

# Implementacija PHYWE (Cobra4) sustava u mjerenjima iz područja mehanike i topline

---

Janjić, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:159626>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNALSTVA I INFORMACIJSKIH**  
**TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike**

**IMPLEMENTACIJA PHYWE (COBRA 4) SUSTAVA U**  
**MJERENJIMA IZ PODRUČJA MEHANIKE I TOPLINE**

**Završni rad**

**Ante Janjić**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

|  |  |
|--|--|
| <b>Ime i prezime pristupnika:</b>  | Ante Janjić  |
| <b>Studij, smjer:</b>  | Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija   |
| <b>Mat. br. pristupnika, god.</b>  | 4967, 27.07.2021.  |
| <b>JMBAG:</b>  | 0165089548   |
| <b>Mentor:</b>   | dr. sc. Željka Mioković  |
| <b>Sumentor:</b>   | izv. prof. dr. sc. Ivan Aleksi   |
| <b>Sumentor iz tvrtke:</b>   |  |
| <b>Naslov završnog rada:</b>   | Implementacija PHYWE (Cobra4) sustava u mjerenjima iz područja mehanike i topline  |
| <b>Znanstvena grana završnog rada:</b>   | <b>Informacijski sustavi (zn. polje računarstvo)</b>   |
| <b>Zadatak završnog rada:</b>  | Pri eksperimentalnim mjerenjima često se koriste različiti računalni alati za prikupljanje, pohranu i analizu mjernih signala pomoću računala. U teorijskom dijelu rada potrebno je prikazati povijesni pregled takvih računalnih alata; njihovu podjelu s obzirom na različite kriterije (područje primjena, dostupnost na tržištu, cijena i sl...). Detaljnije obrazložiti prednosti i nedostatke pojedinih računalnih alata te predložiti neka povoljna rješenja rješenja za praćenje eksperimenata iz područja fizike i drugih primijenjenih inženjerskih područja. U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je detaljno opisati mogućnosti PHYWE (Cobra 4) |
| <b>Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:</b>  | 16.09.2024.  |
| <b>Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:</b>   | Izvrstan (5)   |
| <b>Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:</b>  | 25.09.2024.  |
| <b>Ocjena završnog rada nakon obrane:</b>  | Izvrstan (5)   |
| <b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:</b> | 26.09.2024.  |

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 26.09.2024.

|  |  |
|--|--|
| <b>Ime i prezime Pristupnika:</b>          | Ante Janjić  |
| <b>Studij:</b>                             | Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija |
| <b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b> | 4967, 27.07.2021.  |
| <b>Turnitin podudaranje [%]:</b>           | 3  |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Implementacija PHYWE (Cobra4) sustava u mjerenjima iz područja mehanike i topline**

izrađen pod vodstvom mentora dr. sc. Željka Mioković

i sumentora izv. prof. dr. sc. Ivan Aleksi

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1.Zadatak završnog rada.....  | 2         |
| <b>2. RAČUNALNA PODRŠKA PRI PROVEDBI MJERENJA</b> .....                               | <b>3</b>  |
| 2.1.Pasco Scientific .....  | 5         |
| 2.2.Vernier Software & Technology .....   | 6         |
| 2.3. PHYWE Systeme GmbH&Co.....   | 7         |
| <b>3. PHYWE Cobra4 MJERNI SUSTAV</b> .....  | <b>9</b>  |
| 3.1.PHYWE Cobra4 mjerni senzori .....   | 10        |
| 3.2. PHYWE mjerni softver.....  | 13        |
| <b>4. PROVEDBA EKSPERIMENATA S PHYWE COBRA4 MJERNIM SUSTAVOM</b> ..                   | <b>16</b> |
| 4.1.Provedba eksperimenata iz topline korištenjem Phywe Cobra4 mjernog sustava .....  | 17        |
| 4.1.1. Eksperimenti za određivanje toplinskog kapaciteta vode .....                   | 18        |
| 4.1.2. Eksperimenti za određivanje toplinskog kapaciteta metala.....                  | 24        |
| 4.2.Provedba eksperimenata iz mehanike korištenjem Phywe Cobra4 mjernog sustava ..... | 27        |
| 4.2.1. Eksperimenti iz područja mehanike .....  | 27        |
| 4.2.2. Eksperimenti iz područja mehanike fluida .....                                 | 37        |
| <b>5. ZAKLJUČAK</b> .....   | <b>41</b> |
| <b>LITERATURA</b> .....   | <b>42</b> |
| <b>SAŽETAK</b> .....  | <b>43</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>44</b> |

# 1. UVOD

U današnje vrijeme posredstvom svakodnevnih novih modernih tehnologija i učenje doživljava napredak, odnosno traže se novi načini kako bi se bolje približila znanost i tehnologija studentima i učenicima. Sve više se nastavnici oslanjaju na nove tehnologije kako bi im pomogli pri predočavanju gradiva i jasnijeg objašnjavanja. Neke od tih tehnologija su senzori i računalna podrška pri provedbi eksperimenata. U najširoj definiciji senzor je uređaj, modul, naprava ili podsustav čija je svrha otkrivanje događaja ili promjena u svom okruženju i slanje informacija drugoj elektroni, računalnom sustavu. Senzori se uvijek koriste s drugom elektronikom [1].

Fizikalni eksperimenti imaju ključnu ulogu u razvoju razumijevanja osnovnih koncepata u fizici. Ovi eksperimenti zahtijevaju uporabu klasičnih mjernih instrumenata, što može dovesti do niza ograničenja s obzirom na dostupnost opreme, vremenskih i prostornih resursa te složenosti mjerenja. Pojavom računalnih alata kao što je Phywe Cobra mjerni sustav, za provedbu mjerenja ta ograničenja su uvelike smanjena, što je dovelo do lakše izvedbe samih eksperimenata. Pri eksperimentalnim mjerenjima često se koriste različiti računalni alati za prikupljanje, pohranu i analizu mjernih signala pomoću računala. Mjerni sustavi obično sadrže set senzora koji nude širok spektar mogućnosti prilikom mjerenja različitih fizikalnih veličina kao što su npr. temperatura, jakost svjetlosti, tlak, brzina i dr. Opremljeni su naprednim tehnologijama zbog kojih su mjerenja pouzdanija i preciznija. U kombinaciji ovih senzora sa softverskim alatima pruža se interaktivno iskustvo učenja koje potiče istraživački pristup i praktičnu primjenu teorije u stvarnim situacijama.

U ovome radu proučene su različite primjene Phywe Cobra 4 mjernog sustava i njihovih senzora u nastavi fizike, posebno u područjima mehanike i topline. Posebno će se pokazati koje su prednosti ovih senzora zbog kojih oni omogućuju studentima i učenicima bolje razumijevanje koncepta i razvoj praktičnih vještina. Također usporedit će se ovi senzori sa sensorima nekih od konkurenata tvrtke PHYWE Systeme GmbH & Co. KG i dati objašnjenje po čemu su ovi senzori bolji, odnosno lošiji od konkurenata te će se prikazati opis programskog sučelja za rad sa sensorima i opisati će se pojedini senzori prilikom izvođenja eksperimenata.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

U teorijskom dijelu rada potrebno je prikazati povijesni pregled računalnih alata za prikupljanje i analizu mjernih podataka pomoću računala; njihovu podjelu s obzirom na različite kriterije (područje primjena, dostupnost na tržištu, cijena i sl...). Detaljnije obrazložiti prednosti i nedostatke pojedinih računalnih alata te predložiti neka povoljna rješenja za praćenje eksperimenata iz područja fizike i drugih primijenjenih inženjerskih područja. U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je detaljno opisati mogućnosti PHYWE (Cobra 4) sustava i implementacijom njegovih različitih senzora pokazati njegovu primjenu pri mjerenju različitih fizikalnih veličina iz područja mehanike i topline.

## 2. RAČUNALNA PODRŠKA PRI PROVEDBI MJERENJA

U današnje vrijeme sve se više teži modernizaciji i digitalizaciji kako poslovanja tako i edukacije pa je stoga računalna podrška postala neizostavni dio suvremenih mjernih sustava. Primjena računalne tehnologije uvelike smanjuje ljudske pogreške, povećava efikasnost te olakšava analizu i interpretaciju podataka. Računalna podrška obuhvaća razne aspekte od prikupljanja podataka i njihove obrade do prikaza rezultata i izvještavanja

Računalni alati se mogu podijeliti u više skupina ovisno o njihovoj primjeni, pa tako postoje:

- računalni alati za prikupljanje podataka,
- računalni alati za obradu i analizu podataka, te
- računalni alati za vizualizaciju podataka.

U računalne alate za prikupljanje podataka se najčešće ubrajaju senzori koji služe za mjerenje fizičkih, bioloških ili kemijskih veličina, ali tu se također mogu ubrojiti i razni zapisivači podataka (data logger). Zapisivači podataka su elektronički uređaji koji bilježe podatke tijekom vremena i dizajnirani su da te podatke prikupljaju bilo s ugrađenim mjernim instrumentom ili preko senzora [2]. Razne tvrtke koje proizvode senzore ili zapisivače podataka imaju svoje računalne alate za obradu i analizu podataka. To su najčešće softverski programi koji služe kako za analizu i obradu tako i za vizualizaciju podataka. Neki od takvih programa su Phywe Measure app ( PHYWE Systeme GmbH&Co ) Pasco Capstone (Pasco Scientific).

Računalni alati se razvijaju dugi niz godina, a kao početak razvoja računalnih alata za provedbu mjerenja se može uzeti razvoj analogno-digitalnih pretvarača koji su omogućili pretvaranje analognih signala u digitalne podatke, čime se otvaraju mogućnosti za preciznija mjerenja. Uvođenjem mikroracunala poput PDP-8 i Altair 8800 70-ih godina 20. stoljeća omogućena je šira primjena računalnog mjerenja. Daljnji razvoj računala i sve veća popularizacija osobnih računala dovela je do razvoja softverskih alata za mjerenje poput LabVIEW. LabVIEW je jedan od prvih softverskih alata za mjerenje. To je grafičko programsko okruženje za mjerenje, automatizaciju i vizualizaciju. Koristi se kao razvojni alat za aplikacije u mjeriteljstvu i testiranju, za dohvat podataka (DAQ), analizu i upravljanje instrumentacijom i procesima. Standardizacijom GPIB (General Purpose Interface Bus) protokola je ostvarena jednostavnija komunikacija između računala i instrumenta, čime su mjerenja postala jednostavnija. Integracijom softvera za analizu podatka, simulaciju i vizualizaciju, mjerenja su postala naprednija, a pojavom interneta i mreže omogućen je udaljeni pristup i kontrola mjernih uređaja, čime je postignuta veća fleksibilnosti i



veća efikasnost mjerenja. Početak 21. stoljeća je donio razvoj novih tehnologija povezivanja računala i instrumenta, poput bluetootha i wi-fi-a. Time su omogućena bežična prikupljanja podataka, a pojava pametnih telefona i tableta uvelike je povećala i poboljšala mobilnost i dostupnost mjernih sustava. Danas se sve više govori o utjecaju umjetne inteligencije (engl. AI – Artificial intelligence) na sve aspekte ljudskih života. Isto tako i utjecaj umjetne inteligencije na računalne alate za provedbu mjerenja nije izostavljen. Primjena umjetne inteligencije omogućila je prediktivne analize i optimizaciju mjernih procesa, što je dodatno unaprijedilo preciznost, efikasnost i fleksibilnost mjernih sustava.

Primjena računalnih alata za provedbu mjerenja ima svoje prednosti, ali i nedostatke. Kao važne prednosti ovih alata može se izdvojiti preciznost i točnost, jer računalni alati minimiziraju ljudske pogreške te osiguravaju precizno prikupljanje i obradu podataka. Također omogućuju i vizualizaciju podataka jer omogućuju napredne grafičke prikaze i analize i na taj način olakšavaju interpretaciju rezultata. Još jedna važna prednost je mogućnost integracije s različitim uređajima i aplikacijama što omogućuje prilagodljivost u različitim okruženjima. Uz sve to treba dodati i da automatizirano prikupljanje podataka značajno ubrzava procese mjerenja i analize. Od nedostataka ovih alata treba izdvojiti troškove, jer nabava i održavanje pojedinih alata i softvera može biti skupa, ali i tehničku ovisnost i ograničenje alata. Problemi s hardverom ili softverom mogu ometati mjerenje i analizu podataka, a neki alati mogu imati ograničenja u pogledu funkcionalnosti i kompatibilnosti s određenim mjernim uređajima. Također u današnje vrijeme postoji i određeni rizik od gubitaka ili neovlaštenog pristupa podacima, posebno ako se čuvaju negdje na internetu preko oblaka ili drugih tehnologija za pohranu podataka.

Prednosti i nedostaci se razlikuju za pojedine računalne alate, ovisno od proizvođača do proizvođača. Današnje tržište je puno proizvođača koji nude razne usluge, što povoljnije, što kvalitetnije, kako bi se osigurala prednost na tržištu. Tako i na tržištu računalnih alata za provedbu mjerenja postoji velik spektar proizvođača koji nude slične, ali i različite usluge. Prilikom odabira proizvođača, a samim time i računalnih alata, potrebno je detaljno analizirati ponudu i potrebu za određenim funkcijama. Neki od najistaknutijih proizvođača na tržištu su: Pasco Scientific, Vernier Software & Technology i Phywe Systeme GmbH&Co.

## 2.1. Pasco Scientific

Pasco Scientific je tvrtka koja se bavi proizvodnjom edukacijske tehnologije i koja je osnovana 1946. godine u Rosevilleu, Kalifornija. U početku su se fokusirali na proizvodnju osnovnih znanstvenih instrumenata za nastavu, no s razvojem tehnologije proširuju svoj asortiman na digitalne i bežične senzore te sofisticirani softver za analizu podataka [3].

U svojim počecima Pasco je postavio temelje za daljnji razvoj proizvodnjom osnovnih mjernih instrumenata. Daljnji razvoj Pasco asortimana je pratio tehnološki razvoj 20. i 21. stoljeća. Krajem 20. stoljeća Pasco započinje s uvođenjem računala i softvera za prikupljanje i analizu podataka te proširuje svoj asortiman na specijalizirane senzore koji omogućuju prikupljanje podataka za širi asortiman znanstvenih eksperimenata. Novo stoljeće donosi razvoj bežičnih tehnologija pa tako na samom početku stoljeća Pasco razvija svoj prvi softver za provedbu i obradu eksperimenata, Spark Science Learning System. Spark je integrirao prikupljanje podataka i njihovu analizu u jednu platformu, čime je postignuta veća jednostavnost za edukacijske svrhe. Razvojem Spark softvera i daljnjim uvođenjem bežičnih tehnologija poput bluetootha dovelo je i do razvoja prvih Pascovih senzora za edukacijske svrhe, a to su Pasco Passport senzori. Pasco Passport senzori se spajaju sa računalom ili mobilnim uređajem preko AirLink ili SPARKlink sučelja. Na slici 2.1. prikazan je osnovni set Pasco Passport senzora za fiziku koji se sastoji od senzora gibanja, senzora sile, senzora magnetskog polja, senzora za mjerenje struje i napona, senzora za apsolutni tlak i temperaturu, temperaturna sonda, svjetlosni senzor, zvučni senzor i senzor naboja. Daljnji razvoj Spark softvera i njegova poboljšanja dovela su do novije verzije, odnosno SPARKvue softvera. Razvoj tog softvera popratila je i novija serija senzora pod imenom Pasco Spark senzori. Kombinacija SPARKvue softvera i Pasco Spark senzora omogućila je studentima vizualizaciju i interakciju s podacima u stvarnom vremenu, čineći na taj način složene koncepte pristupačnijima. Posljednjih godina Pasco je razvio svoju najnoviju seriju senzora pod nazivom Pasco Wireless senzori. S tim novim sensorima Pasco je proširio svoju ponudu bežičnih senzora, eliminirajući na taj način potrebu za fizičkim vezama i povećavajući mobilnost prilikom provođenja eksperimenata.



Slika 2.1. Pasco Passport osnovni set senzora za fiziku

(<https://www.pasco.com/products/item/ps-2931>)

## 2.2. Vernier Software & Technology

Vernier Software & Technology je tvrtka koju su osnovali 1981. godine profesor fizike Davea Vernier i njegova supruga Christine. Profesor D. Vernier je počeo razvijati softvere za poboljšanje svoje nastave fizike, što je dovelo do stvaranja Vernier Software & Technology. U svojim počecima tvrtka je krenula s prodavanjem softvera za eksperimente iz fizike, a danas je jedna od vodećih u području opreme za edukacijske svrhe [4]. S godinama Vernier proširuje svoj asortiman uključujući senzore, sučelja i softvere za prikupljanje podataka za razne grane znanosti, poput kemije, biologije i fizike. Sredinom 80-ih Vernier je razvio svoje prvo sučelje i senzore, čime je započeo razvoj sveobuhvatnih rješenja za mjerenja. Prvi proizvod tvrtke je bio Precision Timer koji je bio usmjeren na poboljšanje točnosti i angažmana u učioničkim eksperimentima. Taj fokus tvrtke na praktične i jednostavne alate ostao je prisutan i danas u novijim proizvodima Vernier tvrtke. Prvi set senzora tvrtke Vernier koji je razvijen krajem 20. i početkom 21. stoljeća su LabPro senzori koji su omogućili studentima i učenicima prikupljanje i analizu podataka putem računala. Kao i ostale tvrtke Vernier također ulaskom u 21. stoljeće prati trendove, a to su bežične tehnologije poput wi-fi i bluetooth povezivanja. Među prvim takvim sensorima Vernier je proizveo svoje LabQuest senzore koji su imali zaslone osjetljive na dodir i mogućnost bežičnog spajanja te su bili jako popularni u obrazovnim institucijama zbog mobilnosti i jednostavnosti korištenja. Najnovija serija Vernier tvrtke su GoDirect senzori. GoDirect senzori se mogu spajati s računalima, tabletima i pametnim telefonima preko bluetooth veze ili putem USB-a. Ovi senzori pružaju veću fleksibilnosti i mobilnost te su pogodni za suvremene STEM učionice i laboratorije. Set

Vernierovih GoDirect senzora prikazan je na slici 2.2. Set sadrži senzor sile, senzor akceleracije, senzor gibanja, temperaturnu sondu, sondu vodljivosti, senzor za oksidacijsko-redukcijski potencijal, senzor struje, senzor napona, senzor statičkog naboja, senzor svjetla i boje te senzor zračenja.



Slika 2.2. Vernier GoDirect senzori

[\(https://www.vernier.com/downloads/labview-virtual-instrument-downloads/go-direct-sensors/\)](https://www.vernier.com/downloads/labview-virtual-instrument-downloads/go-direct-sensors/)

### 2.3. PHYWE Systeme GmbH & Co

Tvrtka PHYWE Systeme GmbH&Co ima bogatu povijest koja seže preko 100 godina unazad. Osnovao ju je znanstvenik Gotthelfa Leimbacha 1913. godine u Göttingenu, Njemačka. U svojim počecima tvrtka se bavila proizvodnjom i razvojem opreme za geofizička istraživanja. No, ubrzo nakon toga Phywe proširuje svoju djelatnost na proizvodnju i razvoj opreme za edukacijske svrhe u području fizike, kemije i biologije [5]. Godine 1921. započinje izdavanjem časopisa "Praktische Schulphysik" (praktična škola fizike) kojim uvelike pomažu nastavnicima pri provedbi demonstracijskih eksperimenata iz fizike studentima i učenicima. Nakon uspješnog izdavanja priručnika, Phywe započinje i proizvodnju ostale opreme za pomoć nastavnicima prilikom održavanja nastave poput laboratorijskog namještaja i setova za provođenje eksperimenata. Tijekom Drugog svjetskog rata veliki dio tvornice je bio uništen no završetkom rata u poslijeratnim godinama započinje obnova tvornice koja je ubrzo dovršena i tada započinje pravi rast tvrtke Phywe. Tvrtka je i dalje nastavila proizvoditi opremu potrebnu za edukacijske svrhe iz područja primijenjenih znanosti, a daljnji razvoj tehnologija je doveo i do razvoja prvih senzora tvrtke Phywe, odnosno Cobra3 senzora. Cobra3 senzori su predstavljani 1998. godine i sadržavali su senzore za mjerenje osnovnih veličina na području primijenjenih znanosti. Cobra3 mjerni sustav

je uvelike poboljšao provođenje eksperimenata u učionicama i laboratorijima, a 2001. godine je nadograđen specijalnim modulom za kemiju. Daljnji rad na poboljšanjima ovih senzora je doveo do pojave Cobra4 mjernog sustava koji su sa sobom donijeli nove pogodnosti prilikom provođenja mjerenja. Cobra 4 mjerni sustavi dolaze sa popratnim Phywe mjernim softverom (Phywe measure) za obradu podataka, koji daje računsku i grafičku analizu mjernih podataka u provedenim eksperimentima. Unazad nekoliko godina, Cobra4 mjerni sustav je zamijenjen novim modernijim Cobra SMARTsense sensorima koji omogućuju bežično povezivanje i interakciju s modernim obrazovnim alatima poput tableta i pametnih telefona. Cobra SMARTsense također dolazi s poboljšanim softverom, koji pruža bolju i kvalitetniju uslugu obrade i analize podataka u odnosu na svoje prethodnike. Cobra SMARTsense senzori prikazani su slikom 2.3. Set sadrži senzor apsolutnog tlaka, senzor gibanja, temperaturni senzor, temperaturnu sondu, senzor napona, senzor struje, senzor za mjerenje magnetskog polja, senzor sile i senzor energije.



Slika 2.3. Phywe SMARTsense senzori

[\(https://www.phywe.com/sensors-software/cobra-smartsense/\)](https://www.phywe.com/sensors-software/cobra-smartsense/)

### 3. PHYWE Cobra4 MJERNI SUSTAV

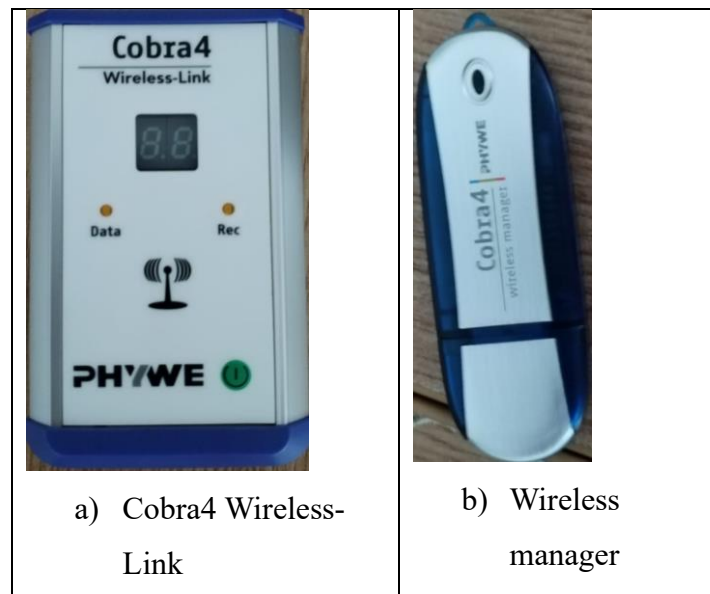
U okviru ovoga rada za provedbu eksperimenata korišten je Phywe Cobra4 mjerni sustav koji je predstavljen 2008. godine kao nasljednik Phywe Cobra3 sustava. Phywe Cobra4 sustavom mogu se odraditi klasični eksperimenti iz fizike, kemije i biologije u kombinaciji sa suvremenim metodama prikupljanja podataka. Na taj se način ostvaruje niz prednosti poput intuitivnog i fleksibilnog rukovanja te bežičnog mjerenja koje pruža brže i jednostavnije postave eksperimenata i na taj način skraćuje vrijeme provedbe eksperimenata. Na slici 3.1 prikazan je osnovni set Phywe Cobra4 senzora iz fizike koji su korišteni prilikom provedbe eksperimenata u laboratoriju fizike Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT Osijek).



Slika 3.1. Phywe Cobra4 osnovni set senzora iz fizike

Za normalno obavljanje funkcionalnosti sustava potrebno je instalirati softver za provedbu mjerenja i obradu rezultata koji se dobije u osnovnom setu. Uz Phywe measure softver za uspješno korištenje senzora potrebno je i sučelje Cobra4 Wireless manager koji dolazi u obliku USB-a (Slika 3.2.b.). Cobra4 Wireless manager se jednostavno spoji na računalo i on služi za radio komunikaciju sa bazom senzora, odnosno Cobra4 Wireless linkom (Slika 3.2.a.). Cobra4 Wireless link je baza na koju se spajaju svi senzori i koja je potrebna za održavanje radio komunikacije sa Wireless managerom, odnosno Wireless link šalje izmjerene podatke u obliku električnih signala koje Wireless manager prima i prikazuje u Phywe measure softveru u vidu grafičkog i numeričkog






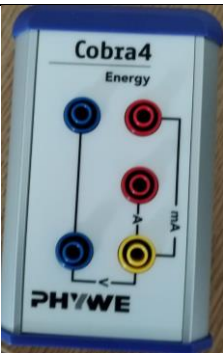




zapisa. Wireless link i svaki senzor sadrže VGA priključak i samo se spoje zajedno i spremni su za uporabu.



Slika 3.2. Cobra4 baza i sučelje

### 3.1. Cobra4 mjerni senzori

U osnovnom setu Cobra4 mjernih senzora za fiziku (Slika 3.1) se nalaze uz gore navedenu bazu, sučelje, softver i senzori za mjerenje fizikalnih veličina . Svaki od senzora kako je i prije navedeno se priključuje na Wireless link i prilikom mjerenja određene veličine podatke u obliku električnih signala šalje do Wireless managera.

|   |   |   |
|---|---|---|
|    |    |    |
| <p>a) Senzor gibanja</p>  | <p>b) Senzor akceleracije</p>   | <p>c) Brojač vremena</p>  |
|   |   |   |
| <p>d) Senzor za mjerenje sile od 40N</p>  | <p>e) Senzor za mjerenje termodinamičkih veličina</p>                               | <p>f) Senzor energije</p>   |
|  |  |  |
| <p>g) Senzor elektriciteta</p>  | <p>h) Poluvodički senzor</p>  | <p>i) Tesla senzor</p>  |
|  |   |   |
| <p>j) Senzor vremena</p>  |   |   |

Slika 3.3. Cobra4 senzori



Cobra4 mjerni senzor gibanja (Cobra 4 Motion) (slika 3.3.a.) služi za mjerenje puta, brzine i akceleracije objekta. Mjerenja se provode pomoću ultrazvučnog senzora koji se nalazi na kraju senzora. Prednost ovoga senzora je beskontaktno mjerenje puta, brzine i akceleracije te direktan prikaz i analiza izmjerenih veličina. Senzor ima dva načina rada, prvi način rada je pri udaljenosti od 0,25 do 10 metara, pri brzini od  $\pm 10$  m/s, akceleraciji od  $100 \text{ m/s}^2$  i frekvenciji od 10Hz. Drugi način rada je pri udaljenosti od 0,15 do 2 metra, brzini od  $\pm 10$  m/s, akceleraciji od  $100 \text{ m/s}^2$  i frekvenciji od 50Hz.

Cobra4 senzor akceleracije (Cobra 4 Acceleration) (Slika 3.3.b.) se ne razlikuje puno od Cobra4 senzora gibanja, jedino što senzor akceleracije ima mogućnost mjerenja akceleracije u trodimenzionalnom prostoru. Tako da je pogodan za eksperimente iz svakodnevnog života poput vožnje auta, bicikla i slično.

Cobra4 brojač vremena (Cobra 4 Timer Counter) (Slika 3.3.c.) se koristi kao mjerac vremena u eksperimentima koji koriste neke od sljedeće opreme: svjetlosne barijere, mjerni mikrofoni, senzor gibanja, aparat s padajućom kuglom ili bilo koji drugi uređaj s TTL kompatibilnim signalima. Prednosti ovog mjernog senzora je da su pokriveni svi postupci s mjerenjem i odbrojanjem vremena.

Cobra4 mjerni senzor za mjerenje sile (Cobra 4 Force) (Slika 3.3.d.) postoji u dvije inačice, prva je za mjerenje sile do 10 N, a druga za mjerenje sile do 40 N. Način rada za obje inačice je isti, senzori se sastoje od ploče za savijanje koja prilikom savijanja pretvara mehaničko opterećenje u električni signal. Također se sa donje strane nalazi kuka na koju se može zakvačiti uteg i koja također prilikom savijanja pretvara mehaničko opterećenje u električni signal. Raspon mjerenja je od -10 do 10N, odnosno od -40 do 40N.

Cobra4 senzor za mjerenje termodinamičkih veličina (Cobra 4 Thermodynamics) (Slika 3.3.e.) je senzor za mjerenje temperature i tlaka koji je kontroliran preko mikro kontrolera. Senzor se može opremiti sa dva NiCr-Ni termo elementa kako bi se mogle izmjeriti dvije temperature i jedan apsolutni tlak. Visoka rezolucija senzora tlaka omogućuje precizna mjerenja. Mjerni raspon za tlak je od 0 do 2000hPa, a za temperaturu od -200 do 1200°C

Cobra4 senzor energije (Cobra 4 Energy) (Slika 3.3.f.) se koristi za mjerenje i izravno pokazivanje mjernih veličina električne snage i energije u istosmjernim i izmjeničnim strujnim krugovima. Prednost senzora je da izravno mjeri izmjenične i istosmjerne vrijednosti struje, što omogućuje provedbu niza osnovnih i primijenjenih eksperimenata (npr. upravljanje LED rasvjetom pomoću solarne energije).

Cobra4 senzor elektriciteta (*Cobra 4 Electricity*) (Slika 3.3.g.) je senzor koji se koristi za mjerenje napona i struje. Mjerni opseg napona je od -30 do 30V, a mjerni opseg struje -6 do 6A. Unutarnji otpor pri mjerenju napona je  $1\text{M}\Omega$ , a pri mjerenju struje  $33\text{m}\Omega$ .

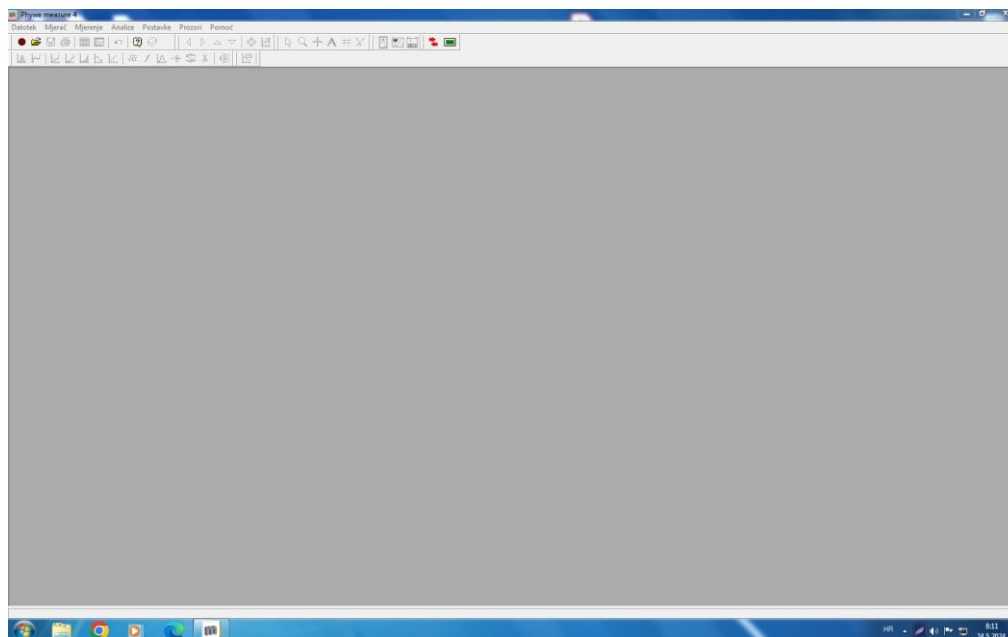
Cobra4 poluvodički senzor (Slika 3.3.h.) , odnosno mjerna sonda služi za mjerenje temperatura od -20 do  $110^{\circ}\text{C}$ . Prednost joj je da se direktno spaja na Cobra4 Wireless link i pretežno se koristi za mjerenje temperature tekućina, jer treba biti uronjena u tekućinu kako bi mogla očitati temperaturu.

Cobra4 tesla senzor (*Cobra 4 Tesla*) (Slika 3.3.i.) se koristi prilikom mjerenja jakosti magnetskog polja u istosmjernim i izmjeničnim strujnim krugovima, također je kompatibilan i za spajanje na Hallovu sondu. Prednost ovog senzora je da može mjeriti i magnetsko polje Zemlje, a također postoji i mogućnost spajanja na dvije vrste Hallovih sondi, odnosno na tangencijalnu i aksijalnu. Razlika između aksijalne i tangencijalne Hallove sonde je u tome što je aksijalna postavljena paralelno s vektorom magnetskog polja a tangencijalna je postavljena okomito na vektor magnetskog polja.

Cobra4 senzor vremena, odnosno vremenskih prilika (*Cobra 4 Weather*) (Slika 3.3.j.) se koristi prilikom mjerenja tlaka zraka, relativne vlažnosti zraka, temperature zraka, svjetline i visine. Prednost ovog senzora je upravo mogućnost mjerenja ovih pet veličina što ga čini pogodnim za veliki broj mjerenja koje se mogu odraditi na otvorenome. Mjerni raspon relativne vlažnosti je od 0 do 100%, mjerni raspon tlaka zraka je od 10 do 1100 hPa, temperature zraka od  $-40$  do  $125^{\circ}\text{C}$  i svjetline od 0 do 100 000 lx.

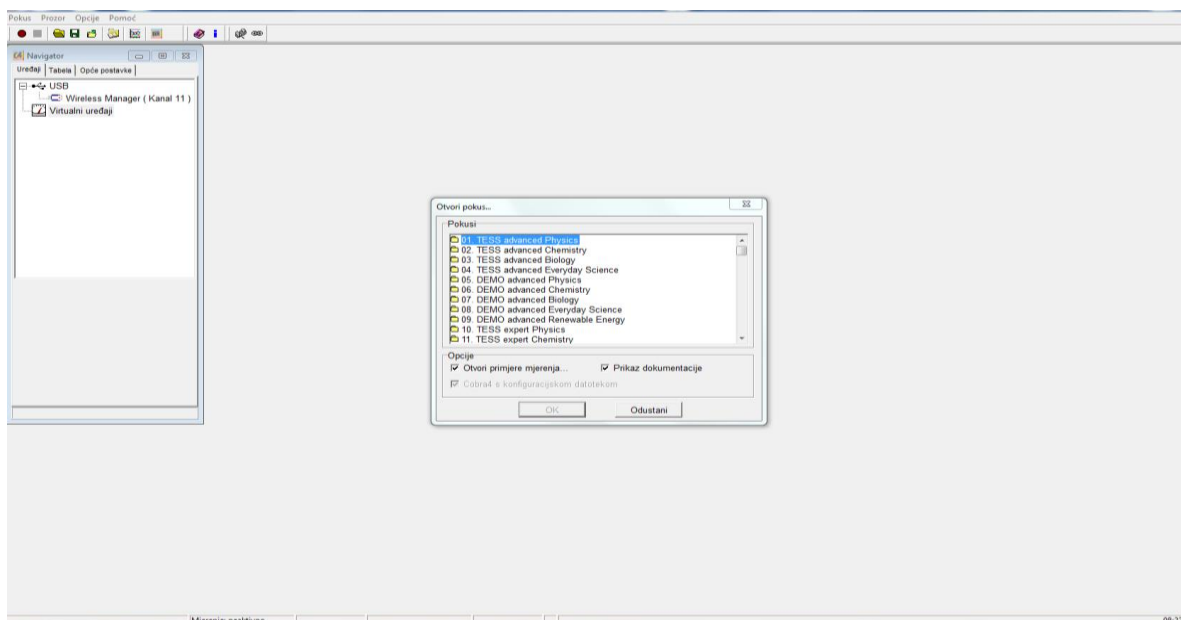
### **3.2. PHYWE mjerni softver**

Nakon instaliranja softvera, uključanja Wireless managera i spajanja senzora s Wireless linkom moguće je pokrenuti Phywe measure softver i otvoriti željeni eksperiment. Pokretanjem programa Phywe measure otvara se početni zaslon (Slika 3.14) koji sadrži izbornik na kojem se nalaze funkcionalnosti datoteka, mjerač, mjerenje, analiza, postavke, prozori i pomoć. Ispod izbornika nalazi se funkcijska traka sa funkcionalnostima pokretanja mjerenja, učitavanja mjerenja i slično, a ispod funkcijske trake se nalazi alatna traka za obradu rezultata, no ta traka je nedostupna sve dok se ne učita mjerenje za obradu.



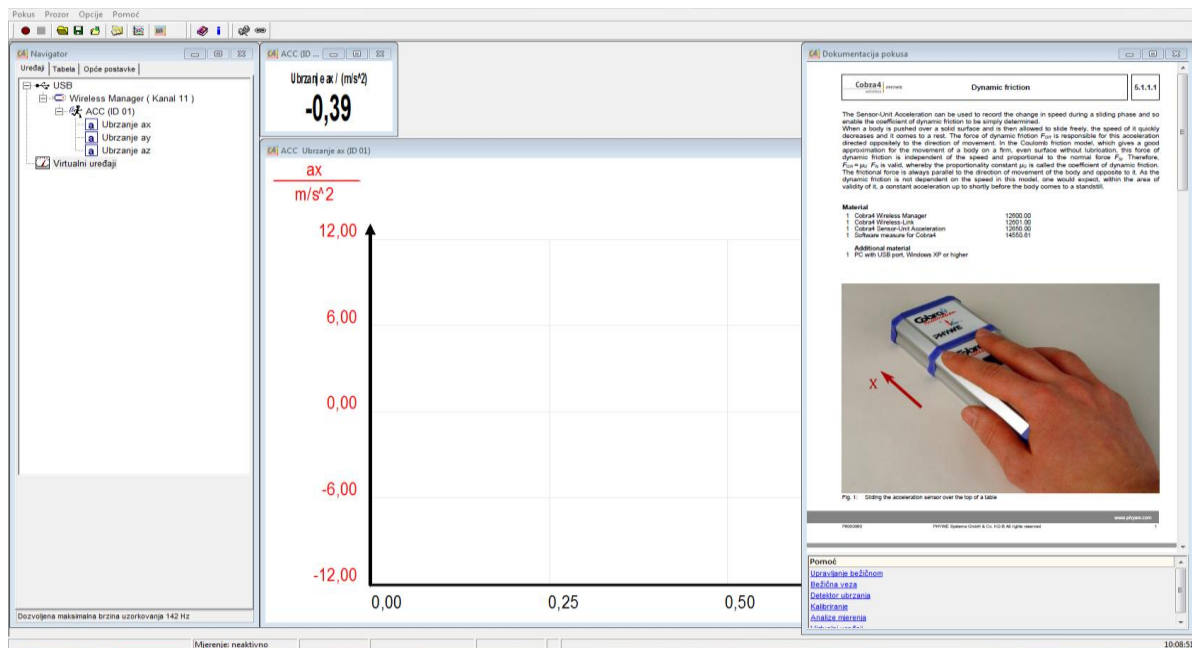
Slika 3.14. Početni zaslon prilikom pokretanja Phywe measure programa

Spajanjem Cobra4 wireless manager-a otvara se novi prozor (Slika 3.15) i na lijevoj strani se nalazi navigator koji omogućava prikaz spojenih senzora. Pokretanje i otvaranje mjerenja se vrši na način da se klikom na funkciju datoteka otvara padajući izbornik na kojem se odabirom funkcije učitaj pokus dobije prikaz svih eksperimenata podijeljenih u više kategorija.



Slika 3.15. Prikaz otvaranja eksperimenta u programu Phywe measure

Odabirom željenog eksperimenta Phywe measure sustav otvara potrebne zaslone na kojima će biti grafički prikaz rezultata te također i tablice u kojima će biti analitički rezultati spremljeni. Također se otvara i digitalna dokumentacija pokusa koja sadrži opisanu provedbu mjerenja i provedbu obrade rezultata (Slika 3.16.). Digitalna dokumentacija je jednaka onoj danoj u fizičkom priručniku koji sadrži sva mjerenja koja se mogu odraditi pomoću Cobra4 senzora.



Slika 3.16. Prikaz otvorenog eksperimenta i dokumentacije u programu Phywe measure

Nakon odrađenih mjerenja pohranjene rezultate je moguće izvesti i spremiti za obradu u nekim drugim aplikacijama poput Excela. Budući da se rezultati pohranjuju i grafički i brojčano, klikom na funkciju mjerenje koja se nalazi na meniju otvara se padajući izbornik s dodatnim funkcijama. Na tom padajućem izborniku odabire se funkcija izvesti podatke s kojom se brojčani rezultati spremaju u obliku tekstualne datoteke. Nakon izvezenih rezultata u tekstualnu datoteku, ti podatci se kopiraju i zalijepe u Excel nakon čega je moguća daljnja obrada u Excelu.

#### 4. PROVEDBA EKSPERIMENATA S PHYWE Cobra4 MJERNIM SUSTAVOM

Eksperimenti su provedeni u laboratoriju za fiziku Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Prilikom provedbe eksperimenata korišten je gore navedeni osnovni set senzora iz fizike. Provedeno je nekoliko eksperimenata iz područja topline i mehanike. Eksperimenti su provedeni korištenjem opisa i predložaka eksperimenata koji su dani u digitalnoj dokumentaciji Phywe Cobra4 mjernog sustava, a dolaze uz osnovni set Cobra4 senzora za fizike. Tablica 4.1. prikazuje popis eksperimenata iz područja topline i mehanike koji se nalaze u digitalnoj dokumentaciji eksperimenata. Zbog nedostatka opreme i nemogućnosti rada pojedinih senzora pojedini eksperimenti se nisu mogli izvesti, stoga je tablicom 4.2. dan popis eksperimenata i naziv senzora koji je korišten prilikom njihove provedbe.

Tablica 4.1.

| <i>Eksperimenti iz topline</i>  | <i>Eksperimenti iz mehanike</i>   |
|---|---|
| Kako voda može duže ostati topla?   | Dinamičko trenje  |
| Koliko brzo se voda može zagrijati?   | Svojstva zraka  |
| Ponašaju li se različite tekućine drugačije prilikom zagrijavanja?                              | Potone li tijelo ili pliva?   |
| Koliko topline je potrebno za zagrijavanje vode?  | Određivanje frekvencije titranja opruge u ovisnosti o masi utega i konstanti opruge |
| Specifični toplinski kapacitet vode   | Serijski i paralelni spoj opruga  |
| Koja temperatura nastaje u kalorimetru kada se pomiješaju količine vode različitih temperatura? | Akceleracija opruga   |
| Koliko topline se može uskladištiti u metalima?   | Ubrzanje sile teže pri slobodnom padu tijela  |
| Specifični toplinski kapacitet metala   |   |
| Kako se može odrediti temperatura zagrijanih predmeta?  |   |

Tablica 4.2.

| <i>Naziv senzora</i>       | <i>Eksperimenti iz topline</i>                   | <i>Eksperimenti iz mehanike</i>   |  |
|----------------------------|--|---|--|
| Cobra4 poluvodički senzor  | Kako voda može duže ostati topla?                |   |  |
|                            | Koliko brzo se voda može zagrijati?              |   |  |
|                            | Koliko topline je potrebno za zagrijavanje vode? |   |  |
|                            | Koliko topline se može uskladištiti u metalima?  |   |  |
| Cobra4 senzor sile 40N     |  | Određivanje frekvencije titranja opruge u ovisnosti o masi utega i konstanti opruge |  |
|                            |  | Potone li tijelo ili pliva?   |  |
| Cobra4 senzor akceleracije |  | Dinamičko trenje  |  |
| Cobra4 senzor vremena      |  | Svojstva tlaka zraka  |  |

#### **4.1. Provedba eksperimenata iz topline korištenjem Cobra4 mjernog sustava**

Za provedbu eksperimenata iz područja topline korišten je Cobra4 poluvodički senzor ili mjerna sonda. Eksperimenti iz topline se mogu podijeliti u dva dijela, oni koji su poslužili za određivanje toplinskog kapaciteta vode i oni koji su poslužili za određivanje toplinskog kapaciteta metala. Za sve eksperimente uz Cobra4 poluvodički senzor korišten je još i kalorimetar, grijača ploča, posuda za zagrijavanje vode te mjerna posuda.

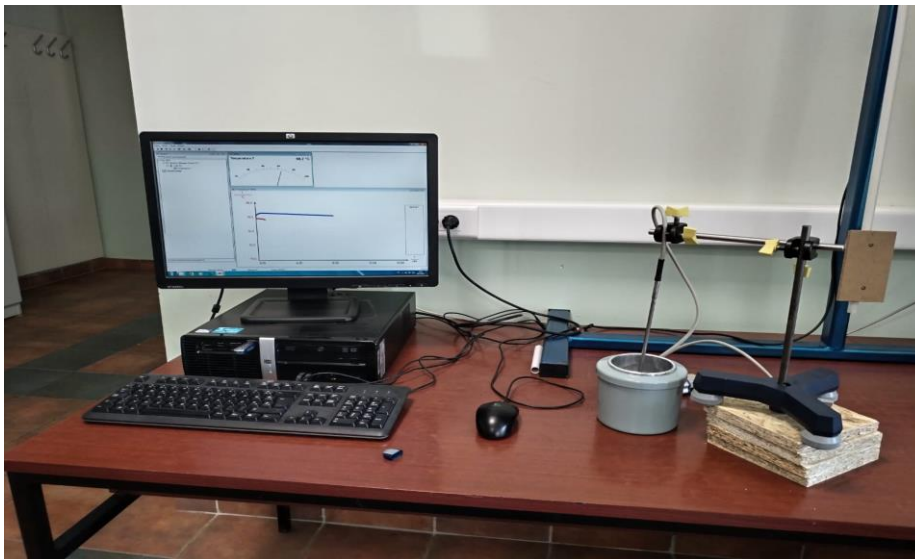
#### 4.1.1. Eksperimenti za određivanje toplinskog kapaciteta vode

Za određivanje toplinskog kapaciteta vode provedena su tri eksperimenta: kako voda može duže ostati topla, koliko brzo se voda može zagrijati i koliko topline je potrebno za zagrijavanje vode

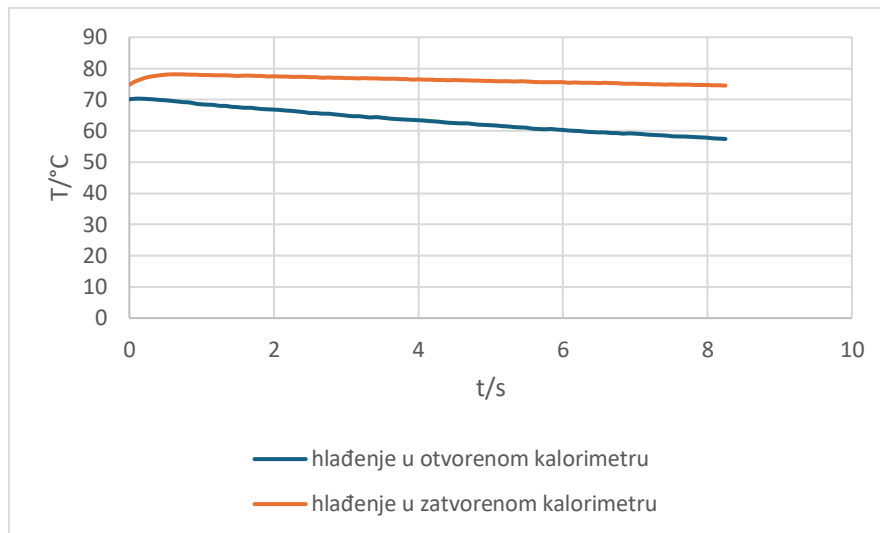
##### *a) Kako voda može duže ostati topla*

Cilj provedbe ovog eksperimenta je dokazati djelovanje termoizolacijskih materijala, odnosno prikazati kako takvi materijali mogu pomoći pri zadržavanju toplinske energije tijela i smanjenju toplinskih gubitaka. Termoizolacijski materijal u ovom slučaju je bio kalorimetar, koji inače služi u kalorimetriji i termodinamici za mjerenje topline koja se oslobađa prilikom fizikalnih promjena, kemijskih reakcija ili za određivanje specifičnog toplinskog kapaciteta [6].

Eksperiment je proveden na način da se zagrijavalo 200 ml vode u posudi za zagrijavanje i kada bi voda dosegla temperaturu vrenja pretočila bi se u kalorimetar na koji je spojen Cobra4 poluvodički senzor (Slika 4.1.). Prvi dio eksperimenta provodio se kada je kalorimetar zatvoren, a drugi dio kada je kalorimetar otvoren te se na taj način najbolje može prikazati djelovanje termoizolacijskih materijala na smanjenje temperaturnih gubitaka (Slika 4.2.).



Slika 4.1. Prikaz postava eksperimenta kako voda može duže ostati topla



Slika 4.2. Grafički rezultati eksperimenta kako voda može duže ostati topla

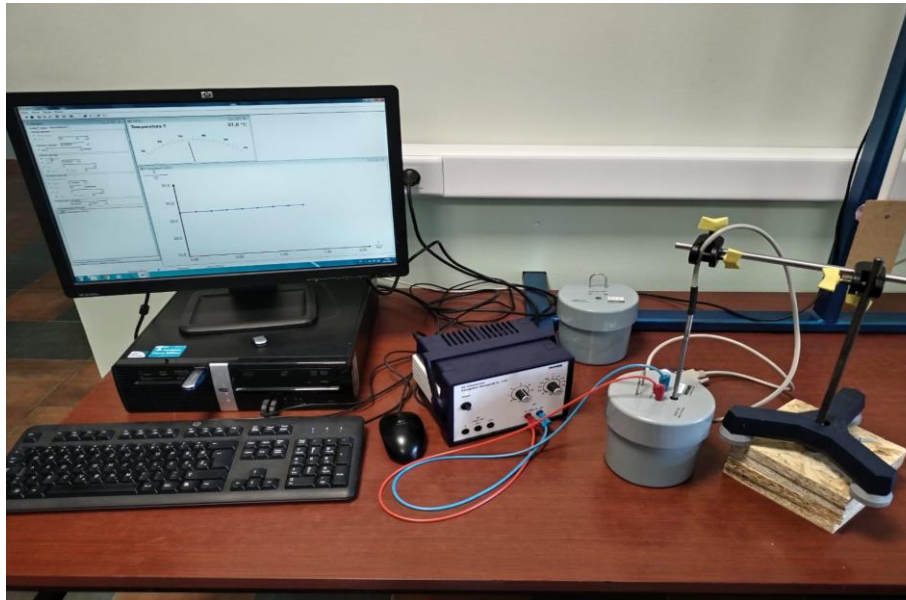
Termoizolacijski materijali se koriste za smanjenje gubitaka topline i povećanja energetske učinkovitosti zgrada i drugih objekata, stoga pomažu u održavanju unutarnje temperature smanjujući potrebu za grijanjem i hlađenjem. Također svoju primjenu pronalaze i u industriji gdje služe za smanjenje gubitaka energije u cjevovodima i spremnicima. Od termoizolacijskih materijala u pokusu je korišten kalorimetar koji je obložen stiroporom koji je jedan od najčešće korištenih izolacijskih materijala. Kada je kalorimetar zatvoren temperatura vode opada sporije, ali kada je skinut poklopac kalorimetra gubitci mogu otići u okolinu i samim time temperatura opada brže. To je vidljivo i iz gore prikazanih grafičkih rezultata (Slika 4.2.) koji prikazuju ovisnost  $T=f(t)$  temperature ( $T/^{\circ}\text{C}$ ) o vremenu ( $t/\text{s}$ ). Grafički prikaz mjerenja u kojem je kalorimetar zatvoren je prikazan narančastom bojom te je iz njega vidljivo kako je manja promjena temperature u odnosu na grafički prikaz koji je prikazan plavom bojom, koji prikazuje otvoreni kalorimetar i gdje je veća promjena temperatura, odnosno veći su gubitci temperature.

a) *Koliko brzo se voda može zagrijati*

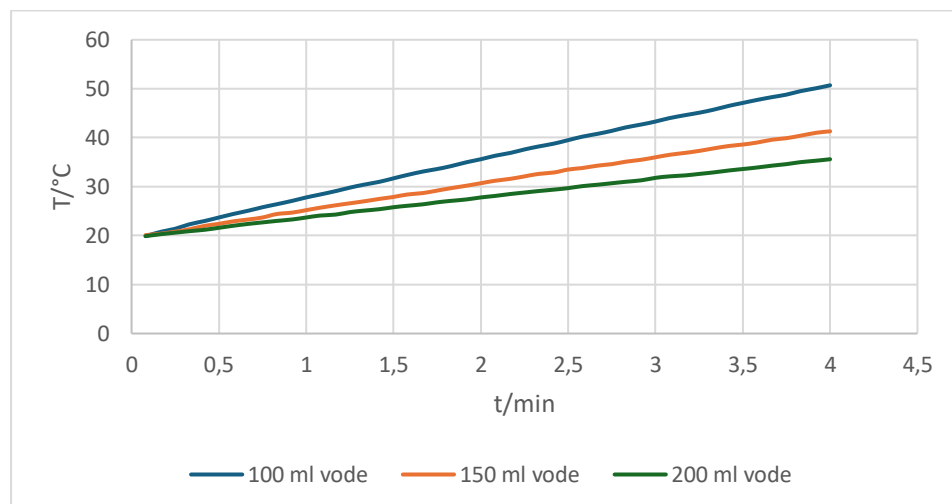
Ovim eksperimentom se dokazuje da što je veća količina vode, odnosno što je veća količina zagrijavane vode trebat će joj duže da dosegne temperaturu vrenja. U ovome eksperimentu zagrijavane su tri različite količine vode od 100ml, 150ml i 200 ml. Za razliku od prijašnjeg eksperimenta gdje se promatralo hlađenje vode u ovome se promatra koliko je vremena potrebno tim trima količinama vode za zagrijavanje. Kalorimetar je spojen na izvor napajanja od 6V koji zagrijava grijač kalorimetra a samim time se i grije voda koja se nalazi u kalorimetru (Slika 4.3.).



Na kalorimetar je ponovno spojena Cobra4 mjerna sonda koja prati zagrijavanje vode i preko Wireless linka i Wireless manager-a podatke šalje na računalo.



Slika 4.3. Postav eksperimenta koliko brzo se voda može zagrijati



Slika 4.4. Grafički rezultati eksperimenta koliko brzo se voda može zagrijati

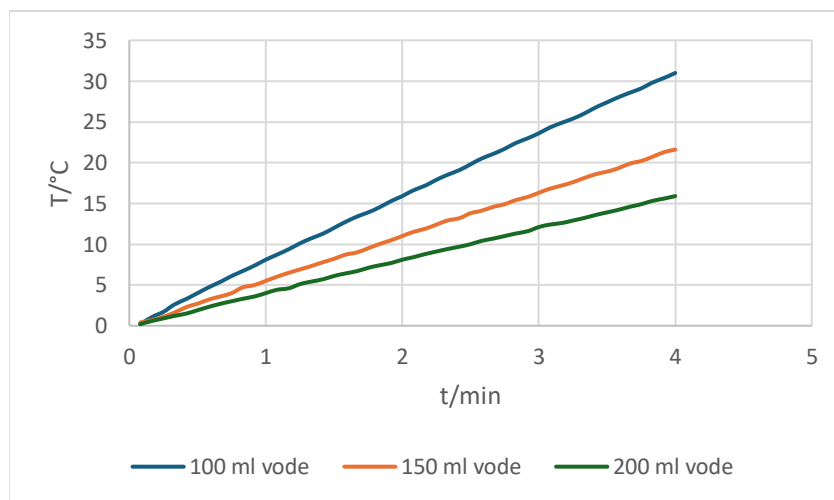
Iz priloženih grafova (Slika 4.4.) gdje je plava krivulja 100ml vode, narančasta 150ml vode, a zelena 200ml vode može se vidjeti da što je manja masa vode to se ona brže zagrije a samim time je i nagib pravca veći. To se može vidjeti i iz tablice (4.3.) gdje se određivalo vrijeme potrebno za

porast temperature od 5°C i od 10°C za svaku pojedinu krivulju. To se odrađivalo pomoću funkcije pregled. Odabirom funkcije pregled pojavljuju se dvije točke, a budući da se na y-osi nalazi temperatura, a na x-osi vrijeme, prva točka se postavi na proizvoljne koordinate, a druga točka se postavlja tako da razlika koordinata y-osi bude 5°C i 10°C te se očita dobivena razlike koordinata x-osi i zapiše u tablicu 4.2.

Tablica 4.3.

| Volumen vode [ml] | Vrijeme promjene temperature za 10 °C [s] | Vrijeme promjene temperature za 5°C [s] |
|-------------------|---|---|
| 100               | 1,254                                     | 0,647                                   |
| 150               | 1,809                                     | 0,943                                   |
| 200               | 2,539                                     | 1,292                                   |

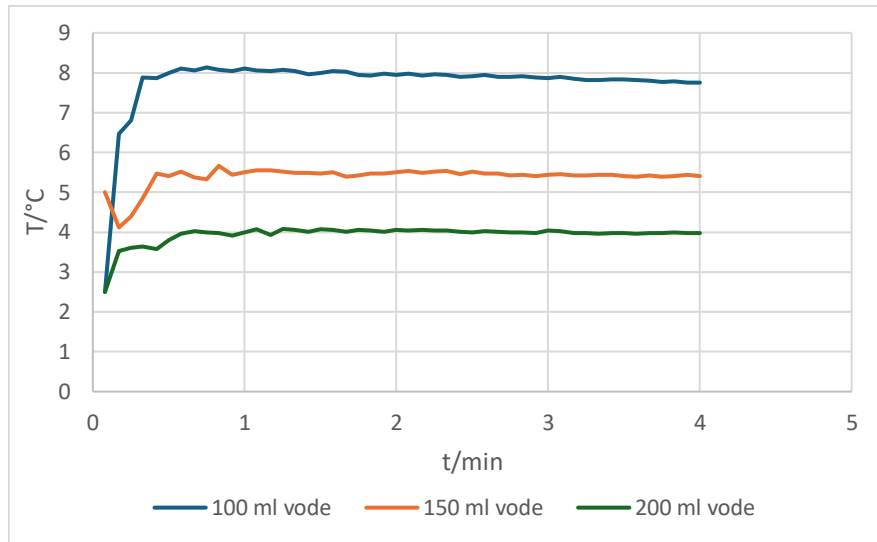
U programu Phywe measure moguće je pomoću funkcije izmjena kanala kako i sama funkcija kaže izmijeniti kanale. To je odrađeno na dva načina. Prvi način prikazivanja promjena vremena zagrijavanja vode na način da se oduzme svaka od dobivenih krivulja za početnu temperaturu vode koja je bila prije zagrijavanja (Slika 4.5.). Na taj način se iz dobivenog grafa vide rezultati koji se ranije dobiju pomoću funkcije pregled



Slika 4.5. Grafovi dobiveni funkcijom izmjena kanala koji prikazuju temperaturne razlike tijekom vremena s različitim količinama vode

Drugi način je da se pomoću iste funkcije odredi povećanje temperature podijeljeno s vremenom zagrijavanja pojedine količine vode. To se dobije tako da se rezultate dobivene prijašnjim

korištenjem ove funkcije podijeli sa vremenom  $t$  (Slika 4.6.). Iz dobivenih rezultata je opet vidljivo da što je manja količina vode to je i manje vrijeme zagrijavanja.



Slika 4.6. Grafovi koji prikazuju temperaturne razlike tijekom vremena s različitim količinama vode

b) *Koliko topline je potrebno za zagrijavanje vode*

Ovaj eksperiment je računski nastavak na prijašnji eksperiment koliko brzo se voda može zagrijati jer je izvedba pokusa ista, odnosno zagrijava se voda od 200ml sa istim napajanjem i istim kalorimetrom, samo je potrebno pomoću podataka koji se dobiju odrediti specifični toplinski kapacitet vode.

Tablica 4.4.

|   |       |
|---|-------|
| Masa vode [g]                               | 200   |
| Napon [V]                                   | 6,15  |
| Struja [A]                                  | 2,78  |
| Temperaturna promjena tokom vremena [°C /s] | 0,017 |

Podaci iz tablice 4.4. su nam unaprijed poznati poput mase vode, napona i struje koja je očitana tijekom postavljanja izvora napajanja. Temperaturna promjena tokom vremena predstavlja srednji

nagib krivulje. Srednji nagib krivulje je određen u programu Phywe measure na način da se pomoću funkcije regresija koja se nalazi odmah pored funkcije pregled, odredi jednačba pravca. Jednačbu pravca program Phywe measure ispiše sam te ju je potrebno iščitati i zapisati u tablicu.

Tablica 4.5.

|  |       |
|--|-------|
| Snaga [W]                                  | 17,1  |
| Količina topline nakon 1 sekunde [J]       | 17,1  |
| Specifična toplina [J/g]                   | 85,5  |
| Temperaturna promjena tokom vremena [°C/s] | 0,017 |
| Specifični toplinski kapacitet [J/kgK]     | 5029  |

Prvo je potrebno odrediti snagu samog napajanja iz formule (4-1), kako je mjerna jedinica snage watt zapravo joule po sekundi samim time je i količina topline nakon jedne sekunde jednaka snazi napajanja. Specifična toplina je omjer količine topline nakon jedne sekunde i mase vode (4-3). Nakon određivanja svih potrebnih podataka prema formuli (4-4) se odredi specifični toplinski kapacitet.

$$P = U \cdot I \quad [W=J/s] \quad (4-1)$$

$$\Delta Q = P \quad [J/s] \quad (4-2)$$

$$\Delta Q_{spec} = \frac{\Delta Q}{m} \quad [J/kg] \quad (4-3)$$

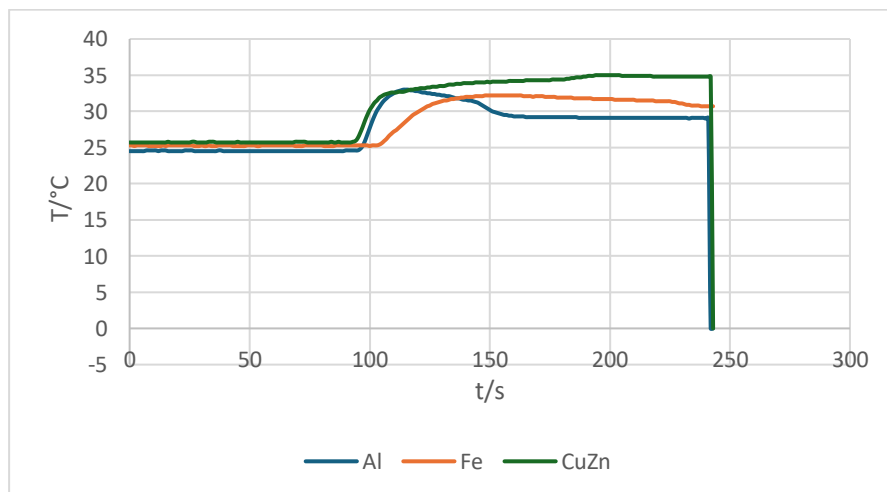
$$c = \frac{\Delta Q_{spec}}{\Delta \vartheta} \quad [J/kgK] \quad (4-4)$$

#### 4.1.2. Eksperimenti za određivanje toplinskog kapaciteta metala

Za određivanje toplinskog kapaciteta metala provedeno je mjerenje pod nazivom koliko topline se može skladištiti u metalima. Cilj mjerenja je odrediti specifični toplinski kapacitet pojedinih metala na način da se zagrijani metali ubacuju u kalorimetar na koji je spojen Cobra4 poluvodički senzor te se promatra promjena temperature unutar kalorimetra nakon ubacivanja tih metala (Slika 4.7.)



Slika 4.7. Postav eksperimenta koliko topline se može uskladištiti u metalima



Slika 4.8. Grafički rezultati eksperimenta koliko topline se može uskladištiti u metalima

Tijekom mjerenja na zaslonu se iscrtava grafički prikaz ovisnosti  $T=f(t)$  temperature ( $T / ^\circ\text{C}$ ) tijekom vremena ( $t / \text{s}$ ). Obrada rezultata je provedena na temelju dobivenih grafova (Slika 4.8.) na način da se odabirom funkcije pregled pojavljuju dvije točke koje se mogu pomicati po grafu i

kada ih se postavi na određeno mjesto ispisuju se koordinate za svaku od tih točaka. Prva točka se postavlja na dio grafa koji prikazuje temperaturu prije ubacivanja metala i ona je označena s  $\vartheta_{cal1}$ , ta temperatura kao što je vidljivo na grafu iznosi između 24 °C i 25 °C i nalazi se u intervalu od 0 do 100 sekundi. Druga točka se postavlja na dio grafa koji prikazuje temperaturu koja je postignuta nakon ubacivanja metala i označena je s  $\vartheta_{cal2}$ . Ta temperatura kao što je vidljivo na grafu se nalazi u intervalu od 150 do 250 sekundi. Razlika temperature vode  $\Delta\vartheta_{voda}$  se dobije kao razlika temperature prije ubacivanja metala  $\vartheta_{cal1}$  i temperature nakon ubacivanja metala  $\vartheta_{cal2}$ . Temperatura svakog pojedinog metala se dobije na način da se izračuna razlika početne temperature metala koju metal ima prilikom ubacivanja u kalorimetar, koja je označena sa  $\Delta\vartheta_{metala}$  i temperature nakon ubacivanja metala označene sa  $\vartheta_{cal2}$ . Nakon odrađenih mjerenja i analize dobiveni rezultati se zapisuju u tablicu 4.6. Na gore prikazanom grafu (Slika 4.8.) nagli pad temperature na 250 sekundi predstavlja trenutak kada je završeno mjerenje.

Budući da je toplinski kapacitet fizikalna veličina koja opisuje svojstvo tijela da mu se pri primanju ili predavanju topline mijenja temperatura za pojedine vrste metala je moguće odrediti toplinski kapacitet [7]. Nakon određivanja potrebnih temperatura i od prije poznate vrijednosti mase vode koja iznosi 150g i mase metala koja iznosi 120,57g za mesing, 120,43g za željezo i 120,29g za aluminij te toplinskog kapaciteta vode koji iznosi 4200 [J/kgK] može se odrediti toplinski kapacitet svakog pojedinog metala po formuli (4-7) i usporediti sa tabličnim vrijednostima kako bi se utvrdilo jesu li mjerenja dobro odrađena, a samim time kako bi se provjerio i rad Cobra4 mjerne sonde.

Tablica 4.6.

|   |                              |      |                                    |     |                                    |      |
|---|------------------------------|------|------------------------------------|-----|------------------------------------|------|
| CuZn  | $\vartheta_{cal1}/^{\circ}C$ | 24,5 | $\Delta\vartheta_{voda}/^{\circ}C$ | 4,6 | $\Delta\vartheta_{CuZn}/^{\circ}C$ | 69   |
|   | $\vartheta_{cal2}/^{\circ}C$ | 29,1 |                                    |     |                                    |      |
| Fe  | $\vartheta_{cal1}/^{\circ}C$ | 25,2 | $\Delta\vartheta_{voda}/^{\circ}C$ | 6,9 | $\Delta\vartheta_{Fe}/^{\circ}C$   | 66,1 |
|   | $\vartheta_{cal2}/^{\circ}C$ | 32   |                                    |     |                                    |      |
| Al  | $\vartheta_{cal1}/^{\circ}C$ | 25,6 | $\Delta\vartheta_{voda}/^{\circ}C$ | 9,2 | $\Delta\vartheta_{CuZn}/^{\circ}C$ | 63,3 |
|   | $\vartheta_{cal2}/^{\circ}C$ | 34,8 |                                    |     |                                    |      |
| Početna temperatura metala<br>$\Delta\vartheta_{metala}/^{\circ}C = 98,1$ |                              |      |                                    |     |                                    |      |

$$\Delta\vartheta_{voda} = \vartheta_{cal2} - \vartheta_{cal1} \quad (4-5)$$

$$\Delta\vartheta_{CuZn} = \Delta\vartheta_{metal} - \vartheta_{cal2} \quad (4-6)$$

$$\Delta\vartheta_{Fe} = \Delta\vartheta_{metal} - \vartheta_{cal2} \quad (4-7)$$

$$\Delta\vartheta_{Al} = \Delta\vartheta_{metal} - \vartheta_{cal2} \quad (4-8)$$

$$\Delta Q_{metal} = \Delta Q_{voda} \quad (4-9)$$

$$c_{metal} \cdot m_{metal} \cdot \Delta\vartheta_{metal} = c_{voda} \cdot m_{voda} \cdot \Delta\vartheta_{voda} \quad (4-10)$$

$$c_{metal} = c_{voda} \cdot \frac{m_{voda}}{m_{metal}} \cdot \frac{\Delta\vartheta_{voda}}{\Delta\vartheta_{metal}} \quad (4-11)$$

$$c_{CuZn} = 4200 \cdot \frac{150}{120,57} \cdot \frac{\vartheta_{voda}}{\vartheta_{CuZn}} = 348,3 \quad [J/kgK] \quad (4-12)$$

$$c_{Fe} = 4200 \cdot \frac{150}{120,43} \cdot \frac{\vartheta_{voda}}{\vartheta_{CuZn}} = 546 \quad [J/kgK] \quad (4-13)$$

$$c_{Al} = 4200 \cdot \frac{150}{120,29} \cdot \frac{\vartheta_{voda}}{\vartheta_{Al}} = 761,1 \quad [J/kgK] \quad (4-14)$$

## **4.2. Provedba eksperimenata iz mehanike korištenjem PHYWE Cobra4 mjernog sustava**

Iz područja mehanike provedeno je nekoliko eksperimenata s različitim sensorima, kao što je vidljivo iz tablice 4.2. senzori koji su korišteni u ovim mjerenjima su Cobra4 senzor sile od 40N, Cobra4 senzor akceleracije i Cobra4 senzor vremena. Cilj ovih eksperimenata je bio prikazati rad Cobra4 mjernog sustava pri praćenju i mjerenju veličina iz područja mehanike, poput sile, brzine, akceleracije i slično. Eksperimenti iz ovoga područja se mogu podijeliti u dva dijela, a to su eksperimenti iz mehanike i eksperimenti iz mehanike fluida.

### **4.2.1. Eksperimenti iz područja mehanike**

Iz područja mehanike provedena su dva eksperimenta: dinamičko trenje i određivanje frekvencije titranja opruge u ovisnosti o masi utega i konstanti opruge. U pokusu dinamičko trenje promatrao se utjecaj različitih podloga na silu trenja, a u pokusu određivanje frekvencije titranja opruge u ovisnosti o masi utega i konstanti opruge se promatrao utjecaj različitih masa na frekvenciju titranja i konstantu opruge.

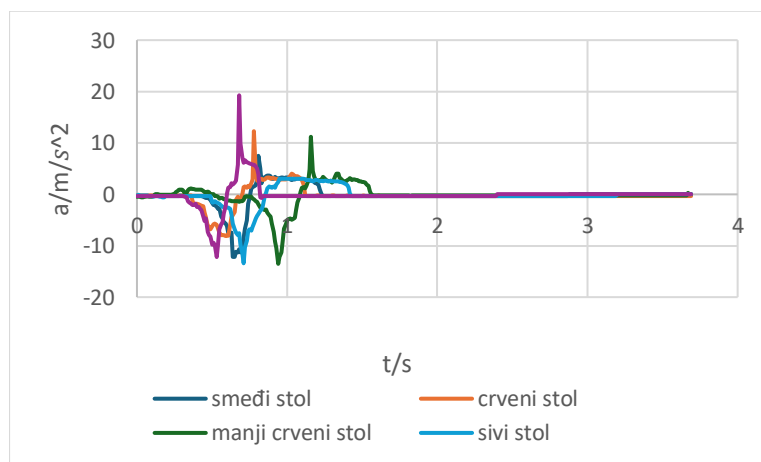
#### *a) Dinamičko trenje*

Eksperiment iz područja mehanike u kojem se ispitivao utjecaj koeficijenta trenja na iznos sile trenja, odnosno ispitivao se iznos koeficijenta trenja različitih podloga, naziva se dinamičko trenje. Eksperiment je proveden pomoću Cobra4 mjernog senzora akceleracije koji je bio pričvršćen na drvenu pločicu čija je jedna strana imala sloj pleksiglasa, a ostale strane bile su od drveta. Senzor akceleracije zajedno s drvenom pločicom se zatim gurao po različitim podlogama, odnosno po četiri različita stola u laboratoriju i gumenoj podlozi na način da se ispitivao koeficijent trenja drvene površine i strane od pleksiglasa. Ta četiri stola su smeđi stol, crveni stol i manji crveni stol koji su napravljeni od drveta, a sivi stol je zapravo radna ploča. Nakon guranja senzora, provedeno je još jedno ispitivanje u kojem je senzor vučen po tim istim podlogama konstantnom silom pomoću dinamometra.





Slika 4.9. Postav eksperimenta dinamičko trenje



Slika 4.10. Grafički rezultati guranja drvene pločice širom stranicom po stolu

Tablica 4.7.

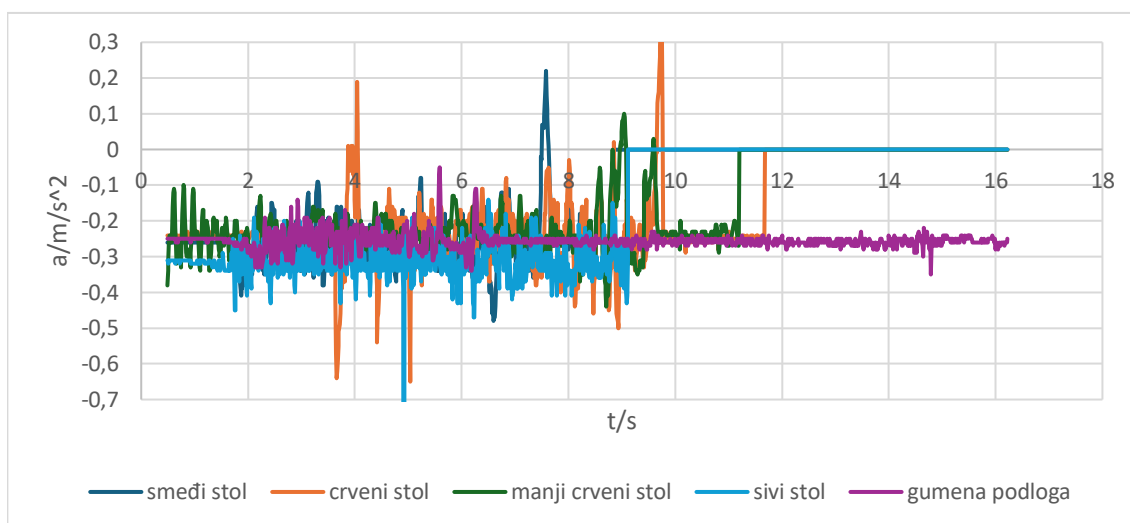
|              | AKCELERACIJA<br>[m/s <sup>2</sup> ] | KOEFICIJENT TRENJA |
|--------------|-------------------------------------|--------------------|
| SMEDI STOL   | 3,069                               | 0,312              |
| CRVENI       | 3,007                               | 0,307              |
| MANJI CRVENI | 0,983                               | 0,10024            |
| SIVI         | 2,576                               | 0,263              |
| GUMA         | 0,340                               | 0,035              |

$$F_{GR} = \mu_G \cdot F_N \quad (4-15)$$

$$m \cdot a = \mu_G \cdot m \cdot g \quad (4-16)$$

$$\mu_G = \frac{a}{g} \quad (4-17)$$

Tablica 4.7. je tablica guranja šire strane drvene podloge tijela po različitim podlogama, odnosno po četiri različita stola i gumenoj podlozi . Koeficijent trenje se dobije po formuli 4-15 gdje je  $g$  ubrzanje sile teže a akceleracija predstavlja prosječnu akceleraciju dobivenu za pojedinu podlogu. Prosječna akceleracija se dobije na način da se na grafu za pojedinu podlogu označi interval gdje je konstantna akceleraciju pomoću funkcije označi. Nakon označavanja željenog intervala funkcijom prikaži srednju vrijednost dobije se ispis srednje vrijednosti akceleracije.



Slika 4.11. Grafički rezultati povlačenja drvene pločice širom stranicom po stolu.

Tablica 4.8.

|              | MASA<br>[g] | SILA<br>[N] | AKCELERACIJA<br>[m/s <sup>2</sup> ] | KOEFICJENT<br>TRENJA |
|--------------|-------------|-------------|-------------------------------------|----------------------|
| SMEDI STOL   | 0,5089      | 1,4         | 0,265                               | 0,253                |
| CRVENI       | 0,5089      | 1,6         | 0,244                               | 0,296                |
| MANJI CRVENI | 0,5089      | 1,4         | 0,234                               | 0,257                |
| SIVI         | 0,5089      | 1,3         | 0,315                               | 0,223                |
| GUMA         | 0,5089      | 3,7         | 0,257                               | 0,715                |

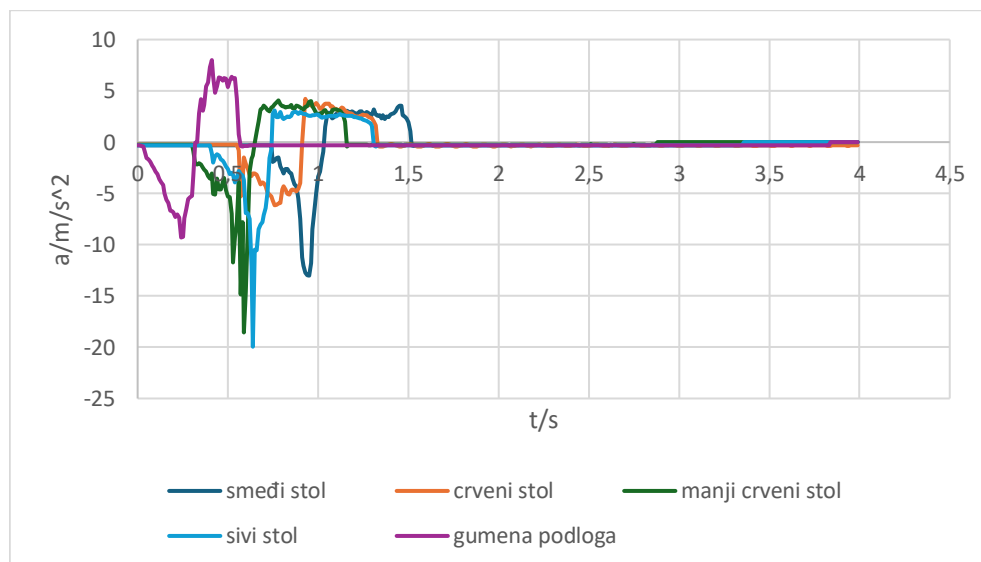
$$\mu = \frac{F - ma}{mg} \quad (4-18)$$

Tablica 4.8. predstavlja rezultate dobivene povlačenjem tijela pomoću dinamometra, razlika između ove dvije tablice je ta da su se u prethodnu tablicu upisivali rezultati dobiveni guranjem tijela određenom silom i ono bi se zaustavilo nakon nekog određenog vremena. U ovoj tablici analizirali su se rezultati dobiveni povlačenjem tijela određenom silom koja se očitava s dinamometra. Povlačenjem tijela dinamometrom se promatra koja je sila potrebna za pokretanje tijela. Akceleracija se odredi na prethodno opisani način pomoću Phywe measure programa, masu se izmjeri, a ubrzanje sile teže je poznato te se po formuli (4-18) može odrediti koeficijent trenja.

Slike od 4.12 do 4.15 i tablice od 4.9 do 4.12 prikazuju rezultate dobivene za povlačenje i guranje uže strane drvene pločice i strane koja je napravljena od pleksiglasa.

Tablica 4.9.

|              | AKCELERACIJA<br>[m/s <sup>2</sup> ] | KOEFICJENT TRENJA |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|
| SMEĐI STOL   | 2,837                               | 0,289             |
| CRVENI       | 0,324                               | 0,033             |
| MANJI CRVENI | 3,405                               | 0,347             |
| SIVI         | 2,641                               | 0,269             |
| GUMA         | 6,205                               | 0,633             |



Slika 4.12. Grafički rezultati guranja uže strane drvene pločice

Tablica 4.10

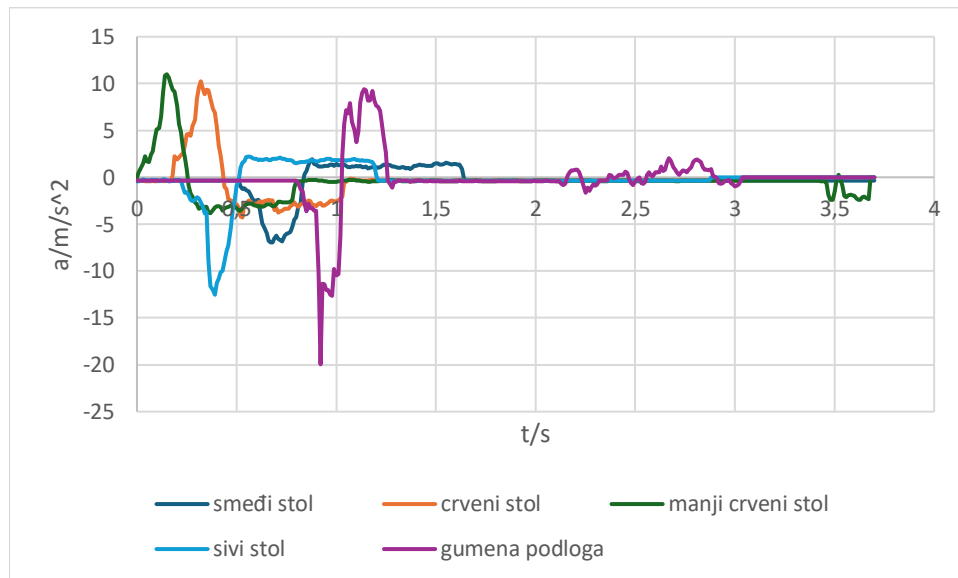
|                 | MASA<br>[g] | SILA<br>[N] | AKCELERACIJA<br>[m/s <sup>2</sup> ] | KOEFICJENT TRENJA |
|-----------------|-------------|-------------|-------------------------------------|-------------------|
| SMEĐI STOL      | 0,5089      | 1           | 0,273                               | 0,173             |
| CRVENI STOL     | 0,5089      | 1,2         | 0,296                               | 0,210             |
| MANJI<br>CRVENI | 0,5089      | 1,5         | 0,235                               | 0,276             |
| SIVI            | 0,5089      | 1,25        | 0,299                               | 0,219             |
| GUMA            | 0,5089      | 2           | 0,274                               | 0,373             |



Slika 4.13. Grafički rezultati povlačenja uža strane drvene pločice

Tablica 4.11.

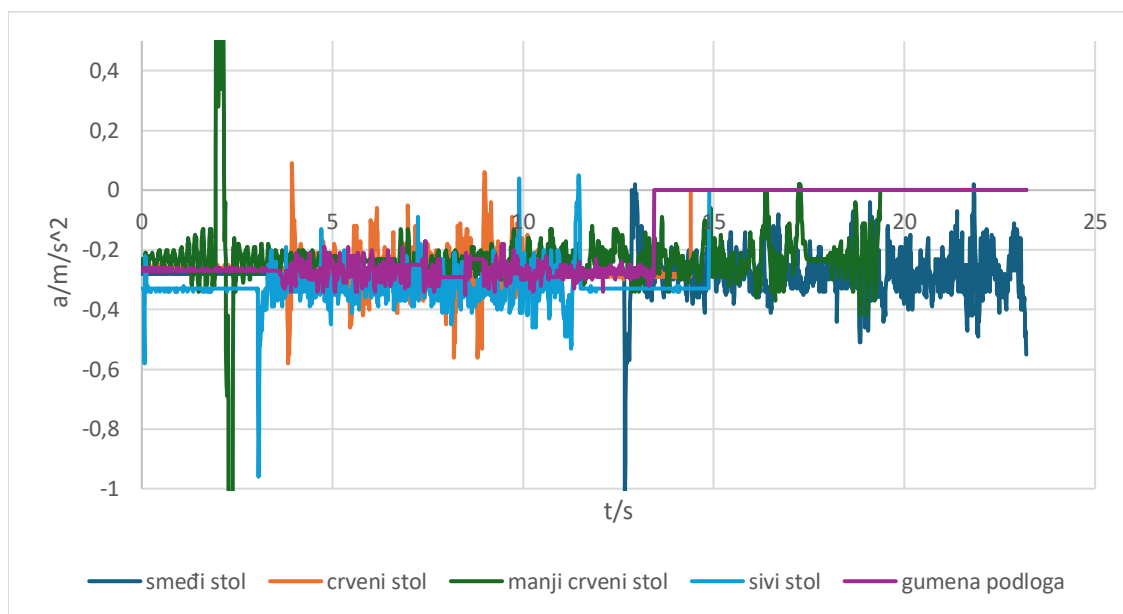
|              | AKCELERACIJA<br>[m/s <sup>2</sup> ] | KOEFICJENT TRENJA |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|
| SMEDI STOL   | 1,22                                | 0,125             |
| CRVENI       | 2,93                                | 0,298             |
| MANJI CRVENI | 0,37                                | 0,038             |
| SIVI         | 1,84                                | 0,187             |
| GUMA         | 0,39                                | 0,039             |



Slika 4.14. Grafički rezultati guranja pločice od pleksiglasa po stolu

Tablica 4.12.

|                 | MASA<br>[g] | SILA<br>[N] | AKCELERACIJA<br>[m/s <sup>2</sup> ] | KOEFICJENT TRENJA |
|-----------------|-------------|-------------|-------------------------------------|-------------------|
| SMEDI STOL      | 0,5089      | 1           | 0,279                               | 0,172             |
| CRVENI          | 0,5089      | 1,2         | 0,269                               | 0,213             |
| MANJI<br>CRVENI | 0,5089      | 1,2         | 0,249                               | 0,215             |
| SIVI            | 0,5089      | 0,8         | 0,324                               | 0,127             |
| GUMA            | 0,5089      | 3           | 0,273                               | 0,173             |



Slika 4.15. Grafički rezultati povlačenja pločice od pleksiglasa po stolu

b) *Određivanje frekvencije titranja opruge u ovisnosti o masi utega i konstanti opruge*

Kao što je ranije navedeno Cobra4 senzor sile sadrži kuku pomoću koje se pretvara mehaničko savijanje u električni signal koji onda Cobra4 Wireless link šalje do Cobra4 Wireless managera koji omogućuje prikaz rezultata u Phywe measure softveru. Upravo na tu kuku se u eksperimentu određivanje frekvencije titranja opruge u ovisnosti o masi utega i konstanti opruge postavi dinamometar od 2N na koji se slažu utezi, odnosno povećava se masa utega kako bi se razaznalo koja je najmanja, odnosno najveća masa pri kojoj se dobiju pravilne oscilacije (Slika 4.16).



Slika 4.16. Postav eksperimenta određivanje frekvencije titranja opruge u ovisnosti o masi utega i konstanti opruge

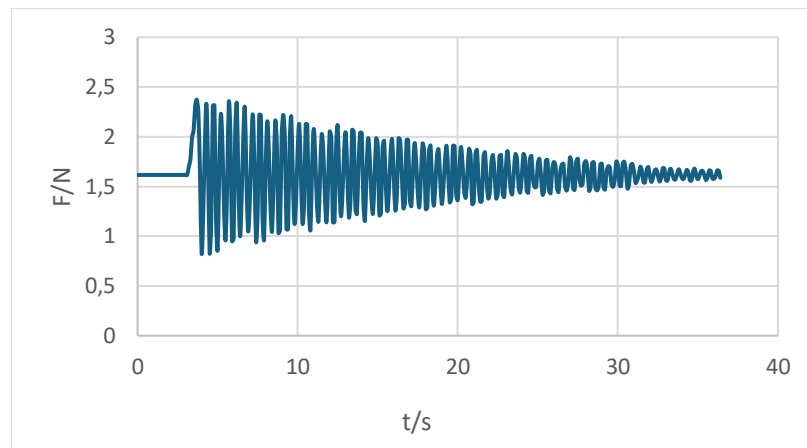
Tablica 4.12.

| MASA [g] | PERIOD [s] | FREKVENCIJA [Hz] | KONSTANTA OPRUGE |
|----------|------------|------------------|------------------|
| 30       | 0,309      | 3,236            | 12,324           |
| 40       | 0,340      | 2,941            | 13,660           |
| 50       | 0,368      | 2,717            | 14,576           |
| 60       | 0,395      | 2,531            | 15,182           |
| 70       | 0,419      | 2,387            | 15,741           |
| 80       | 0,443      | 2,257            | 16,093           |
| 90       | 0,466      | 2,146            | 16,362           |
| 100      | 0,482      | 2,077            | 16,993           |
| 110      | 0,503      | 1,988            | 17,164           |
| 120      | 0,520      | 1,923            | 17,520           |
| 130      | 0,540      | 1,852            | 17,600           |
| 140      | 0,560      | 1,786            | 17,624           |
| 150      | 0,574      | 1,742            | 17,973           |
| 160      | 0,592      | 1,653            | 18,336           |
| 170      | 0,605      | 1,653            | 18,336           |
| 180      | 0,628      | 1,592            | 18,018           |
| 190      | 0,640      | 1,563            | 18,313           |



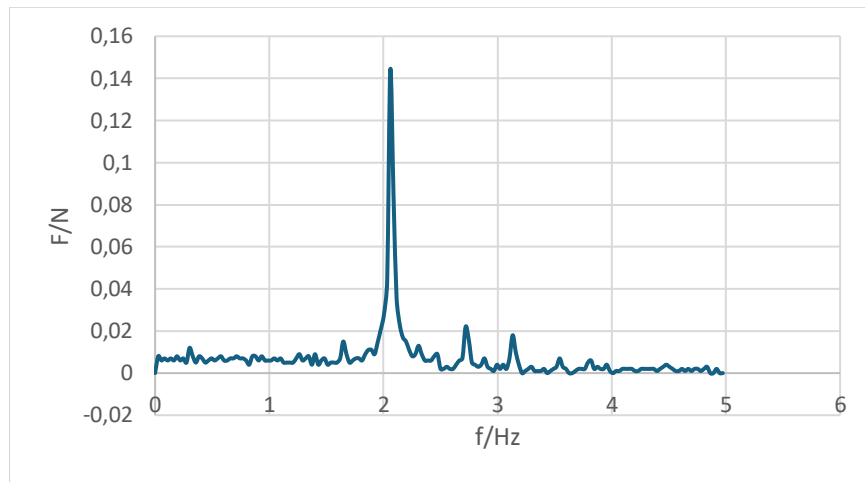
$$f = \frac{1}{T} \quad (4-19)$$

$$k = m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \quad (4-20)$$



Slika 4.17. Grafički rezultati za titranje pri masi od 100g

Nakon dobivanja grafičkih rezultata u Phywe measure programu za potrebe analize bilo je potrebno odrediti period titraja, a za to je korištena ranije opisane funkcije pregled. Kako se na x-osi nalazi vrijeme, a vrijedi da je period trajanje jedne periodične promjene, jednu točku se postavi na vrh jedne periode a drugu točku na vrh druge susjedne periode i očita se razlika koordinata x-osi te dvije točke i dobije se period. Nakon dobivenog perioda pomoću programa za obradu rezultata Phywe measure frekvenciju se može izračunati po formuli 4-19, a nakon toga su poznati svi potrebni podatci za određivanje konstante opruge po formuli 4-20.



Slika 4.18. Grafički rezultati Fourierove analize

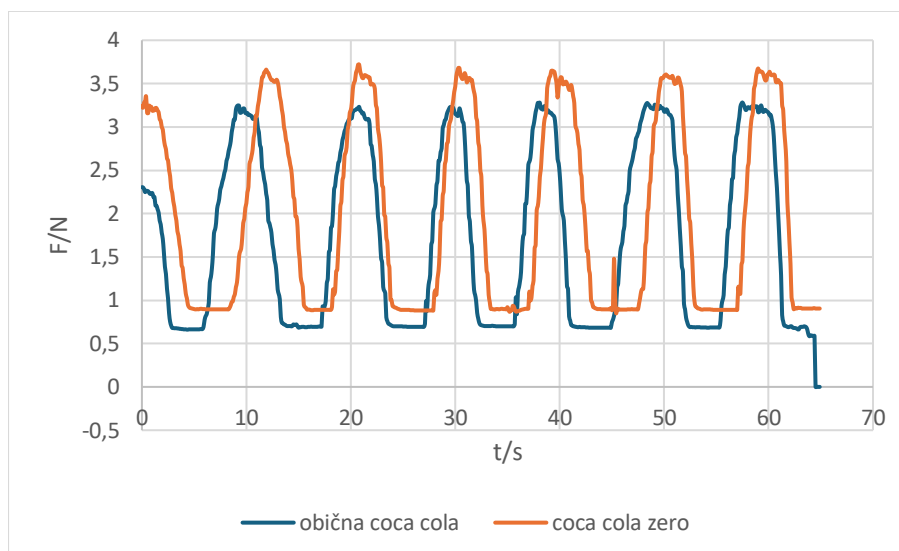
Nakon izračunatih vrijednosti, kao provjera računskog postupka za dobivanje frekvencije može poslužiti funkcija koja nosi naziv fourierova analiza. Ta funkcija daje graf prikazan na slici 4.18. te pomoću funkcije prikaži ekstreme označuju se ekstremi na grafu, odnosno u ovom slučaju frekvencija titranja. Na taj način može se provjeriti ispravnost određivanja frekvencije, a samim time i period.

#### 4.2.2. Eksperiment iz područja mehanike fluida

##### a) *Potone li tijelo ili pliva?*

Cobra4 senzora sile od 40N se koristio u ovome eksperimentu pod nazivom potone li tijelo ili pliva, kako bi se pomoću njega prikazalo djelovanje sile uzgona u različitim okolnostima. Od opreme je korišten Cobra4 senzor sile od 40N, dvije posude za vodu različitog obujma, Coca-cola i Coca-cola zero i bočica za vodu.

Prvi dio eksperimenta se sastoji od ispitivanja razlike u sili uzgona u dvije tekućine: Coca-cola i Coca-cola zero. Za Cobra4 senzor sile od 40N priveže se bočica Coca-cola i uroni se u posudu s vodom te pri tome senzor sile bilježi silu uzgona i podatke šalje na Phywe measure softver. Nakon toga to isto se ponovi i sa bočicom Coca-cola zero. Iz dobivenih grafičkih rezultata (Slika 4.19.) vidljivo je kako je manja sila uzgona za Coca-cola zero (crvena krivulja na grafu), nego za običnu Coca-cola (plava krivulja na grafu).

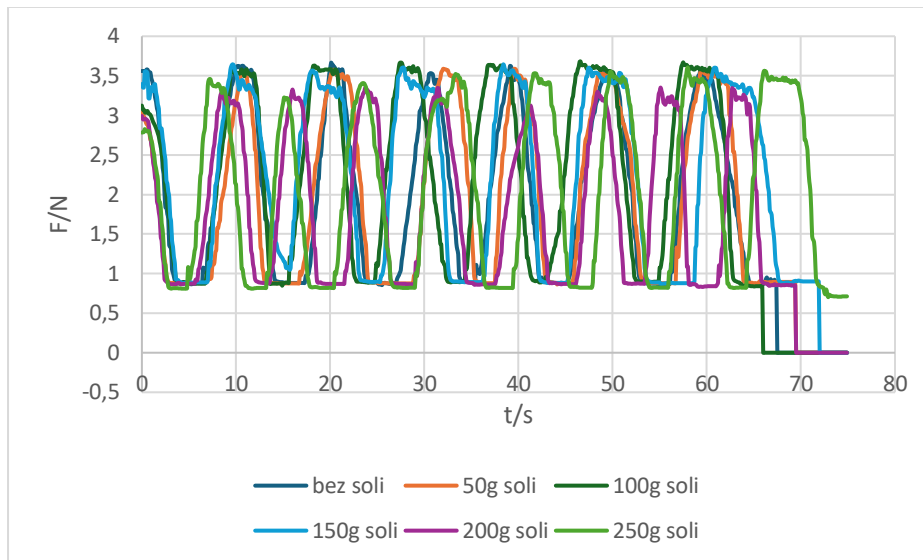


Slika 4.19. Sila uzgona za Coca-colu i Coca-colu zero

Drugi dio pokusa se sastojao od ispitivanja djelovanja sile uzgona u slanoj vodi. Bočica s vodom se uranjala u posudu sa vodom bez soli, nakon zabilježenih rezultata u vodu se dodalo 50g soli i ponovno su se zabilježili rezultati (Slika 4.20). U posudu je ukupno dodano 250g soli s time da je sol dodavana postupno, svaki put po 50g nakon čega se izvršilo mjerenje i zabilježili rezultati. Na slici 4.21. koja prikazuje grafičke rezultate provođenja ovog dijela eksperimenta može se primijetiti kako dodavanjem soli djelovanje sile uzgona se povećava.



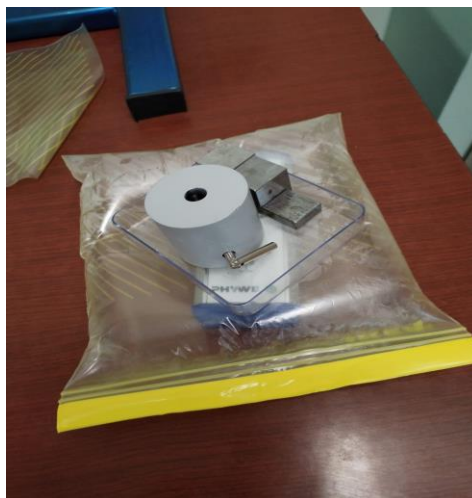
Slika 4.20. Postav eksperimenta potone li tijelo ili pliva sa slanom vodom i bočicom vode



Slika 4.21. Grafički rezultati eksperimenta potone li tijelo ili pliva? sa slanom vodom i bočicom vode

### b) Svojstva tlaka zraka

Cobra4 senzor vremena koji ima mogućnosti mjerenja i praćenja tlaka zraka, relativne vlažnosti zraka, temperature, svjetline i slično u eksperimentu svojstva tlaka zraka je korišten za praćenje tlaka zraka u različitim okolnostima, odnosno pod različitim pritiskom. Za provedbu pokusa korišten je Cobra4 senzor vremena, vrećica i utezi od 1kg i 2kg (Slika 4.22.).



Slika 4.21. Postav eksperimenta Svojstva tlaka zraka

Tablica 4.13

| $p_0$     | $p_1$     | $p_2$     | $p_1 - p_0$ | $p_2 - p_0$ |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 1010,3hPa | 1012,4hPa | 1014,5hPa | 2,1hPa      | 4,2hPa      |

Kao što je vidljivo na slici 4.21. Cobra4 senzor vremena se postavlja u vrećicu koja se ispuni zrakom te senzor kontinuirano mjeri tlak zraka u vrećici. Nakon toga na vrećicu se postavlja uteg od 1kg, te nakon njega uteg od 2kg kako bi popratili promjene prilikom drukčijeg pritiska. U tablici 4.13. su dani rezultati obrade dobivenih rezultata. Prvi stupac predstavlja početni tlak, drugi stupac predstavlja tlak pri pritisku od 1kg, treći stupac tlak pri pritisku od 2kg, a četvrti i peti stupci predstavljaju razliku tlakova pri pritiscima i početnog tlaka. Može se primijetiti kako se povećanjem pritiska povećava i tlak, odnosno povećanjem pritiska s 1kg na 2kg, razlika dobivenih tlakova i početnog tlaka se također povećava 2 puta što možemo vidjeti u stupcima četiri i pet gdje je rezultat u petom stupcu dva puta veći od rezultata u četvrtom stupcu.

## 5. ZAKLJUČAK

Implementacija Phywe Cobra4 mjernog sustava u mjerenjima iz područja mehanike i topline donosi značajne prednosti u obrazovnom kontekstu. Ovaj sustav omogućava precizna i točna mjerenja različitih fizikalnih veličina zahvaljujući širokom spektru senzora i dodatne opreme. U području mehanike, Cobra4 sustav omogućava mjerenje mehaničkih i dinamičkih parametara poput brzine, ubrzanja, sile i momenta sile, čime se olakšava razumijevanje osnovnih zakona mehanike kroz praktične eksperimente.

Kod mjerenja toplinskih veličina, sustav omogućava precizno praćenje promjena temperature, toplinskih kapaciteta, te provođenja i prijenosa topline. Upotrebom modernih senzora i softverskih rješenja, korisnici mogu lako pratiti i analizirati termodinamičke procese, što doprinosi boljem razumijevanju fenomena poput toplinske ekspanzije i prijenosa topline

Dodatno, Cobra4 sustav je predviđen da bude jednostavniji za korištenje, što omogućava studentima i istraživačima brzu i učinkovitu pripremu eksperimentalnih postava te obradu i interpretaciju podataka. Integracija s računalnim programima omogućava automatsku obradu podataka i vizualizaciju rezultata, čime se smanjuje mogućnost pogreške i smanjuje vrijeme provođenja eksperimenata.

Sve ove karakteristike čine Phywe Cobra4 sustav idealnim alatom za obrazovne institucije i istraživačke laboratorije, omogućujući provođenje složene eksperimente s visokim stupnjem preciznosti i pouzdanosti. Na taj način, implementacija ovog sustava značajno doprinosi unapređenju kvalitete obrazovanja i eksperimentalnih istraživanja u područjima mehanike i topline.

## LITERATURA

- [1] Sva fizika: „Što su senzori i čemu služe?“ <https://svafizika.org/2019/10/19/sta-su-senzori-i-cemu-sluze/>, (6.4.2024.)
- [2] Agro logistika „Data logger“ [https://www.agrologistika.hr/hr\\_HR/mjerni-instrumenti/termohigrometri/data-logger](https://www.agrologistika.hr/hr_HR/mjerni-instrumenti/termohigrometri/data-logger) (2.7.2024.)
- [3] Pasco Scientific „The PASCO Story“ <https://www.pasco.com/about-us/pasco-story> (3.7.2024.)
- [4] Vernier Science Education „The Vernier Story“ <https://www.vernier.com/about-us/the-vernier-story/> (3.7.2024.)
- [5] Phywe „Our Company“ <https://www.phywe.eu/company/> (3.7.2024.)
- [6] Hrvatska enciklopedija: „Kalorimetar“ <https://www.enciklopedija.hr/clanak/kalorimetar> (24.6.2024.)
- [7] Hrvatska enciklopedija „Toplinski kapacitet“ <https://www.enciklopedija.hr/clanak/toplinski-kapacitet> (23.6.2024.)
- [8] Issuu „Brochure Cobra4“ [https://issuu.com/phywe/docs/brochure\\_10\\_2012\\_cobra4](https://issuu.com/phywe/docs/brochure_10_2012_cobra4) (23.7.2024.)
- [9] Dubravko Horvat Fizika 1, Zagreb 2002
- [10] Petar Kulišić Mehanika i toplina, Zagreb 2005

## SAŽETAK

Ovaj rad bavi se istraživanjem različitih primjena Phywe Cobra4 mjernog sustava i njegovih senzora u nastavi fizike, s naglaskom na područje mehanike i topline. Poseban naglasak se stavio na prednosti ovih senzora koji omogućuju učenicima i studentima bolje razumijevanje pojmova iz fizike te razvoj praktičnih vještina. Također se uspoređuju prednosti i nedostaci ovih senzora sa konkurentnim sensorima drugih konkurentskih tvrtki. Osim toga prikazan je i sam način rada pojedinih senzora prilikom izvođenja eksperimenata iz područja mehanike i topline te praćenje i obrada rezultata u programu Phywe measure.

**Ključne riječi:** Cobra4, eksperiment, fizika, mehanika, senzor, toplina.



## **ABSTRACT**

This paper explores different applications of the Phywe Cobra4 measuring system and its sensors in teaching physics, with an emphasis on the areas of mechanics and heat. A special emphasis is placed on the advantages of these sensors that enable students to better understand physics concepts and develop practical skills. The paper also compares advantages and disadvantages of these sensors with competitive sensors of rival companies. It also contains an overview of the mode of operation of individual sensors while conducting experiments in the areas of mechanics and heat, as well as an overview of monitoring and result analysis in the program Phywe measure.

**Keywords:** Cobra4, experiment, physics, mechanics, sensor, heat.