



# **IZDELAVA PREPROSTEGA SPEKTROMETRA ZA VIDNO SVETLOBO**

Jan Krašovec in David Ilić

Mestna občina Celje, Mladi za Celje  
SIC Alme M. Karlin, Celje

Mentor: Mitja Suvajac

Celje, 2025

## **POVZETEK**

V raziskovalni nalogi smo se lotili projekta gradnje optičnega spektrometra, ki je naprava za merjenje transmisije svetlobe v izbranih vzorcih. Skozi raziskovalno nalogo predstavimo, kaj je sploh spektrometer, katere vrste spektrometrov poznamo, postopek gradnje in programiranja ter analizo kupljenega in izdelanega spektrometra. V eksperimentalnem delu raziskovalne naloge pred spektrometre postavimo vzorce različnih barov, katerim preberemo transmisijo svetlobe in s pridobljenimi podatki naredimo grafe za lažjo predstavo naše zaključne ugotovitve.

**Ključne besede:** spektrometer, transmisija, valovna dolžina

## **ABSTRACT**

In this research paper, we tackled a project to build an optical spectrometer, which is a device used to measure the transmission of light through selected samples. Throughout the paper, we introduce what a spectrometer is, the different types we know, the process of building and programming it, and finally, the analysis of the purchased and custom-built spectrometer. In the experimental section of the research, we will place samples of various colors in front of the spectrometer, measure the light transmission, and create graphs with the obtained data to provide a clearer representation of our final conclusions.

**Key words:** Spectrometer, transmission, wavelength

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Vrste spektrometrov .....	1
1.1.1	<b>Optični spektrometer</b> .....	1
1.1.2	<b>Masni spektrometer</b> .....	2
1.1.3	<b>Spektrometer jedrske magnetne resonance (NMR-spektrometer)</b> .....	2
1.2	Transmisija in absorpcija .....	2
1.3	Kaj naš spektrometer meri? .....	3
<b>2</b>	<b>OSNOVNA ZGRADBA SPEKTROMETRA</b> .....	<b>3</b>
2.1	Koračni motorček .....	5
<b>3</b>	<b>DIFRAKCIJSKI ELEMENT</b> .....	<b>5</b>
3.1	Newtonova prizma .....	6
<b>4</b>	<b>IZDELAVA PREPROSTEGA SPEKTROMETRA</b> .....	<b>7</b>
4.1	Zakaj potrebujemo mavrico? .....	8
4.2	Kaj bi bilo idealno svetilo? .....	8
4.3	Postopek gradnje spektrometra .....	10
4.4	Seznam materiala za gradnjo spektrometra .....	11
4.5	Fizična zgradba spektrometra .....	11
4.6	Elektronska zgradba spektrometra .....	13
<b>5</b>	<b>ANALIZA DOMA NAREJENGA SPEKTROMETRA</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>PREDSTAVITEV KUPLJENEGA SPEKTROMETRA</b> .....	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>ANALIZA KUPLJENEGA SPEKTROMETRA</b> .....	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>24</b>
	<b>VIRI IN LITERATURA</b> .....	<b>25</b>

# 1 UVOD

Ko govorimo o spektrometru, govorimo o orodju, ki se uporablja pri merjenju variacije fizikalnih lastnosti v danem okolju. V našem primeru govorimo o optičnem spektrometru, ki meri spremembe absorpcije in emisije svetlobe z uporabo svetlobe z različnimi valovnimi dolžinami. [1]

V nalogi se bomo lotili dela z izdelavo preprostega spektrometra in ga bomo primerjali s komercialno rešitvijo. Za primerjavo bomo naredili različne preizkuse z obema spektrometroma in na podlagi rezultatov zapisali končno ugotovitev.

**Cilji:** Glavni cilj je videti, če se lahko ročno izdelani spektrometer primerja s kupljenim, poleg tega nam je osnovni cilj, da vidimo, če lahko sami izdelamo spektrometer.

**Hipoteza:** Predpostavljamo, da nam bo uspelo narediti spektrometer, ampak ne bo tako natančen, kot kupljeni.

## 1.1 Vrste spektrometrov

Spektrometer je naprava, ki kontinuirano meri ne-diskretno fizikalno značilnost, tako da jo razdeli v spekter njenih sestavnih delov. Študija teh podatkov je znana kot spektroskopija. Ko govorimo o spektrometru, ne govorimo o enem samem instrumentu, temveč poznamo več različnih vrst spektrometrov. [2]

### 1.1.1 Optični spektrometer

Optični spektrometer, znan tudi kot optični spektrofotometer ali spektrograf, je instrument, ki meri intenzivnost svetlobe pri različnih valovnih dolžinah elektromagnetnega spektra. Ta se običajno osredotoča na valovne dolžine znotraj območja vidne svetlobe (med 320-800 nm).

Z analiziranjem, kako svetloba vpliva na material ali vzorec, lahko optični spektrometri nudijo dragocene informacije o strukturi, sestavi in lastnostih materiala. Specifične valovne dolžine svetlobe, ki jih material absorbira, prenaša ali oddaja, bodo zagotovile vpogled njegove potencialne uporabe.

Za merjenje intenzivnosti pri različnih valovnih dolžinah mora spektrometer najprej izolirati svetlobni signal, ga razdeliti v komponente valovne dolžine in na koncu izmeriti intenzivnosti. [3]

### 1.1.2 Masni spektrometer

Masni spektrometer je naprava, ki proizvaja masni spekter, kar je vizualni prikaz posameznih masnih spektrov molekul v vzorcu. Od zgodnje različice je bilo razvitih več vrst masnih spektrometrov za zadovoljitev številnih raziskovalnih potreb.

Danes se masni spektrometri pogosto uporabljajo v bioloških znanostih za analizo proteinov, peptidov in aminokislin. Igrajo ključno vlogo v aplikacijah, kot so sekvenciranje DNK, okoliške analize in forenzične preiskave. Masna spektrometrija se prav tako pogosto uporablja v panogah, kot so farmacija, biotehnologija in celo kozmetika. [4]

### 1.1.3 Spektrometer jedrske magnetne resonance (NMR-spektrometer)

NMR spektroskopija deluje tako, da spreminja frekvenco, ki jo naprava oddaja v majhnem območju, medtem ko se vzorec nahaja v konstantnem magnetnem polju. Večina magnetov, ki se uporabljajo v NMR napravah za ustvarjanje magnetnega polja, ima moč od 6 do 24 T. Vzorec je postavljen znotraj magneta in obdan s superprevodnimi tuljavami, nato pa je izpostavljen frekvenci iz vira radijskih valov. Detektor nato interpretira rezultate in jih pošlje na glavno konzolo. [5]

## 1.2 Transmisija in absorpcija

Absorpcijski in transmissijski spektri predstavljajo enakovredne informacije in enega je mogoče izračunati iz drugega z matematično transformacijo. Transmissijski spekter bo imel največjo intenzivnost na valovnih dolžinah, kjer je absorpcija najšibkejša, ker se skozi vzorec prenaša več svetlobe in obratno. Označita se z A (absorpcija) in s T (transmisija).

Vsota transmisije in absorpcije je enaka svetlobi, katero vir svetlobe oddaja.

Transmisija je razmerje med intenzivnostjo transmisije (I) in intenzivnostjo oddajanja svetlobe ( $I_0$ ).

$$T = \frac{I}{I_0} \quad 1$$

Običajno se jo zapisuje kot procent:

$$T(\%) = 100 \frac{I}{I_0} \quad 2$$

Absorpcija raztopine A je povezana s prepustnostjo ter vpadnimi in prenesenimi intenzivnostmi skozi naslednje razmerje:

$$A = -\log_{10}T = \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad 3$$

Lahko se tudi izračuna kot:

$$A = \epsilon cl \quad 4$$

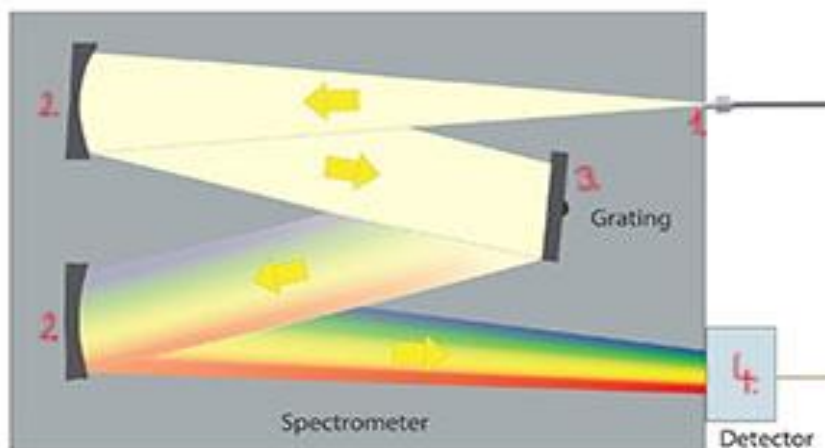
Pri čemur je ( $\epsilon$ ) koeficient molarne absorpcije, ( $c$ ) molarna koncentracija in ( $l$ ) dolžina poti žarka. [9]

### **1.3 Kaj naš spektrometer meri?**

Naš spektrometer je optični spektrometer, ki smo ga že opisali v poglavju 1.1.1, zdaj pa bomo še natančneje opisali, kaj meri. Naš spektrometer meri lastnosti svetlobe, običajno blizu optičnega območja v elektromagnetnem spektru, tj. ultravijolično, vidno in infrardečo svetlobo. Sprememba absorpcije in oddajanja svetlobe z valovno dolžino omogoča identifikacijo materialov. Transmisijski optični spektrometer se uporablja za merjenje absorpcije (ali odbojnosti/prepustnosti/emisije) vzorca v bližnjem UV-območju v celotnem vidnem območju spektra.

## **2 OSNOVNA ZGRADBA SPEKTROMETRA**

Spektrometri so lahko zgrajeni na preprost ali zahtevnejši način. V našem delu smo se lotili zgradbe preprostega spektrometra, ki je zgrajen samo iz parih delov. Zahtevnejša spektrometra sta Czerny-Turner spektrometer in Echelle Spektrometer, ki se uporabljata pri raziskovanju na višji stopnji.



*Slika 1 Osnovna zgradba spektrometra [14]*

Če pogledamo sliko osnovnega spektrometra, lahko prečudovito vidimo, kako deluje večina optičnih spektrometrov. V prvem delu je vir svetlobe, ki je močno odvisen od eksperimentalnih potreb. Primeri so laserji, HgAr kalibracijske svetilke, deuterijske svetilke in svetlobno sevanje vzorcev.

Pod drugim delom je toroidno ogledalo, ki se uporablja za kolimacijo svetlobe iz reže in njeno usmerjanje v difrakcijski element ter za fokusiranje razpršene svetlobe iz difrakcijskega elementa na detektor. Po navadi se uporabijo v spektrometru večkrat. Prvič usmerijo vir svetlobe v difrakcijski element in drugič v detektor (izbira materiala/pokrivne plasti ogledala lahko vpliva na učinkovitost prenosa svetlobe skozi spektrograf).

Pred uporabo toroidnega ogledala lahko še uporabimo preklopno ogledalo, ki ni obvezno, a pri naprednih optičnih spektrometrih zelo zaželeno. Uporablja se za preklapljanje med direktnimi in stranskimi vhodi in izhodi, ko se zahteva hitro preklapljanje med več eksperimentalnimi nastavitvami.

In še detektor ali kamera. Ko je svetloba v spektrografu ločena po valovni dolžini, je običajno potrebno to svetlobo izmeriti z detektorjem ali kamero. Izbira detektorja/kamere je močno odvisna od eksperimentalnih potreb. Dejavniki, ki lahko vplivajo na izbiro detektorja/kamere, vključujejo občutljivost na svetlobo, časovni način, hitrost zajemanja, spektralni obseg, širino/višino detektorja. [6]

## 2.1 Koračni motorček

Koračni motor je električni motor, katerega glavna značilnost je, da se njegova gred vrti korakasto, to je s premikanjem za določeno število stopinj. Ta funkcija je dosežena zaradi notranje strukture motorja in omogoča poznavanje natančnega kotnega položaja gredi s preprostim štetjem, koliko korakov je bilo izvedenih, brez potrebe po senzorju. Zaradi te funkcije je primeren za veliko število primerov.

Kot vsi elektromotorji imajo tudi koračni motorji stacionarni del (stator) in gibljivi del (rotor). Na statorju so zobci, na katere so napeljene tuljave, medtem ko je rotor bodisi trajni magnet bodisi železno jedro s spremenljivo upornostjo. [13] Primeren je tudi za spektrometer.

Uporabimo ga za premikanje ogledala, ki rotira mavrico okoli in do senzorja, da lahko merimo barvo, saj se bo vrtel in senzorju omogočil branje svetlobe. Motor mora biti postavljen primerno za obračanje mavrice ter za odbijanje mavrice do senzorja. Dovolj nam, da nastavimo, kako hitro se bo ogledalo vrtelo, kar določa, kako dolgo bo trajalo, da mavrica pride do senzorja (hitreje pomeni pogosteje), ter kako dolgo bosta vsak odtenek mavrice ter cela mavrica pri senzorju (počasneje pomeni, da bo vsak odtenek dlje na senzorju). Hitrejše in počasnejše premikanje motorja imata svoje prednosti in slabosti.

## 3 DIFRAKCIJSKI ELEMENT

Monokromator uporablja pojav optične disperzije v prizmi ali uklon od uklonske mreže, da izbere določeno valovno dolžino svetlobe.

To je lahko prizma ali uklonska mrežica. Dandanes se uporablja uklonska mrežica pogosteje kot prizma zaradi mnogih prednosti.

Ko svetloba zadane uklonsko mrežo, se vsaka valovna dolžina odbije drugače oz. pod drugačnim kotom. Za določanje različnih valovnih dolžin se uporabljajo različne velikosti uklonskih mrež.

Rešetke so na splošno boljše od prizm – so učinkovitejše, zagotavljajo linearno razpršitev valovnih dolžin in nimajo absorpcijskih učinkov, ki jih imajo prizme, kar omejuje njihovo uporabno območje valovnih dolžin.

Najenostavnejša vrsta mrežice je tista z velikim številom enakomerno razporejenih vzporednih rež. Ko bela svetloba vstopi v rešetko, se komponente svetlobe uklonijo pod koti, ki so določeni

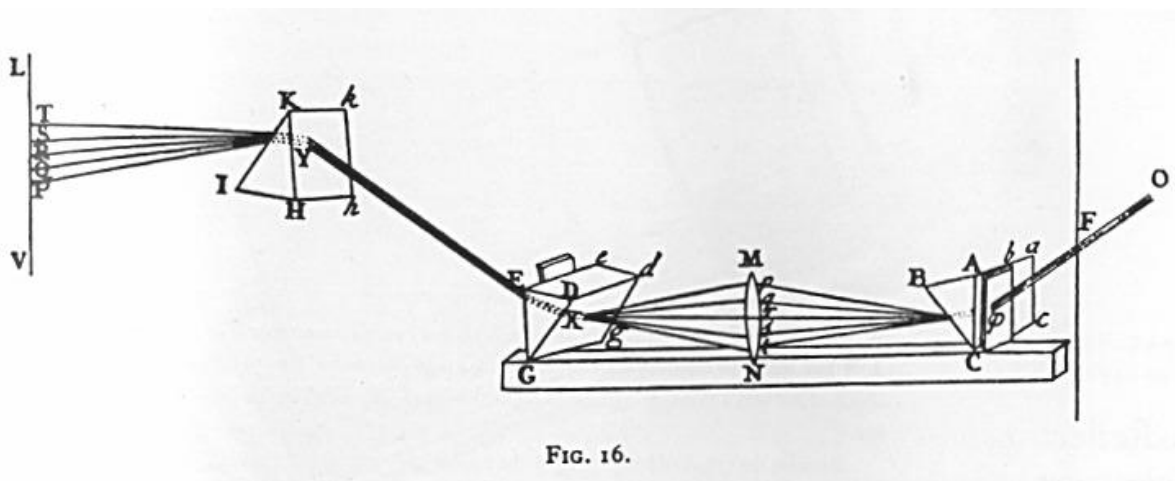
z ustreznimi valovnimi dolžinami (uklon). Izbira ojačane svetlobe omogoča izbiro zelene valovne dolžine. Pri vzporednih žarkih, ki vstopijo v sosednje reže, je svetloba okrepljena, ko je razlika optične poti večkratnik valovne dolžine. Svetloba iz vseh rež je okrepljena na enak način, da proizvede "difrakcijsko svetlobo".

Rešetka izkorišča Huygensovo načelo. Huygensovo načelo navaja, da vsaka točka na valovni fronti deluje kot vir sekundarnih valov. Valovna fronta v kateremkoli naslednjem trenutku je ovojnica sekundarnih valčkov. Huygensovo načelo se nato uporabi za razvoj geometrijske optike, ki se ukvarja z lastnostmi oblikovanja slike zrcal in leč.

$$d = vt \quad (1)$$

Enačba zakona je navedena zgoraj, kjer je  $d$  razdalja, katero žarki prepotujejo,  $v$  in  $t$  sta pa hitrost in čas, ki ju za to razdaljo potrebujejo.

### 3.1 Newtonova prizma



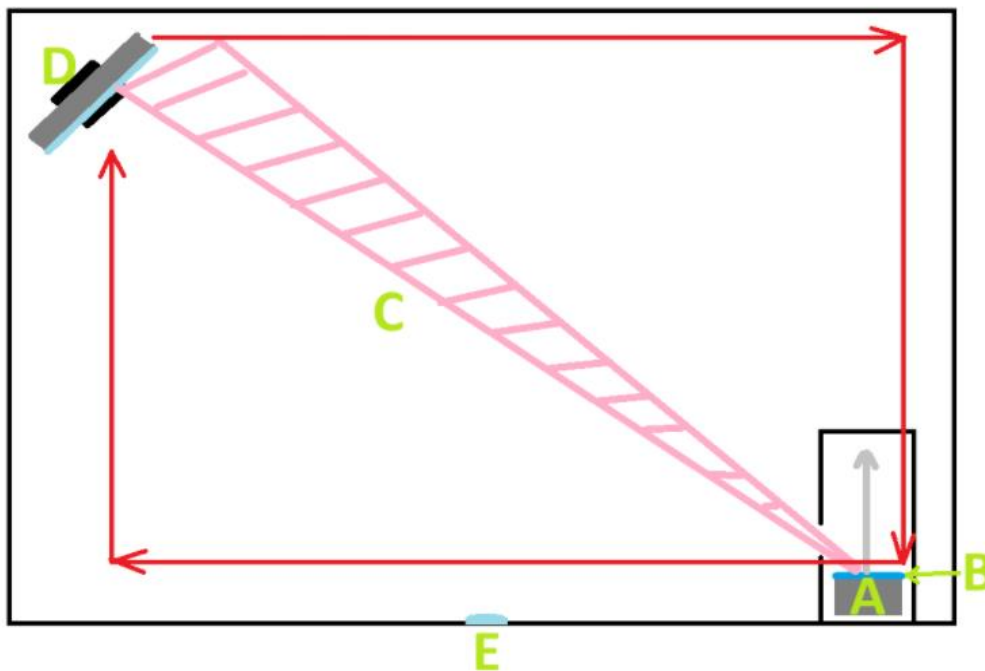
Slika 2 Newtonova prizma [10]

Newtonov eksperiment Crucis je bil Newtonov dokaz, da je bela svetloba sestavljena iz barvne svetlobe, ne pa da je različno obarvana svetloba posledica različne hitrosti skozi medij. V številnih različicah tega poskusa je Newton dovolil, da je žarek svetlobe (O) iz luknje v okenskem polknu (F) padel na stekleno prizmo (ABC); Spekter svetlobe (PQRS) je osredotočen s konveksno lečo (MN) in prehaja skozi drugo prizmo (DEG). Ta druga prizma je rekonstituirala spekter kot žarek bele svetlobe (Y), ki je bil nato difraktiran skozi tretjo prizmo (HIK) in ponovno razdeljen na komponente (PQRST), projicirane na beli zaslon (LV). [10]

Newton je našel 3 probleme z “navadnimi prizmami” – njihove majhne kote, lomne moči, obarvanost in popačenost z mehurčki ter žilami. Zato je potreboval posebne prizme za dokaz svojih spoznanj, saj ni uporabljal nepopolnih prizm. Njegova druga prizma ni bila veliko drugačna od prve, skupaj z režo, skozi katero se prevaja svetloba ene barve od loma. Moral je uporabiti širše prizme od tistih iz visoko poliranih steklenih plošč. Poleg tega so v celoti iz stekla in zelene ali rumene barve. [11]

#### 4 IZDELAVA PREPROSTEGA SPEKTROMETRA

Preden začetkom gradnje preprostega optičnega spektrometra smo naredili načrt na kos papirja, katerega smo potem razširili še na računalniku. S časom in napredkom sklepamo, da se bo načrt spreminjal ali v obliki ali pa delih, uporabljenih v spektrometru samem.



Slika 3 Načrt našega spektrometra

Na našem načrtu lahko vidimo različne komponente, ki so omenjene že v drugem poglavju. Postavitev se začne na spodnji desni strani, kjer bomo postavil vir svetlobe, v našem primeru diodo (A). Na vir svetlobe je pretirjen difrakcijski element, v našem primeru uklonska mrežica (B), ki belo svetlobo razprši na več barv (mavrico). Razpršena bela svetloba (C) se pod kotom odbije do ogledala, ki je pripeto na motorček (D) na desni zgornji strani. Ogledalo se počasi premika v smeri urinega kazalca in pelje okoli ohišja. Spodaj na sredi se nahaja detektor (E), ki reagira na različne jakosti svetlobe in na vsakem koraku motorja to jakost tudi izmeri in zapiše.

## 4.1 Zakaj potrebujemo mavrico?

Mavrica nastane, ko se žarek bele svetlobe razkloni v barve, na primer s prizmo. Oblikovane barve so razvrščene glede na njihovo valovno dolžino. Ko znanstveniki gledajo mavrico, preučijo, kako intenzivna je svetloba v vsaki barvi.

Pri stiku med predmetom in svetlobo se nekatere barve odbijejo, nekatere pa predmet absorbira.

Ko material pride v kontakt s svetlobo, lahko na podlagi svetlobe, ki gre skozi predmet, oziroma tiste svetlobe, ki se v njem absorbira, prepoznamo njegove lastnosti. To je kot poseben prstni odtis za vsak element in molekulo. S preučevanjem intenzivnosti svetlobe v vsaki barvi lahko ugotovimo lastnosti materiala, kot so kemijska struktura, barva, itd. [8]

## 4.2 Kaj bi bilo idealno svetilo?

Ko govorimo o »idealnem« svetilu v spektrometru, moramo najprej upoštevati različne dejavnike, ki vplivajo na izbiro. Med njimi so vrsta meritev, ki jih izvajamo s spektrometrom, višina sredstev, ki smo jih pripravljene vložiti v svetilo, ter varnostni pogoji v laboratoriju. Izraz »idealno svetilo« je namreč zelo močan, saj popolnega svetila v resnici ni – vsako ima svoje prednosti in slabosti.

Če si ogledamo svetilo, ki smo ga izbrali, opazimo, da ima dolgo življenjsko dobo, nizko ceno ter je primerno za merjenje absorpcije, prenosa in odbojnosti. Njegov emisijski spekter obsega približno 360 nm do 900 nm, pripravljalni čas je kratek, obenem pa je razmeroma varno za uporabo.

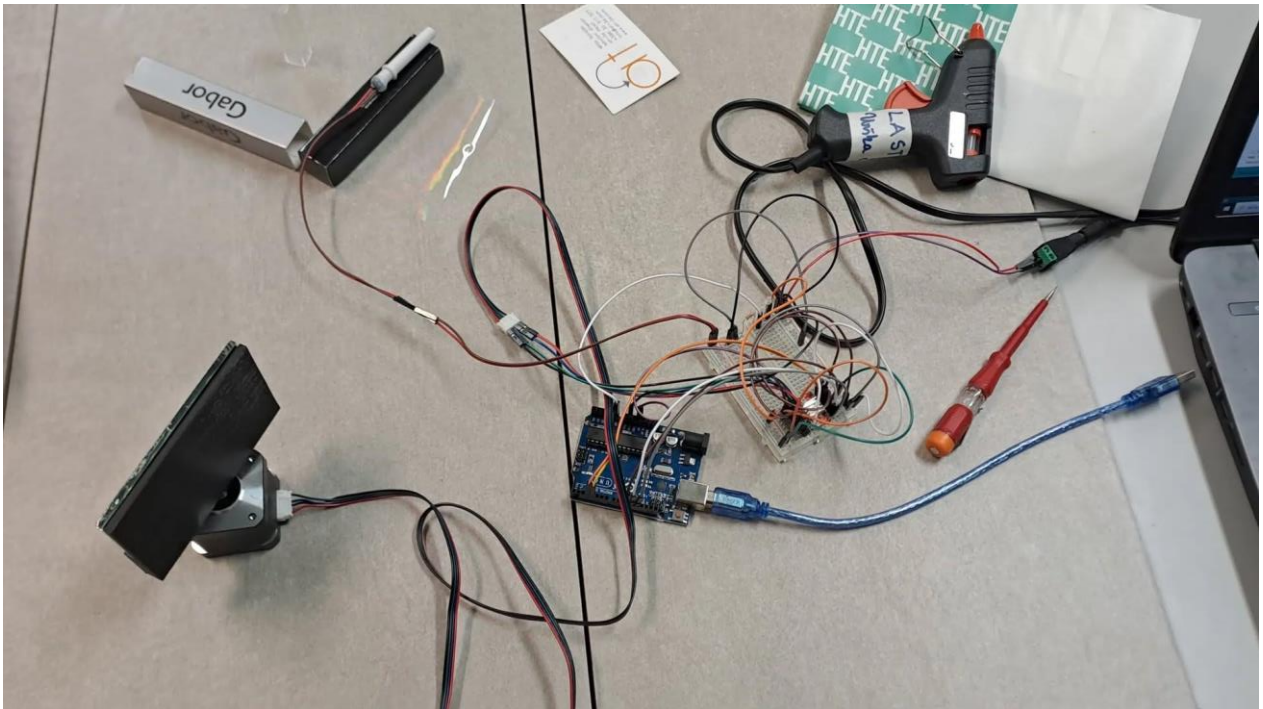
Zelo dobra izbira in najboljši približek »idealnemu« svetilu je devterijevo-volframov halogenski svetlobni vir, ki je namenjen enakim meritvam, vendar ponuja širši emisijski spekter (od 190 nm do 2200 nm). Potrebuje približno eno uro, da se ogreje, njegova cena pa se giblje med 4000 in 5000 evri. Je varnejši, saj ima temperaturno kontrolo, ki preprečuje pregrevanje.

Kot alternativo bi lahko uporabili tudi laserje, toda zaradi višje cene (od 1000 do 6000 evrov) in varnostnih razlogov te možnosti nismo izbrali. Laser je sicer zelo uporaben zaradi svoje majhne površine svetilnosti, kar omogoča bolj natančno merjenje absorpcije. V našem primeru smo morali pokriti velik del svetila, da smo se sploh približali rezultatu, ki ga zagotavlja laser. [7]

	Dioda	Enobarvni LED svetlobni vir	Laserji
Vrsta	Širokopasovni	Enobarven	Enobarven
Prednosti	Dolga življenjska doba	Dolga življenjska doba	Intenzivna moč
Cena	Cenovno ugoden	Cenovno ugoden	Cenovno neugoden
Emisijski spekter	360 nm-900 nm	370 nm-700 nm	Dobro opredeljena emisija
Pripravljalni čas	Minimalno	Minimalno	5-60 min
Temperaturna kontrola	Ne	Ne	V večini primerov
Varnostna grožnja	Nizka	Nizka	Visoka

Tabela 1 Primerjava različnih svetil

### 4.3 Postopek gradnje spektrometra



*Slika 4 Gradnja spektrometra*

Da bomo lahko začeli s primerjavo, smo najprej izdelali preprost spektrometer. Izdelavo smo izvedli v skladu s prej pripravljenim načrtom, vendar z nekaj manjšimi prilagoditvami. Gradnjo smo začeli tako, da smo eno polovico škatle privzdignili na višino ogledala.

V skrajni desni spodnji kot smo postavili šibkejšo belo LED-žarnico, vstavljen v črno slamico, s čimer smo svetlobo usmerili in zmanjšali njeno površino. Zaradi prešibke svetilnosti smo diodo najprej zamenjali z manj močno žarnico, nato pa to zamenjali za LED-lučko. Zaradi že navedenih razlogov v poglavju 4.2 smo se na koncu odločili prav za to svetilo.

Na svetilo smo pritrčili uklonsko mrežico, ki je belo svetlobo razpršila v mavrico. Kasneje smo ugotovili, da ostanki bele svetlobe motijo senzor in izkrivljajo podatke, zato smo svetilo ovili v majhno škatlico in jo pritrčili na dno, da smo omejili prepuščanje nepotrebne svetlobe. Na levi strani te škatlice je majhna rešetka, ki omogoča prehod mavrice do ogledala.

Na zgornji levi strani smo namestili koračni motorček, ki se vrti v smeri urinega kazalca. Nanj smo pritrčili ogledalo dimenzij  $10 \times 4$  cm in ga dodatno z močnim lepilom pritrčili na tla, da se meritve ne bi spreminjale. Ko mavrica doseže ogledalo, se nato »zapelje« okoli škatle, dokler ne opravi celotnega kroga.

Na polovici krožne poti se nahaja senzor, ki zaznava moč svetilnosti. Na podlagi teh meritev lahko določimo, koliko svetlobe je posamezen vzorec absorbiral, kar nam razkrije njegovo kemijsko sestavo. Senzor pošilja vse podatke v testno vezno ploščo, ta jih nato posreduje mikroračunalniku, ki jih naprej pošlje v računalnik. Računalnik nazadnje izriše graf, iz katerega razberemo kemijsko sestavo vzorca.

#### **4.4 Seznam materiala za gradnjo spektrometra**

- KORAČNI MOTOR 12V 1.5A 0.42 Nm 1.8° 17HS0423\_x000D\_BIPLOR 42x42x24 MM (x1)
- LED 5 MM BELA 12-14cd 3.0-3.2V (x1)
- RAZVOJNA PLOŠČA FUNDUINO (ARDUINO UN R3) (x1)
- KOMLET ŽIC S PINI (M/M) 20 cmX10 barv (mavrica) (x8)
- KOMPLET ŽIC S PINI (M/Ž) 20 cmX10 barv (mavrica) (x8)
- TESTNA PLOŠČA 400 KONTAKTOV (x1)
- BAT.VTIČNICA 5.5/2.1 MM NA VIJAČNE SPONK (x1)
- UPOR 1/4w 5% E24 – RAZLIČNE VREDNOSTI (x50)
- NAPAJNIK 12 V 5A (x1)
- MODUL KONTROLER KORAČNEGA MOTORJA A4988 (x1)
- FOTOTRANZISTOR 3 MM (940 nm) 30° LL-304PTC4B-1AD (x1)
- MODUL SVETLOBNI SENZOR ZA ARDUINO\_x000D\_ SVETLOBNO STIKALO 12 (x1)
- Ogledalo 10x4 cm (x1)

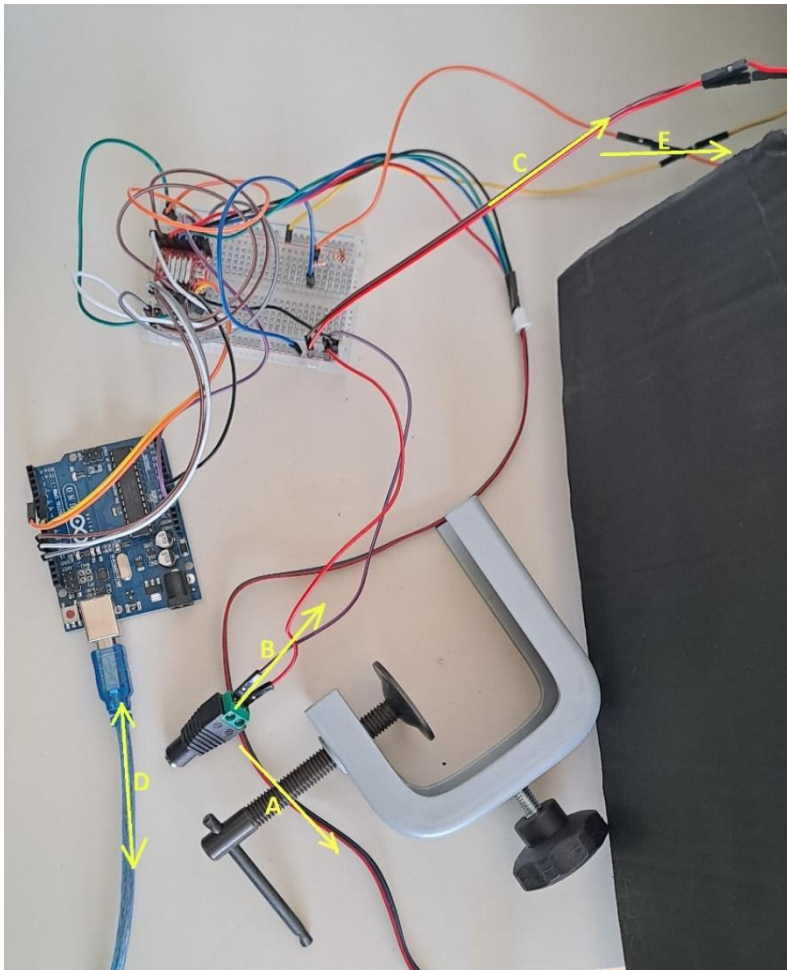
#### **4.5 Fizična zgradba spektrometra**

Spektrometer se deli na dva glavna dela. Eden od teh je zunanji, drugi pa elektronski. V poglavju 4.3 smo že opisali zunanji del, v tem poglavju pa bomo podrobneje opisali posamične dele, ki smo jih navedli v poglavju 4.4.



*Slika 5 Notranja zgradba spektrometra*

Na sliki lahko vidimo spektrometer, postavljen v škatli, kjer je pod točko (A) označen vir svetlobe, na katerega je prilepljen difrakcijski element (uklonska mrežica). Difrakcijski element razdre belo barvo na mavrico (B), ki pod kotom leti na levo stran proti motorčku z ogledalom (C), ki se vrti v smeri urnega kazalca. Ogledalo mavrico pošlje naokoli po škatli (D) do sensorja, pred katerim lahko postavimo vzorec (E).



*Slika 6 Zunanja zgradba spektrometra*

Na sliki se nahaja smer toka v zunanji zgradbi spektrometra, kjer lahko vidimo, od kje dobijo posamične komponente svojo napetost. Pod črko (A) je vir napetosti, ki pelje do koračnega motorčka skozi 4 kable. Skozi kable, označene pod črko (B), prihaja elektrika v testno vezno ploščo, ki napaja motorček, senzor in vir svetlobe. Vir svetlobe dobiva svojo napetost skozi kabel označen s (C) in prihaja s testne vezne plošče. Senzor dobiva svojo napetost skozi kable označene z (E), ki smo ga tudi podaljšali. Kabel, označen z (D), povezuje mikroračunalnik z računalnikom, ki omogoča delovanje kode s preostalimi komponenti.

#### **4.6 Elektronska zgradba spektrometra**

Drugi glavni del zgradbe je elektronski del, kjer smo na testni vezni plošči in mikroračunalniku zvezali kable. Mikroračunalnik smo povezali z računalnikom, kjer smo na programu Arduino IDE ustvarili programsko kodo za posamezne komponente in smo preko tega programa dobili končne rezultate v obliki grafov.

Tukaj je koda, ki smo jo uporabili v Arduino:

```

// Pin assignments
const int dirPin = 2; // Direction
const int stepPin = 3; // Step
const int ms1Pin = 13; // MS1
const int ms2Pin = 12; // MS2
const int ms3Pin = 11; // MS3
const int sensorPin = A5; // Light sensor

// Delay in microseconds for each half-step (HIGH then LOW).
// stepDelay=12000 => 12,000 μs (~12 ms) per half-step => ~24 ms total per full step = ~42 steps/sec
unsigned int stepDelay = 100000;

// We'll only print/read sensor every 'printInterval' steps.
const unsigned long printInterval = 1;

// Counters
unsigned long stepCount = 0;
unsigned long lastSensorStep = 0;

void setup() {
  // Configure microstepping pins
  pinMode(ms1Pin, OUTPUT);
  pinMode(ms2Pin, OUTPUT);
  pinMode(ms3Pin, OUTPUT);

  // Set them HIGH for 1/16 microstepping (common on A4988/DRV8825):
  digitalWrite(ms1Pin, HIGH);
  digitalWrite(ms2Pin, HIGH);
  digitalWrite(ms3Pin, HIGH);

  // Configure STEP, DIR as outputs
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);

  // Spin in one direction forever
  digitalWrite(dirPin, HIGH);

  // Start serial for sensor output
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Step pin HIGH
  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(stepDelay);

  // Step pin LOW
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delayMicroseconds(stepDelay);
}

```

```

// Increment step counter
stepCount++;

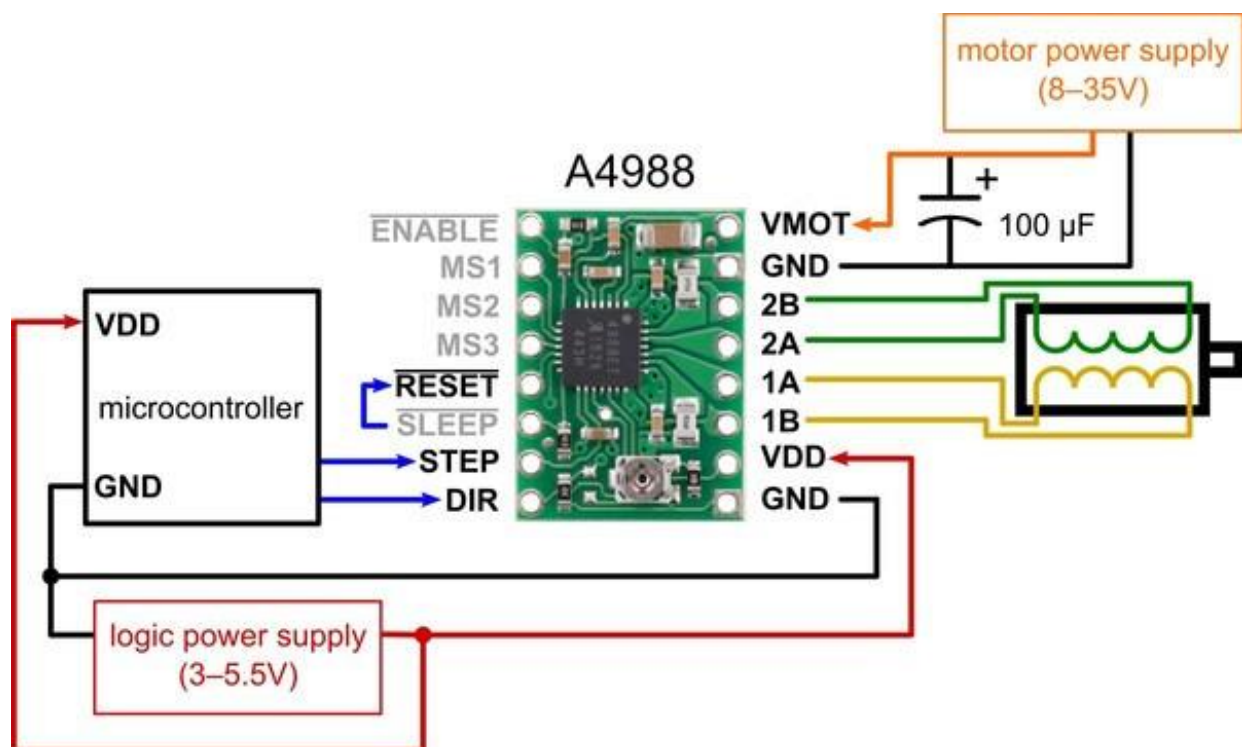
// Read & print sensor data every 'printInterval' steps
if (stepCount - lastSensorStep >= printInterval) {
  lastSensorStep = stepCount;

  int sensorValue = analogRead(sensorPin);

  Serial.print("Step: ");
  Serial.print(stepCount);
  Serial.print(" | Sensor: ");
  Serial.println(sensorValue);
}
}

```

Na podlagi spodnjega načrta smo povezali vezje na mikroračunalniku z motorčkom.



Slika 7 Načrt vezja modula kontrolorja koračnega motorčka z motorčkom [15]



*Slika 8 Vezava na mikroračunalniku*



*Slika 9 Vezava na testni vezni plošči*

Na sliki 8 lahko vidimo vezje na mikroračunalniku in na sliki 9 na testni vezni plošči, ki omogoča delovanje posameznega komponenta v spektrometru. Pod točko (A) je vezje za

motorček, ki je vezan na testno vezno ploščo (h3, h4, h5, h6). Pod točko (B) je vezava za svetilo, ki se veže na testni vezni plošči v (+12V in -12V). Pod točko (C) je vezano v tesno vezno ploščo senzor v (j30 in +12V). Pod točko (D) je vezano v testno vezno ploščo vir energije (+12V in -12V). Pod točko (E) je v testni vezni plošči vezan modul kontrolorja koračnega motorja v (g1, g8, d1, d8).

## **5 ANALIZA DOMA NAREJENGA SPEKTROMETRA**

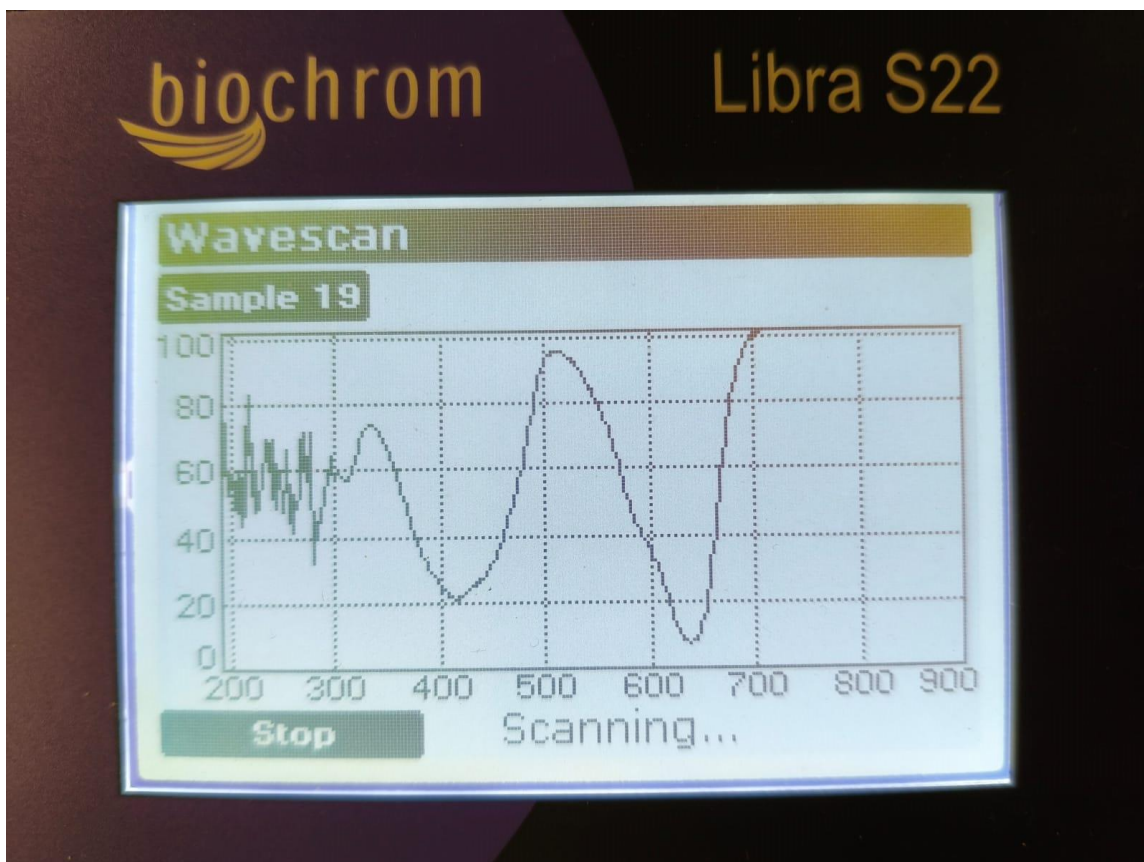
Spektrometer, ki smo ga izdelali, smo v hipotezi že predvideli kot manj učinkovitega. Za preverjanje zmogljivosti spektrometra smo preverili tri različne vzorce. Preverili smo vzorce z barvami Pink E122, Modra 06 063, Rum Rjava 06 064, Majska zelena 06 062 ter z vzorcem destilirane vode, ki bo opravljal nalogo kontrole. Vsak vzorec smo postavili pred senzor posamično in aktivirali spektrometer. Dobljeni rezultati so nam omogočili videti približno barvno sestavo vzorca. Zaradi različnih faktorjev, kot so dodatna svetloba od svetila ter izven škatle, premalo intenzivno svetilo ter premajhen in premalo intenziven senzor, nismo mogli konstantno nadzorovati valovne dolžine. Torej valovno dolžino, kot bomo kasneje videli pri komercialnem spektrometru, moramo nadzorovati za konstantne rezultate. Lahko jo nadzorujemo na 2 nm, 10 nm ali več – odvisno od zahtev raziskave. Nadzorovanje je zelo pomembno, saj na takšen način dobimo najboljši prikaz kemijske ali v našem primeru barvne sestave.

## **6 PREDSTAVITEV KUPLJENEGA SPEKTROMETRA**

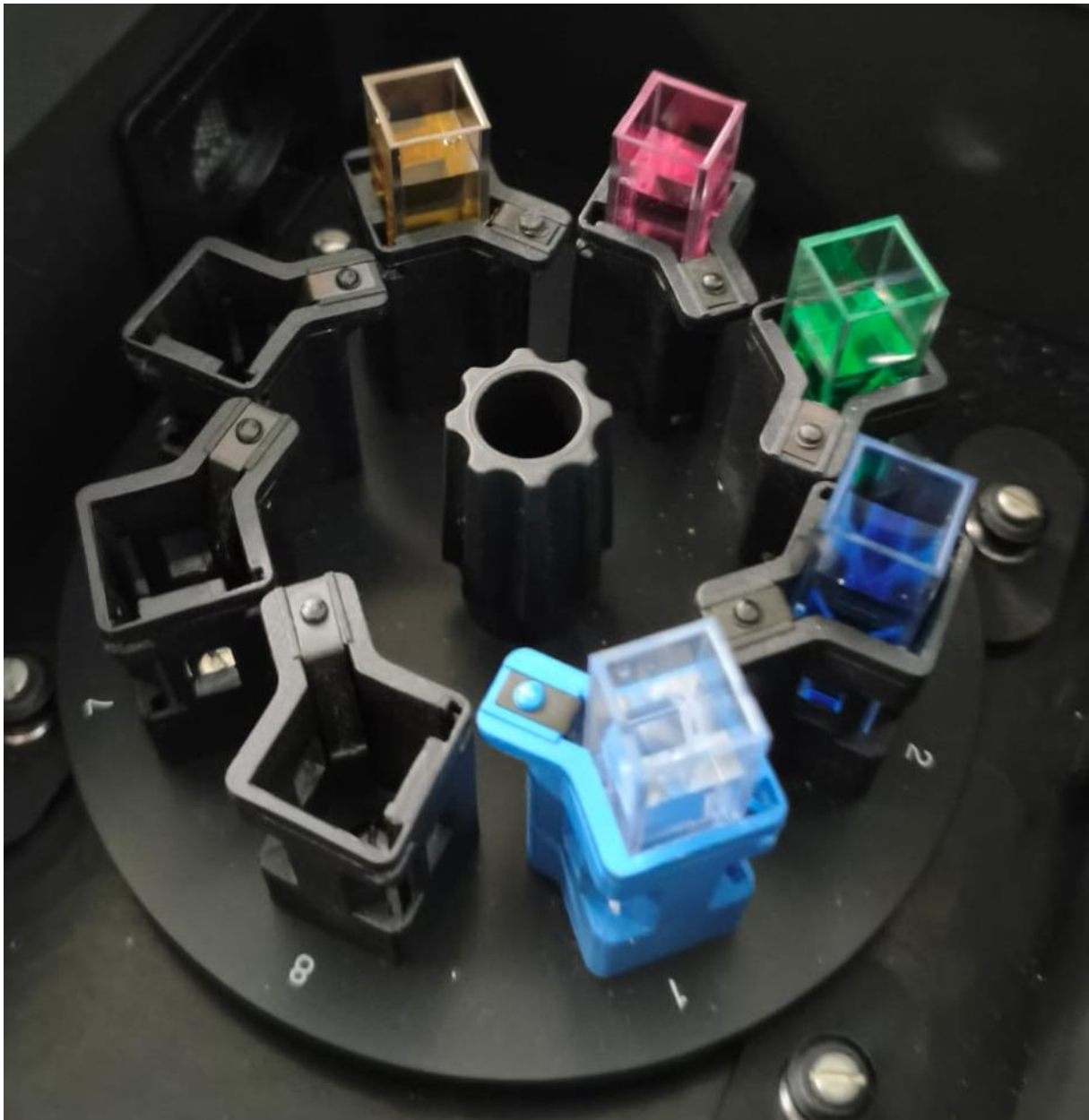
Za preverjanje točnosti našega spektrometra smo uporabili spektrometer za industrijske namene, ki lahko preveri transmisijo vzorca do dva nanometra natančno. Pri preverjanju natančnosti in eksperimentu samem smo uporabili štiri različno obarvane vzorce in eno kontrolo z destilirano vodo, ki omogoča, da se spektrometer kalibrira. Med barvili smo imeli Modro 06 063, Rum rjavo 06 064, Majska zeleno 06 062 in Pink E122, ki smo jih izbrali zaradi velike raznolikosti v odtenku. Vse barve smo koncentrirali z destilirano vodo tako, da so malo svetlejše od pričakovanega, a za voljo eksperimenta ni tako pomembno. V spektrometer smo najprej dali kontrolo, da se spektrometer kalibrira in nato smo postavili 4 vzorce že prej omenjenih barov, brali smo vzorce po vrsti od 300 nm do 900 nm po 10 nm razlike, torej vse skupaj 60 podatkov za vsak vzorec. Dobili smo podatke o transmisiji, na podlagi katerih smo lahko narisali grafe, iz katerih smo razbrali, katere odtenke lahko najbolj opazimo.



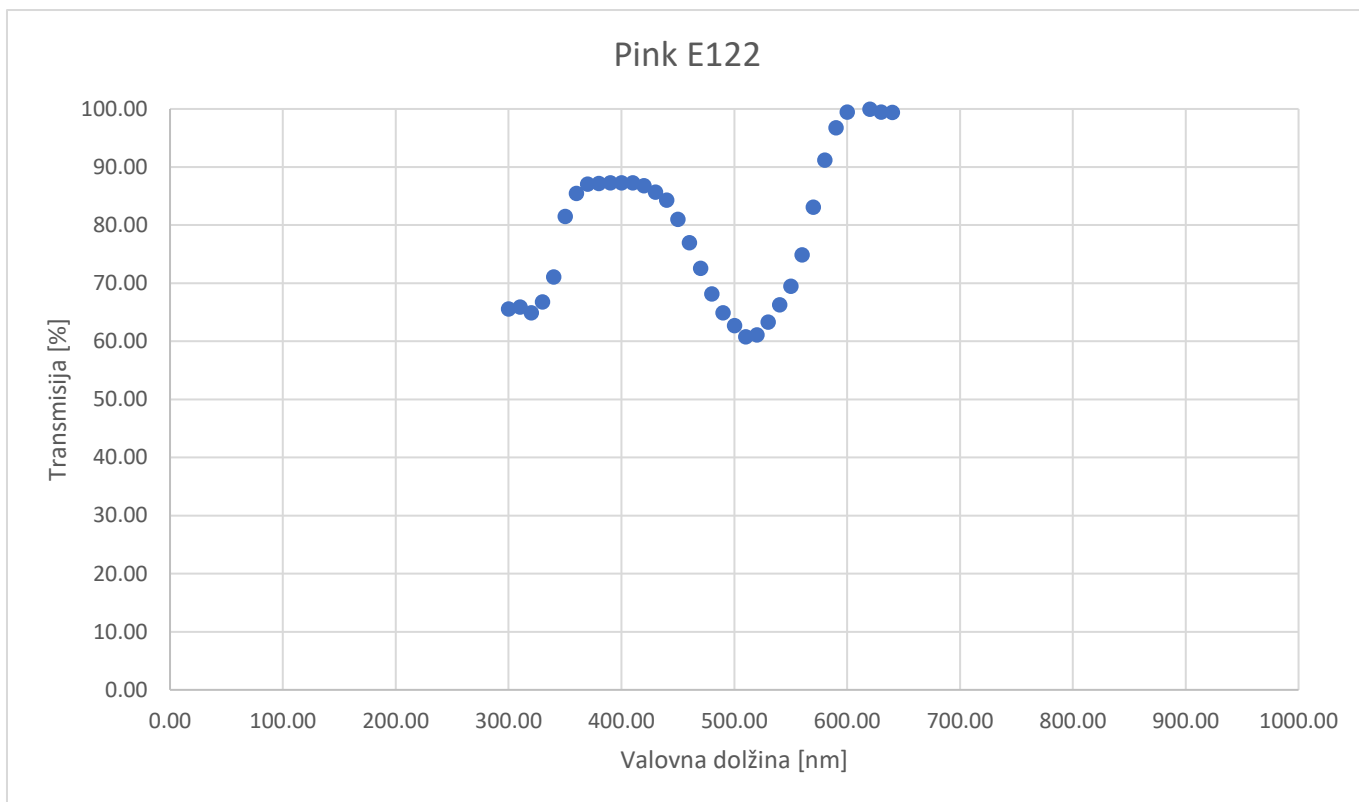
Slika 10 Kupljeni spektrometer



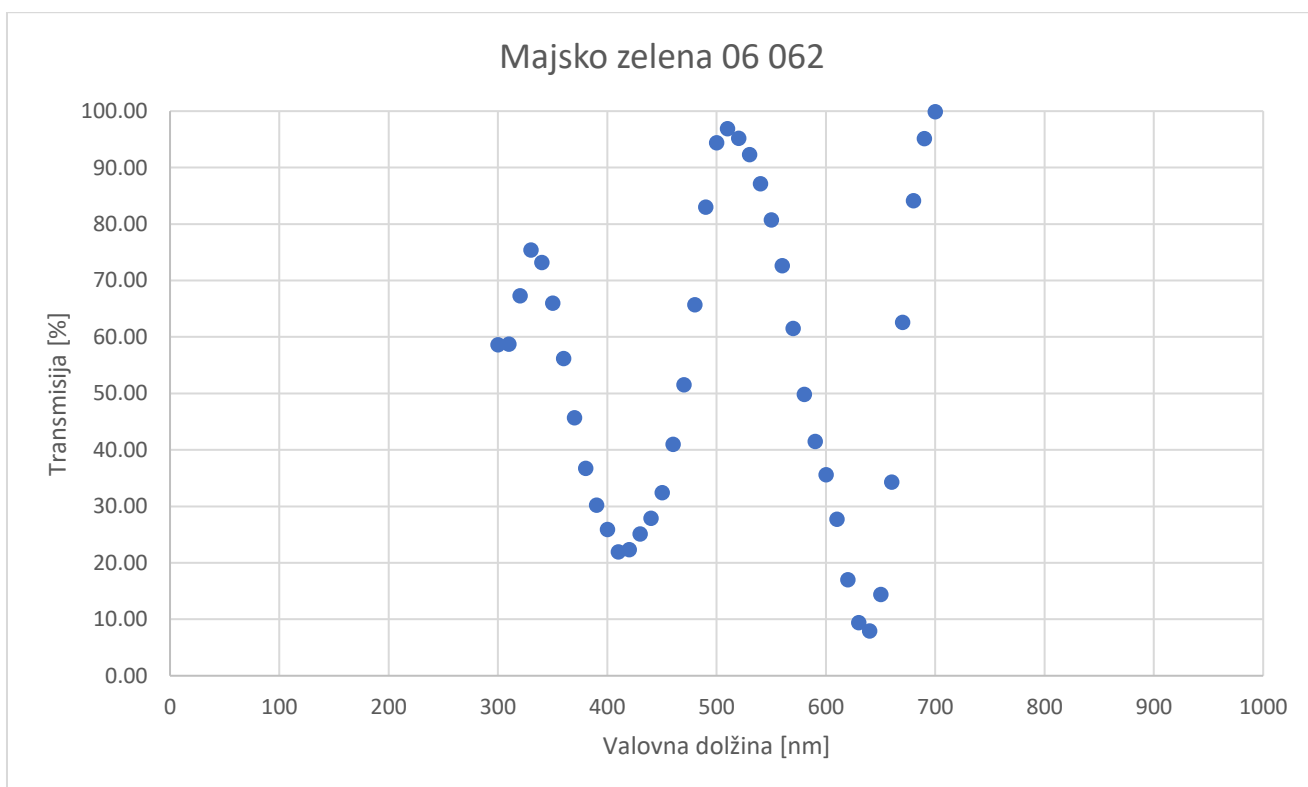
Slika 11 Graf prikazan na spektrometru



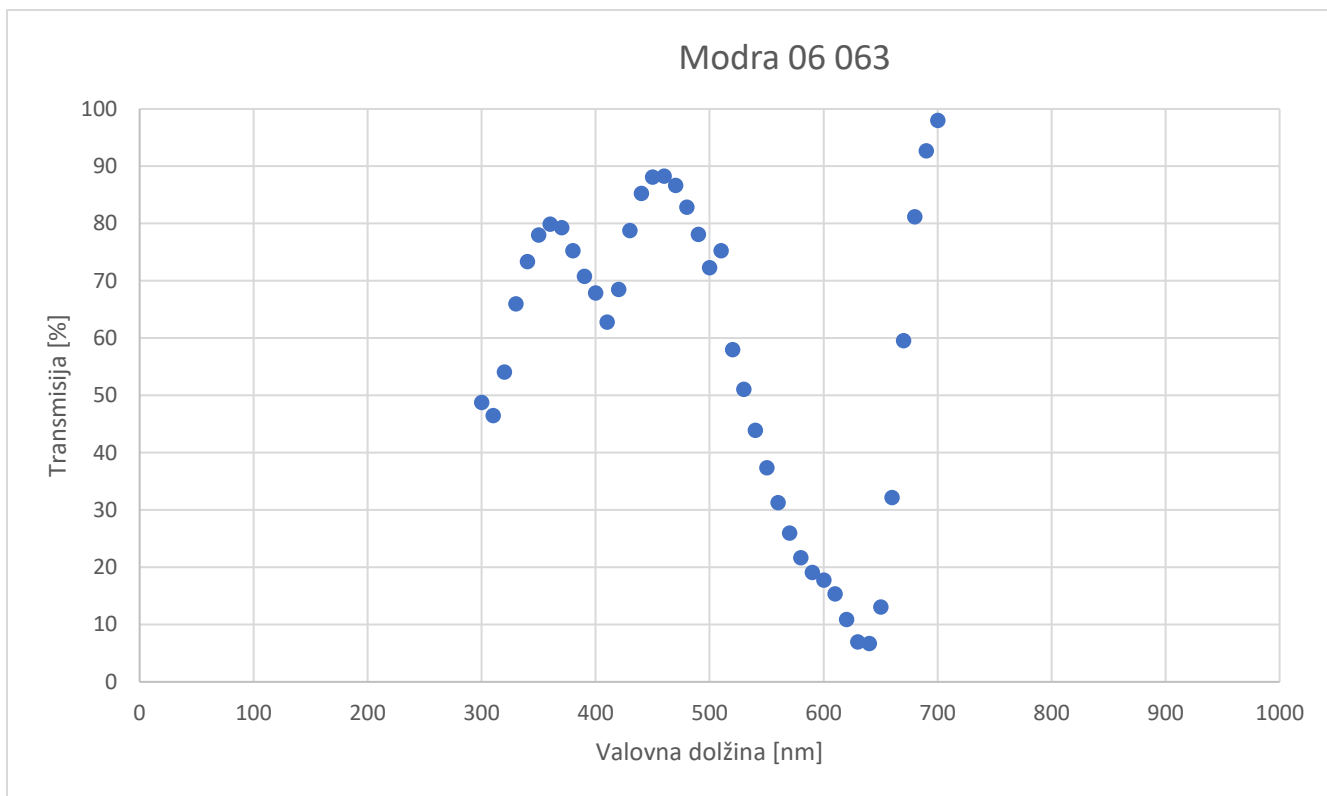
Slika 12 Vzorci v industrijskem spektrometru



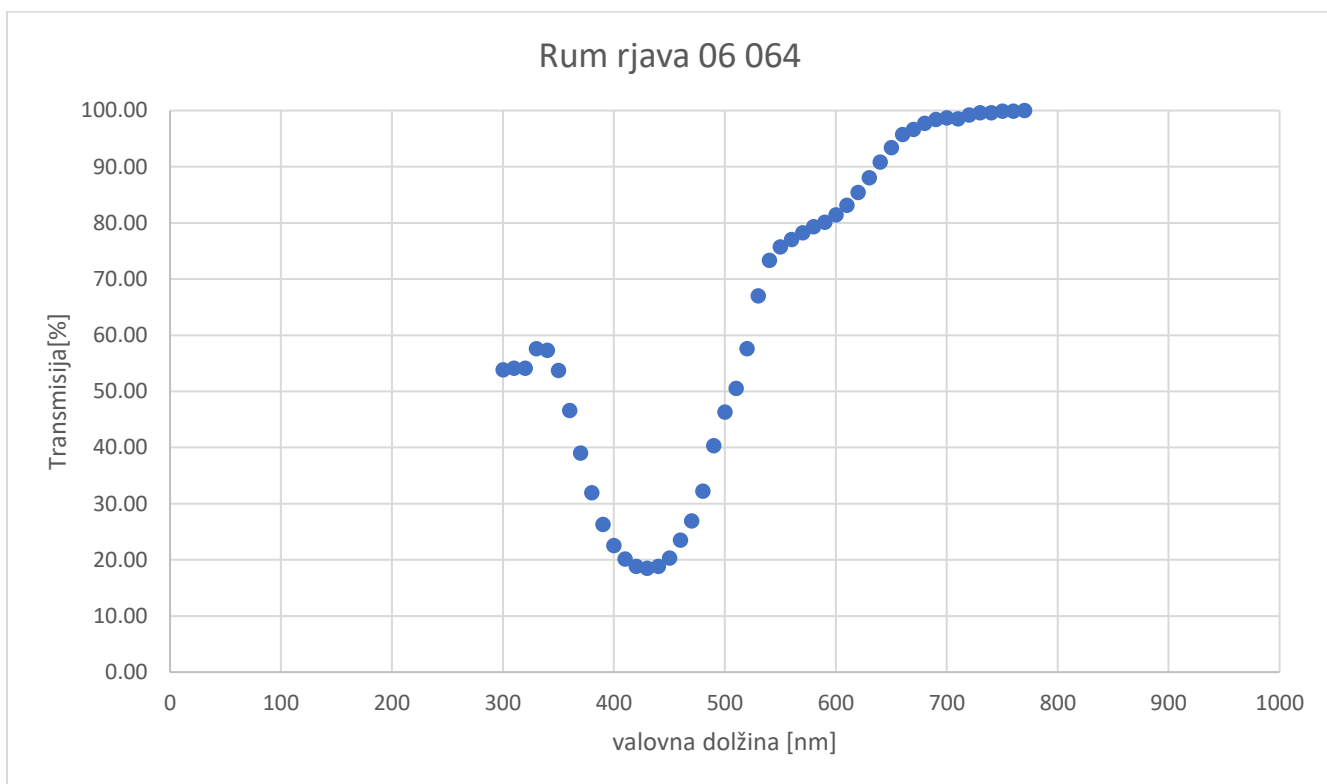
Slika 13 Graf 1. vzorca



Slika 14 Graf 2. vzorca



Slika 15 Graf 3. vzorca



Slika 16 Graf 4. vzorca

## 7 ANALIZA KUPLJENEGA SPEKTROMETRA

Po branju vseh štirih vzorcev smo dobili podatke o transmisiji pri različnih valovnih dolžinah. Kot že omenjeno v šestem poglavju, smo brali med valovnimi dolžinami 300 nm-900 nm na vsake 10 nm. Na podlagi pridobljenih podatkov smo lahko naredili grafe, ki nam omogočajo lažjo predstavbo barvne sestave vzorcev.

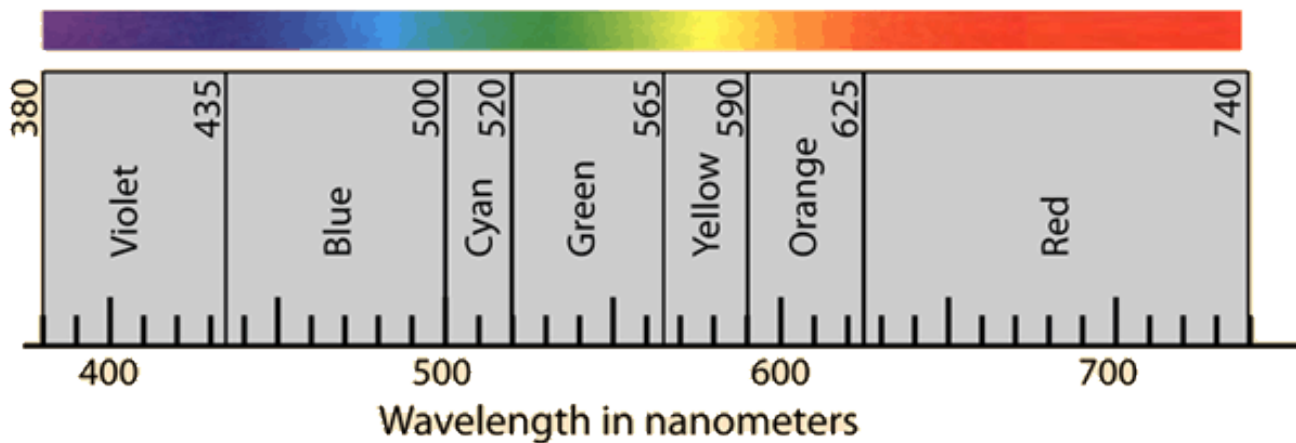
Če pogledamo graf prvega vzorca Pink E122, lahko vidimo poudarek na vijolično barvi (380-435 nm), malo modre (435-500 nm), zelo malo turkizne (500-520 nm), manj zelene (520-565 nm), nekoliko več rumene (565-590 nm), podobno nekoliko več oranžne (590-625 nm) ter največ rdeče (625-740 nm).

Pri drugem grafu majsko zelene lahko vidimo, da ni veliko vijolične (380-450nm), je kar nekaj modre (435-500 nm), precej turkizne (500-520 nm), nekaj zelene (520-565 nm), manj rumene (565-590 nm), zelo malo oranžne (590-625 nm), ter nekaj rdeče (625-740 nm).

Če pogledamo tretji graf vzorca modre barve, lahko vidimo lepo število vijolične barve (380 - 435 nm), dober odtenek modre (435-500 nm), zajeten odtenek turkizne (500-520 nm), malo zelene (520-565 nm), zelo malo rumene (565-590 nm), skoraj nič oranžne (590-625nm) ter nekaj rdeče (625-740nm).

Če za konec pogledamo graf četrtega vzorca rum rjave barve, lahko vidimo zelo malo vijolične (380-435nm), malo modre (435-500nm), nekaj turkizne (500-520nm), lepo število zelene (520-565nm), veliko rumene (565-590nm), veliko število oranžne (590-625nm) ter največ rdeče (625-740nm).

Na podlagi rezultatov, ki smo jih pridobili, lahko ugotovimo, da komercialni spektrometer opravlja svojo nalogo in ga lahko uporabljamo za primerjavo z našim. [16]



Slika 17 Spekter vidne svetlobe [16]

S pomočjo spektra vidne svetlobe na sliki smo si pri branju grafa pomagali, da smo določili barvno sestavo vzorca.

## 8 ZAKLJUČEK

Po uporabi komercialnega spektrometra smo dobili prikaz, kako naj bi deloval spektrometer. Preko pridobljenih podatkov od komercialnega spektrometra smo ugotovili, da naš spektrometer ne mora konkurirati z trgom. Čeprav je naš spektrometer opravljal osnovno funkcijo prepoznavne barvne sestave, je zaradi ne dovolj točnega nadzora valovnih dolžin neprimerljiv s komercialnim. Če pogledamo naše hipoteze, lahko vidimo, da so se delno obdržale, ampak jih bomo še spremenili. Zdaj se nove hipoteze glasijo: uspelo nam bo narediti spektrometer z osnovno funkcijo prepoznavne barvne sestave vzorcev, a ne bomo mogli nadzorovati valovne dolžine na 10nm natančno. Druga hipoteza glede primerjave samo izdelanega spektrometra proti komercialnemu se bo obdržala.

## VIRI IN LITERATURA

- [1] EDINBURGH INSTRUMENTS (13.7. 2021). *What is a Spectrometer?*  
<https://www.edinst.com/resource/what-is-a-spectrometer/> 28.1.2025
- [2] Ossila (b.d.). *What is a Spectrometer? Types and Uses.*  
<https://www.ossila.com/pages/spectrometer-application-notes> 28.1.2025
- [3] Ossila (b.d.). Optical spectrometer. <https://www.ossila.com/pages/optical-spectrometers>  
28.1.2025
- [4] Excedr' (b.d.). *What Is a Mass Spectrometer & How Does It Work?*  
<https://www.excedr.com/blog/mass-spectrometer-function> 28.1.2025
- [5] Pavan M. V. Raja in Andrew R. Barron (b.d.). Chemical Speciation. *NMR Spectroscopy* (4.7).  
[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical\\_Chemistry/Physical\\_Methods\\_in\\_Chemistry\\_and\\_Nano\\_Science\\_\(Barron\)/04%3A\\_Chemical\\_Speciation/4.07%3A\\_NMR\\_Spectroscopy](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_Nano_Science_(Barron)/04%3A_Chemical_Speciation/4.07%3A_NMR_Spectroscopy) 28.1.2025
- [6] Oxfort Instruments (b.d.). *What is an Optical Spectrometer?*  
<https://andor.oxinst.com/learning/view/article/what-is-an-optical-spectrometer> 28.1.2025
- [7] Ossila (b.d.). *Choosing A Light Source For Your Spectrometer.*  
<https://www.ossila.com/pages/choosing-light-source-for-spectrometer> 1.3.2025
- [8] Hubblesite (30.11.2022). *Spectroscopy: Reading the Rainbow.*  
<https://hubblesite.org/contents/articles/spectroscopy-reading-the-rainbow> 1.3.2025
- [9] EDINBURGH INSTRUMENTS (8.7.2021). *The Beer-Lambert Law.*  
<https://www.edinst.com/resource/the-beer-lambert-law/> 1.3.2025
- [10] [https://www.princeton.edu/~his291/Experimentum\\_Crucis.html](https://www.princeton.edu/~his291/Experimentum_Crucis.html) 28.1.2025
- [11] Schaffer, S. (1989). *Glass works: Newton's prisms and the uses of experiment. The uses of experiment: Studies in the natural sciences, 67-104.* (b. d.).
- [12] Wavelength Opto-Electronic Singapore (21.4.2020). *What is a Spectrometer? UV, VIS and IR Spectrometer Explained.* <https://wavelength-oe.com/what-is-a-spectrometer/> 7.3.2025
- [13] MPS (b.d.). *Stepper Motors Basics: Types, Uses, and Working Principles.*  
<https://www.monolithicpower.com/en/learning/resources/stepper-motors-basics-types-uses>  
10.3.2025
- [14] OPSIS (23.2.2021). *Inside the Gas Analyser – the Spectrometer.*  
<https://www.opsis.se/en/knowledge-base/opsis-blog/inside-the-gas-analyser-the-spectrometer/>  
11.3.2025
- [15] <https://www.pololu.com/product/1182> 10.3.2025

[16] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/specol.html> 31.03.2025