

Ovaj dokument nastao je u sklopu Erasmus+ projekta “Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning” (DigiPhysLab).

Više informacija: www.jyu.fi/digiphyslab

Lupanje vratima

Verzija za studente

2.3.2022



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Ovo djelo licencirano je pod [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Dragi studenti,

u nastavku ćete pronaći sve potrebne materijale za eksperiment *Lupanje vratima*, u kojem ćete istraživati ponašanje trenja kod zalupljenih vrata. Ova vježba razvijena je u sklopu EU projekta *DigiPhysLab*¹, čiji je cilj razvoj novih eksperimentalnih zadataka kojima se omogućuje motivirajuće i aktivno učenje, uz upotrebu suvremenih digitalnih medija, na nastavi i u scenarijima učenja na daljinu. Na sljedećim stranicama pronaći ćete upute i pomoćne materijale (I) do (IV) za provođenje vježbe. Za eksperiment su potrebne sljedeće pripreme:

Tehničke pripreme

1. Ponesite pametni telefon, prijenosno računalo (s mišem) i kabel za prijenos podataka.
2. Instalirajte besplatnu aplikaciju *PhyPhox* na svoj pametni telefon. Provjerite mogu li se podaci s *PhyPhoxa* pohraniti lokalno na Vaš pametni telefon. Za Android uređaje to obično zahtijeva instalaciju besplatne aplikacije za upravljanje datotekama kao što je *Total Commander*.
3. Instalirajte besplatni softver *SciDAVis* na svoje prijenosno računalo. Ako su Vam dostupni, možete također koristiti *Origin Pro* ili *Python*.

Preuzimanje za Windows: <https://sourceforge.net/projects/scidavis/>

Preuzmite za Mac: <https://sourceforge.net/projects/scidavis/files/SciDAVis-beta/>

Teorijska priprema

Teorija relevantna za pripremu detaljno je opisana u sljedećoj publikaciji:

Klein, P., Müller, A., Graber, S., Molz, A., & Kuhn, J. (2017): *Rotational and frictional dynamics of the slamming of a door*. *American Journal of Physics* 85 (1), pp.30-37.

1. **Pročitajte odjeljke I-III prema oznakama u priloženoj datoteci.** Fokus bi trebao biti na konceptualnom razumijevanju eksperimenta (cilj, metoda, interpretacija podataka) i teorije (modeli trenja, ugniježđeni modeli, procjena redova veličine); nije potrebno razumijevanje transformacija pojedinačne formule.
2. **Pročitajte upute za korištenje *phyphox* aplikacije (Pomoćni materijal (I)). Isprobajte rad aplikacije pomoću podataka bilo kojeg senzora (npr. *acceleration with/without g*). Ne morate još gledati Pomoćne materijale (II) i (IV). Oni će Vam biti potrebni samo na dan eksperimenta.**
3. **Pročitajte upute za korištenje softvera *SciDAVis* (Pomoćni materijal (III)). Vježbajte rad u *SciDAVisu* evaluacijom sljedećeg skupa podataka.** Ovo su podaci iz eksperimenta slobodnog pada u kojem je mjereno vrijeme pada t za različite visine pada h . (i) Koristite prilagodbu kako biste odredili gravitacijsko ubrzanje g . (ii) Pomoću prilagodbe provjerite postoji li sustavna pogreška u mjerenju visine, tj. pomak h_0 .

Skup podataka:

Visina pada h [cm]	Vrijeme pada t [s]	Mjerna nesigurnost vremena pada [s]
29,5	0,244	0,005
26,9	0,232	0,005
21,6	0,205	0,005
18,1	0,191	0,005
13,0	0,162	0,005
10,9	0,154	0,005
9,6	0,143	0,005
6,2	0,114	0,005
4,3	0,093	0,005

¹ Engleska web stranica projekta: <https://www.jyu.fi/science/en/physics/studies/digiphyslab>

Lupanje vratima: Efekti trenja kod lupanja vratima

Motivacija

Situacije iz stvarnog života se u udžbenicima i predavanjima iz fizike često pojednostavljaju korištenjem idealiziranih fizikalnih modela koji ne sadrže rubne efekte poput trenja. U ovom eksperimentu usredotočit ćemo se upravo na ove rubne efekte, ispitivanjem efekata trenja koji se javljaju na zalupljenim vratima. U ovoj svakodnevnoj situaciji javljaju se tri glavna efekta koja dovode do smanjenja kutne brzine rotirajućih vrata:

1. Šarke vrata stvaraju zakretni moment trenja kada čelični dijelovi klize jedan po drugom. Značaj ovog učinka trenja ovisi o tome koliko su šarke podmazane. Može se pretpostaviti da je ovaj učinak neovisan o kutnoj brzini vrata (*suho trenje D*).
2. Velika površina vrata osjetljiva je na otpor zraka. Budući da se brzina različitih dijelova vrata povećava s radijalnom udaljenosti od osi rotacije, može se pretpostaviti da trenje linearno ili kvadratno ovisi o kutnoj brzini vrata (*Stokesovo S ili Newtonovo trenje N*).
3. Neposredno prije nego što vrata upadnu u bravu, nakupljeni zrak uzrokuje turbulencije.

U nastavku promatramo fazu prije nego što okvir vrata utječe na rotacijsko kretanje. Tada zakretni moment trenja τ_f u načelu može biti posljedica pojave *suhog trenja D* ($\tau_f = \text{const.}$), Stokesovog trenja *S* ($\tau_f \sim \omega$) ili *Newtonovog trenja N* ($\tau_f \sim \omega^2$):

$$\tau_f = a + b\omega + c\omega^2 \text{ s koeficijentima } a, b, c \geq 0.$$

Kombinacijom pojedinačnih članova moguće je dobiti ukupno sedam različitih modela trenja (D, S, N, DN, DS, SN, DSN). Istraživačko pitanje na koje treba odgovoriti u eksperimentu je:

Koji model trenja (D, S, N, DN, DS, SN, DSN) najpreciznije opisuje lupanje vratima?

Potraga za modelom koji je istovremeno što precizniji i jednostavniji tipičan je problem u fizici (npr. pri modeliranju energijskih razina atoma ili kretanja).

Eksperimentalna oprema

Pametni telefon s instaliranom *PhyPhox* aplikacijom, vrata, računalo za analizu podataka (npr. putem *SciDAVisa*), materijal za pričvršćivanje pametnog telefona (npr. ljepljiva traka, plastična vrećica, ...), sklopivi metar.

Eksperimentalne vještine / ishodi učenja u fokusu

Za sve: Prikupljanje mjernih podataka, analiza podataka & testiranje fizikalnih modela

+ za studente fizike: Replikacija eksperimenta na temelju znanstvenog članka

+ za studente nastavničkog smjera fizike: Digitalno prikupljanje i analiza podataka iz svakodnevne situacije

Zadatak

Na temelju članka pročitano u pripremi, razvite eksperiment u kojem mjerite efekte trenja koji se javljaju kod lupanja vratima. Da biste to učinili, koristite akcelerometar i/ili giroskop (mjeri kutnu brzinu) Vašeg pametnog telefona.

Ispitajte koji od sedam modela trenja navedenih iznad najpreciznije opisuje lupanje vratima, odnosno koji model najbolje odgovara podacima (veliki R^2) i istovremeno daje realne vrijednosti za parametre a , b i c . Uzmite u obzir i mjerne nesigurnosti.

Dodatni zadatak: U kojoj mjeri preciznost modela ovisi o početnoj kutnoj brzini?

Izvještaj

Prikažite rezultate u tablici Word/PowerPoint dokumenta. Odgovorite na prikupljanje i analizu podataka, uključujući jednadžbe prilagodbe i *pismeno opravdajte* za koji model trenja mislite da najpreciznije opisuje kretanje.

(I) Upute za phyphox

PhyPhox je besplatna aplikacija pomoću koje se može pristupiti svim podacima senzora ugrađenih u pametne telefone. U nastavku ćete pronaći detaljni vodič o tome kako koristiti ovu aplikaciju za bilježenje mjernih podataka.

(A)

Preuzimanje: u svim uobičajenim trgovinama aplikacija

1. Korak: Započnite svoj eksperiment

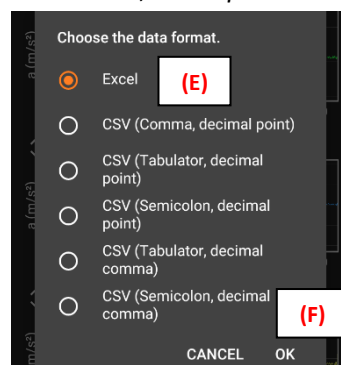
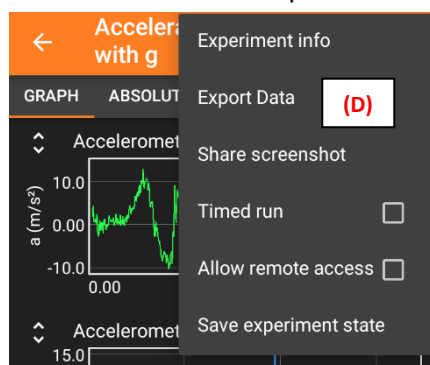
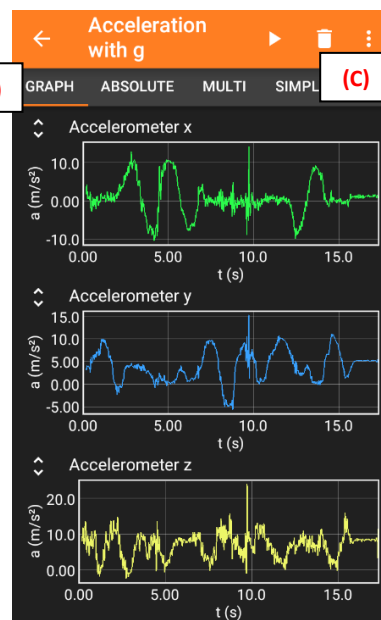
- 1.1 Pokrenite aplikaciju na pametnom telefonu.
- 1.2 Na početnoj stranici prikazuju se svi senzori koje možete očitati. Odaberite željeni senzor.

2. Korak : Prikupite podatke

- 2.1 Kliknite na dugme za reprodukciju (▶) da biste pokrenuli prikupljanje podataka (A).
- 2.2 Na karticama se grafički i numerički prikazuju podaci u stvarnom vremenu (B).
- 2.3 Kliknite na gumb za pauzu (⏸) da biste pauzirali/zaustavili prikupljanje podataka.

3. Korak: Spremanje podataka

- 3.1 Kliknite na tri točke (⋮) da biste otvorili izbornik (C). Odaberite **Export data** (D).
- 3.2 Odaberite željeni oblik podataka (najčešće Excel) (E). Pritisnite **OK** (F).
- 3.3 Spremite datoteku u željeni program (lokalna memorija ili aplikacija za upravljanje datotekama, kao što je *Total Commander* koja prima datoteku).
- 3.4 Prenesite datoteku na računalo putem kabela, *Bluetootha*, *Airdropa* ili interneta.



(II) Jednadžbe prilagodbe iz članka (za kopiranje u SciDAVis)

Model	Parametri	Jednadžba prilagodbe
D	w, a	$w \cdot a^x$
S	W, B	$w \cdot \exp(-b \cdot x)$
N	W, C	$w / (1 + c \cdot w^x)$
DS	W, A, B	$(w + a/b) \cdot \exp(-b \cdot x) - a/b$
DN	W, A, C	$(w \cdot \sqrt{a/c} \cdot \tan(\sqrt{a \cdot c} \cdot x)) / (1 + w \cdot \sqrt{c/a} \cdot \tan(\sqrt{a \cdot c} \cdot x))$
SN	W, B, C	$(-b \cdot w) / (c \cdot w - (w \cdot c + b) \cdot \exp(b \cdot x))$
DSN	w, a, b, c,	$(2 \cdot w \cdot c + b \cdot \sqrt{4 \cdot a \cdot c - b^2} \cdot \tan(\sqrt{4 \cdot a \cdot c - b^2} \cdot x / 2)) / (2 \cdot c \cdot (1 + (2 \cdot w \cdot c + b) / (\sqrt{4 \cdot a \cdot c - b^2}) \cdot \tan(\sqrt{4 \cdot a \cdot c - b^2} \cdot x / 2))) - b / (2 \cdot c)$

Napomena: a, b i c odgovaraju parametrima u gornjoj jednažbi podijeljenima s momentom inercije vrata, zbog čega su ove formule primjenjive na svaka vrata. w je početna kutna brzina. **Koristite članak kako biste shvatili uvjete pod kojima se ove jednažbe prilagodbe mogu primjenjivati.**

(III) Upute za SciDAVis

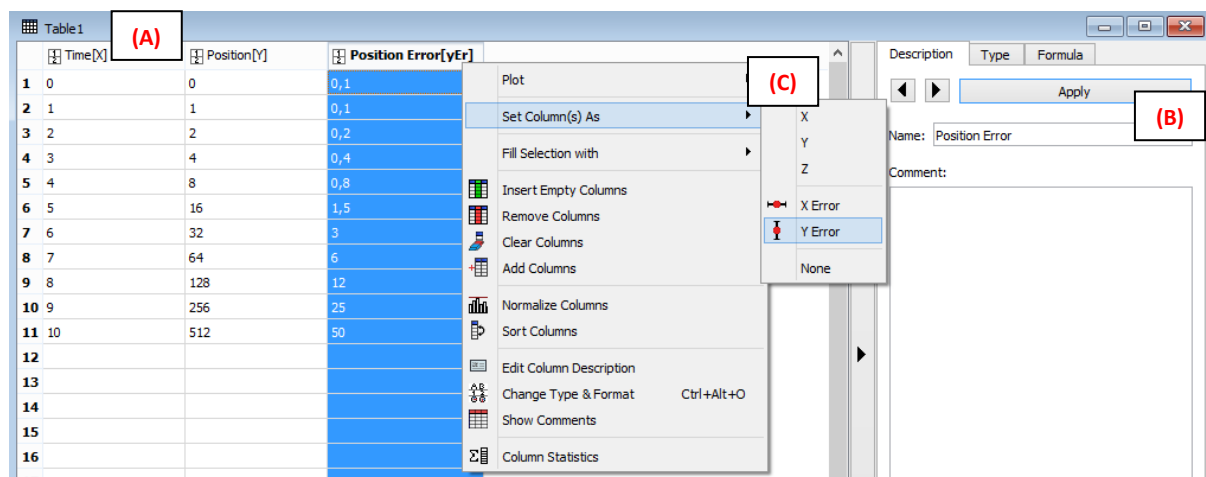
SciDAVis je besplatni alat za analizu podataka sličan licenciranim alatima *Origin Pro* ili *qtiplot*. U nastavku ćete pronaći detaljni vodič o tome kako koristiti ovaj alat za prilagodbu različitih formula na skup podataka.

Preuzimanje za Windows: <https://sourceforge.net/projects/scidavis/>

Preuzimanje za Mac: <https://sourceforge.net/projects/scidavis/files/SciDAVis-beta/>

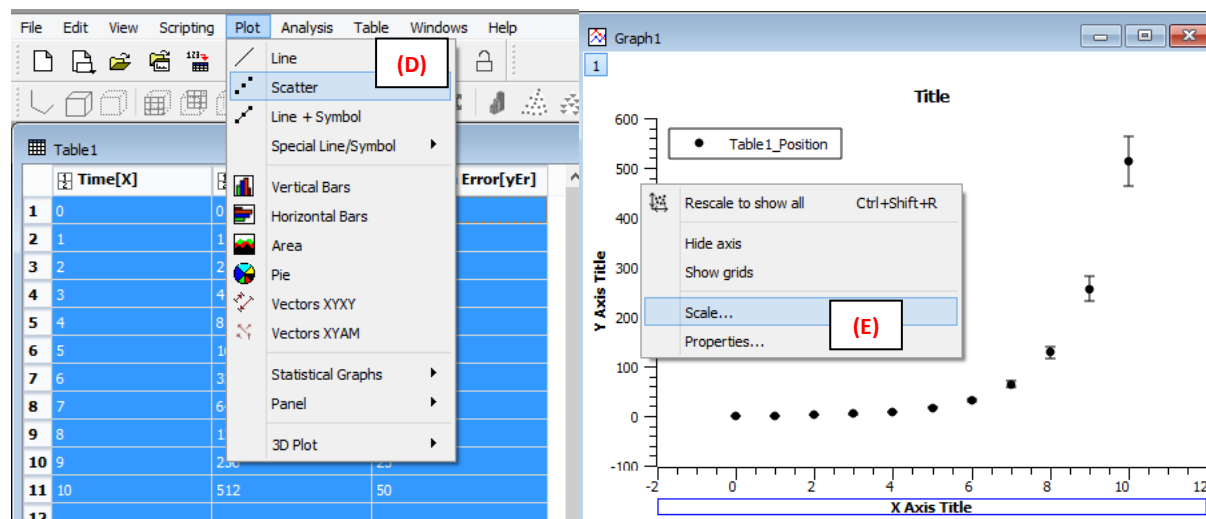
1. Korak: Unos podataka

- 1.1 Izdvojite podatke s uređaja za prikupljanje podataka. Kopirajte podatke u *Excel*.
- 1.2 Odaberite podatke koje želite analizirati. Kopirajte ih u tablicu u *SciDAVisu* (A). (Napomena: *SciDAVis* može razlikovati samo stupce, a ne retke ili pojedinačne ćelije poput *programa Excel*.)
- 1.3 S desne strane možete prilagoditi postavke za svaki stupac. Neka za **type** uvijek bude izabran **numeric**. Kliknite **Apply** da biste spremili promjene (B).
- 1.4 Klikom desnom tipkom miša na zaglavlje i odabirom **Set Column(s) as** možete odrediti koji stupci trebaju sadržavati *x*-, *y*- podatke, *x*-pogrešku i *y*-pogrešku (C).



2. Korak: Crtanje grafa podataka

- 2.1 Odaberite stupce koje želite iscrtati. Na traci izbornika kliknite **Plot** → **Scatter** (D).
- 2.2 Desnim klikom na osi ili pozadinu grafa i odabirom **Scale...** ili **Properties...** možete prilagoditi izgled grafa ili izbrisati neželjene prilagodbe (E).



3. Korak: Prilagodba podataka

3.1 Kliknite na graf. Na traci izbornika odaberite **Analysis** → **Fit Wizard...** (F).

3.2 Odaberite **User defined** u lijevom stupcu novootvorenog prozora (G).

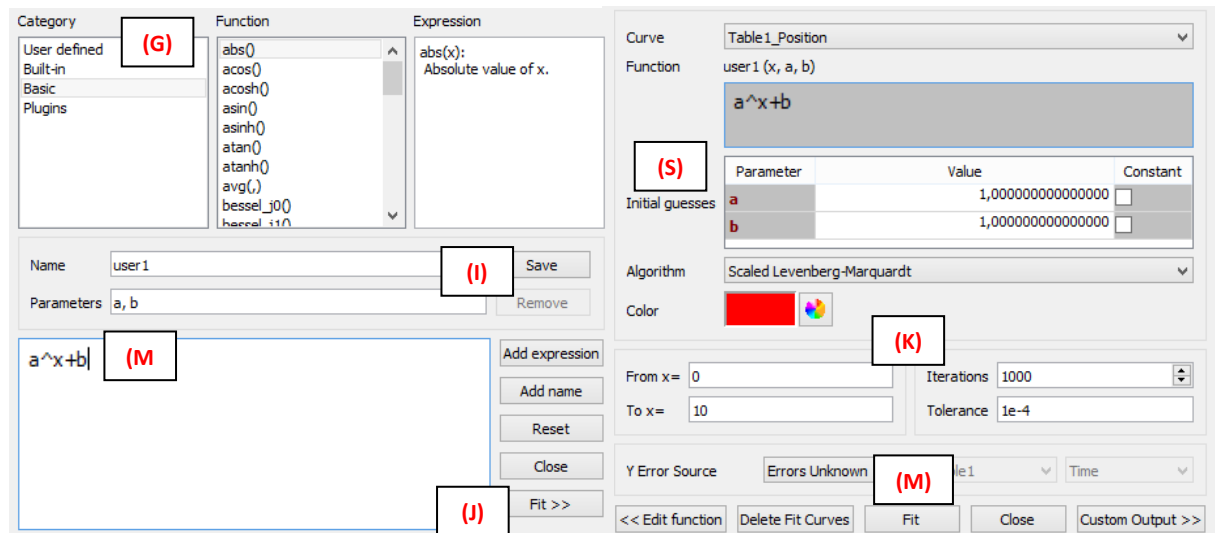
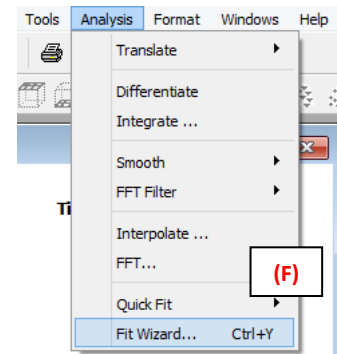
3.3 Odaberite naziv za svoju funkciju prilagodbe, navedite parametre koje želite i odvojite ih zarezom te dodajte jednadžbu funkcije prilagodbe u veliko polje ispod (M).

3.4 Kliknite **Save** (I) za kasniju upotrebu funkcije. Kliknite **Fit >>** (J) da biste primijenili funkciju na graf.

3.5 Ako je potrebno, prilagodite postavke prilagodbe (npr. raspon razmatranih točaka podataka, iteraciju i toleranciju algoritma ili izvor y -pogrešaka) (K).

3.6 Koristite **initial guesses** (L) da biste algoritmu rekli koje vrijednosti teoretski očekujete za svaki parametar. Ovisno o vašem unosu, prilagodbe će biti različite.

3.7 Kliknite **Fit** (M) na dnu. Zatvorite prozor.

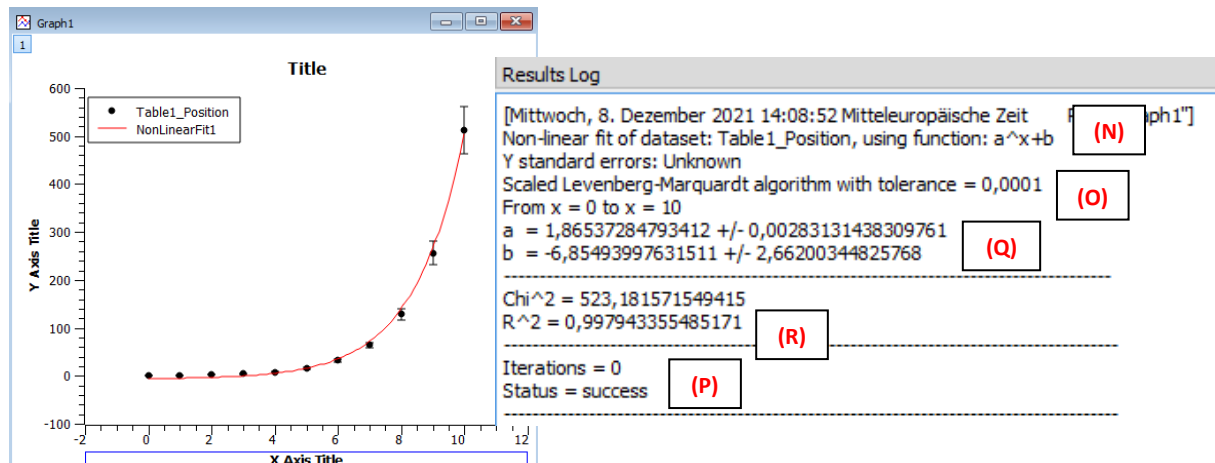


4. Korak: Evaluirajte svoju prilagodbu

4.1 Prozor **Results Log** pojavljuje se automatski i prikazuje različite informacije o korištenim podacima i funkcijama prilagodbe (N), algoritmu (O) i uspješnosti (P).

4.2 Također možete pronaći parametre Vaše prilagodbe s rasponom pogreške (Q) izračunatim iz položaja točaka podataka i y -pogreške.

4.3 Također možete pronaći iznos R^2 (R) koji na skali od 0 (najgori slučaj) do 1 (optimalni slučaj) opisuje koliko dobro podaci odgovaraju modelu (korištenoj jednadžbi prilagodbe).



(IV) Ključna pitanja za eksperimentalni proces

Da biste strukturirali svoj eksperimentalni proces, možete se voditi sljedećim ključnim pitanjima:

1. Koje su prednosti i nedostaci korištenja senzora akcelerometra ili žiroskopa Vašeg pametnog telefona? Kako izbor senzora utječe na proces eksperimentiranja?
2. Kako položaj pametnog telefona na vratima (visina, udaljenost do šarki vrata, orijentacija, ...) utječe na eksperiment i rezultate?
3. Kako način na koji pomičete vrata utječe na Vaše podatke?
4. Koje se mjerne nesigurnosti javljaju tijekom izvođenja eksperimenta? Kako se one mogu kvantificirati?
5. Koji je dio skupa podataka relevantan za odgovor na istraživačko pitanje? Koristite članak za pomoć.
6. U kojoj mjeri morate izmijeniti podatke da biste mogli koristiti jednadžbu prilagodbe iz Pomoćnog materijala (II)? Podsjetite se uvjeta primjene jednadžbe prilagodbe pomoću članka, preciznije slike 2 iz članka.
7. Koje kriterije možete koristiti kako biste odlučili je li prilagodba bila "uspješna"?
8. Kakav značaj na prilagodbe i odgovor na istraživačko pitanje imaju početne pretpostavke? Uz pomoć članka odaberite prikladne početne pretpostavke.
9. Na temelju kojih kriterija možete dati obrazložen odgovor na istraživačko pitanje? Usporedite svoje rezultate s onima iz članka.
10. Koje su informacije relevantne za čitatelja Vašeg tabličnog prikaza rezultata eksperimenta?
11. Razmislite u kojoj se mjeri ovaj eksperiment mogao provesti s nekim drugim digitalnim i/ili analognim eksperimentalnim materijalima ili metodama evaluacije podataka? Kakav bi to utjecaj imalo na Vaš rezultat i odgovor na istraživačko pitanje?
12. Razmislite o onome što ste naučili u ovom eksperimentu. Kakvu važnost to ima za vaše daljnje učenje i vašu kasniju profesionalnu aktivnost?