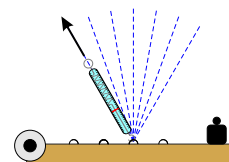


V razmislek:

- a) V katerem primeru je sila mišice največja?
- b) Je biceps lahko obremenjen s silo, ki je manjša od teže uteži?
- c) Bi lahko podlaket držali v ravnovesju, če bi bila ročica mišice enaka 0?
- d) Primerjajte velikosti navora uteži in mišic v različnih prijemališčih. Zakaj v ravnovesju navor uteži ni enak navoru mišice? Smo kaj pozabili? Bi znali določiti maso prečke?

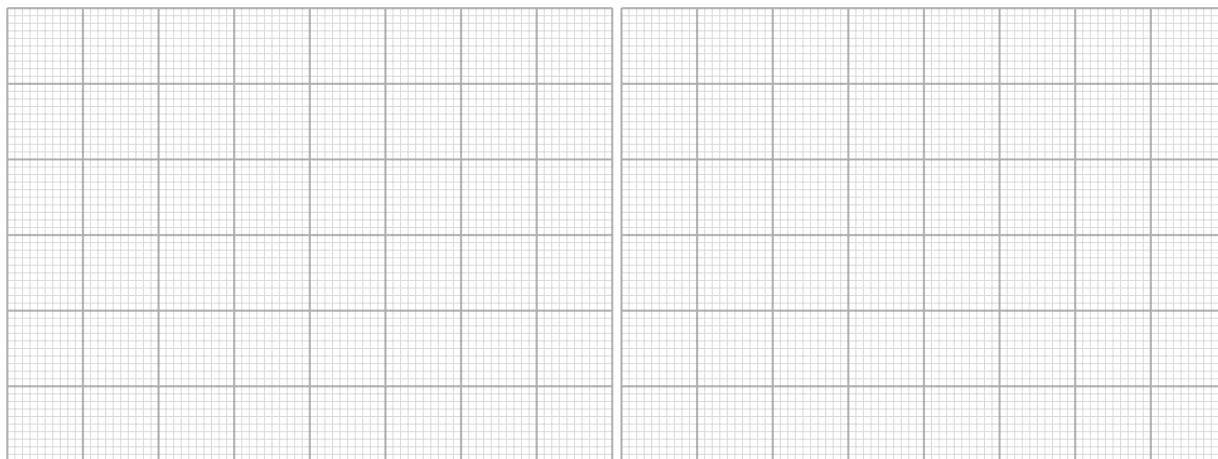
Naloga 2: odvisnost sile od smeri delovanja mišice

Izmerite silo mišice, če podlaket v vodoravnem položaju premikamo naprej in nazaj (glej sliko na desni)? Na dlani pustite isto utež, kot je bila pri nalogi 1. Merite na prijemališču 3, pri čemer spreminjate kot, pod katerim vlečete silomer. Pri različnih kotih izmerite silo, ki je potrebna, da je podlaket v ravnovesju. Merite pri kotih, ki so označeni z modro, in meritve zapisujte v tabelo. Najprej merite pri kotih, ko silomer vleče proti nadlakti. Če so vam šle meritve dobro od rok, merite še pri kotih v nasprotni smeri.



kot [°]	F_m [N]	M_m []		
90				
75				
60				
45				
30				
105				
120				
135				
150				

Narišite grafa odvisnosti sile in navora od kota.

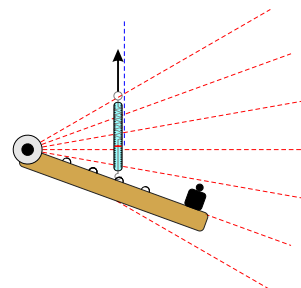
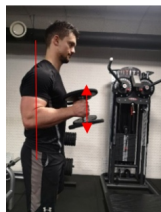


V razmislek:

- a) Pri katerem kotu je mišica najmanj oz. najbolj obremenjena?
- b) Kolikšna je sila mišice pri kotih 0° in 180° ?
- c) Bi lahko roko v vodoravnem položaju držali iztegnjeno, če bi bila njena geometrija povsem enaka tisti pri preprostem modelu, ki smo ga uporabili pri vaji (enaka prijemališča mišic, enake ročice ...) Zakaj lahko roko kljub temu v ravnovesju držimo tudi iztegnjeno? Je "narastišče" mišice pri tem pomembno?

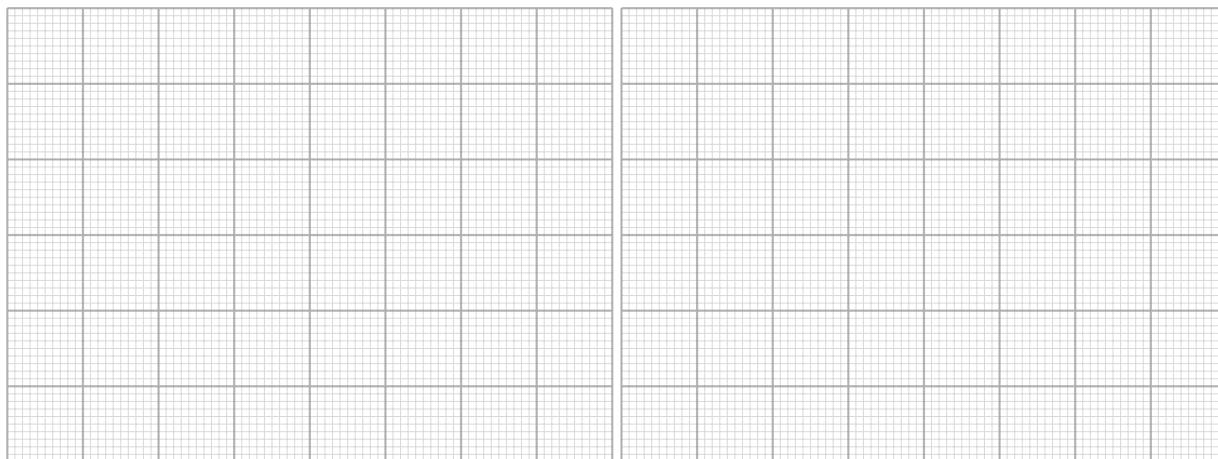
Naloga 3: meritve sile pri različnih naklonih podlakti

Izmerite silo mišice, če spreminjamo upogib komolca pri navpični nadlakti. Na dlani pustite isto utež, kot je bila pri nalogi 1. Merite na prijemališču 3, pri čemer naj bo silomer navpičen, spreminjajte pa naklon prečke (podlakti). Pri različnih kotih izmerite silo, ki je potrebna, da je podlaket v ravnovesju. Merite pri kotih podlakti, ki so označeni z rdečo barvo in meritve zapisujte v tabelo.



kot [°]	F_m [N]	M_m []		
90				
75				
60				
45				
30				
105				
120				

Narišite grafa odvisnosti sile in navora od kota.



V razmislek:

- a) Pri katerem kotu je mišica najmanj oz. najbolj obremenjena? Si znate ta rezultat razložiti?

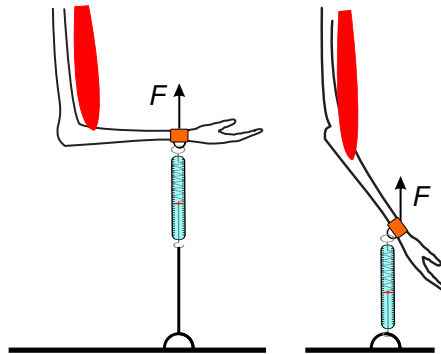
Zaključni razmislek:

- a) Zakaj so glave kosti zakrivljene?
- b) Do sedaj smo računali obremenitev mišice v ravnovesju. Predstavljajmo si, da utež vržemo v zrak le s krčenjem bicepsa. Bi bila obremenitev bicepsa v tem primeru večja ali manjša kot v ravnovesju?
- c) *Kako bi ocenili povprečno silo mišice, ki je potrebna, da utež le s krčenjem bicepsa vržemo 2 m navpično navzgor? Če vam kakšen podatek manjka, ga ocenite.
- d) *Kako je sila na komolec odvisna od kota pri nalogi 2 in kako pri nalogi 3?

Naloga 4: največja sila bicepsa (dodatna neobvezna naloga)

Določite največjo navor oz. silo, ki ga lahko ustvarja vaš biceps, če spreminjate upogib komolca pri navpični nadlakti (podobno kot pri nalogi 3).

Navor bicepsa bomo določili s pomočjo ročne tehtnice za prtljago, ki je s pomočjo verige pritrjena na tla. Tehtnico bomo vzeli v roko in jo s čim večjo silo vlekli navpično navzgor.



Meritev izvedemo po naslednjem postopku: usedemo se na stol, s hrbtom naslonjeni na naslon, ter ob naslon pritismo tudi nadlaket. Primemo za ročko tehtnice in s prepenjanjem karabina nastavimo dolžino verige tako, da je komolec pokrčen v pravi kot (kot med podlaktjo in nadlaktjo je 90°). Stol premikamo naprej in nazaj, dokler ni veriga, s katero je tehtnica pritrjena na podlago, navpična. Sedimo s prekrizanimi nogama, ki ju držimo rahlo dvignjeni nad tlemi, ter se ne nagibamo vstran — to preprečuje, da bi si pri vlečenju pomagali z drugimi mišicami. Ročko tehtnice samo z roko potegnemo navzgor, kolikor le moremo, in odčitamo maksimalno vrednost na tehtnici (ne vlečemo z ramo oziroma s telesom).

Meritev ponovimo še pri delno iztegnjenem komolcu (karabin moramo pri tem prepeti na krajšo dolžino verige) in delno skrčenem komolcu (karabin moramo pri tem prepeti na daljšo dolžino verige). Za lažjo izvedbo je vsak 5. člen verige označen, dolžina enega člena verige je 1,5 cm.

Izmerite dolžino od vrtilišča komolca do ročaja r_U , ocenite razdaljo od vrtilišča komolca do prijemališča mišice. Številka, ki jo prikazuje tehtnica, je v kg - ne pozabite je preračunati v silo ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

V razmislek:

V katerem primeru je navor mišice večji? Kaj pa sila mišice? Ali lahko mišica razvije enako maksimalno silo ne glede na to, koliko je raztegnjena?

3 Temperatura

Temperatura je eden glavnih fizikalnih parametrov v medicini, saj med drugim vpliva na obnašanje večine snovi in na potek biokemijskih reakcij, od nje pa so odvisni tudi mnogi fiziološki procesi. Meritev temperature je zaradi tega tudi ena od osnovnih kliničnih meritev. Pri tej vaji bomo spoznali principe merjenja temperature z različnimi termometri ter razmislili o njihovih prednostih in slabostih.

Uporabili bomo različne termometre: klasični alkoholni, digitalni in brezkontaktni termometer, ter termografsko kamero. Po katerih principih delujejo?

Naloga 1: meritve temperature z različnimi termometri

- a) Izberite svoj termometer in z njim izmerite sobno temperaturo (temperaturo zraka), ter temperaturo vode v posodi. Rezultata vpišite v prva dva stolpca spodnje tabele, kjer je T_z temperatura zraka in T_v temperatura vode.

vrsta	T_z [°C]	T_v [°C]	T_{vv} [°C]	τ [s]
klasični alkoholni termometer 1				
klasični alkoholni termometer 2				
digitalni termometer 1				
digitalni termometer 2				
digitalni termometer 3				
brezkontaktni termometer				
termografska kamera				

- b) Izmerite še temperaturo vroče vode ter pri tem ocenite čas, v katerem se prikazana temperatura ustali. Privzemimo, da se temperatura ustali, ko je izpis na termometru 5 s nespremenjen. Rezultata vpišite v zadnja dva

stolpca tabele, kjer je T_{vv} temperatura vroče vode, τ pa čas, potreben, da ste lahko odčitali ta rezultat.

V razmislek:

- a) Opažanja pojasnite s pomočjo poznavanja delovanja različnih termometrov!
- b) Ali lahko temperaturo dobro ocenimo z dotikom?
- c) S pomočjo spodnje tabele razmislite o primernosti različnih tekočin za uporabo v tekočinskih termometrih:

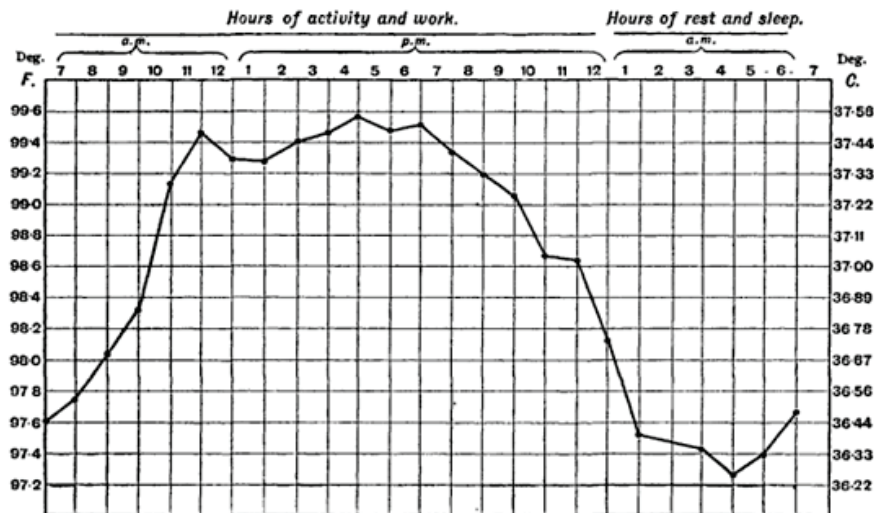
Tabela prikazuje vrednosti temperaturnega koeficienta prostorninskega raztezka (β), toplotne kapacitete (c) in toplotne prevodnosti (γ) za različne snovi pri sobni temperaturi. Za katere količine je dobro, da so čim večje in za katere, da so čim manjše?

snov	voda	etanol	živo srebro	jeklo
β [$10^{-3}/K$]	0,2	2	0,18	0,013
c [kJ/kgK]	4,2	2,4	0,14	0,5
λ [W/mK]	0,7	0,2	8,3	16

- d) Kateri termometer bi uporabili za meritev temperature 1 ml vroče vode?
- e) Za kateri termometer je pomemben parameter njegova toplotna kapaciteta? Je za tak termometer dobro, da ima čim večjo ali čim manjšo toplotno kapaciteto? Zakaj?
- f) Ali termokamera temperaturo lahko izmeri skozi steklo, plastično vrečko...? Zakaj?

Naloga 2: dnevno nihanje telesne temperature

Graf prikazuje normalno spreminjanje temperature človeka preko dneva. Temperaturo so merili ob vsaki polni uri (pike na grafu). Na levi strani je skala v Fahrenheitih, na desni pa v stopinjah Celzija.



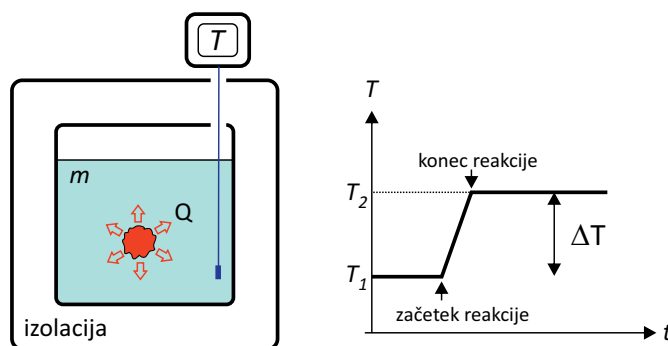
V razmislek:

- Koliko °F je normalna človeška temperatura 37 °C?
- Kakšna je zveza med °C in °F?
- Koliko °F pa je 42 °C?
- Razmislite o različnih dejavnikih, na katere moramo biti pozorni pri merjenju telesne temperature.

4 Kalorimetrija in določanje spremembe entalpije pri kemijski reakciji

Prenos toplote je en od osnovnih načinov izmenjevanja energije. Zaradi prehajanja toplote se lahko telesa segrevajo oz. ohlajajo, lahko se jim spremeni agregatno stanje, do izmenjevanja toplote z okolico pa prihaja tudi pri biokemijskih reakcijah. Pri tej vaji bomo spoznali osnovne principe merjenja toplote – kalorimetrije – ter izmerili spremembo entalpije pri preprosti kemijski reakciji.

Izmenjevanje toplote bomo merili z napravo, imenovano kalorimeter, za kar bomo uporabili preprosto Dewarjevo posodo (termovko), napolnjeno z vodo. Notranjost kalorimetra lahko obravnavamo kot toplotno izoliran sistem pri konstantnem tlaku.



Toploto, ki se sprosti ob nekem procesu v kalorimetru, izmerimo tako, da merimo spremembo temperature v njem. Če npr. v kalorimetru sprožimo eksotermno reakcijo, ob kateri se sprosti toplota Q , se vsa sproščena toplota porabi za segrevanje vode v kalorimetru in njegovih notranjih sten. To toploto lahko določimo iz:

$$Q = m c \Delta T + C \Delta T, \quad (4.1)$$

kjer je m masa vode v kalorimetru, c je specifična toplota vode, ΔT je razlika med končno in začetno temperaturo vode ($\Delta T = T_2 - T_1$), C pa je toplotna kapaciteta kalorimetra, ki jo ponavadi izmerimo posebej. Pri tem smo predpostavili, da je kalorimeter dobro izoliran in se nič toplote ni izgubilo v okolico ter da ima tako na začetku kot na koncu eksperimenta voda enako temperaturo kot stene kalorimetra. Če je v kalorimetru potekla endotermna reakcija, ostaneta zgornji razmislek in enačba enaka, le da sta se kalorimeter in voda ohladila ($Q < 0$), saj se je toplota porabila za endotermni proces, pri tem pa se je temperatura v kalorimetru znižala ($\Delta T < 0$).

Sprememba entalpije pri raztapljanju soli

V izoliranem sistemu je pri konstantnem tlaku sprememba entalpije (ΔH) enaka nič, saj se med sistemom in okolico ne izmenja nič toplote. Ker pa je celotna sprememba entalpije sestavljena iz spremembe entalpije vode (skupaj s kalorimetrsko posodo) in spremembe entalpije reakcije v kalorimetru, lahko zapišemo

$$\Delta H = \Delta H_{\text{vode}} + \Delta H_r = 0, \quad (4.2)$$

in vidimo, da je ΔH_{vode} nasprotno enaka ΔH_r . S kalorimetrom lahko enostavno izmerimo spremembo entalpije pri kemijskih reakcijah, saj je sprememba entalpije kalorimetra in vode v njem pri danem tlaku kar enaka izmenjani toploti

$$\Delta H_{\text{vode}} = Q. \quad (4.3)$$

Eksotermne reakcije toploto oddajajo, voda v kalorimetru oddano reakcijsko toploto prejme, zato se ji temperatura zviša, reaktantom pa se entalpija zniža. Endotermne reakcije toploto sprejemajo, zaradi česar se reaktantom entalpija poveča. Ta toplota pride iz kalorimetra, ki se zato ohladi.

Pri vaji bomo izmerili spremembo entalpije pri raztapljanju soli. Pri raztapljanju se energija (oz. toplota) porablja za trganje vezi kristalne mreže soli in trganje vodikovih vezi med molekulami vode, na drugi strani pa se sprošča ob hidrataciji raztopljenih ionov (vzpostavljajo se vezi med molekulami vode in ioni soli). Ker je za trganje vezi v kristalni mreži soli in med molekulami vode potrebno več energije, kot se je sprosti ob vzpostavljanju vezi med ioni soli in vode, je reakcija endotermna in entalpija se poveča, temperatura vode v kalorimetru pa se pri tem zniža.

Pri kemiji ponavadi podajamo spremembo entalpije na mol snovi (specifično spremembo entalpije, $\overline{\Delta H}$), ki jo dobimo, ko ustrezno količino delimo s številom molov:

$$\overline{\Delta H_r} = \frac{\Delta H_r}{n} = \frac{M}{m} \Delta H_r, \quad (4.4)$$

kjer je n število molov raztopljene soli, m_s masa raztopljene soli, M_s pa njena molska masa.

Primer endotermne reakcije je raztapljanje kalijevega klorida (KCl) v vodi s pozitivno spremembo specifične entalpije, $\overline{\Delta H_r} = 17,2 \text{ kJ/mol}$, primer eksotermne reakcije pa raztapljanje natrijevega hidroksida (NaOH) v vodi z negativno spremembo specifične entalpije, $\overline{\Delta H_r} = -44,5 \text{ kJ/mol}$.

Naloga 1: meritev toplotne kapacitete kalorimetra in meritev specifične entalpije raztapljanja soli

Najprej bomo določili toplotno kapaciteto kalorimetra (C), ki jo potrebujemo za uporabo enačbe 4.1. To napravimo tako, da znani količini hladne vode v kalori-

metru (m_h) z znano začetno temperaturo (T_h) dodamo znano količino vroče vode (m_v) z znano temperaturo (T_v) ter izmerimo končno zmesno temperaturo vode v kalorimetru (T_z). Če se nič toplote ne izgubi v okolico, lahko zapišemo, da je toplota, ki jo je sprejela hladna voda, enaka toploti, ki jo je oddala vroča voda:

$$(m_h c + C)(T_z - T_h) = m_v c (T_v - T_z) . \quad (4.5)$$

Toplotno kapaciteto kalorimetra C dobimo tako, da jo izrazimo iz zgornje enačbe, saj vrednosti vseh ostalih količin poznamo.

Ko poznate toplotno kapaciteto kalorimetra, lahko podatek skupaj z enačbo 4.1 uporabljate za merjenje toplote pri kemijskih reakcijah. Določili boste, ali je raztapljanje izbrane soli endo- ali eksotermna reakcija ter izmerili njeno specifično entalpijo raztapljanja.

Izvedba

Pripravite si:

- kalorimetrsko posodo (termo lonček)
- dva termometra (opomba: digitalne termometre je treba med daljšo meritvijo večkrat ugasniti in prižgati)
- štoparica
- čaša s 100 ml vroče vode
- topljenec (KCl, citronska kislina v prahu ali soda bikarbona)

Izbrani topljenec:

Masa: $m =$

Molska masa: $M =$

V kalorimetrsko posodo nalijte 150 mL ($m_1 = 0,15$ kg) hladne vode iz vodovodne pipe in vanjo postavite termometer 1, termometer 2 pa postavite v čašo z vročo vodo (100 ml, $m_2 = 0,1$ kg). Temperatura vroče vode naj bo vsaj 35 °C.

Brez prekinitev merite temperaturo vode v kalorimetru (termometer 1) v intervalih na 30 s in vodo pri tem občasno pomešajte s sukanjem posode (termometer 1). To storite 7-krat (če pa se temperatura še ni ustalila, merite naprej, dokler se temperatura ne ustali). Izmerjene temperature beležite v tabelo. Po zadnji meritvi zabeležite še temperaturo vroče vode (termometer 2) in jo takoj zatem zlijte

iz čaše v kalorimeter. Temperaturo si še naprej zapisujte na 30 sekund, merite 7-krat, oz. dokler se temperatura ne ustali. Po zadnji meritvi vsujete v kalorimeter izbrano snov in tudi tokrat merite 7-krat, oz. dokler se temperatura ne ustali, na 30 s.

Temperatura vode v kalorimetru:

t [s]	0	30	60	90	120	150	180
T [°C]							

Temperatura vroče vode, preden jo vlijemo v kalorimeter: $T_v =$

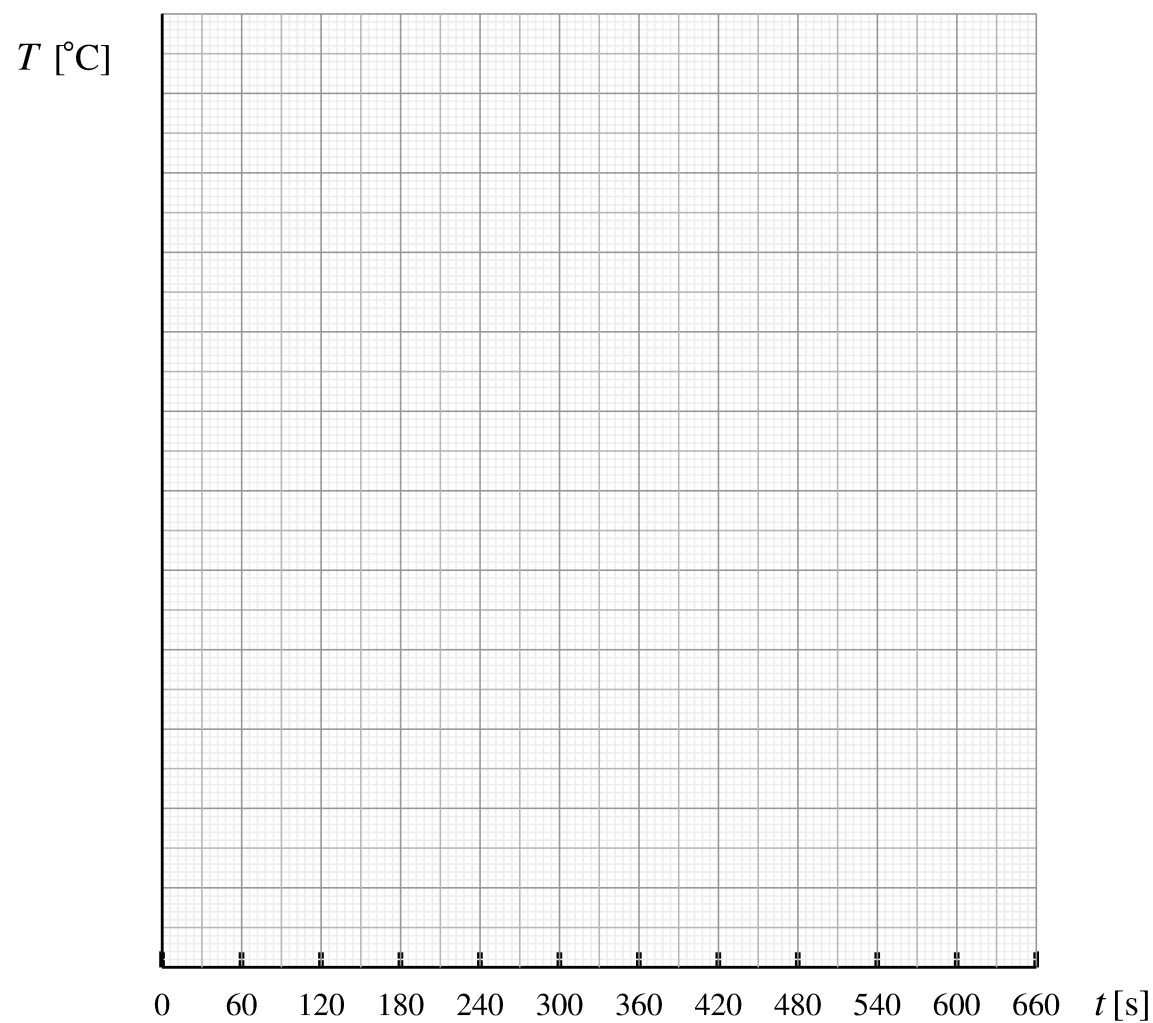
Temperatura vode v kalorimetru po dolitju vroče vode:

t [s]	210	240	270	300	330	360	390
T [°C]							

Temperatura vode v kalorimetru po dodatku topljenca:

t [s]	420	450	480	510	540	570	600
T [°C]							

Narišite graf odvisnosti temperature v kalorimetru od časa:



Na osnovi grafa razmislite, katere vrednosti temperature lahko določimo kot temperaturo hladne vode v kalorimetru (T_h), zmesno temperaturo mešanice hladne in vroče vode (T_z) in končno temperaturo, ko se topljenec raztopi (T_k).

$T_h =$

$T_z =$

$T_k =$

Z uporabo enačbe 4.5 izračunajte toplotno kapaciteto kalorimetra:

Toplotna kapaciteta kalorimetra: $C =$

Ko smo določili C , lahko z uporabo enačbe 4.1 določimo tudi toploto, ki jo je kalorimeter prejel (ali oddal) med topljenjem soli. S kombinacijo enačb 4.3 in 4.4 pa določimo specifično entalpijo topljenja, $\overline{\Delta H_r}$. Pri tem ne pozabimo na prave predznake: če se je temperatura vode znižala, je voda toploto oddala reaktantom, ki se jim je entalpija zato povečala, kar pomeni, da je šlo za endotermno reakcijo.

Specifična entalpija topljenja: $\overline{\Delta H_r} =$

V razmislek:

- Katera vrsta termometra je najbolj primerna za meritev temperature pri tej vaji in zakaj?
- Sta bila temperaturna skoka v naših meritvah nenadna, ali pa se temperatura

sistema počasi približuje novemu ravnovesju? Zakaj?

- Ponavadi si lažje predstavljamo, da so spontane eksotermne reakcije: ko z iskrico zažgemo papir, bo spontano pogorel do konca. Kako pa je mogoče, da so spontane tudi endotermne reakcije, kot je raztapljanje soli v naši vaji? Kaj jih pri tem žene?
- V medicini se uporabljajo t. i. grelne in hladilne blazinice za enkratno uporabo (*angl.* hot pack, cold pack). V njih sta v ločenih predelkih dve snovi. Ko pred uporabo blazinico stisnemo, notranja pregrada počí, snovi se začneta mešati in med njima začne potekati reakcija. Bolj kot vrečko pregnete-mo, hitreje poteka reakcija. Razmislite, v kateri blazini (grelni/hladilni) mora potekati endotermna, in v kateri eksotermna reakcija? Obstajajo tudi grelne blazinice, pri katerih se toplota sprošča z oksidacijo snovi ali polimeriziranjem-zmrzovanjem podhlajene tekočine, slednje so lahko tudi za večkratno uporabo.
- Kako je na naše rezultate vplivalo dejstvo, da nismo uporabljali kalorimetra z idealno izolacijo? Smo izmerili preveliko ali premajhno specifično entalpijo topljenja?

5 Površinska napetost

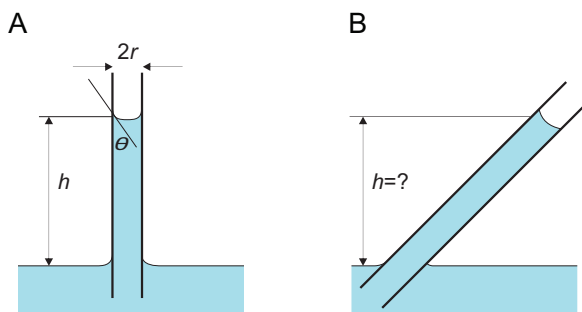
Površinska napetost je lastnost kapljev, ki je pomembna za razumevanje nekaterih pojavov, kot je npr. spreminjanje tlaka v pljučnih mešičkih med dihanjem. Pri vaji se bomo posvetili dvema posledicama površinske napetosti: kapilarnemu dvigu v stekleni kapilari in podajnosti pljuč.

Naloga 1: merjenje površinske napetosti vode s kapilarnim dvigom

Površinska napetost med steklom in zrakom je večja od površinske napetosti med steklom in vodo, zato voda *moči* steklo. Če stekleno kapilaro navpično pomočimo v vodo, bodo sile zaradi površinskih napetosti vodo potegnile navzgor in voda bo deloma napolnila kapilaro (slika 5.1A). Ravnoesje se bo vzpostavilo, ko bo sila teže vode v kapilari nasprotno enaka sili površinskih napetosti, ki vodo vlečejo navzgor. V ravnoesju za višino kapilarnega dviga velja enačba

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g}, \quad (5.1)$$

kjer je σ površinska napetost vode, θ je kot močenja, r je polmer kapilare, ρ je gostota vode in g je težni pospešek. Voda zelo dobro moči steklo, zato je njen kontaktni kot zanemarljivo majhen ($\theta \approx 0^\circ$).



Slika 5.1: A) Shematski prikaz kapilarnega dviga v navpični kapilari. Višina kapilarnega dviga (h) je razlika med zunanjo gladino in gladino v kapilari. B) Kako visok je kapilarni dvig v nagnjeni kapilari?

Površinsko napetost vode lahko torej določite z meritvijo višine kapilarnega dviga v kapilari z znanim polmerom in uporabo enačbe 5.1.

- a) Stekleno čašo do roba napolnite z vodo. Nato vzemite novo stekleno kapilaro in jo pomočite globoko v čašo. Kapilaro nato potegnite ven, jo obrnite in počakajte, da vodni stolpec zdrsi do drugega konca kapilare in jo tako omoči po vsej dolžini. Kapilaro spet potopite nazaj v čašo. S tem ste poskrbeli, da bo kapilara z notranje strani dobro omočena in morebitne nehomogenosti na površini stekla ne bodo vplivale na kapilarni dvig.

Pozor: kot vsi površinski pojavi je tudi kapilarni dvig zelo občutljiv na prisotnost nečistoč, saj se le te pogosto nabirajo ravno na površinah. Vsaka najmanjša umazanija v kapilari ali v vodi lahko meritev pokvari. Prav tako pazite, da v vodnem stolpcu v kapilari ni zračnih mehurčkov. Če pri poskusu naletite na težave zaradi nečistoč, kapilaro in vodo zavržite ter poskus ponovite od začetka.

- b) Kapilaro držite v navpični legi (slika 5.1A) in opazujte, ali je h odvisen od tega, kako globoko je spodnji del kapilare potopljen v vodo.
- c) Z merilom izmerite višino kapilarnega dviga pri treh različnih globinah spodnjega dela kapilare in jo vpišite v spodnjo tabelo. Pri meritvi upoštevajte dno meniskusa.

h [mm]

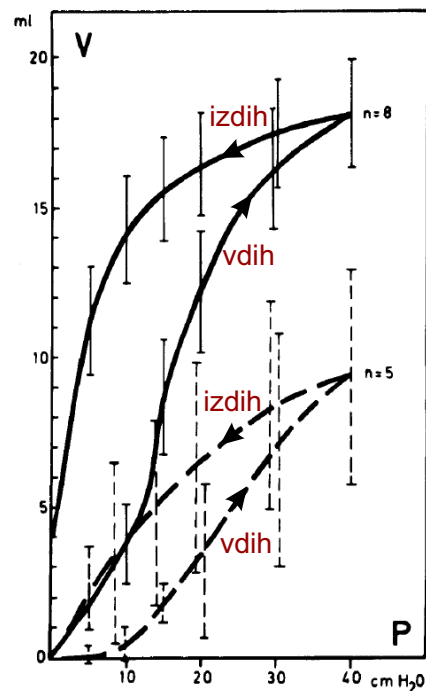
- d) Opazujte še, kaj se zgodi, če kapilaro nagibamo, kot je prikazano na sliki 5.1B? Kolikšen je kapilarni dvig v tem primeru? Lahko kapilaro na tak način napolnite do konca? Si znate obnašanje razložiti?
- e) Po meritvi kapilaro zavržite v škatlo za ostre odpadke.
- f) Izračunajte povprečno vrednost višine kapilarnega dviga ter iz tega podatka z uporabo enačbe 5.1 izračunajte površinsko napetost vode. Polmer kapilare je naveden pri vaji.

V razmislek

- Zakaj višina kapilarnega dviga ni odvisna od dolžine kapilare pod gladino?
- Kolikšen bi bil kapilarni dvig vode na vesoljski postaji v breztežnem stanju?
- Kolikšna bi bila višina kapilarnega dviga v kapilari, katere radij bi bil primerljiv z radijem tanjših vodnih žil v ksilemu dreves ($r \approx 5 \mu\text{m}$)?
- Kaj bi se zgodilo, če bi kapilaro pomočili v kapljevino, ki stekla ne moči ($\theta > 90^\circ$)?

Naloga 2: vpliv površinske napetosti na podajnost pljuč

Slika prikazuje odvisnost prostornine pljuč od tlaka (p), ki jih razpenja. Ena krivulja predstavlja normalna pljuča, druga pa pljuča brez surfaktanta.¹



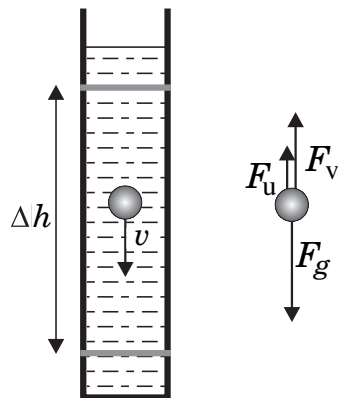
- Katera krivulja predstavlja zdrava pljuča in katera pljuča brez surfaktanta?
- Za oba primera ocenite podajnost pljuč morskega prašička ($C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$) pri vdihu pri tlaku 20 cm H₂O.

¹Meritev je bila narejena na morskih prašičkih (Lachmann et al. "In vivo lung lavage as an experimental model of the respiratory distress syndrome." *Acta anaesthesiologica Scandinavica*. 1980; 24.3:231-236).

6 Sedimentacija in krvni tlak

Naloga 1: sedimentacija kroglic v glicerolu

Merjenje hitrosti sedimentacije eritrocitov v krvni plazmi je ena najstarejših krvnih preiskav. Pri tej nalogi bomo proces sedimentacije opazovali na preprostem modelu: opazovali bomo sedimentacijo steklenih kroglic v viskozni tekočini.



Slika 6.1: Shematski prikaz padanja kroglice v viskozni tekočini. Tekočina je v merilnem valju, na katerem sta oznaki, med katerima izmerimo čas padanja kroglice. Kroglica med oznakama pada z enakomerno hitrostjo (v), pri čemer so sile teže (F_g), vzgona (F_v) ter upora (F_u) v ravnovesju: $F_g - F_v - F_u = 0$.

Slika 6.1 prikazuje sile, ki delujejo na kroglico, medtem ko tone v viskozni tekočini. Če je teža kroglice večja od sile vzgona, kroglica pada pospešeno. Ob tem na kroglico deluje sila upora, ki se v laminarnem režimu večja sorazmerno s hitrostjo gibanja (v)

$$F_u = 6\pi r\eta v, \quad (6.1)$$

kjer sta r polmer kroglice in η viskoznost tekočine. Po začetnem pospeševanju zato kroglica kmalu doseže končno hitrost padanja, pri kateri se sile uravnesijo (slika 6.1). Ob upoštevanju izrazov za silo upora (en. 6.1) ter sili teže in vzgona $F_g = \rho_k \cdot 4\pi r^3/3 \cdot g$ in $F_v = \rho_0 \cdot 4\pi r^3/3 \cdot g$, kjer so ρ_k in ρ_0 gostota kroglice in tekočine ter g težni pospešek, dobimo, da je končna hitrost sorazmerna z r^2

$$v = \frac{2(\rho_k - \rho_0)gr^2}{9\eta}. \quad (6.2)$$

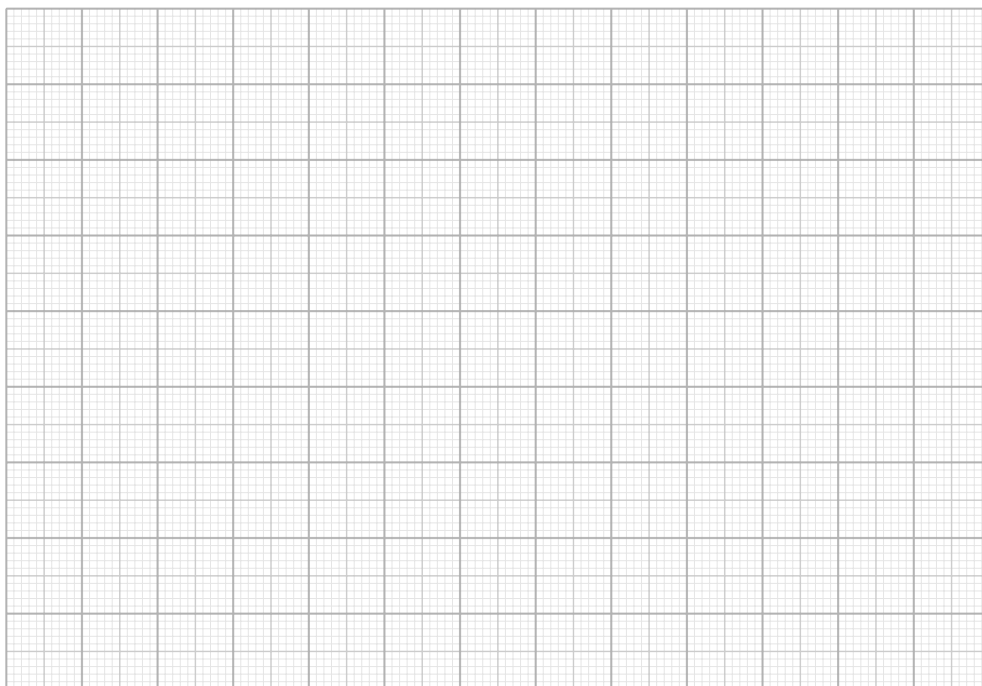
Vidimo, da je hitrost sedimentacije tem višja, čim večji radij ima kroglica. Pri vaji bomo opazovali sedimentacijo steklenih kroglic v glicerolu in preverili veljavnost zgoraj opisane teorije.

- a) V merilnem valju je glicerol, v posodah pa so kroglice različnih velikosti. Polmere kroglic vpišite v tabelo.

- b) Vsako kroglico posebej spustite v tekočino in izmerite čas (t), v katerem pade kroglica od zgornje do spodnje oznake na merilnem valju (zgornja oznaka je izbrana tako, da se do nje hitrost kroglice že ustali). Kroglico spustite tako, da bo potovala čim bolj po sredini merilnega valja. Ko določate trenutek, v katerem kroglica pade mimo oznak na merilnem valju, glejte na kroglico v vodoravni smeri, da ne pride do napake pri meritvi zaradi paralakse. Če kroglica zaradi površinske napetosti ostane na gladini tekočine in ne potone, jo potopite s priloženo paličico. Ponovite postopek za vse velikosti kroglic.

r [mm]	t [s]	v [mm/s]	r^2 [mm ²]

- c) Izračunajte hitrosti padanja kroglic, $v = h/t$, in jih dopišite v tabelo. Razdalja med oznakama (h) je podana pri vaji.
- d) Narišite lineariziran diagram, s katerim preverite veljavnost enačbe 6.2. Enačbo lineariziramo tako, da rišemo hitrosti padanja v odvisnosti od kvadrata radija kroglice – če enačba velja, ležijo točke na diagramu na premici z naklonskim koeficientom $k = 2g(\rho_k - \rho_0)/(9\eta)$. Risanje grafa bo lažje, če najprej za vsako kroglico izračunate kvadrat njenega radija.



- e) Iz diagrama določite koeficient premice k ter z njim izračunajte viskoznost tekočine. Gostoti tekočine (ρ_0) in kroglic (ρ_k) sta podani pri vaji.
- f) Za konec še preverite, ali je bilo gibanje kroglic zares v laminarnem režimu in smo pri računu hitrosti sedimentacije upravičeno uporabili linearni zakon upora (6.1). Spomnimo se, da lahko oceno režima gibanja naredimo z izračunom Reynoldsovega števila (Re), pri čemer laminarni režim velja za približno $Re < 0,5$, o turbulentem režimu pa govorimo pri $Re > 1000$. Izračunajte Reynoldsovo število (Re) za gibanje najhitrejše kroglice, pri čemer upoštevate gostoto in viskoznost dane tekočine, d pa je premer kroglice:

$$Re = \frac{v\rho_0 d}{\eta} =$$

V razmislek

- a) Zakaj se pri nekaterih bolezenskih stanjih hitrost sedimentacije eritrocitov poveča?

Naloga 2: merjenje krvnega tlaka

Pri tej nalogi si bomo izmerili krvni tlak z oscilometričnim merilcem tlaka in ob tem raziskali dva vpliva na rezultat meritve. Preden začnemo z meritvami, ponovimo nekaj teorije.

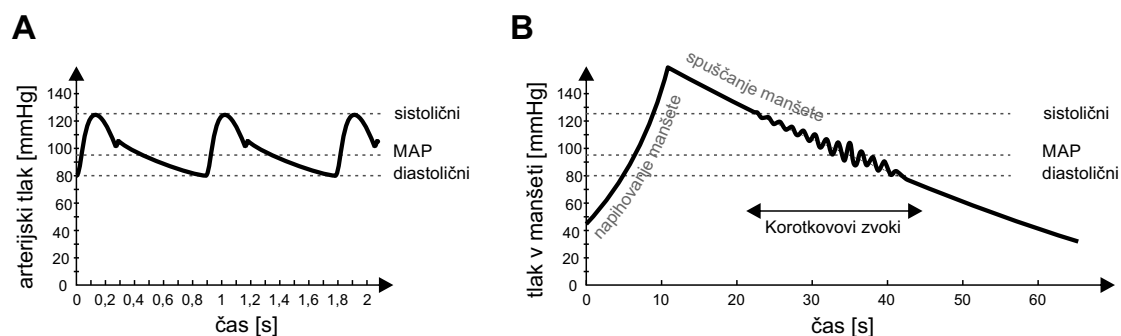
Krvni tlak je v glavnih arterijah človeka, ki leži v vodoravnem položaju, približno povsod enak. Ko človek vstane, se tlak v glavnih arterijah spremeni, saj tlak zaradi teže krvi narašča z globino in je zato večji v nogah kot v glavi. Razlika v tlakih med dvema nivojema je kar sorazmerna z razliko v višinah (Δh):

$$\Delta p = \rho g \Delta h, \quad (6.3)$$

kjer je ρ gostota krvi, g pa težni pospešek.

Ko se srce skrči, potisne kri v arterije in arterijski tlak naraste, nato pa pada do konca srčne periode (slika 6.2A). Arterijski krvni tlak zato niha med *sistoličnim* in *diastoličnim* tlakom. Ker je arterijski tlak dlje časa bliže diastoličnemu, je tudi srednja vrednost arterijskega tlaka (*MAP* - mean arterial pressure) bližje diastoličnemu tlaku; v prvem približku je na eni tretjini višine nihanja tlaka: $MAP \approx p_d + \frac{1}{3}(p_s - p_d)$.

Krvni tlak največkrat merimo z merilcem tlaka z napihljivo manšeto. Pri tem postopku manšeto namestimo okrog nadlakti ali zapestja, in jo začnemo napihovati (slika 6.2B). Ko tlak v manšeti naraste preko sistoličnega tlaka, manšeta stisne arterijo in povsem prekine tok krvi skozi njo. Tlak v manšeti nato postopoma



Slika 6.2: A) Shematični prikaz tlaka v arteriji v odvisnosti od časa. B) Shematični prikaz spreminjanja tlaka v manšeti med meritvijo.

spuščamo in ko tlak v manšeti pade pod sistolični krvni tlak, lahko ta žilo delno razpre in skozi njo z brizgom požene kri. Med brizganjem je tok krvi turbulenten, kar lahko zaznamo s stetoskopom kot t. i. Korotkovove zvoke, avtomatski merilci pa to zaznajo kot nihanje tlaka v manšeti. Ko tlak v manšeti pade pod diastolični tlak, se arterija povsem odpre, tok krvi spet postane laminaren, zvoki in nihanje tlaka pa izginejo. Če je žila približno enako dolgo odprta kot zaprta (takrat je tlak v manšeti približno enak *MAP*), so amplitude največje, če pa je le kratek čas odprta ali zaprta, so amplitude nihanja tlaka majhne (sl. 6.2B). Avtomatski merilnik na osnovi oscilacij tlaka v manšeti izračuna vrednosti sistoličnega in diastoličnega tlaka z vnaprej določenim algoritmom, ki pa ni standardiziran in se lahko razlikuje med različnimi proizvajalci.

a) **Vpliv položaja manšete na rezultat meritve tlaka**

Oscilometrični merilec tlaka si namestite na zapestje. Namestitev manšete ne sme biti ne preohlapna, ne pretesna. Ko pritisnete gumb za pričetek merjenja, merilec samodejno izmeri sistolični in diastolični tlak. Meritev nekaj časa traja, ker se tlak v manšeti počasi spreminja. Med meritvijo mora roka mirovati, mišice pa naj bodo sproščene. Najprej izmerite vrednost tlaka, ko je manšeta v višini srca, nato pa še, ko roko dvignete in je manšeta približno v višini glave, ter ko roko spustite in je manšeta približno v višini bokov. Izmerke zapisujte v tabelo ter za vsak položaj manšete izračunajte še vrednost MAP in jo zapišite v zadnji stolpec. Če vam pri katerem položaju merilec ne bo mogel izmeriti tlaka, meritev ponovite pri manjši navpični oddaljenosti od srca.

položaj manšete	sistolični [mmHg]	diastolični [mmHg]	MAP [mmHg]
v višini srca			
v višini glave			
v višini boka			

Izmerite še razliko višin med različnimi položaji manšete in jih vpišite v spodnjo tabelo. Z uporabo enačbe 6.3 izračunajte teoretični razliki tlakov ter ju primerjajte z izmerjenima.

	Δh [mm]	teoretična razlika MAP [mmHg]	izmerjena razlika MAP [mmHg]
srce - glava			
srce - boki			

b) Vpliv trdote žil na rezultat meritve tlaka

Razmislite, kako na meritev vpliva trdota žil? Bomo pacientu, ki ima otrdele žilne stene, izmerili višji ali nižji tlak?

Svoj razmislek preverite z eksperimentom: krvni tlak si izmerite še enkrat, pri tem pa med roko in manšeto vstavite list papirja. Zaradi papirja bo roka navidezno otrdela. Komentirajte rezultat.

otrdela žila	sistolični [mmHg]	diastolični [mmHg]	<i>MAP</i> [mmHg]
manšeta v višini srca			

V razmislek

- a) Zakaj se z oddaljenostjo od srca tlak v glavnih arterijah le malo zmanjša?
- b) Kako ateroskleroza vpliva na vrednosti izmerjenega tlaka? Ali je pomembno tudi to, kje merimo?
- c) Na rezultat meritve vpliva tudi velikost manšete, zato moramo velikost manšete prilagoditi velikosti roke preiskovanca. Kako bi se spremenil rezultat, če bi otroku tlak merili s preveliko manšeto? Bi mu izmerili previsok ali prenizek krvni tlak?