

**Ročníkový projekt 2025/2026 –
Pozorovanie vplyvu spotrebovanej energie na
silu elektromagnetu**

Marek Petráš, I.E
Marek Petruška, I.E

Definovanie vedeckého problému:

Naším cieľom bolo zistiť, ako sa správa elektromagnet pri rôznych podmienkach, v našom prípade pri zmene výkonu zdroja. Naš projekt rieši otázku rozšírenia znalostí v oblasti efektivity elektromagnetov. Toto docielime zaznamenávaním sily pôsobiacej na meracie zariadenie, výkonu elektromagnetu a neskoršou analýzou týchto údajov.

Hypotéza:

Naším cieľom pred vykonaním merania je odhadnúť maximálnu silu, ktorou elektromagnet môže pôsobiť na okolité feromagnetické objekty. Predpokladáme, že čím väčší bude výkon elektromagnetu, tým väčšou silou bude pôsobiť na meracie zariadenie.

Fyzikálny princíp:

Cievka je elektrotechnický prvok, ktorý je reálnou reprezentáciou indukčnosti v elektrickom obvode. Skladá sa z izolovaného medeného vodiča navinutého na magneticky mäkkú oceľ, ktorá slúži na zlepšenie magnetických vlastností.

Elektromagnet využíva princíp elektromagnetickej indukcie, ale pracuje opačne, čiže pri pretekaní elektrického prúdu vodičom vzniká v jeho okolí magnetické pole, ktoré pôsobí na feromagnetické materiály silou. Táto sila je úmerná elektrickému prúdu tečúcemu vodičom a počtu otočení medeného vinutia okolo jadra elektromagnetu.

Fyzikálny princíp výkonu elektromagnetu

Veľkosť magnetického poľa **B** v dutine cievky je priamo úmerná počtu závitov **N**, veľkosti elektrického prúdu **I** a relatívnej permeabilite jadra μ_r a nepriamo úmerná dĺžke cievky **l**:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l},$$

kde **B** = magnetická indukcia, μ_0 = permeabilita vákua, μ_r = relatívna permeabilita materiálu, **N** = počet závitov cievky, **I** = elektrický prúd, **l** = dĺžka cievky.

Matematický model pre výpočet maximálnej magnetickej sily elektromagnetu je:

$$F_{max} = \frac{B^2 S}{2\mu_0},$$

kde F_{max} = maximálna magnetická sila elektromagnetu, B = magnetická indukcia, S = plocha pólu elektromagnetu, μ_0 = permeabilita vákua.

Matematický model pre výpočet elektrického prúdu (**Ohmov zákon**) je:

$$I = \frac{U}{R},$$

kde I = elektrický prúd, U = elektrické napätie, R = elektrický odpor.

Matematický model pre výpočet intenzity magnetického poľa je:

$$H = \frac{NI}{l},$$

kde H = intenzita magnetického poľa, N = počet závitov cievky, I = elektrický prúd, l = dĺžka cievky.

Matematický model pre výpočet plochy pólu elektromagnetu je:

$$S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2,$$

kde S = plocha pólu elektromagnetu, π = pomer obvodu kruhu k jeho priemeru (**Ludolfovo číslo**), d = priemer jadra elektromagnetu.

Matematický model pre výpočet výkonu elektromagnetu je:

$$P = U * I,$$

kde P = výkon elektromagnetu, U = elektrické napätie, I = elektrický prúd.

Náš výpočet:

Ohmov zákon:

$$R = 2,2 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = 4,0 V$$

$$I = 4,0 : 2,2 A$$

$$N = 1242 \text{ ot.}$$

$$I = 1,8 A$$

$$d = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$l = 56 \text{ m}$$

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\mu_r = 1000 \text{ H/m}$$

Výpočet intenzity magnetického poľa:

$$H = \frac{NI}{l}$$

$$H = (1242 * 1,8) : 56 \text{ A/m}$$

$$H = 39,9 \text{ A/m}$$

Výpočet magnetickej indukcie:

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$$B = 0,000001257 * 1000 * 39,9 \text{ T} = 0,05 \text{ T}$$

Výpočet plochy pólu elektromagnetu:

$$S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

$$S = 3,14 * (0,008 : 2)^2 \text{ m}^2$$

$$S = 5,0 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

Výpočet maximálnej magnetickej sily elektromagnetu:

$$F_{max} = \frac{B^2 S}{2\mu_0}$$

$$F_{max} = [(0,05)^2 * 0,00005] : [2 * 0,00001257] \text{ N}$$

$$F_{max} = 0,1 \text{ N}$$

Pomôcky:

Nástroje:

- Preglejková doska, ktorá slúži ako podložka
- Stavebnica Merkúr
- Kliešte a skrutkovače rôznych druhov
- Píla na kovové materiály
- Odlamovací nôž
- Kružidlo, ceruzky a písacie potreby
- Multimeter UNI-T UT204R
- Vrtáčka Makita HR247OT + vrtáky
- Orbitálny brúsič Makita BO5041+ brúsny papier
- Tavná lepiaca pištoľ
- Osciloskop
- Laboratórny variabilný zdroj jednosmerného prúdu vlastnej výroby
- Spájkovačka
- Cínový drôt na spájkovanie
- Odsávač prebytočného cínu a čistič hrotu spájkovačky
- Posuvné meradlo s presnosťou 0,01 mm
- 50g závažie
- 3D Tlačiareň
- Počítače

Materiály:

- Hliníkový plát hrubý ~0,5 mm
- Prototypová doska (na výrobu plošného spoju)
- Skrutka a matica z magneticky mäkkej ocele (jadro elektromagnetu)
- Medený izolovaný vodič s prierezom 0,80 mm²
- Váhový modul a analógovo-digitálny prevodník HX711
- Merač elektrického prúdu a napätia Texas Instruments INA219
- Single-board počítač Raspberry Pi 5 + microSD karta
- LCD displej na zobrazenie nameraných hodnôt
- DSI kábel
- Vodiče a drôty rôznej hrúbky a dĺžky
- DIN lišta z pozinkovanej ocele
- WAGO svorky na DIN lištu
- Poistkové odpájače na DIN lištu s 2A a 0,2A poistkou
- Teplom zmršťovacie bužírky
- Elektro-izolačná páska

- Skrutky a iný spojovací materiál
- PVC Žľab 15 x 10 mm
- Sťahovacie pásky
- Dupont konektory
- DC konektor

Software:

- Raspberry Pi OS
- Python 3.11 + prídavné knižnice
- Virtuálne python prostredie venv
- Onshape CAD
- circuit-diagram.org
- draw.io
- RVNC Server/Viewer
- OpenSSH Server
- Textový editor nano
- Webový server a sieťovo-technologická infraštruktúra



Obrázok 1- Časť použitých pomôcok

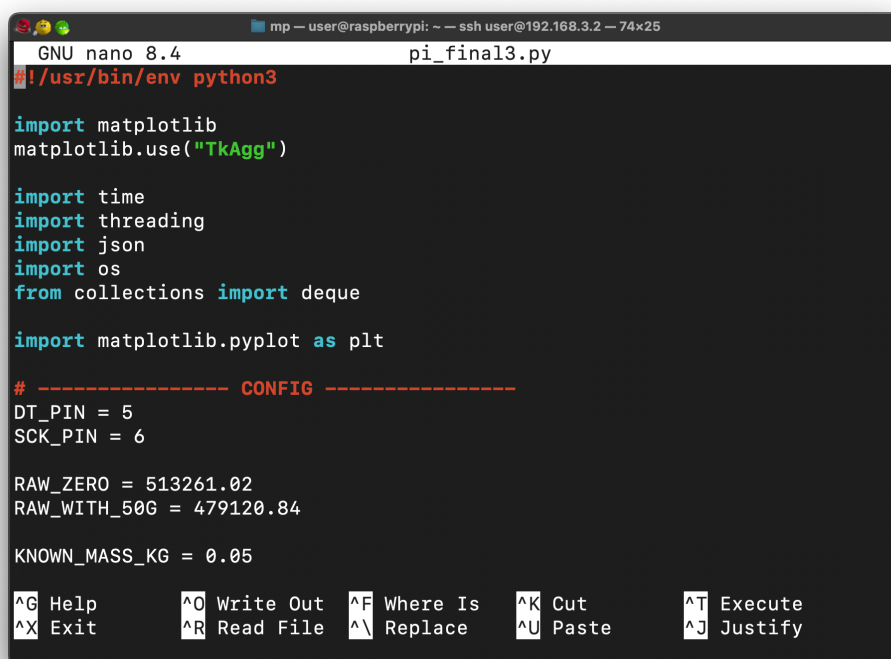
Postup:

0. Príprava všetkých pomôcok a materiálu

Najprv sme si zohnali a pripravili všetky pomôcky a materiál, ktorý bol potrebný k zostrojeniu aparátúry.

1. Programovanie softvéru meracieho zariadenia

Ako prvé sme zistili, aké komunikačné protokoly naše senzory využívajú (napr.: I²C). Potom sme na základe týchto znalostí zistili, aké Python knižnice potrebujeme na správnu komunikáciu medzi senzormi a našim programom. Po zistení týchto informácií sme pomocou umelej inteligencie naprogramovali Python script, ktorý surové údaje z jednotlivých senzorov zaznamenáva, spracováva, premieňa na požadované jednotky, odosiela do webového servera projekt.nm7.sk pomocou websocketov a zároveň vykresľuje na obrazovke graf s jednotlivými hodnotami v posledných 60 sekundách.



```
GNU nano 8.4 pi_final3.py
#!/usr/bin/env python3

import matplotlib
matplotlib.use("TkAgg")

import time
import threading
import json
import os
from collections import deque

import matplotlib.pyplot as plt

# ----- CONFIG -----
DT_PIN = 5
SCK_PIN = 6

RAW_ZERO = 513261.02
RAW_WITH_50G = 479120.84

KNOWN_MASS_KG = 0.05

^G Help      ^O Write Out ^F Where Is  ^K Cut       ^T Execute
^X Exit      ^R Read File ^\ Replace   ^U Paste     ^J Justify
```

Obrázok 2- Časť Python scriptu

2. Kalibrácia meracieho zariadenia

Použili sme ďalší Python script, ktorý priemeroval surovú hodnotu z váhového modulu za určitý čas za pôsobenia nulovej záťaže a druhú hodnotu za pôsobenia známej záťaže 50 gramov. Tieto dve hodnoty sme vložili do pôvodného programu, ktorý na ich základe vedel presne určiť naň pôsobiacu silu za akýchkoľvek podmienok, lebo zmena týchto surových hodnôt je priamo úmerná zmene sily, ktorá na meracie zariadenie pôsobí.



Obrázok 3- Proces kalibrácie

3. Skúška fungovania meracieho zariadenia

Po kalibrácii a upravení hlavného Python scriptu sme zaťažili zariadenie známym závažím a pozorovali sme, či sila vykresľovaná na grafe v newtonoch zodpovedá gravitačnej sile adekvátnej hmotnosti závažia. Zároveň sme otestovali, či merač výkonu funguje správne tým, že sme k nemu napojili zariadenie so známym výkonom a porovnali predpokladanú hodnotu s výsledkom odčítaným z grafu.

4. Zostavenie elektromagnetu

Na plát hliníka sme si posuvným meradlom vymerali umiestnenie dvoch kružníc s priemerom 4 cm a následne sme ich stolárskym kružidlom vyryli do kovového podkladu. V ďalšom kroku sme ich vystrihli kliešťami na kov a vyvrtali sme do ich stredov otvory s priemerom 8 mm. Do otvorov sme vložili jadro elektromagnetu pozostávajúce zo skrutky a matice vyrobenej z magneticky mäkkej ocele a na jadro sme začali navíjať izolovaný medený vodič.



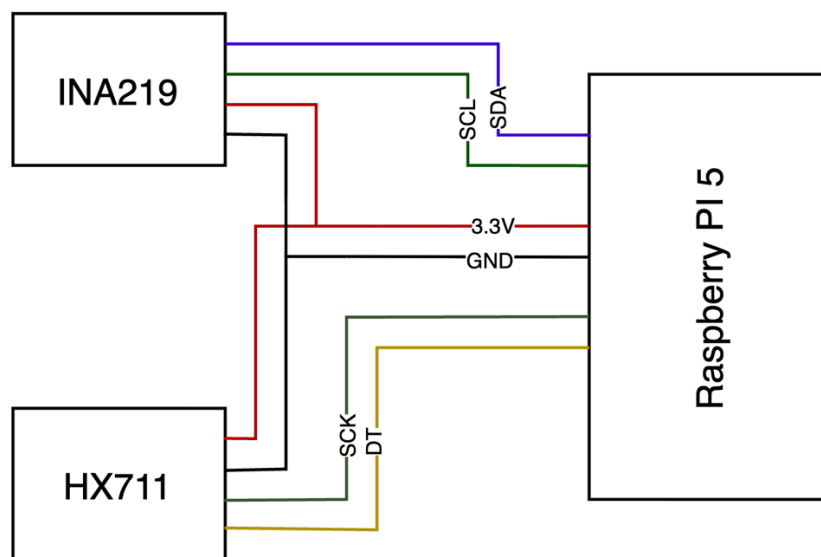
Obrázok 4 - Medený drôt použitý na vinutie



Obrázok 5 - Elektromagnet

5. Zostavenie plošného spoja

Na prototypovaciu dosku sme si zhruba rozložili analógovo-digitálny prevodník HX711 a INA219 senzor napätia a prúdu. Následne sme ich prispájkovali na svoje miesto. Ďalej sme si pripravili káblový zväzok a ukončili sme ho Dupont konektormi. Na druhej strane káblového zväzku sme si vodiče oholili a pocínovali medené časti. Káblový zväzok sme pricínovovali k prototypovej doske a vykonali sme potrebné spojenia medzi modulmi a zväzkom podľa nasledovného diagramu:

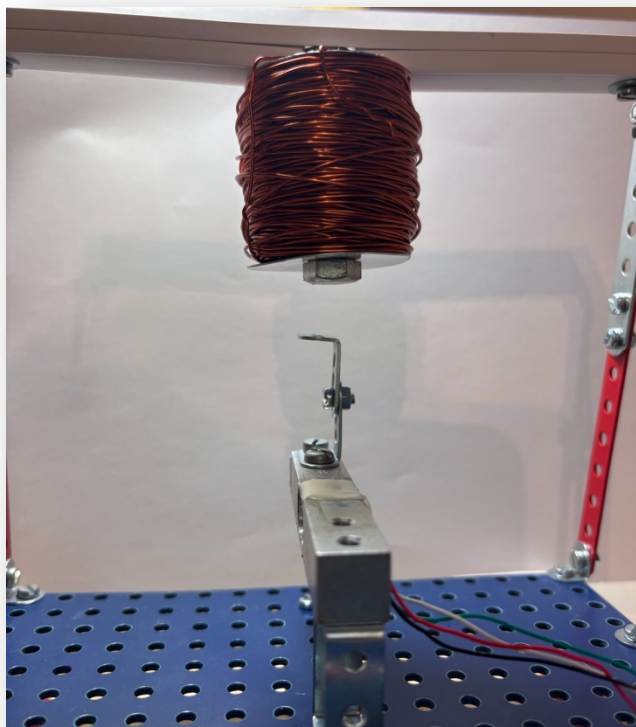


Obrázok 6 – Diagram monitorovacej sústavy

6. Zostavenie celej konštrukcie meracieho zariadenia

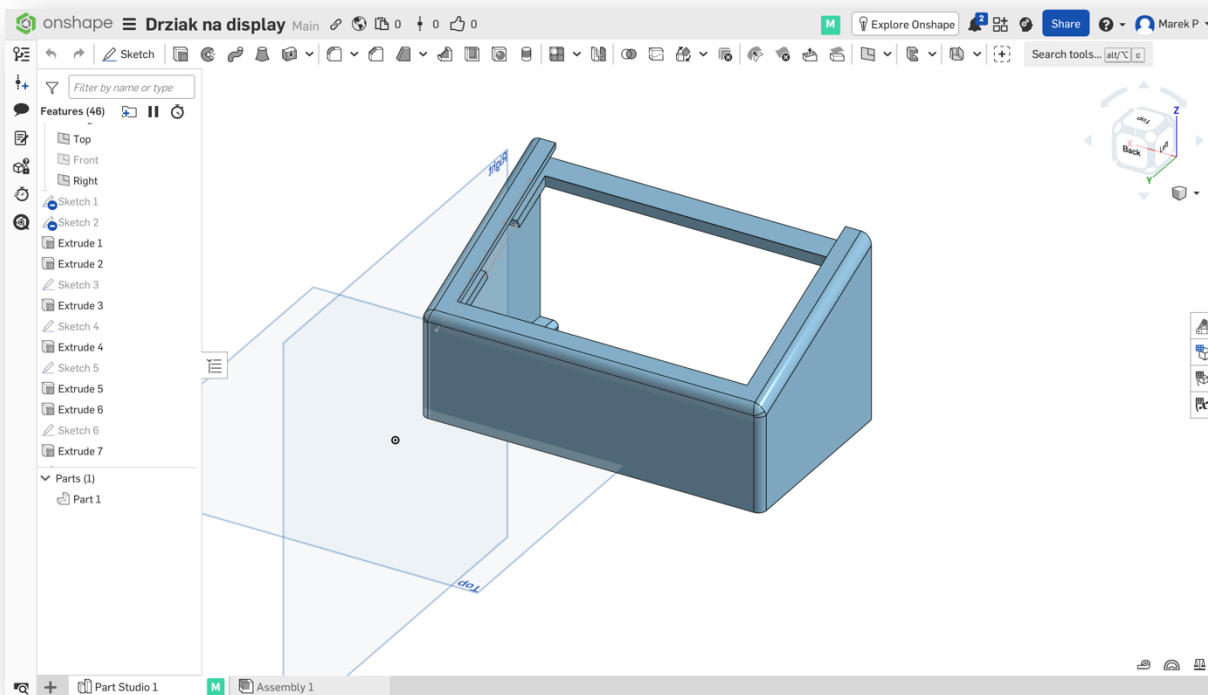
Zo stavebnice Merkúr sme vystavali podložku, ktorú sme neskôr pripevnili na drevenú dosku. Na túto podložku sme pripevnili plošný spoj a 3 cm kúsok DIN lišty, ktorú sme pomocou píly na kovové materiály odrezali z väčšieho kusu. Ďalej sme postavili dve oproti stojace „šibenice“, ktoré sme spojili PVC žľabom, na ktorý sme zospodu pripevnili elektromagnet. (PVC žľab sme zvolili kvôli proximite elektromagnetu a možnej interferencii s kovovými materiálmi.)

K podložke sme skrutkami a kovovými profilmi pripevnili váhový modul, ktorý sme situovali priamo pod elektromagnet, aby zachytil čo najväčšie množstvo elektromagnetického poľa. Na váhový modul sme pripevnili kus feromagnetického kovu, na ktorý elektromagnet pôsobí silou. Na DIN lištu sme pripevnili tri WAGO radové svorky a dva poistkové odpájače pre neskoršie využitie pri zapájaní obvodu elektromagnetu.



Obrázok 7 – Vzdialenosť elektromagnetu a meracieho zariadenia

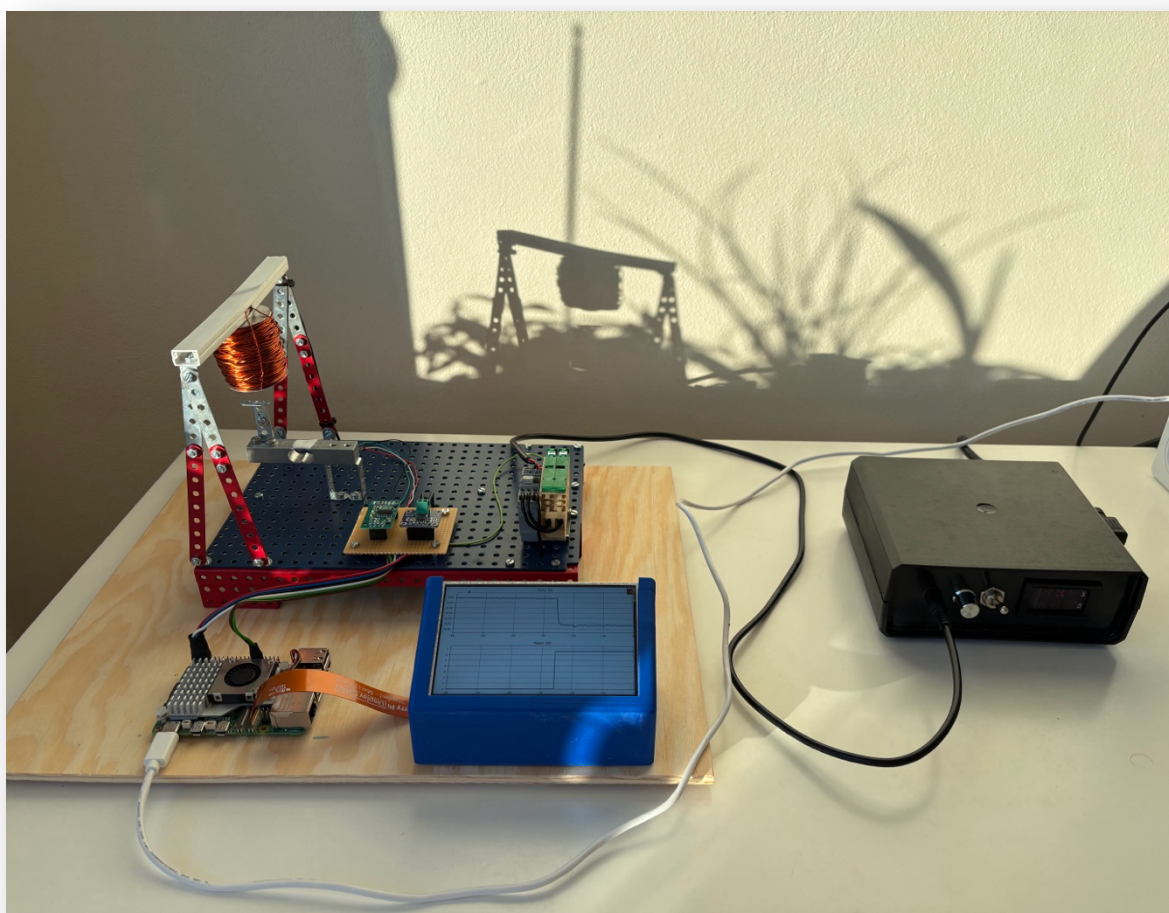
Pred podložku zo stavebnice Merkúr sme pripevnili single-board počítač Raspberry Pi 5, na ktorom beží náš Python script a LCD displej, ktorý vyobrazuje namerané hodnoty v prehľadných grafoch. Držiak na displej bol nami vymodelovaný a prispôbený pre naše využitie v CAD softvéri Onshape, a bol vytlačený na 3D tlačiarňi.



Obrázok 8 – 3D model držiaku na LCD displej

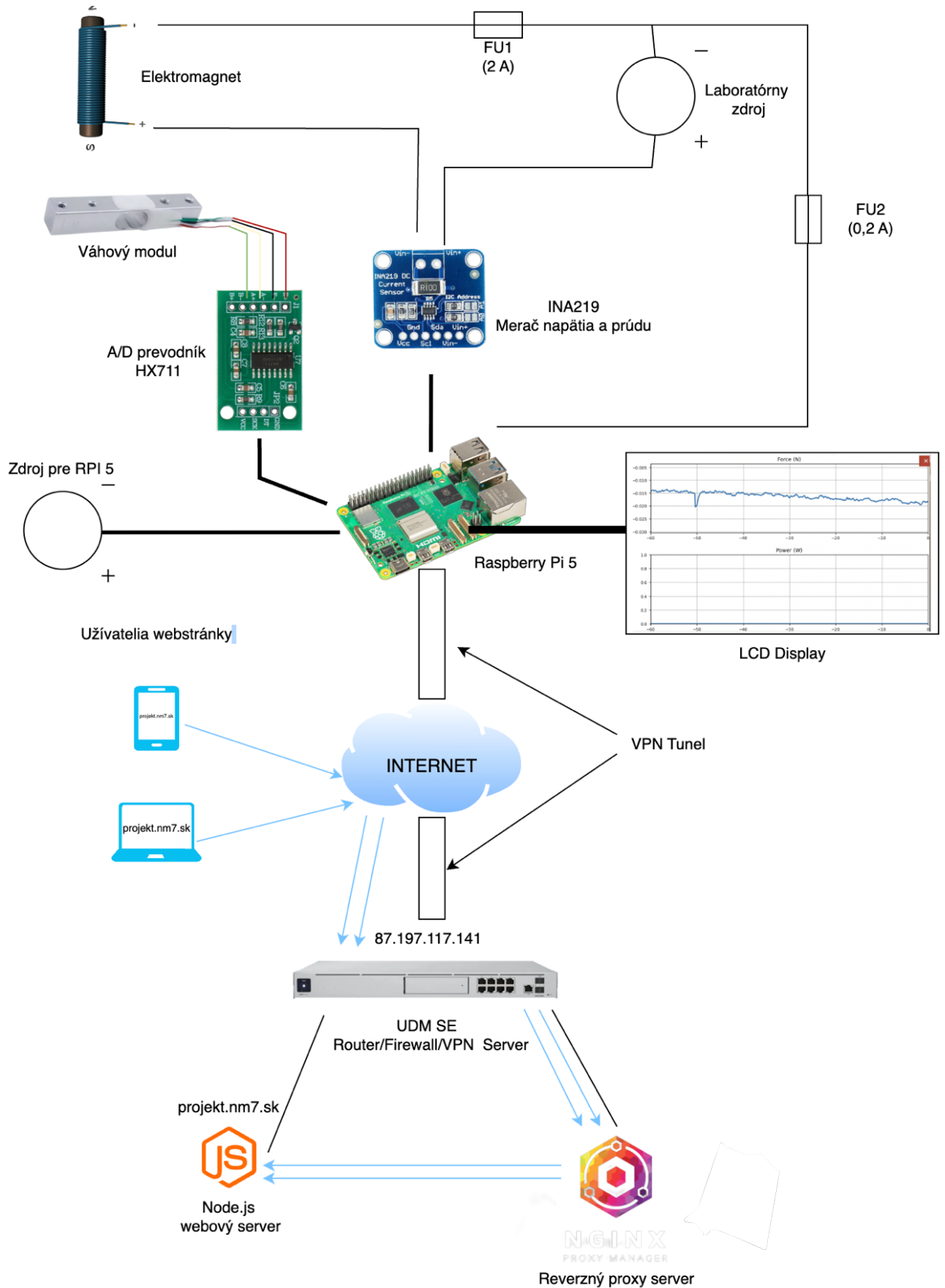
7. Inštalácia kabeláže a posledné úpravy

V celom zariadení sme nainštalovali kabeláž podľa schém a diagramov. Inštaláciu sme rozdelili na dve sústavy: napájaciu (silovú) a monitorovaciu. Súčasťou monitorovacej sústavy sú senzory HX711, INA219, Raspberry Pi, LCD displej a zdroj pre Raspberry Pi. Súčasťou silovej sústavy je laboratórny zdroj, poistkové odpájače a poistky, elektromagnet a napätovo-prúdový senzor INA219. Sústavy majú spojené GND vodiče cez 0,2 A poistku pre potreby merania napätia a rovnakého potenciálu zeme medzi zdrojmi. Toto je dôležité aj pre znižovanie elektrického šumu, ktorý by mohol negatívne ovplyvniť presnosť meraní.



Obrázok 9 – Pohľad na výsledné zhotovenie

Blokový diagram celého projektu:



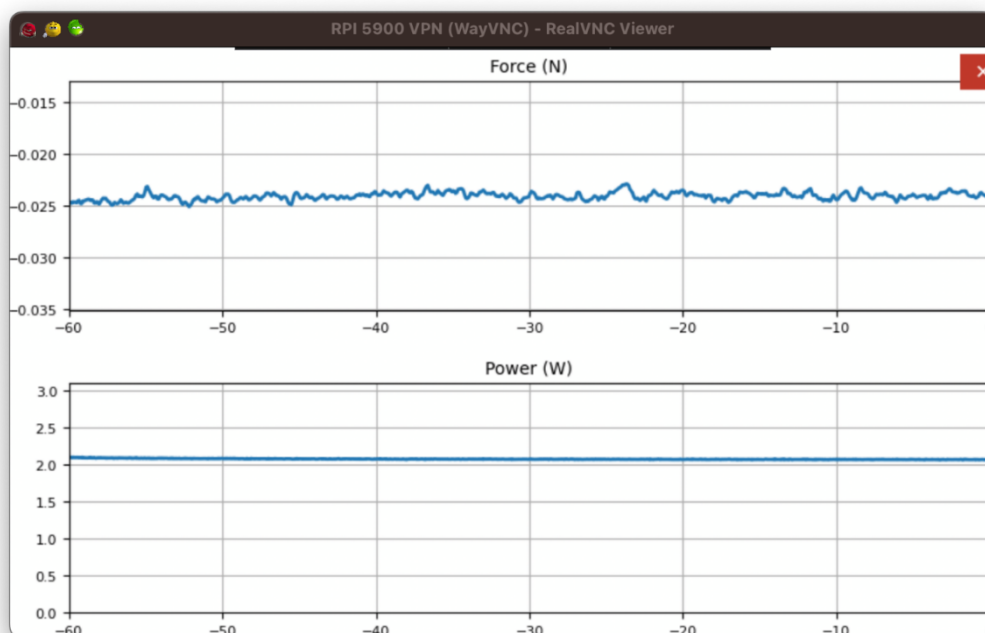
Merania:

Pomocou našej meracej sústavy, ktorá je súčasťou projektu, sme namerali hodnoty sily a výkonu pri rôznom napätí na elektromagnete.

- 1.) Silu pôsobiacu na meracie zariadenie sme zaznamenávali pri výkone 2 W. Meraním a nasledovným výpočtom sme určili hodnotu sily $F = (0,02 \pm 0,0005)$ N s relatívnou chybou merania $\delta = 1,87$ %.

i	F [N]	ΔF [N]
1	0,0248	0,00069
2	0,0235	0,00061
3	0,0250	0,00089
4	0,0239	0,00021
5	0,0242	0,00009
6	0,0234	0,00071
7	0,0247	0,00059
8	0,0238	0,00031
9	0,0241	0,00001
10	0,0237	0,00041
	$\bar{F} = 0,02411$	$\alpha = 0,000452$

Tabuľka 1 – Sila elektromagnetu pri 2W

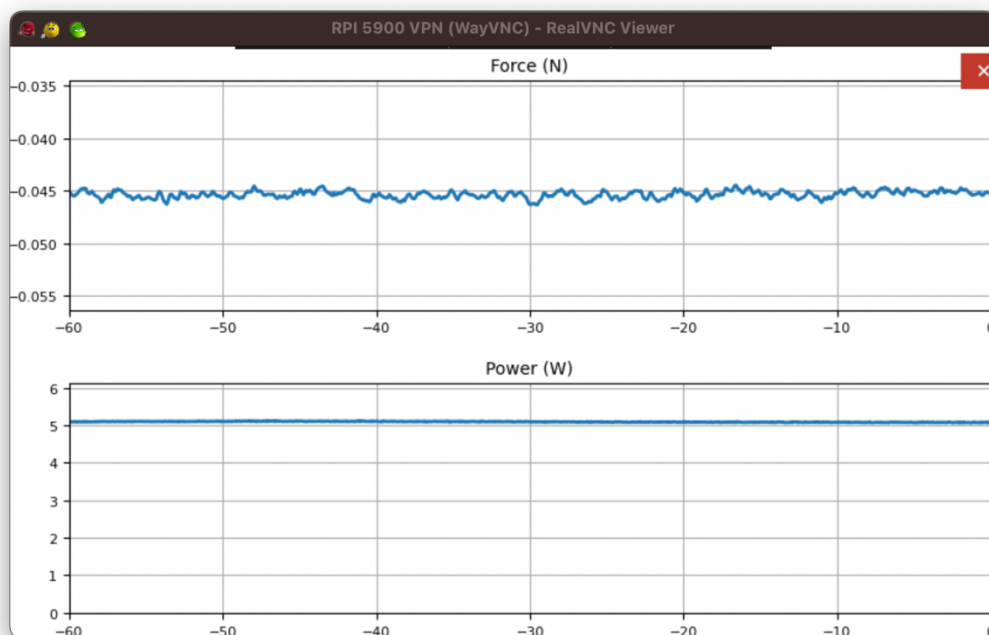


Graf 1 – Sila a výkon elektromagnetu pri prvom meraní

2.) Silu pôsobiacu na meracie zariadenie sme zaznamenávali pri výkone 5 W. Meraním a následným výpočtom sme určili hodnotu sily $F = (0,05 \pm 0,0004)$ N s relatívnou chybou merania $\delta = 0,87$ %.

i	F [N]	ΔF [N]
1	0,0445	0,00033
2	0,0447	0,00013
3	0,0456	0,00077
4	0,0449	0,00007
5	0,0452	0,00037
6	0,0450	0,00017
7	0,0454	0,00057
8	0,0443	0,00053
9	0,0446	0,00023
10	0,0441	0,00073
	$\bar{F} = 0,04483$	$\alpha = 0,00039$

Tabuľka 2 – Sila elektromagnetu pri 5W

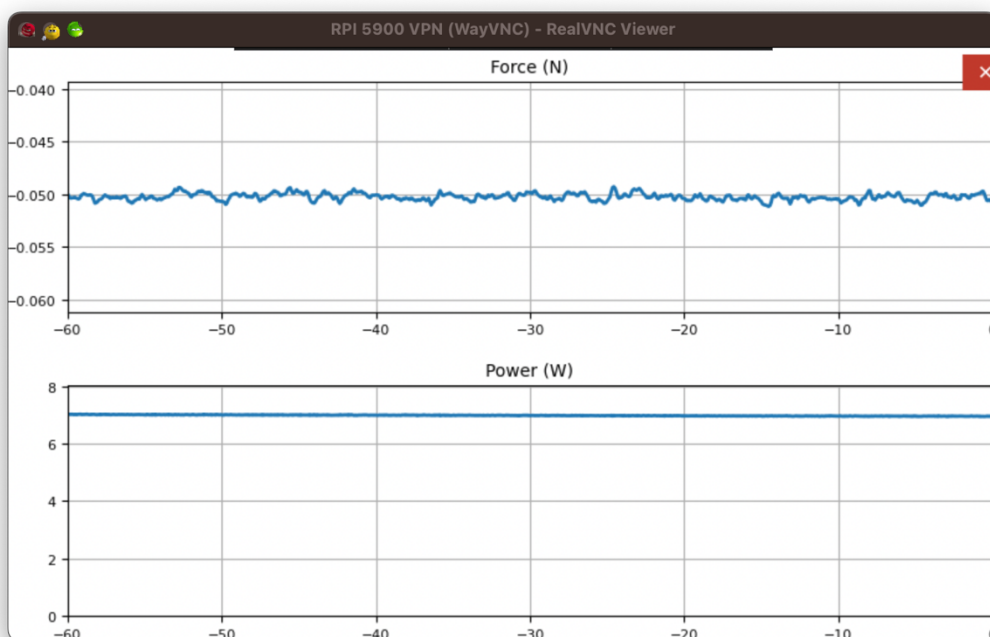


Graf 2 – Sila a výkon elektromagnetu pri druhom meraní

3.) Silu pôsobiacu na meracie zariadenie sme zaznamenávali pri výkone 7 W. . Meraním a následným výpočtom sme určili hodnotu sily $F = (0,05 \pm 0,0005)$ N s relatívnou chybou merania $\delta = 0,9$ %.

i	F [N]	ΔF [N]
1	0,0508	0,00053
2	0,0499	0,00037
3	0,0505	0,00023
4	0,0494	0,00087
5	0,0510	0,00073
6	0,0501	0,00017
7	0,0506	0,00033
8	0,0498	0,00047
9	0,0507	0,00043
10	0,0499	0,00037
	$\bar{F} = 0,05027$	$\alpha = 0,00045$

Tabuľka 3 – Sila elektromagnetu pri 7W

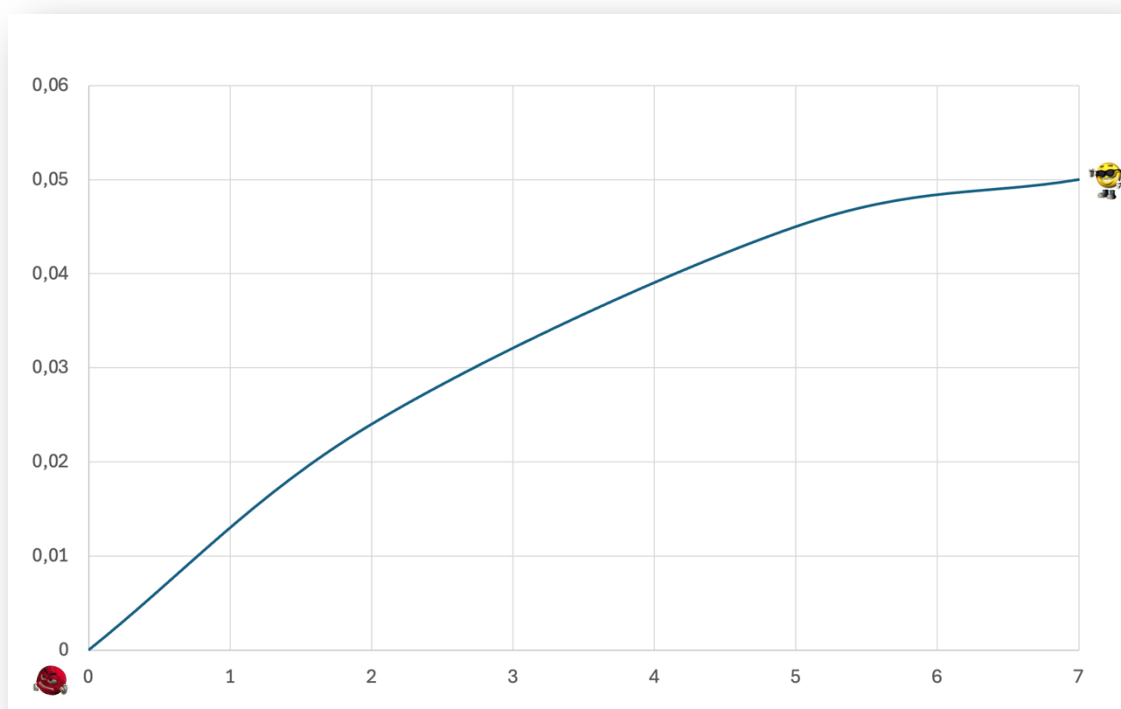


Graf 3 – Sila a výkon elektromagnetu pri treťom meraní

Záver:

Naša hypotéza sa prevažne potvrdila.

Náš predpoklad, že elektromagnet zvýši silu, ktorou pôsobí na meracie zariadenie úmerne na zvyšujúci sa výkon, sa potvrdil. Toto sme dokázali vytvorením grafu priamej úmernosti, do ktorého sme zadali \bar{F} (na y-ovej osi) z jednotlivých meraní pri výkonnostných úrovniach 2 W, 5 W a 7 W (na x-ovej osi). Mohli pozorovať jasnú súvislosť medzi veličinami a priamo úmerný nárast sily a výkonu. Nárast sily sa oproti výkonu postupne spomaľoval, z čoho vyplýva, že efektívnosť elektromagnetu s väčším výkonom klesala.



Graf 4 – Graf závislosti sily a výkonu elektromagnetu

Sila, ku ktorej sme po výpočtoch v odhade dospeli avšak podobná nebola. Ak porovnáme namerané a vypočítané hodnoty, zistíme, že elektromagnet nepôsobí na meracie zariadenie očakávanou silou, reálna hodnota je približne polovičná oproti nášmu výpočtu. Tento rozdiel medzi odhadom a skutočnosťou môže byť spôsobený viacerými faktormi. Asi najzávažnejším vplyvom bol nepresný počet otočení izolovaného medeného vodiča okolo jadra elektromagnetu. Keďže sme vodič navinuli pomocou vrtáčky, počet otočení uvedený vo výpočtoch bol skôr odhad ako presná hodnota. Ďalším vplyvom, ktorý by mohol byť príčinou nepresnosti nášho odhadu sú magnetické vlastnosti jadra, ktoré sme nemali možnosť odmerať a museli sme použiť hodnoty dané v materiáloch uvedených v bibliografii.

Pri našom výskume sme sa nedopustili žiadnych zásadných systematických chýb. Akékoľvek nepresnosti boli pravdepodobne spôsobené nasledujúcimi faktormi:

1. Environmentálna variabilita – Aj malé zmeny v teplote môžu zmeniť výsledky našich meraní, taktiež aj odpor vodičov v meracích komponentoch alebo v samotnom elektromagnete, čo môže viesť k menšiemu nedostatku prúdu pretekajúceho cez cievku elektromagnetu. Táto zmena odporu tiež čiastočne ovplyvní presnosť meracích zariadení a narúša ich kalibráciu.
2. Kalibrácia – Váhový modul, prostredníctvom ktorého sme merali silu, musel byť pred použitím kalibrovaný pomocou závažia so známou hmotnosťou, z čoho vyplýva, že presnosť kalibrácie váhového modulu je závislá od presnosti hmotnosti daného závažia.
3. Odčítavanie údajov – Údaje zaznamenané v meraniach boli odčítavané z existujúcich meracích prístrojov manuálne. Toto zakomponovalo do meraní nepresnosť ľudského faktoru.

Zdroje:

- Kříšťan, L., Vachala, V.: Příručka pro navrhování elektronických obvodů. Praha, SNTL 1982, s. 80 – 97
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fundamentals of Physics. USA, [John Wiley & Sons, Inc.](#) 1970
- http://www.dvorniky.com/fyzika/doc_gIV/T_gIV_01_MagnetickePole_05_.pdf
- https://sk.wikipedia.org/wiki/Magnetická_indukcia
- https://www.priklady.eu/sk/fyzika/magneticka-indukcia.alej#google_vignette
- https://gymposke-my.sharepoint.com/personal/pankova_gympos_sk/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc={b769eb99-75f3-43e9-87f8-d5943f3fadd2}&action=view&wd=target%28Projekt.one%7C%2FVzorový%20projekt%7C29b086c3-78a6-421b-a99c-9088acf84f4c%2F%29&wdorigin=NavigationUrl
- https://sk.wikipedia.org/wiki/Permeabilita_vákua
- <https://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromagnet>