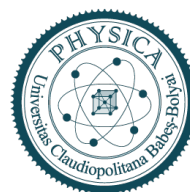




UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI
BABEȘ-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM
BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITÄT
BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITY

FACULTATEA DE FIZICĂ

Str. Mihail Kogălniceanu nr.1
Cluj-Napoca, RO-400084
Tel: +4(0)264-405300 | FAX: +4(0)264-591906
secretariat.phys@ubbcluj.ro
www.phys.ubbcluj.ro



UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE FIZICĂ
SPECIALIZAREA FIZICĂ TEHNOLOGICĂ

LUCRARE DE LICENȚĂ

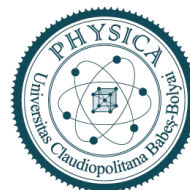
Coordonator științific
Conf. Dr. Simon Alpár
Lect. Dr. Tunyagi Arthúr Róbert

Absolvent
Bodó Kinga



UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI
BABEȘ-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM
BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITÄT
BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITY

FACULTATEA DE FIZICĂ
Str. Mihail Kogălniceanu nr.1
Cluj-Napoca, RO-400084
Tel: +4(0)264-405300 | FAX: +4(0)264-591906
secretariat.phys@ubbcluj.ro
www.phys.ubbcluj.ro



UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE FIZICĂ
SPECIALIZAREA FIZICĂ TEHNOLOGICĂ

LUCRARE DE LICENȚĂ

DISPOZITIV EXPERIMENTAL PENTRU STUDIUL CÂMPULUI MAGNETIC CREAT DE
DIFERITE ARANJAMENTE MAGNETICE

Coordonator științific
Conf. Dr. Simon Alpár
Lect. Dr. Tunyagi Arthúr Róbert

Absolvent
Bodó Kinga



UNIVERSITATEA BABEŞ-BOLYAI
BABEŞ-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM
BABEŞ-BOLYAI UNIVERSITÄT
BABEŞ-BOLYAI UNIVERSITY

FACULTATEA DE FIZICĂ
Str. Mihail Kogălniceanu nr.1
Cluj-Napoca, RO-400084
Tel: +4(0)264-405300 | FAX: +4(0)264-591906
secretariat.phys@ubbcluj.ro
www.phys.ubbcluj.ro



“BABEŞ-BOLYAI” TUDOMÁNYEGYETEM KOLOZSVÁR
FIZIKA KAR
MÉRNÖKI FIZIKA SZAK

ÁLLAMVIZSGA DOLGOZAT

KÍSÉRLETI BERENDEZÉS A MÁGNESES ELRENDEZÉSEK TERÉNEK
TANULMÁNYOZÁSÁRA

Témavezető tanárok

Conf. Dr. Simon Alpár

Lect. Dr. Tunyagi Arthúr Róbert

Végzős hallgató

Bodó Kinga

Abstract

The main objective of this paper is to design a measuring device that can measure the magnetic induction of the magnetic fields created by individual magnets or arrangements of magnets. The concept of series, parallel, and mixed connection and the resulting resistance or capacitance is familiar. Interestingly, although they play a role in engineering practice, there are no descriptions or resulting formulas for the series, parallel or mixed arrangement of magnets. The theoretical part of the paper briefly describes the magnetic field, its quantities, and the instruments used to measure the magnetic field. We discuss the hysteresis curve that characterizes permanent magnets and different types of permanent magnets. The experimental part consists of two main chapters. The first focuses on the prototype device, while the second focuses on the improved device. The prototype allows the distance between the magnets and the probe to be adjusted as desired. This chapter gives a detailed description of the equipment and the design challenges, discusses the results of the measurements taken with the equipment for each of the three magnets studied, and then discusses the results for both the series and parallel arrangements of magnets. The task of the improved measuring device is identical to that of the prototype. A linear stepper motor adjusts the distance between the sensor and the magnets, while a different, more suitable sensor measures the induction of the magnetic field. The second part of the chapter gives a detailed description of the improved device. We repeated the measurements made with the prototype and also tested new arrangements.

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	6
2. A mágneses tér	7
2.1. A mozgó elektromos töltés által létrehozott mágneses tér	7
2.2. A mágneses térerősség	8
2.3. A mágneses fluxus	9
2.4. Hall-effektus	9
2.5. A mágneses tér mérésére használt eszközök	10
2.5.1. A Hall szenzor	10
2.5.2. Számítógépes módszerek	10
2.6. A mágneses mező számítása	11
3. Állandó mágnesek és tulajdonságaik	13
3.1. A hiszterézisgörbéből kiolvasható adatok	13
3.2. Az állandó mágnesek típusai	13
4. Kísérleti rész	15
4.1. A prototípus	15
4.1.1. A prototípus leírása	15
4.1.2. A prototípussal végzett mérések	19
4.2. A továbbfejlesztett berendezés	27
4.2.1. A berendezés leírása	27
4.2.2. A berendezés vezérlése	32
4.2.3. A továbbfejlesztett berendezéssel végzett mérések	34
A. A prototípus tervrajzai	41
B. A továbbfejlesztett berendezés tervrajzai	46
C. LabVIEW Block Diagram	52
D. Python kódrészletek	53

1. Bevezető

A dolgozat legfőbb célja olyan mérőberendezés tervezése, mely segítségével mérhető az önálló mágnesek, illetve a több mágnesből álló elrendezések által létrehozott mágneses tér mágneses indukciója.

A fizikában igen gyakran találkozunk a soros, a párhuzamos és a vegyes csatlakoztatás, valamint az eredő, illetve az eredőszámítás fogalmaival: az eredő ellenállás vagy kondenzátor rezisztenciájának, illetve kapacitásának számítása már a középiskolából ismert, a rugók és tekercsek soros vagy párhuzamos elrendezése, illetve modellezése már egy kicsit komplexebb – ezért azokkal az egyetemi tananyagban találkozhatunk.

Érdekes módon, bár a műszaki gyakorlatban fontos szerepet játszanak, a mágnesek soros, párhuzamos vagy vegyes elrendezésére nemigazán találunk leírást, eredő képleteket.

Ezek a tények vezettek el a témaválasztáshoz és határozták meg a dolgozat célját.

A dolgozat elméleti részében röviden ismertetjük a mágneses teret, az azt jellemző mennyiségeket és a mágneses tér mérésére használt eszközöket. Beszélünk az állandó mágnesek jellemzésére használt hiszterézisgörbéről, valamint az állandó mágnesek típusairól.

A kísérleti rész két fő fejezetből áll. Az első a prototípus berendezésre, míg a második a továbbfejlesztett berendezésre koncentrálna. A prototípus segítségével a mágnesek és a szonda közti távolságot tetszés szerint állíthatjuk. Az erről szóló fejezet megadja a berendezés részletes leírását és a tervezés kihívásait, tárgyalja a berendezéssel mért eredményeket a három tanulmányozott mágnesre egyenként, majd a soros és párhuzamos elrendezések eredményeit úgy kettő, mint három mágnes esetén. A továbbfejlesztett berendezés feladata megegyezik a prototípusával. Itt a távolság állítását lineáris léptetőmotor végzi és más szenzort használunk a mágneses tér mágneses indukciójának mérésére. Ennek a berendezésnek és vezérlésének a részletes leírása a kísérleti rész második fejezetében található. Megismételtük a prototípussal végzett méréseket, valamint vizsgáltunk új elrendezéseket is.

A jelen államvizsga dolgozatba foglalt kísérleti eredmények egy része egy olyan tudományos szakdolgozat részét képezi, amelyet elfogadtak publikálás céljából.

A dolgozat címe:

"INVESTIGATION OF THE MAGNETIC FIELD CREATED BY AXIALLY SYMMETRIC PERMANENT MAGNET ARRANGEMENTS"

Szerzők:

Árthúr Róbert Tunyagi, Kinga Bodó, Alpár Simon

Folyóirat: ROMANIAN REPORTS IN PHYSICS 2023

2. A mágneses tér

Egyes testek viselkedését vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy ezek egymásra olyan vonzó vagy taszító hatást gyakorolnak, melyek nem magyarázhatóak az elektromos hatásokkal. Ezen testeket mágneses testeknek vagy mágneseknek, a teret amiben ilyen hatásokat tapasztalunk mágneses térnek nevezzük.

Egy permanens mágnes pólusai közt levő vagy stacionárius elektromos áram által keltett mágneses terek állandóak és fennállásuk nem fogyaszt energiát, így ezeket magnetosztatikus tereknek nevezzük. [1]

A mágneses teret is, akárcsak az elektrosztatikus teret, egy adott pontban jellemezhetjük vektoriális és skaláris mennyiségekkel, valamint mágneses erővonalakkal (indukcióvonalakkal). Az indukcióvonalak olyan görbék, melyek érintője minden pontban megadja a mágneses indukcióvektor (\vec{B}) irányát.

Ebben a pontban a mágneses indukcióvektorra merőleges, egységnyi felületen áthaladó erővonalak száma arányos a mágneses tér intenzitásával és egyenlő $|\vec{B}|$. Az indukcióvonal irányítása megegyezik az adott pontba elhelyezett mágnesű északi pólusa által meghatározott iránnyal és mindig a mágnes északi pólusától a déli pólus irányába mutat. A \vec{B} mágneses indukcióvektor és az indukcióvonal irányítása megegyeznek az adott pontban.

A mágneses tér erősségét egy adott pontban a \vec{B} mágneses indukcióvektor irányával és irányításával adhatjuk meg és a nagysága arányos egy olyan mágnesűre ható forgatónyomatékkal, melynek a tengelye nem párhuzamos az indukcióvektorral. [2]

2.1. A mozgó elektromos töltés által létrehozott mágneses tér

Ha egy áramjárta vezető alá egy mágnesűt helyezünk akkor meggyőződhetünk arról, hogy a mozgó elektromos töltés maga körül mágneses teret kelt. A vezető körül keletkezett mágneses tér indukcióvonalainak irányítását a jobbkez-szabállyal határozzuk meg.

A fenti, áramjárta egyenes vezetőt helyezzük egy patkómágnes sarkai közé, ahol a mágneses tér homogén. Azt tapasztaljuk, hogy a vezető elmozdul a \vec{B} -ra merőleges síkban, az elmozdulás iránya pedig a vezetőben folyó áram irányától függ. Ezen mérések alapján kijelenthetjük, hogy a vezetőre ható \vec{F} erő megadható, mint:

$$F = kIBl \sin \theta, \quad (1)$$

ahol I a vezetőben folyó áram erőssége, l a mágneses térben levő vezetőszakasz hossza, θ az

áramirány és az indukcióvonalak által bezárt szög és $k = 1$ SI-ben.

Amikor az erő maximális, tehát $\theta = 90^\circ$, akkor a mágneses indukcióvektor nagysága megegyezik azzal a maximális erővel amely az 1 A erősségű áram által átjárt vezető egységnyi hosszára hat:

$$B = \frac{F_{max}}{Il} \quad (2)$$

Az erő vektoriális alakja, ahol \vec{l} irányát a vezető adja meg, irányítása pedig megegyezik a vezetőn áthaladó áram irányával:

$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad (3)$$

A (2) összefüggés alapján a mágneses indukcióvektor mértékegysége SI-ben:

$$[B]_{SI} = \frac{[F]_{SI}}{[l]_{SI} [I]_{SI}} = 1 \frac{N}{m \cdot A} = 1 T \text{ (tesla)} \quad (4)$$

A tesla és a CGS-rendszerben megadott gauss közti összefüggés:

$$1 G = 10^{-4} T \quad (5)$$

A mágneses indukciót magnetométer segítségével mérhetjük. [2]

2.2. A mágneses térerősség

Akárcsak a mágneses indukció, a térerősség is erővonalakkal szemléltethető és a nagyságát megadhatjuk, mint az erővonalakra merőleges egységnyi felületen áthaladó erővonalak száma. Irányát pedig az erővonalhoz húzott érintő adja. A mágneses térerősség a gerjesztésre jellemző adat, az indukció azonban a mágneses térbe helyezett anyagtól függ.

A mágneses indukció és a mágneses térerősség közti összefüggés:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (6)$$

ahol $\mu = \mu_0 \mu_r$ a mágneses permeabilitás, mely a mágneses térben való anyagra jellemző állandó, μ_0 a légtüres tér permeabilitása és μ_r a relatív permeabilitás.

A mágneses térerősség mértékegysége: [3]

$$[H]_{SI} = \frac{A}{m} \quad (7)$$

2.3. A mágneses fluxus

A mágneses fluxus a mágneses tér egyik jellemzője és egyenlő az indukcióvonalakra merőleges F felületen áthaladó indukcióvonalak számával. Hogyha a mágneses tér homogén és \vec{F} az F felülethez rendelt vektor, akkor a fluxus megadható, mint: [2]

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{F}, \quad (8)$$

A mágneses fluxus mértékegysége:

$$[\Phi]_{SI} = [B]_{SI} \cdot [F]_{SI} = T \cdot m^2 = Wb \text{ (Weber)} \quad (9)$$

2.4. Hall-effektus

A Hall-effektus annak a potenciálkülönbségnek a megjelenése, melyet a mágneses erőterbe helyezett áramvezető oldalai közt mérhetünk.

Téglatest alakú, ideális vezetőt, ahol a töltéshordozók a szabad elektronok, \vec{B} mágneses indukciójú térbe helyezve az elektronokra ható \vec{F}_M Lorentz-erő:

$$\vec{F}_M = (-e)\vec{v}_d \times \vec{B}, \quad (10)$$

ahol \vec{v}_d az elektronok driftsebessége. A kezdeti töltésfelhalmozódás miatt a vezetőben megjelenik egy \vec{E} térerősségű elektromos tér és kialakul az egyensúly, vagyis az \vec{F}_E elektromos erő és \vec{F}_M mágneses erő kiegyenlíti egymást:

$$|\vec{F}_E| = |\vec{F}_M| \quad (11)$$

vagyis

$$eE = ev_d B \quad (12)$$

A driftsebességet megadhatjuk az áramerősség definíciója alapján:

$$v_d = \frac{I}{neab}, \quad (13)$$

ahol a és b szorzata megadja a vezető keresztmetszetét, n pedig a térfogategységre jutó töltéshordozók száma.

A driftsebességre kapott (13) összefüggést behelyettesítve a (12) összefüggésbe kapjuk, hogy

a V_H Hall-feszültség megadható, mint:

$$V_H = Ea = \frac{BI}{neb} \quad (14)$$

Ismerve az áramerősség értékét meg tudjuk határozni a B értékét a Hall-feszültség mérésén keresztül. [4]

2.5. A mágneses tér mérésére használt eszközök

A mágneses tér kimutatására használható hétköznapi eszköz az iránytű. Ennek mintájára készülnek a mágneses mező jelenlétének kimutatására alkalmas mérőeszközök, melyeket a roncsolásmentes vizsgálatok során alkalmaznak. [5]

Az első magnetométert Carl Friedrich Gauss készítette 1832-ben: egy rúd mágnest vízszintesen felfüggesztett egy aranyszál segítségével és mérte a mágnes oszcillációjának periódusát a Föld mágneses terében. Így meghatározhatta a Föld mágneses terének erősségét. [6]

A modern magnetométereknek számos típusa létezik. A skalár magnetométerek a mágneses mező nagyságát adják meg. Működésük alapján megkülönböztetünk a Hall-effektuson, a proton precesszió (PPM) és az Overhauser effektuson alapuló magnetométereket. A vektor magnetométerek mérik a mágneses mező egy vagy több komponensét. Simon Foner 1959-ben feltalálta a vibrációs magnetométert (VSM), mely alkalmas a mágneses dipólmomentum mérésére. [7]

2.5.1. A Hall szenzor

A Hall-effektus alapján működő szenzorokban egy félvezető vékony filmet találunk. Ebben a vékony filmben az effektus mintájára az alkalmazott áramra és a jelen levő mágneses térre merőleges feszültség jelenik meg. Ez a feszültség a mágneses mező közvetlen mérőszáma, hogyha az áramerősség állandó.

A kis érzékeny elemmel rendelkező szenzorok esetén egy erősítő is jelen van az áramkörben, az analóg jelet pedig szükség esetén digitális jellé alakítják át.

2.5.2. Számítógépes módszerek

A dolgozatban két mágneseket forgalmazó cég online térszámoló adatait vettük figyelembe, ugyanis ezek az eladói szabványok a piacon vásárolható mágnesekre. Az egyik a *supermagnete.de* [8] weboldal, ahol találunk olyan táblázatokat, amelyek egy mágnes adatait ismerve, valamint a

távolságot bevezetve megadják nekünk a B értékét.

A másik weboldal a *K&J Magnetics* online kalkulátora, mely korong, lapos rúd, gyűrű és gömb alakú mágnesek esetén ábrázolja a mágneses teret, valamint megadja a meghatározott pontban a B értékét. [9]

Jelen dolgozat elkészítése során a legtöbbet használt számítógépes módszer a mágneses tér valamint a mágneses elrendezések vizualizálására a *Magpylib*. Ez egy Python csomag állandó mágnesek, áramok és egyéb források statikus mágneses mezőinek kiszámítására és ábrázolására. A *Magpylib*-et eredetileg az autóiipari pozícióérzékelő mágneses rendszerek tervezésének támogatására fejlesztették ki.[10]

2.6. A mágneses mező számítása

J. M. Camacho és V. Sosa megadtak egy alternatív, analitikus számítási módszert a gömb, kúp, henger, gyűrű és lapos rúd alakú permanens mágnesek mágneses terének számítására.

Az ebben a dolgozatban elvégzett mérések során henger alakú mágneseket használtunk. A fent említett cikk alapján a tengelyirányban mágnesezett, rúd-mágnes szimmetriatengelyén a mágneses indukcióvektor nagysága megadható, mint: [11]

$$B = \frac{B_r}{2} \left(\frac{D+z}{\sqrt{R^2 + (D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right), \quad (15)$$

Ahol

B_r a remanens mágnesezettség

z a szimmetriatengelyen a henger felületétől mért távolság

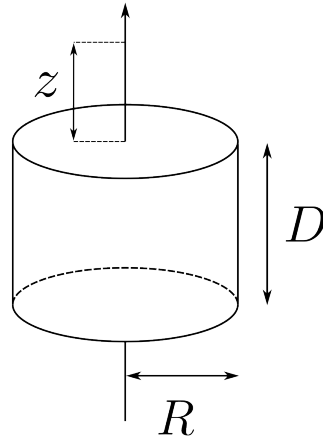
D a henger magassága

R a henger sugara

Ezt a képletet levezethetjük a David K. Cheng által írt könyv alapján. [12]. Ha egy tetszőleges magasságú és sugarú henger mágneses indukcióvektora kiszámítható az alábbi módon. Legyen a sugár R , a magasság D , a tengely menti mágnesezettség pedig \vec{M} .

A mágnes szimmetria tengelye egybe fog esni a koordináta rendszerünk z tengelyével, ahogy a 2.1 ábrán látható.

A mágneset úgy tekinthetjük, mint egy körvezető. Ahhoz, hogy kiszámítsuk a \vec{B} -t a $P(0, 0, z)$ pontban tekintsük a dz' elemi hosszt. Ekkor az elemi mágneses indukcióvektor:



2.1. ábra

$$d\vec{B} = \vec{1}_z \frac{\mu_0 M_0 R^2 dz'}{2[(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} \quad (16)$$

A fenti kifejezést a teljes henger magasságra integrálva:

$$\vec{B} = \int_0^D d\vec{B} = \vec{1}_z \int_0^D \frac{\mu_0 M_0 R^2}{2[(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} dz' \quad (17)$$

$$\vec{1}_z \int_0^D \frac{\mu_0 M_0 R^2}{2[(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} dz' = \frac{z' - z}{R^2 + (z' - z)^2} \Big|_0^L = \frac{-z}{\sqrt{z^2 + R^2}} - \frac{-D - z}{\sqrt{(-D - z)^2 + R^2}} \quad (18)$$

$$\vec{1}_z \int_0^D \frac{\mu_0 M_0 R^2}{2[(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} dz' = \frac{z + D}{\sqrt{R^2 + (D + z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \quad (19)$$

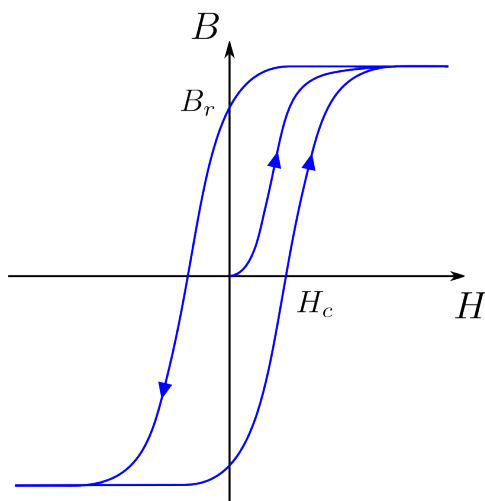
Tehát a kapott kifejezés a mágneses indukcióvektorra:

$$\vec{B} = \vec{1}_z \frac{B_r}{2} \left[\frac{z + D}{\sqrt{R^2 + (D + z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right] \quad (20)$$

3. Állandó mágnesek és tulajdonságaik

3.1. A hiszterézisgörbéből kiolvasható adatok

A ferromágneses anyagok számos jellemzője megadható a hiszterézisgörbe tanulmányozásán keresztül. A hiszterézisgörbére példát a 3.1. ábrán láthatunk. A görbe felvétele során a vizsgált mágneses anyagot külső mágneses térbe helyezünk. Ez a mágneses tér kezdetben kicsi, kezdeti irányát pedig nevezzük $+H$ -nak. Fokozatosan növelve a mágneses tér erősségét és lejegyezve a \vec{B} mágneses indukcióvektor nagyságát egy jól meghatározott $+H$ értékre telítődést figyelhetünk meg. Ezt a térerősség és mágneses indukció értéket telítődési térerősségnek és telítődési indukciónak nevezzük.



3.1. ábra. Példa a hiszterézisgörbére

Ezután csökkentve a H értékét megfigyelhetjük, hogy amikor elérjük a nulla értéket akkor a mágneses indukció nem lesz nulla, ezt az indukció értéket remanens mágneses indukciónak nevezzük és B_r -rel jelöljük. Ha a mágneses teret most ellenkező irányítással ellátva kezdjük növelni ($-H$) akkor a mágneses indukció értéke csökkenni fog. Azt a mágneses térerősség értéket, amelyre $B = 0$ koercitív térerősségnek nevezzük és H_c -vel jelöljük. A H_c értéke szerint megkülönböztetünk lágy és keménymágneseket. [13]

3.2. Az állandó mágnesek típusai

Az állandó mágneseknek négy nagy családja van: ferrit, AlNiCo, SmCo, NdFeB.

A kereskedelemben megtalálható mind a négy csoport, ugyanis mindegyik fajtának megvan

a maga sajátos előnye. A ferritek a legkisebb áron beszerezhető mágnesek, de ők a legkevésbé előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek. A ferritek koercitív térerőssége csökken a hőmérséklet csökkenésével.

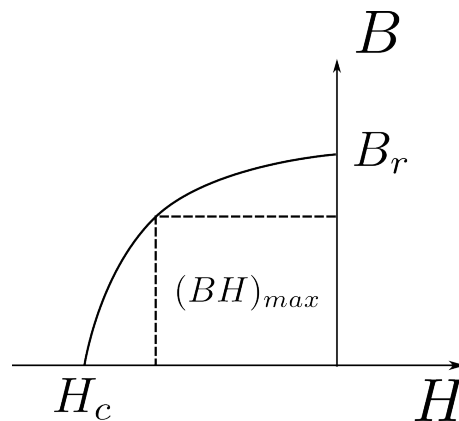
Az Alnico mágnesek esetén a B_r remanens mágneses indukció hőmérsékleti együtthatója kicsi és a legmagasabb a maximális munkahőmérsékletük, de nagyon kicsi a koercitív térerősségük. [14]

A mágneses anyagok jellemzőinek hőmérsékleti együtthatójára azért van szükség, mert az összes, mágneseket jellemző mennyiség hőmérsékletfüggő. A hőmérsékleti együtthatót általában lineárisan definiáljuk, de ez nem igaz nagy hőmérsékleti tartományokra. A B_r hőmérsékleti tényezője a $[T_0, T]$ tartományra: [15]

$$\alpha(B_r) = \frac{B_r(T) - B_r(T_0)}{B_r(T_0) \cdot (T - T_0)} \quad (21)$$

A samárium kobalt (SmCo) mágnesek koercitív térerőssége kivételesen nagy és a B_r hőmérsékleti tényezője relatív kicsi, de a samárium és a kobalt is drága alapanyag, így ezek a mágnesek csak magas áron vásárolhatók meg.

A neodímium vas bór (NdFeB) mágneseknek négy különböző fajtája van: ragasztott, melegen sajtolt, préselt és porfestett (szinterezett). A neodímium mágnesek $(BH)_{max}$ értéke nagy, viszont hátrányuk a kis korrózióállóság és a munkahőmérsékletük. [14]



3.2. ábra. A hiszterézisgörbe második negyede, melyen megadható a $(BH)_{max}$ érték, mint a görbe alá rajzolható téglalap maximális területe

A $(BH)_{max}$ érték az a maximális energia, amelyet egy mágneses anyag egy külső mágneses körnek adni képes. A BH diagramon ez megadható, mint az a maximális téglalap alakú terület, amely egy a BH görbe alatt található. A $(BH)_{max}$ mértékegysége $\frac{kJ}{m^3}$ vagy $MGOe$. [15]

Ezeket a hátrányokat úgy lehet kiküszöbölni, hogy a mágneseket megfelelő bevonattal látjuk el és figyelünk annak a környezetnek a hőmérsékletére melyben használjuk őket. [14]

4. Kísérleti rész

4.1. A prototípus



(a)

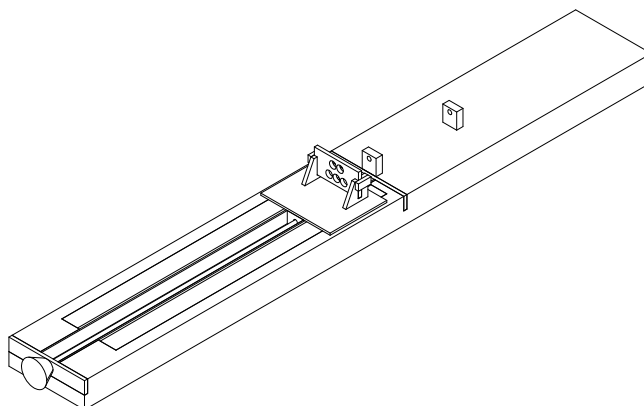
(b)

4.1. ábra. Az elkészült prototípus

A dolgozat során végzett méréseink célja az volt, hogy tanulmányozzuk az áramköri elemek kapcsolásának analógiájára sorosan és párhuzamosan elhelyezett mágnesek mágneses indukciójának változását a távolsággal.

A berendezés, amivel a méréseket kezdetben végeztük egy olyan mechanikus rendszer mely a forgó mozgást haladó mozgássá alakítja. A méréseket végző egyén a berendezés végén levő fogantyút elforgatva elmozdítja a mágnesstartó platformot, így állítva a mágnesek és a Hall-szonda közti távolságot.

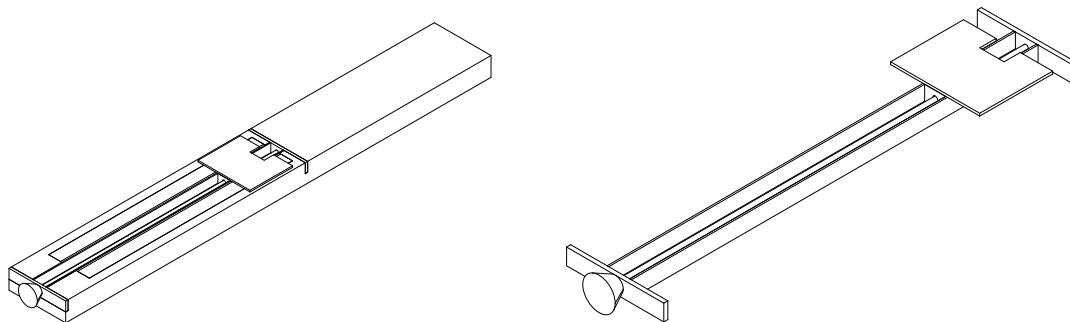
4.1.1. A prototípus leírása



4.2. ábra. A kísérleti berendezés vázlata

Az első kísérleti berendezés (a továbbiakban prototípus) vázlata, a 4.2. ábrán látható. A prototípus három fő részre osztható: az alap, a mágnesstartó és a szondatartó. A teljes tervrajz megtalálható a A. függelékben.

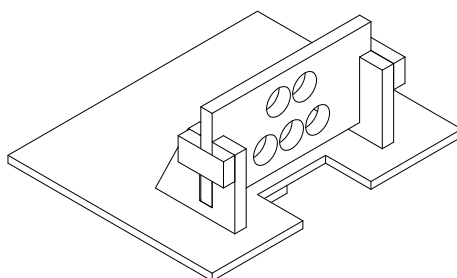
Első és egyben legösszetettebb rész az alap (4.3. ábra). Ez felelős azért, hogy a mágnesek és a Hall-szonda közti távolságot a kívánt értékre állíthassuk.



4.3. ábra. Bal: az alap teljes rajza; Jobb: a mágnesek mozgását megvalósító elemek rajza

Az alap rész tervezése, majd kivitelezése során a legnagyobb kihívást az jelentette, hogy olyan ötvözetekből készült alkatrészeket használjunk, melyeket nem vonzanak a tanulmányozott mágnesek. Ilyen tulajdonsággal rendelkező ötvözet az ausztenites rozsdamentes acél. Az ausztenit a vas egy allotróp módosulata, vagyis a halmazállapota azonos, de kristályszerkezete más. A ferrit vagy α -vas szerkezete tércentrált köbös, míg az ausztenit vagy γ -vas lapcentrált köbös szerkezetű. A rozsdamentes acélon kívül még találhatóak a berendezésben alumínium elemek is. [16]

Az alap egy része négy laminált faforgács lapból van összeragasztva, középen egy alumínium sínnel. A sín mindkét végén, rá merőlegesen található egy-egy alumínium lapos rúd. Ezek a lapos rudak felelősek azért, hogy a sínbe helyezett rozsdamentes acél menetes szárat rögzítsék. A rajtuk levő lyukakban a szár szabadon elfordulhat. Ezek a részek a 4.3. ábra jobb oldalán láthatóak.

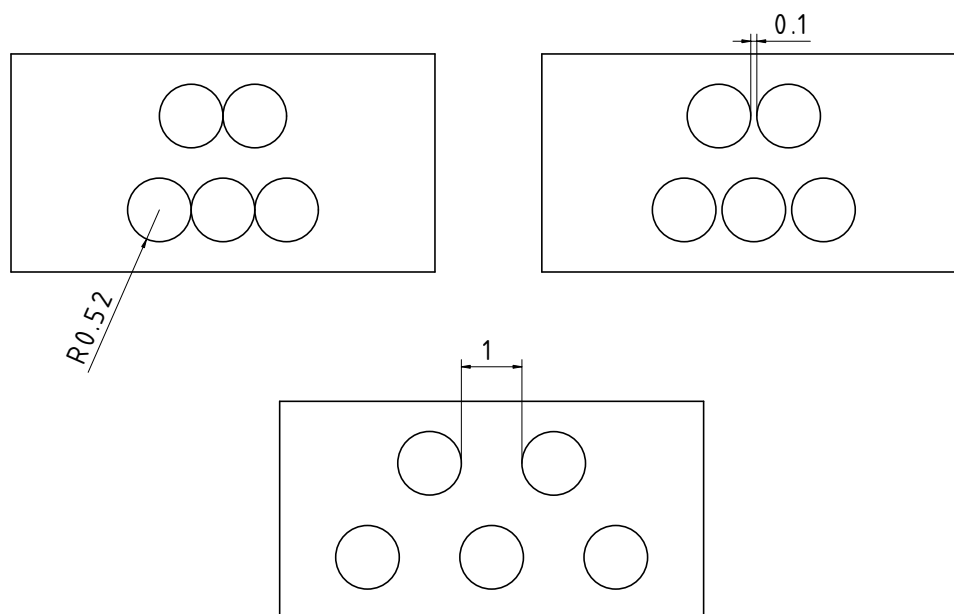


4.4. ábra. A mágnesstartó platform: az U alakú plexiüveg, alatta a fenyőfa darab. A plexiüvegen látható a mágnesstartó összerakott állapotában: a trapézok, a téglatestek és az 5 lyukkal ellátott lap

Az alumínium sínben találunk egy fenyőfából készült téglatestet. A téglatest teljes hosszán furat van, egyik oldalt egy Tessauer anyacsavarral. [17] Ha az anyacsavart, a téglatesttel együtt a menetes szárra csavarjuk és a sínbe helyezzük, akkor a szár forgási irányának függvényében a téglatest a sínben adott irányú mozgást fog végezni. Erre a fa téglatestre ragasztottunk egy U alakú plexiüveg lapot, melyen egy a mozgás irányára merőleges jelzés van karcolva. Mindezt a 4.4. ábrán láthatjuk,

A sín két hosszanti oldalán találunk egy-egy 40 cm hosszú vonalzót. A plexiüveg U alakja lehetővé teszi, hogy akkor amikor az üvegbe karcolt jelzés a vonalzó zérus pozíciójában van akkor a mágnes és a Hall-szonda érintsék egymást.

A mágnesstartó elrendezés a plexiüvegen kapott helyet. A kísérlethez használt mágneseket 3D nyomtatott tartókkal rögzítettük. Ezekon a tartókon 5 lyuk van, 2 sorba elrendezve így lehetővé téve két vagy három mágnes tengelyszimmetrikus elhelyezését. A lyukak közti d távolság rendre 0, 1, 10 mm. Lásd a 4.5. ábrát.



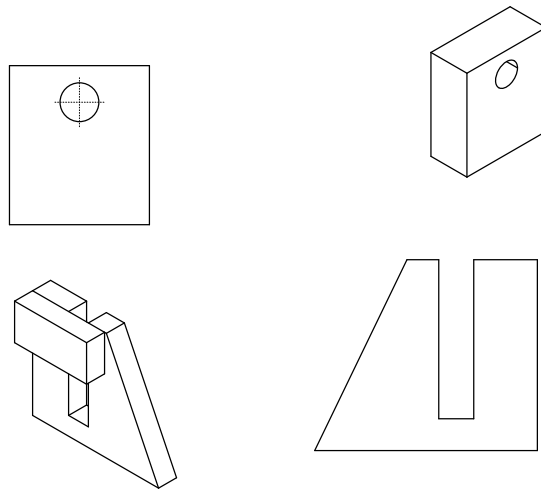
4.5. ábra. A mágnesek közti állandó távolság biztosítására tervezett lapok

Az üvegre merőlegesen olyan trapézokat ragasztottunk, melyeken van egy bemetszés. Ebbe a bemetszésbe csúsztatjuk bele a fent említett távolságtartó lapokat. A trapézok külső oldalára egy-egy téglatest van ragasztva. Erre azért van szükség, hogy meggátolja a lapok oldal irányú elmozdulását a mérések során.

A szondatartó két 3D-nyomtatott elemből áll, felső részükön egy-egy lyukkal, mely átmérője megegyezik a szonda átmérőjével. A PHYWE axiális Hall-szondát ezek az elemek rögzítik. A

méréseket a PHYWE digitális teslaméterrel végeztük. [18] [19]

A trapézok és a szondatartó tervei a 4.6. ábrán láthatóak.



4.6. ábra. Felül: a szondatartó 3D-s képe; Alul: a trapéz és a rá ragasztott téglatest, tőlük jobbra pedig a trapéz tervrajza

Méréseinkhez három, a szimmetria tengelyeik mentén mágnesezett, N35-ös típusú, henger alakú mágneset használtunk.

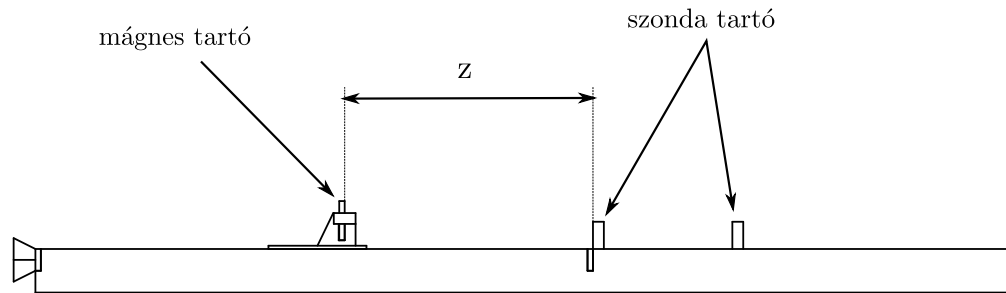


4.7. ábra. A henger alakú mágnesek

4.1.2. A prototípussal végzett mérések

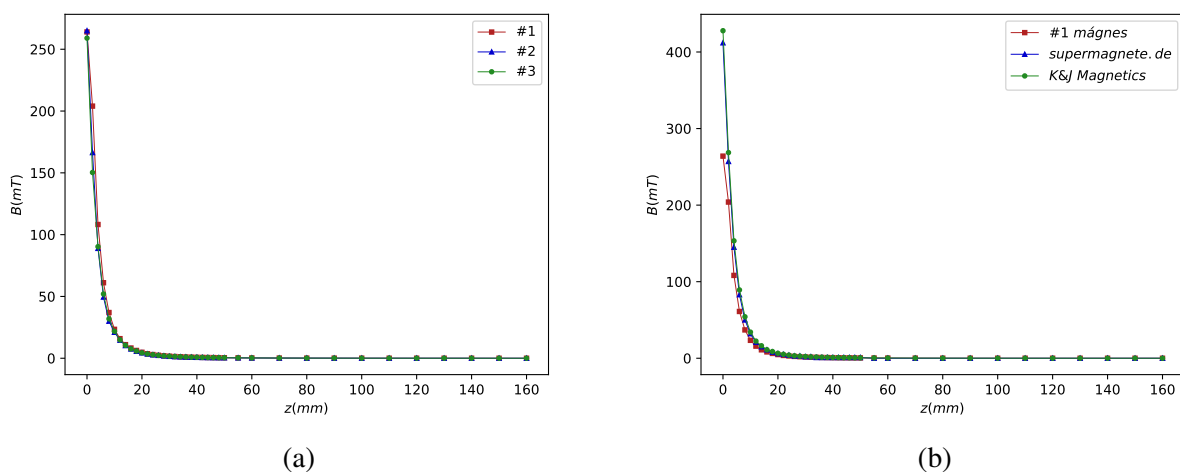
Minden különböző mágnes elrendezés esetén a Magpylib könyvtárat felhasználva grafikusán ábrázoltuk 3D-ben a mágnesek térbeli elhelyezkedését. Minden 3D ábra mellé társítottunk egy grafikont azzal a céllal, hogy vizualizáljuk a mágnesek által keltett teret az előzőleg említett ábrák xOz síkjában. Ezen kódok részletei a D. függelékben láthatóak.

Méréseink során a z távolságot a Oz tengely mentén mértük, az alábbi ábra szerint:



4.8. ábra

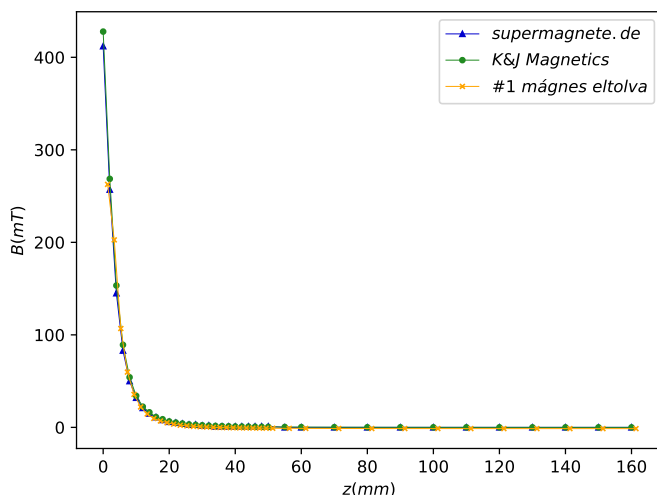
Elsőként megmértük egyenként a három mágnes indukcióját úgy, hogy rendre a mágnesstartó középső lyukjába helyeztük őket. Ennek a 3 mérési sorozatnak az eredményei a 4.9a. ábrán láthatóak. Látható, hogy a három mágnest egyformának lehet tekinteni.



4.9. ábra. (a) a mágneses indukció egyenként a mágnesekre; (b) Az #1 mágnes és az eladói szabványok összehasonlítása

A kapott eredményt összehasonlítottuk néhány szabványosított eladói adattal a 4.9b. ábrán. Az általunk mért értékek kisebbek, mint a szabványbeliek ugyanis mi nem ismerjük pontosan a

mágnesek esetén a B_r értékét. Valószínű, hogy a PHYWE szondában a Hall-szenzor nem a rúd végén van. Viszont ha az #1-es mágnesre kapott adatsort eltoljuk az x tengely mentén 1.35 mm -rel, akkor jó egyezést tapasztalunk. Ebből hozzávetőlegesen megkaphatjuk a szenzor távolságát a rúd végétől. Mindezt a 4.10. ábrán láthatjuk.



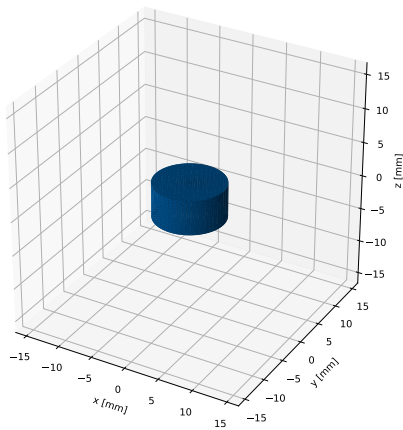
4.10. ábra. Az eladói szabványok és a mi adatsorunk összehasonlítása akkor, ha a kapott eredményeket eltoljuk 1.35 mm -rel

A 2.6. alfejezetben a B -re megadott összefüggést felhasználva függvényt illesztettünk az eltolt adatsorokra és kiszámítottuk mindhárom mágnesre a B_r remanens indukció értékét. A kapott B_r értékeket a 1. táblázatba gyűjtöttük össze.

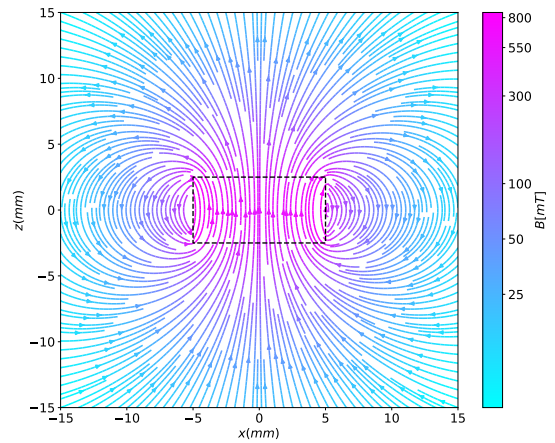
<i>Mágnes</i>	B_r
	<i>mT</i>
#1	1108.967
#2	1032.118
#3	996.524

1. táblázat

A magpylib könyvtárat felhasználva a mágneses elrendezés 3D ábrája és a statikus mágneses tér kirajzolása a 4.11. ábrán látható.



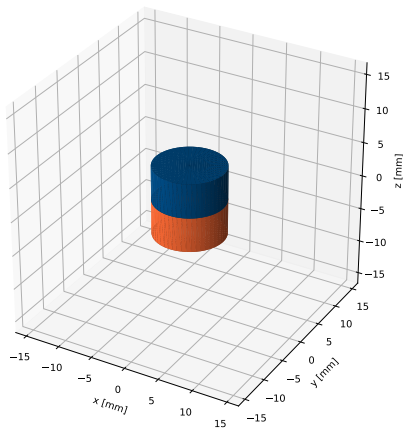
(a)



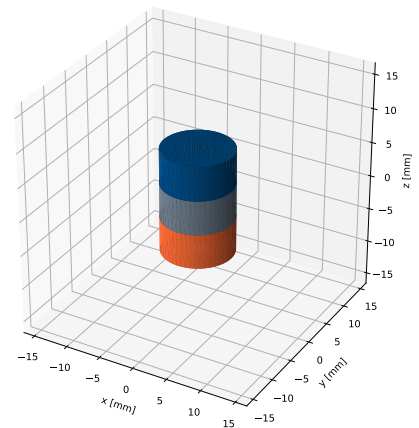
(b)

4.11. ábra. (a) az #1-es mágnes 3D ábrája; (b) a mágneses tér ábrázolása

A következő konfigurációt soros elrendezésnek nevezhetjük, a sorosan csatlakoztatott áramköri elemek analógiájaként és a 4.12. ábrán láthatjuk. Ekkor a két vagy három mágneset tartalmazó rendszert úgy alkotjuk meg, hogy az első mágnes déli részét a második mágnes északi részéhez csatoltuk és így tovább. Ezt a konfigurációt ugyanúgy rögzítettük a mérőberendezésre, mint ahogy azt az egyetlen mágnes esetén bemutattuk.



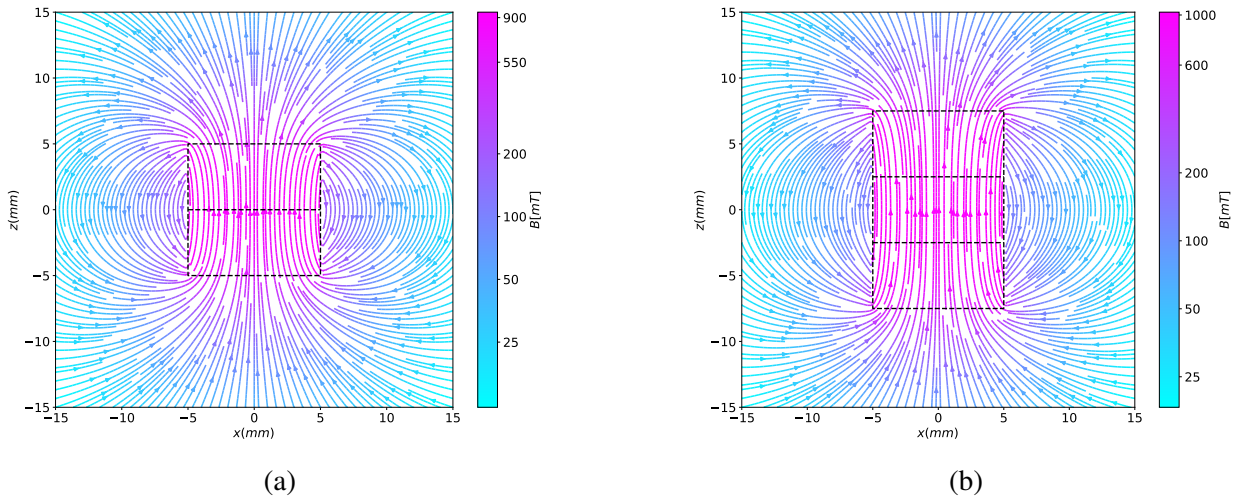
(a)



(b)

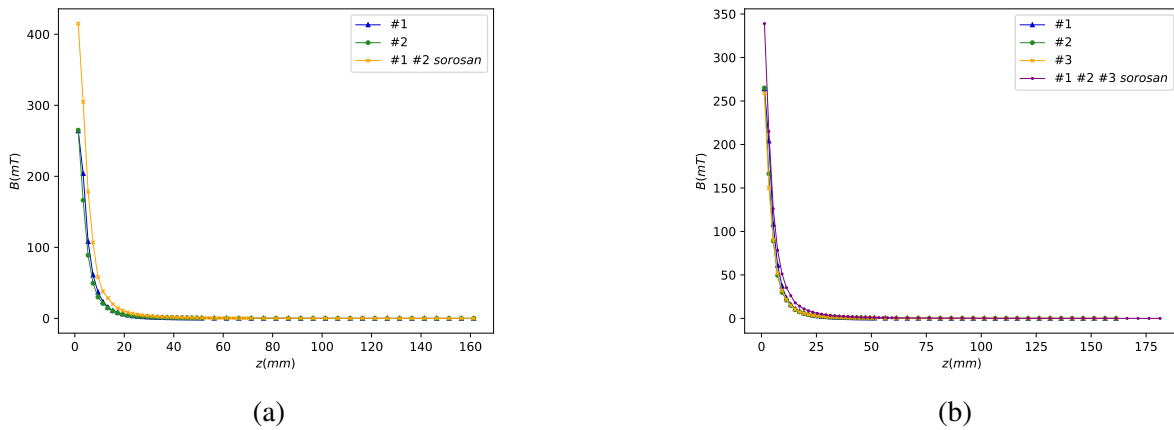
4.12. ábra. Soros elrendezés két vagy három mágnes esetén

Itt a z tengely egybeesik a mágnesek szimmetriatengelyével. A mágneses tér erővonalait a 4.13. ábrán láthatjuk.



4.13. ábra. Soros elrendezés mágneses erővonalai két, illetve három mágnes esetén

A soros elrendezésben mért mágneses indukció nagysága a távolság függvényében a 4.14. ábrán látható. Ezeket az adatsorokat összehasonlítottuk az egyenként mért mágnesek adataival.



4.14. ábra. Soros elrendezés mágneses erővonalai két, illetve három mágnes esetén

Amint várható volt a soros elrendezések nagyobb mágneses teret hoznak létre, azonban ez kisebb mintha a használt mágnesek tereit összeadnánk. Mindez analitikusan is kimutatható, felhasználva a (15) összefüggést.

Hogyha az első mágnes felülete a mérés helyétől z távolságra van, akkor a második mágnes felülete ettől a ponttól $D + z$ -re, a harmadiké $D + D + z$ -re és így tovább. Ekkor a mágneses indukciók felírhatóak, mint:

$$B_1(z) = B(z) = \frac{B_r}{2} \left(\frac{D+z}{\sqrt{R^2 + (D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \quad (22)$$

$$B_2(z) = B(D+z) = \frac{B_r}{2} \left(\frac{D+D+z}{\sqrt{R^2 + (D+D+z)^2}} - \frac{D+z}{\sqrt{R^2 + (D+z)^2}} \right) \quad (23)$$

$$B_3(z) = B(D + D + z) = \frac{B_r}{2} \left(\frac{D + D + D + z}{\sqrt{R^2 + (D + D + D + z)^2}} - \frac{D + D + z}{\sqrt{R^2 + (D + D + z)^2}} \right) \quad (24)$$

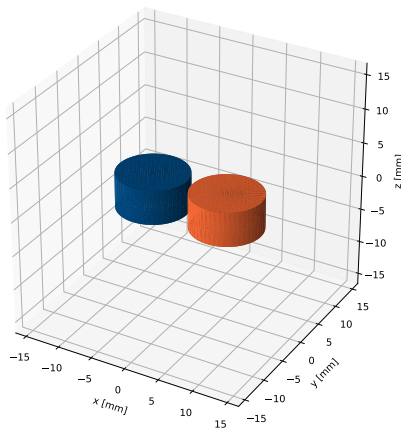
Tehát kettő, illetve három soros mágnes esetén a mágneses indukció és a távolság közt fennálló összefüggések:

$$B_{1+2}(z) = B_1(z) + B_2(z) = \frac{B_r}{2} \left(\frac{D + D + z}{\sqrt{R^2 + (D + D + z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \quad (25)$$

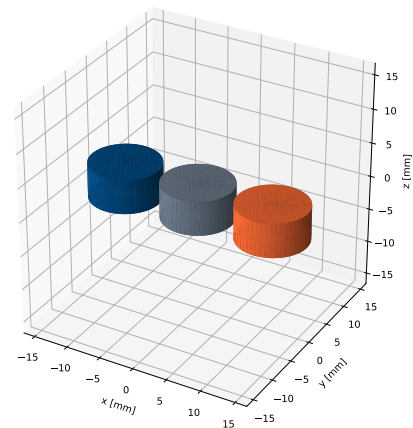
$$B_{1+2+3}(z) = B_1(z) + B_2(z) + B_3(z) = \frac{B_r}{2} \left(\frac{D + D + D + z}{\sqrt{R^2 + (D + D + D + z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \quad (26)$$

Összehasonlítva a (15) és (25) összefüggéseket kijelenthetjük, hogy két egyforma mágnes sorosan elhelyezve ekvivalens egy olyan mágnessel, mely ugyanabból a mágneses tulajdonságú anyagból készült, ugyanakkora a sugara de kétszer olyan magas. Három sorosan elhelyezett mágnes pedig egy háromszor vastagabb mágnessel helyettesíthető.

Az ellenállások kapcsolásának mintájára megvizsgáltuk a párhuzamos elrendezést is. Ekkor a mágnesek megegyező pólusai a mágnesstartó ugyanazon oldalán vannak. Két és három párhuzamos mágnes esetén is $3d$ távolságot vizsgáltunk meg, először a mágnesek 0 mm majd 1 mm és 10 mm -re voltak egymástól. A 4.15. ábra ad példát az 1 mm távolsággal jellemzett konfigurációkra.



(a)

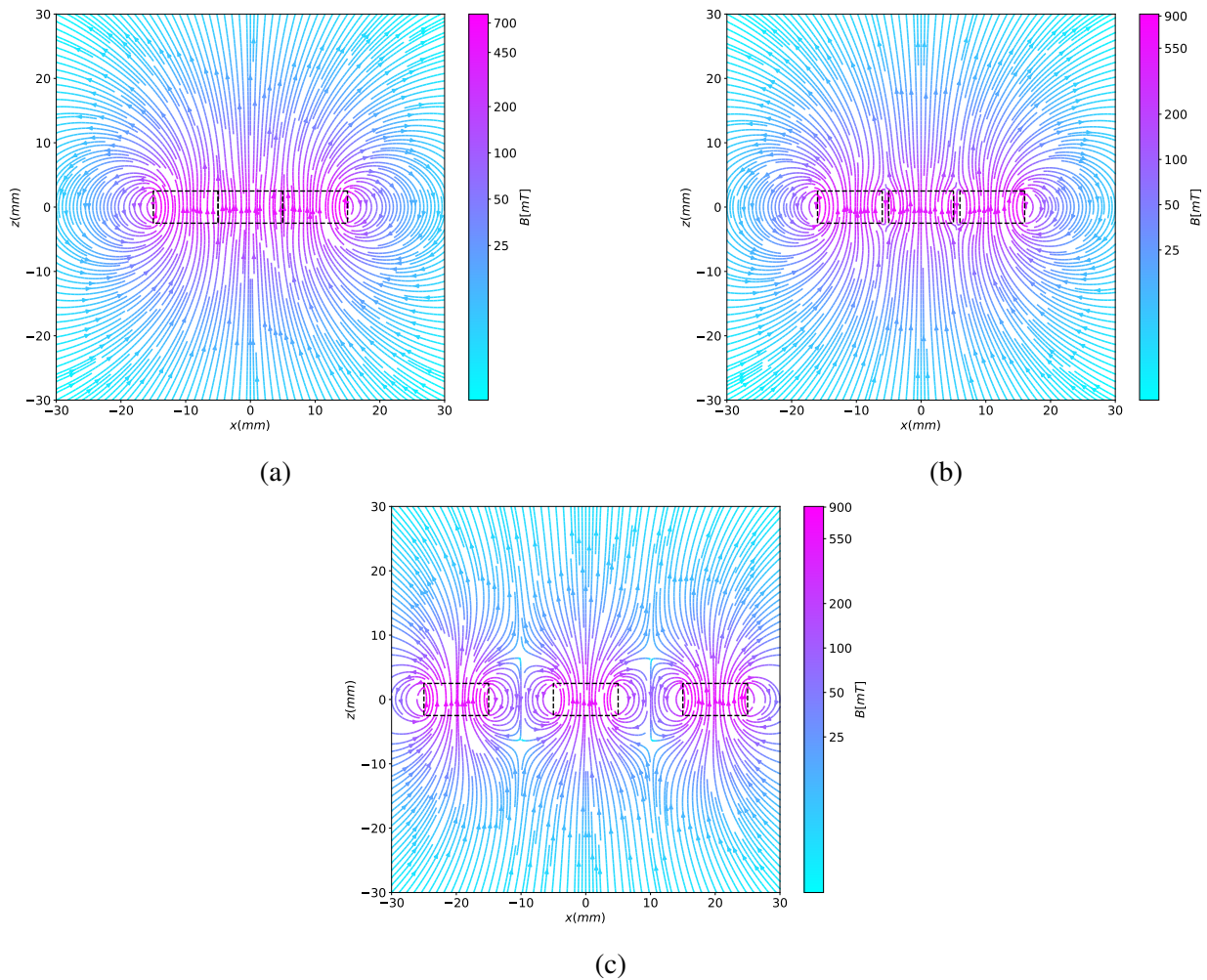


(b)

4.15. ábra. Párhuzamos elrendezés két, illetve három mágnes esetén akkor, ha a köztük levő távolság 1 mm

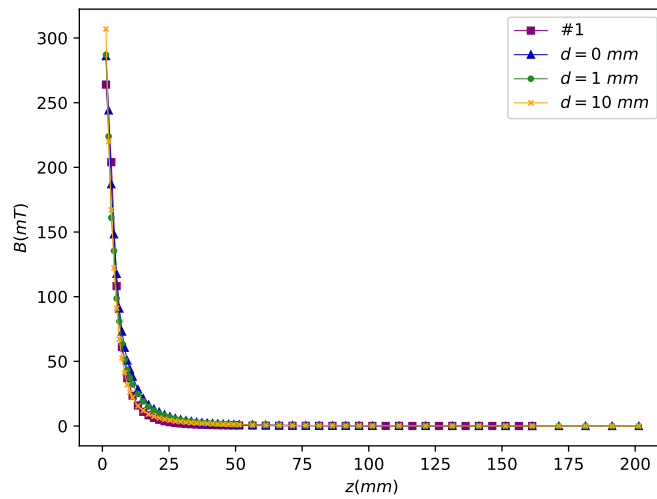
A két mágnessel végzett mérés során az egyenes, mely mentén a szonda haladt merőleges a mágnesek alapjára és a köztük levő távolság felénél helyezkedik el. Három mágnes esetén ez az egyenes egybeesik a középső mágnes szimmetriatengelyével.

A 4.16. ábra a három mágnes körüli mágneses tér vizualizációját mutatja be, rendre a három d távolságra. A 4.17. ábrán a méréseink eredményét ábráztuk.



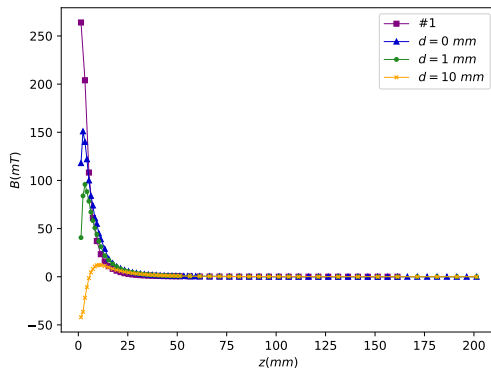
4.16. ábra. Mágneses tér erővonalai három mágnes esetén, amikor a mágnesek rendre 0, 1, 10 mm-re vannak egymástól

Láthatjuk, hogy a három párhuzamos mágnes adatsora hasonló a sorosan elrendezett mágnesekéhez, bár a B mágneses indukcióra kapott értékek kisebbek.

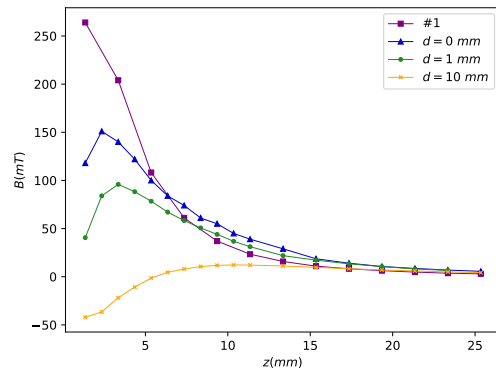


4.17. ábra. Mérési eredmények három párhuzamos mágnes esetén

Azonban hogyha két párhuzamosan elhelyezett mágneset vizsgálunk akkor az eddigiektől eltérő viselkedést tapasztalunk. A teljes adatsorok valamint a mágnesről mért 2.5 cm felnagyított grafikonja a 4.18. ábrán látható.



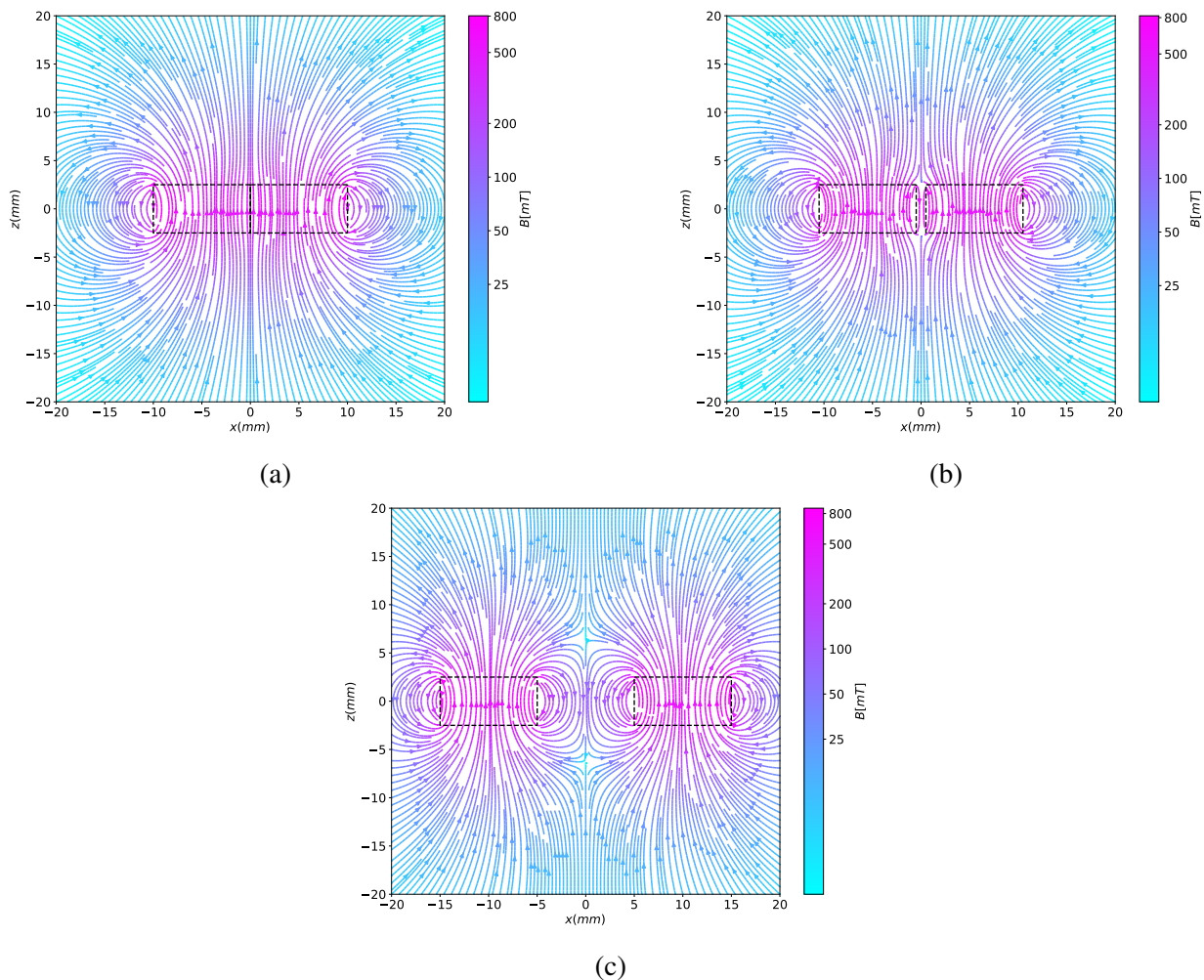
(a)



(b)

4.18. ábra. (a) A mágneses indukció nagysága, amikor két mágnes rendre $0, 1, 10\text{ mm}$ -re található egymástól; (b) az (a) egy részének kinagyítása

A mágneses erővonalakat ezeknél a mágneseknél is ábrázoltuk.



4.19. ábra. Mágneses tér erővonalai két mágnes esetén, amikor a mágnesek rendre 0, 1, 10 mm-re vannak egymástól

A pontosabb és automatizált mérés céljából a prototípus alapján terveztünk és összeállítottunk egy másik berendezést is, melyet a következő fejezetben mutatunk be.

4.2. A továbbfejlesztett berendezés

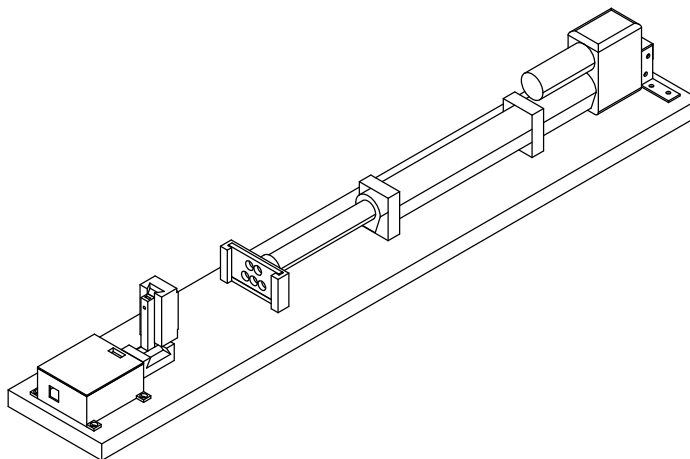


4.20. ábra. A továbbfejlesztett berendezés

A kezdeti mérések elvégzése után azt tűztük ki célunk, hogy egy elektronikusan vezérelhető mérőberendezést készítsünk azért, hogy érzékenyebb Hall-szenzort használhassunk és hogy a távolság beállítását ne közvetlenül a kísérletet végző személy kelljen elvégezze. Továbbá célunk az is, hogy a távolságot pontosabban állíthassuk be és a mérési időt csökkentsük.

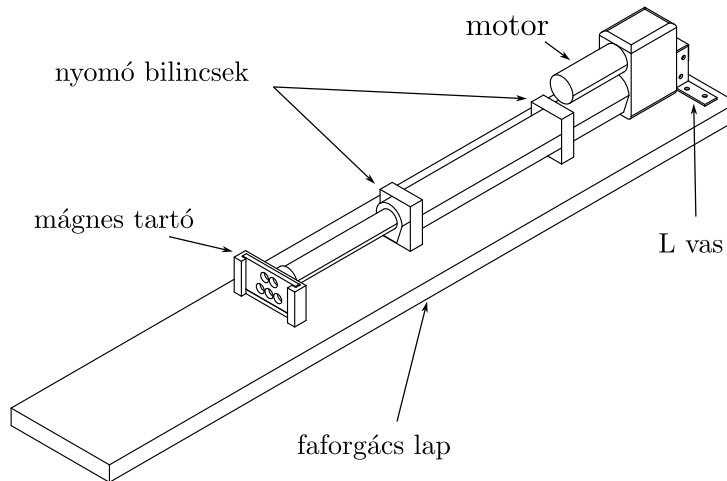
4.2.1. A berendezés leírása

A készített berendezés az alábbi 4.21. ábrán látható. Itt az általunk készített részeket rajzoltuk le, valamint információs célból megterveztük a lineáris léptetőmotor vázlatát. A berendezés terveit a B. függelék tartalmazza.



4.21. ábra. A továbbfejlesztett berendezés vázlata

Akárcsak a prototípus esetén, a továbbfejlesztett változat alkatrészei is egy laminált faforgács lapon vannak elhelyezve. Ezt a berendezést két fő részben fogjuk tárgyalni. Elsőként a motor és a rá tervezett mágnesstartót mutatjuk be a 4.22. ábrán, melyek esetén a rögzítést barkácsboltban kapható elemek átalakításával oldottuk meg. Ezután a szenzor és Arduino Board állítására és tárolására alkalmas 3D nyomtatott részokról esik szó, melyeket a 4.24a. ábra mutat be.



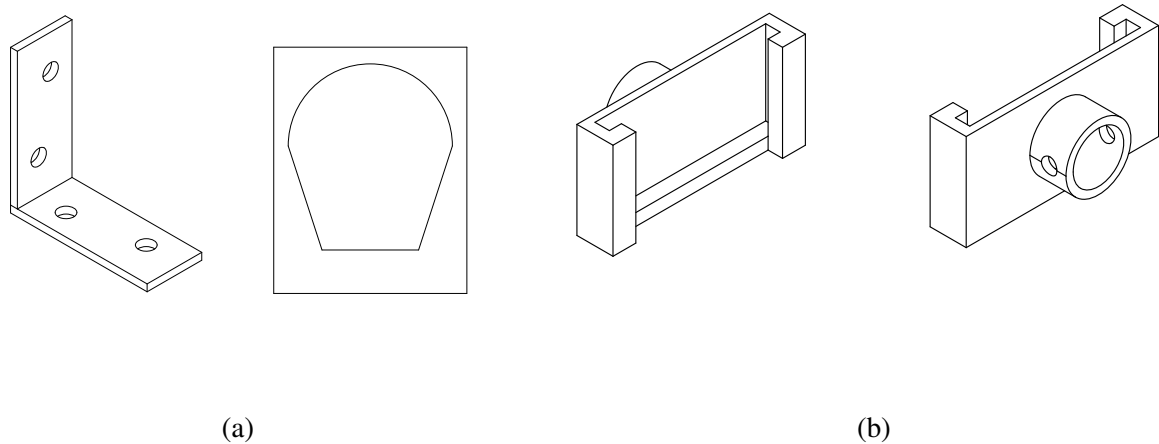
4.22. ábra. A motor és a mágnesstartó rész ábrája

A mérések során a Glideforce lineáris aktuátort használtuk a szenzor és a mágnesek közti távolság beállítására. [20]

A motor mindkét végét a fa laptól állandó távolságra kell tartanunk. Ezt kábelek rögzítésére használt sorolható nyomó bilincsekkel oldottuk meg. A nyomó bilincsek alsó, a forgács lapra csavarozható részéből kicsiszoltunk addig, míg mindkettő 9 mm távolságra tartotta a motort a laptól.

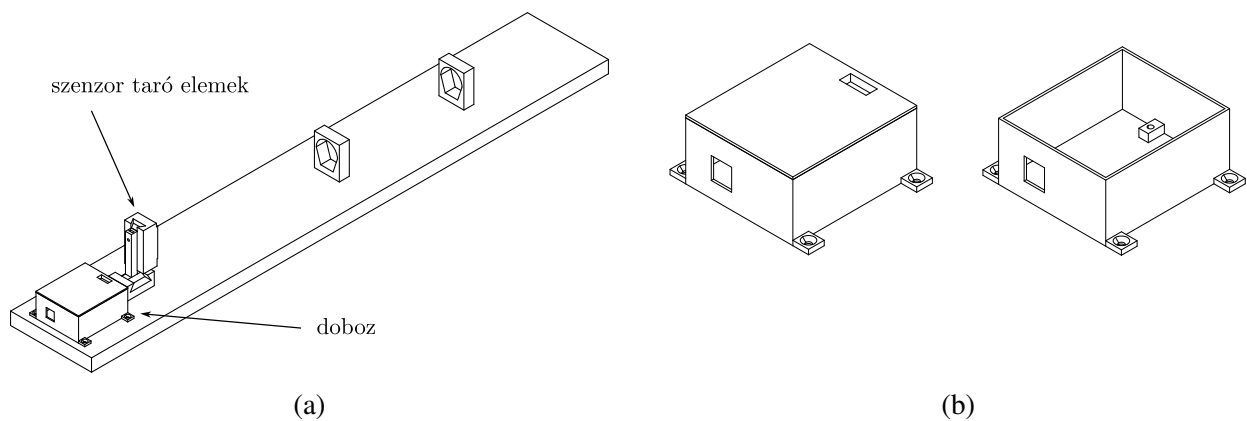
A motor hátoldalán, a faforgács lap szélén találunk két, egymással szembe fordított L vasat, azért hogy a motor hátulján levő rögzítésre szánt lyukon egy süllyesztett fejű csavart átbújtatva megakadályozzuk a motor elmozdulását a faforgács lappal párhuzamos síkban. A nyomóbilincsek és az L vas vázlata a 4.23a. ábrán látható.

A motor karjának a végére terveztünk egy úgynevezett "sapkát". Ez a sapka a prototípusnál bemutatott, öt lyukkal ellátott mágnesstartó lapokat rögzíti a kar végére. A kar végébe pedig egy csapot terveztünk, hogy a sapka ne fordulhasson el mérés közben. A sapkát és a csapot is 3D nyomtatóval készítettük, lásd a 4.23b. ábrát.



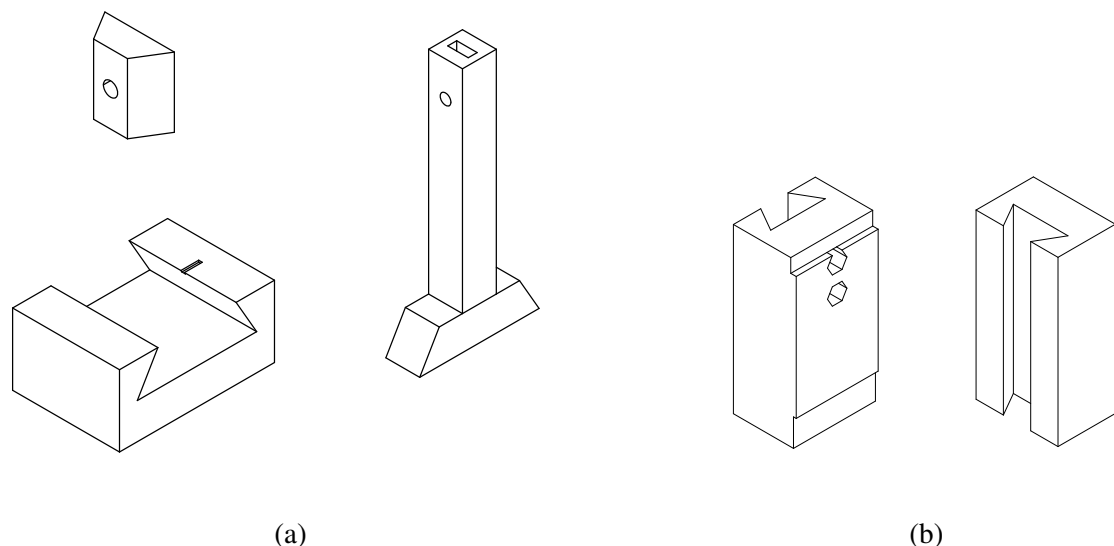
4.23. ábra. (a) A barkácsboltban vásárolt alkatrészek. Bal oldalon az L vas, jobb oldalon a sorolható nyomó bilincs vázlata (b) A lineáris léptetőmotor karjának végére tervezett sapka

A berendezés vezérlését egy Arduino Uno Board segítségével végezzük. Ezt a board-ot a faforgács lap motorral ellentétes végén levő dobozban tároljuk, melyet csavarokkal a laphoz rögzítettünk. A dobozon hagytunk nyílásokat a számítógéphez valamint a szenzorhoz futó kábeleknél. A belsejében pedig fűlek vannak, hogy a board-ot csavarokkal lehessen a dobozban rögzíteni.



4.24. ábra. (a) Az Arduino Board-nak helyet adó doboz, mögötte pedig a Hall-szenzor helyzetének beállítására tervezett mechanizmus; (b) Az Arduino Board doboza

A szenzort tartó elemek képesek a faforgács lap síkjára merőleges síkban mozgatni a használt analóg Hall-szenzort [21]. A mechanizmus alkatrészei a 4.25a. ábrán láthatóak, alapja egy 3D nyomtatott téglatest, melybe trapéz alakú sínt terveztünk azért, hogy a szenzor a motor és a mágnesek mozgásának irányára merőlegesen, a faforgács lap síkjával párhuzamosan elmozdulhasson.



4.25. ábra. (a) A trapéz alakú sínrel ellátott alsó rész, az oszlop és az oszlopra ragasztott csonkagúla
 (b) A szenzor nyomtatott áramkörére tervezett elem, hátul a trapéz alakú sínrel

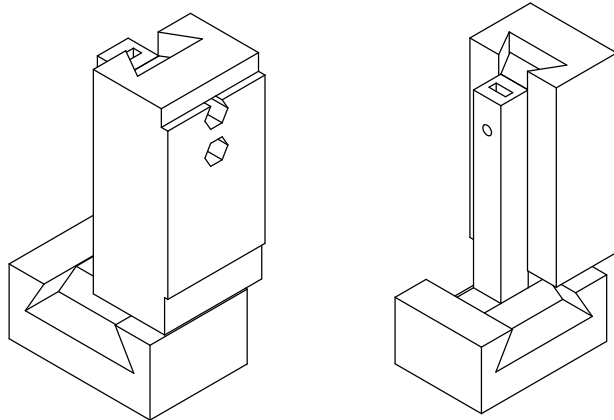
Ebbe a sínbe talál egy trapéz formájú lábbal ellátott kis oszlop, melynek a tetején egy téglalap alakú lyuk található. A lyukba egy kis csavar anyát csúsztatunk, úgy hogy annak a középpontja pontosan az oszlop két oldalára tervezett lyuk középpontjával egy egyenesre essen.

Az oszlop azon oldalára amely a motor és a mágnesek felé esik egy, a magassága mentén lyukas, csonkagúlát ragasztottunk.

Azon a nyomtatott áramkörön, melyen a Hall-szenzor is található hatszögű, műanyag csavar anyák vannak. A nyomtatott áramkörnek egy olyan tartóelemet terveztünk, mely elől rendelkezik két hatszögű lyukkal, hogy beleragaszthassuk az anyacsavarokat és lépcsőhöz hasonló részekkel, hogy a forrasztások elférjenek.

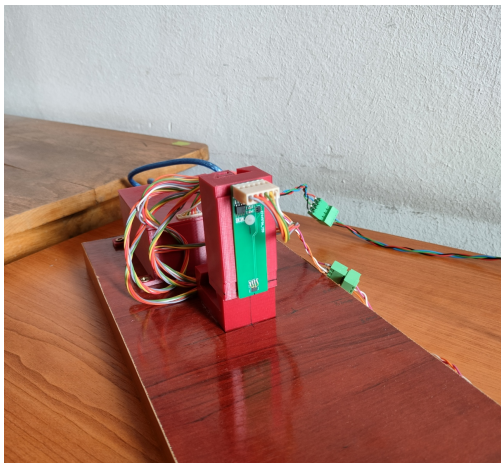
A szenzor 3D nyomtatott tartóelemének ellenkező oldalán egy trapéz metszetű sín van, melybe a csonkagúla illeszledik. Ha egy csavart átvezetünk az oszlop lyukjain és a csavar anyán, majd át a csonkagúlán és elérjük a szenzortartó sínjét valamint kellően meghúzzuk a csavart akkor függőlegesen is tudjuk rögzíteni a szenzort. Mindezt a 4.25b. ábra szemlélteti. A szenzortartó tervei a B. függelékben találhatóak.

A szenzortartó alkatrészei a helyükre illesztve a 4.26. ábrán láthatóak. Ezt az alkatrész együttest a léptetőmotor elé, a mágnesekkel szemben a faforgács lapra ragasztottuk.

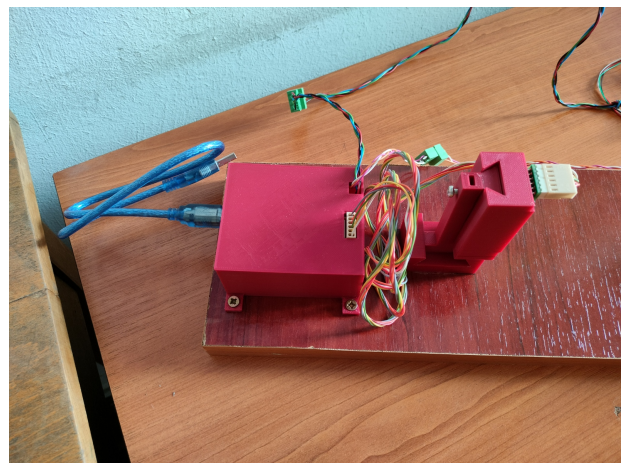


4.26. ábra. A Hall szenzort tartó mechanizmus összerakott állapotában

A berendezés áramköréhez tartozik az Arduino mikrovezérlő és a rá helyezett Shield. A mikrovezérlőhöz még csatlakoztattunk egy *TAL220*-as mérlegcellát. A Hall-szenzor és egy hőmérsékletszenzor a fent említett nyomtatott áramköri elemen kaptak helyet.



(a)

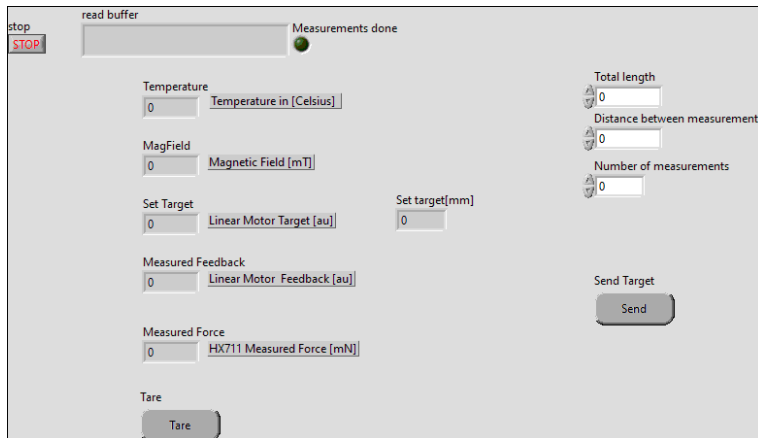


(b)

4.27. ábra. Az Arduino board doboza és a kinyomtatott szenzortartó. A szenzortartó elemen látható a nyomtatott áramkör, alsó részén pedig a Hall-szenzor

4.2.2. A berendezés vezérlése

A továbbfejlesztett kísérleti berendezést egy LabVIEW program segítségével vezéreljük, melyhez egy felhasználói felület is társul. A LabVIEW egy grafikus programozási környezet, amelyet a mérnökök automatizált kutatási és gyártási tesztrendszerek fejlesztésére használnak. Minden LabVIEW programnak van egy "Front Panel" és egy "Block Diagram" része. A mérést végző személy a Front Panel-t használja, a programozás pedig a Block Diagram-on levő függvények használatával történik. [22]



4.28. ábra. A LabVIEW Front Panel

Az általunk írt LabVIEW program kezdetben várja, hogy a felhasználó megadja mm -ben a mérések maximális hosszát (**Total length**), két mérési pont közti távolságot (**Distance between measurements**) és az egy mérési pont esetén végzett mérések számát (**Number of measurements**). A tervezett Front Panel a 4.28. ábrán látható. A Block Diagram-ot csatoltuk a C. függelékben.

A **Send** gomb megnyomásakor a LabVIEW lefuttat egy Python kódot, melyben a felhasználó által megadott három adatból készítünk egy tömböt, mely növekvő sorrendben tartalmazza az értékeket, egészen a **Total length** értékig (ekkor a mágnes és a szonda érintik egymást), a pontok közti távolság pedig az előzőleg megadott érték. A Python által visszatérített tömbben az értékek a léptető motor egységében vannak. Ezt a tömböt visszatérítjük a LabVIEW-nak és kimentjük egy szövegfájl-ba, hogy később egy Python kóddal ábrákat készíthessünk belőle.

Az Arduino mikrokontrollerről be tudunk olvasni egy karakterláncot, mely tartalmazza az alábbi adatokat:

- az aktuális cél távolságot, a motor saját egységeiben és mm -ben
- a motor saját egységeiben mért pillanatnyi helyzetét

- a mérlegcella által mért erőt, mN -ban
- a hőmérsékletet $^{\circ}C$ -ban
- a mágneses indukcióvektor nagyságát mT -ban

A motor karja rendre felveszi a Python által megadott távolságok értékeit. Mindegyik helyzetet elérve megáll, míg elvégzi a megadott számú mérést és a mágneses indukció értékeit beleírja egy szövegfájlba. Hogyha ez megtörtént akkor elindul a következő távolság felé.

A mérések során nagyjából 18 cm távolságon rögzítjük az értékeket. A soros mágnes elrendezéseken kívül a **Total length** értéke állandó, ugyanis ez a szenzor pozíciója. Soros esetben azonban a tervezésből adódóan az első mágnes nem a mágnesstartó síkjában lesz, így a **Total length** értéke ezeknél a méréseknél kisebb.

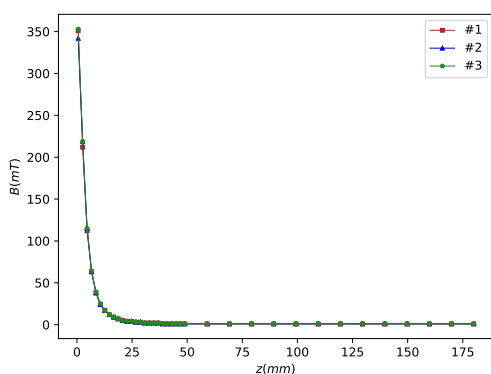
4.2.3. A továbbfejlesztett berendezéssel végzett mérések

A mérési eredmények tárgyalását a prototípus mintájára fogjuk elvégezni.

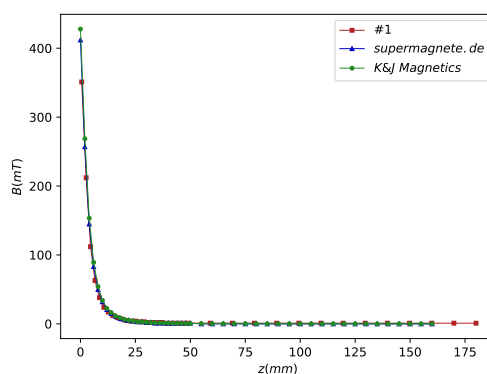
A továbbfejlesztett berendezés esetén is az első néhány mérésünk során a három mágnes terét tanulmányoztuk, egymástól függetlenül, az eredményeket pedig összevetettük a szabványokkal. Ezeket a 4.29a. és a 4.29b. grafikonokon ábrázoltuk.

Ezután a soros elrendezés esetén ismételtük meg a méréseket, először az #1 és #2 mágnesekre, majd ezt kiegészítettük a #3-as mágnessel (4.29c. és 4.29d. ábrák).

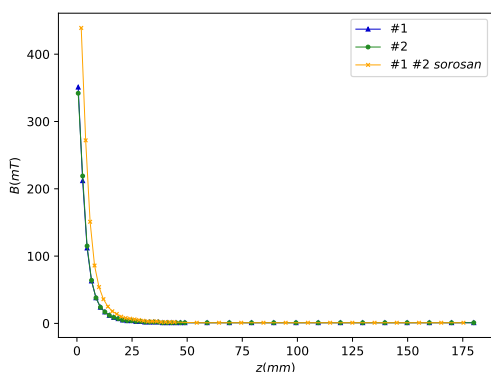
Azt tapasztaljuk, hogy a prototípus mérésein tett megfigyeléseink most is igazak.



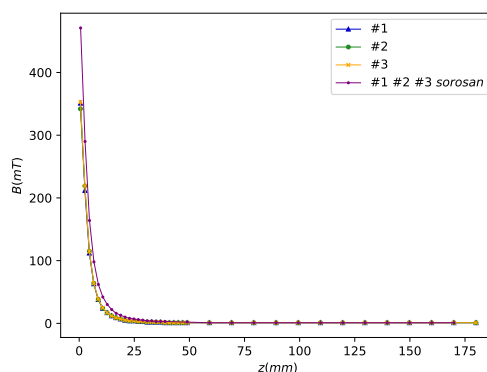
(a)



(b)



(c)

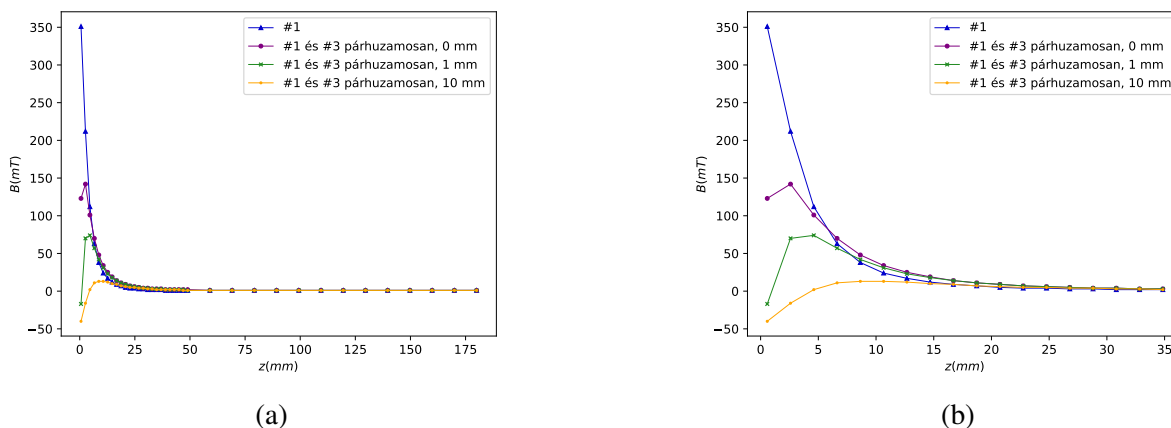


(d)

4.29. ábra. (a) A mágnesek adatsora egymástól függetlenül; (b) Az eladói szabványokkal való összehasonlítás; (c) A #1 és #2 mágnesek sorosan; (d) A #1, #2 és #3 mágnesek sorosan

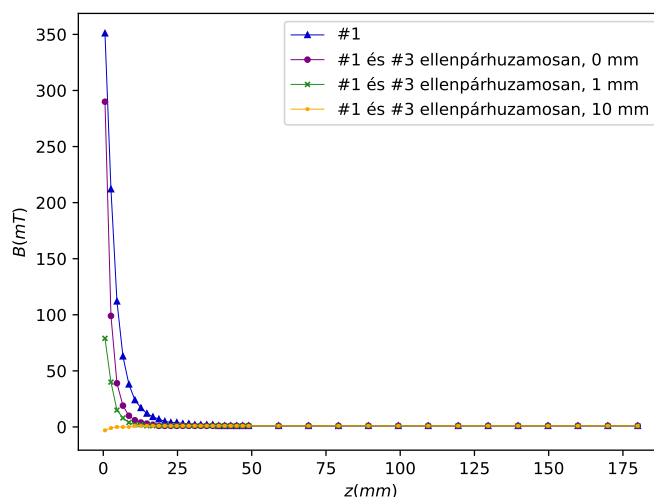
A párhuzamos esetben is ugyanaz a tendencia látható a görbéken. Két, párhuzamos mágnes esetén közeledve a $z = 0$ mm pontnak megfelelő mágnes felülethez a B értéke csökken. Az ekkor kapott adatsor és a nagyított grafikon a 4.30. ábrán látható.

A fejlesztés miatt elvégeztünk olyan méréseket is, melyeket a prototípus esetén nem tettünk meg. Ilyen például két mágnes esetén az úgynevezett "ellenpárhuzamos" eset (4.31). Ekkor az #1 mágnes úgy helyezkedik el a tartóban, hogy a Hall szenzor pozitív értéket mérjen, míg a #3



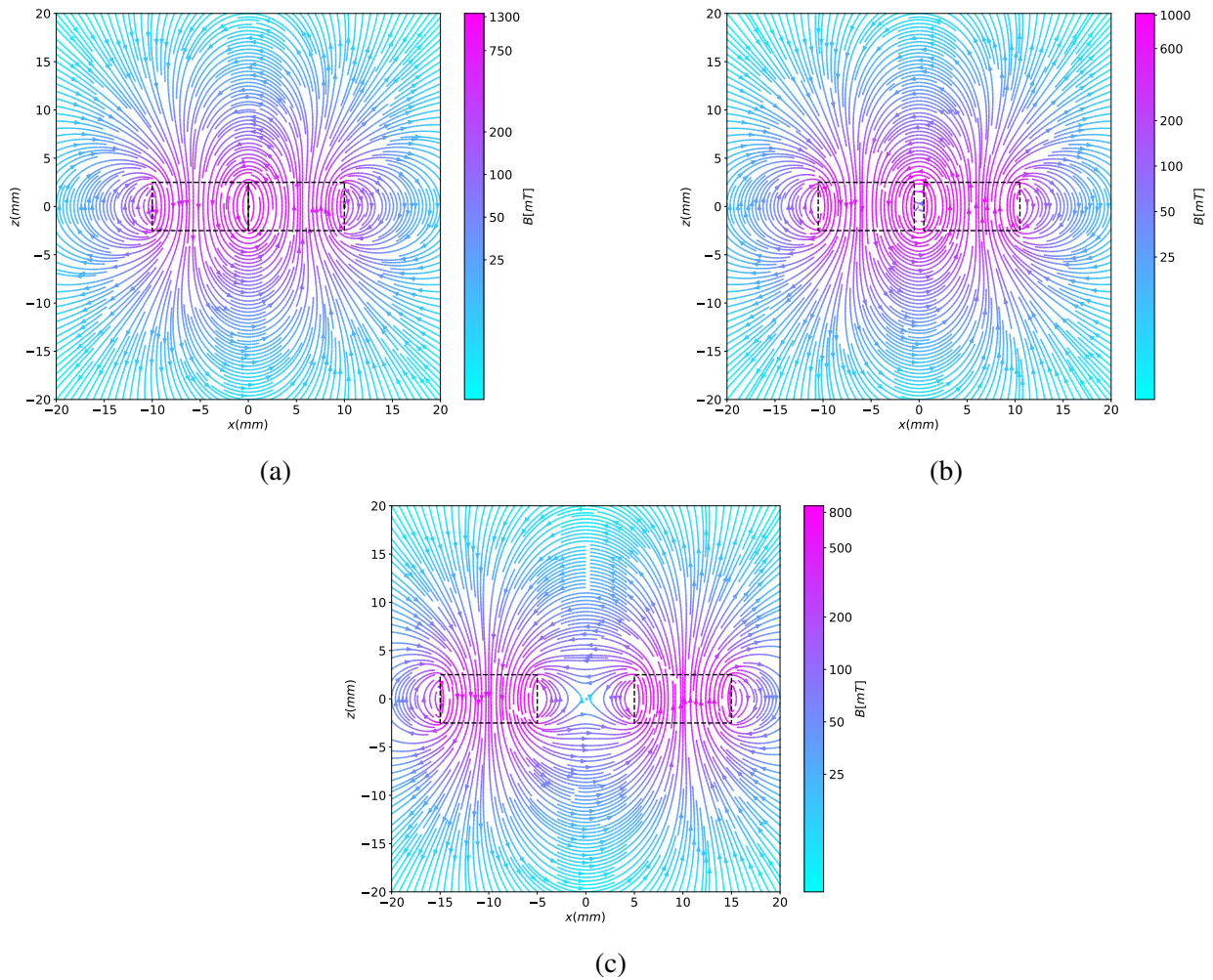
4.30. ábra. (a) A #1 és #3 mágnesek párhuzamosan; (b) A #1 és #3 mágnesek adatsora nagyítva

mágnes pedig az előzővel ellentétesen, úgy hogy a Hall szenzor negatív értéket mérjen. Ezt a mérés sorozatot is a 0, 1, 10 mm mágnesek közti távolságokra végeztük el. A két ellentétesen helyezett mágnes erővonalai az xOz síkban a 4.31. ábrán láthatóak.

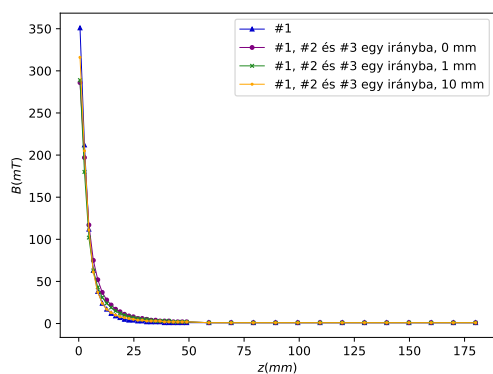


4.31. ábra. A #1 és #3 mágnesek ellenpárhuzamosan

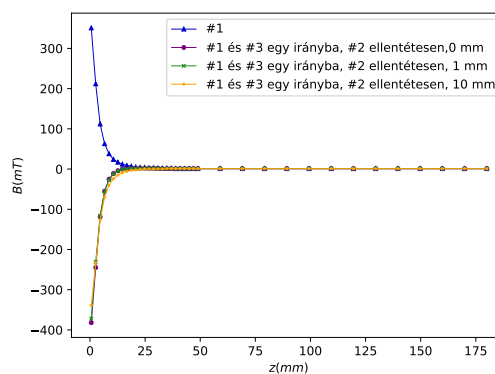
Három mágnes esetén vizsgáltuk a prototípusnál is bemutatott esetet, mindhárom távolságra (4.33a. ábra). Ezen mérések után pedig két új esetet vezettünk be. Egyik az a konfiguráció, amikor a középső mágnes megfordítjuk (4.33b. ábra), ekkor a két szélső esetén pozitív B értéket mutatna a szenzor, a középső esetén pedig negatívát. A másik konfiguráció ennek az ellentettje, a két szélső mágnes fordítottuk meg (4.33c. ábra). Az ellenpárhuzamos esetben is ábrázoltuk a mágneses tér erővonalait, a 4.34. ábrán.



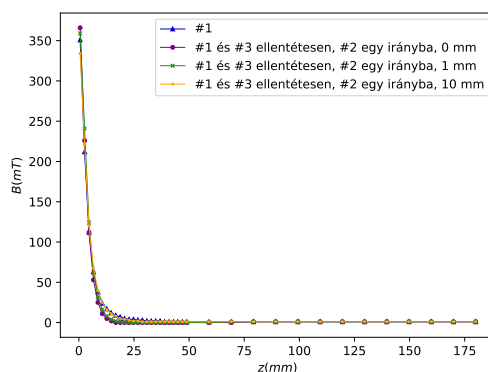
4.32. ábra. Két mágnes ellenpárhuzamosan, a három különböző távolságra



(a)

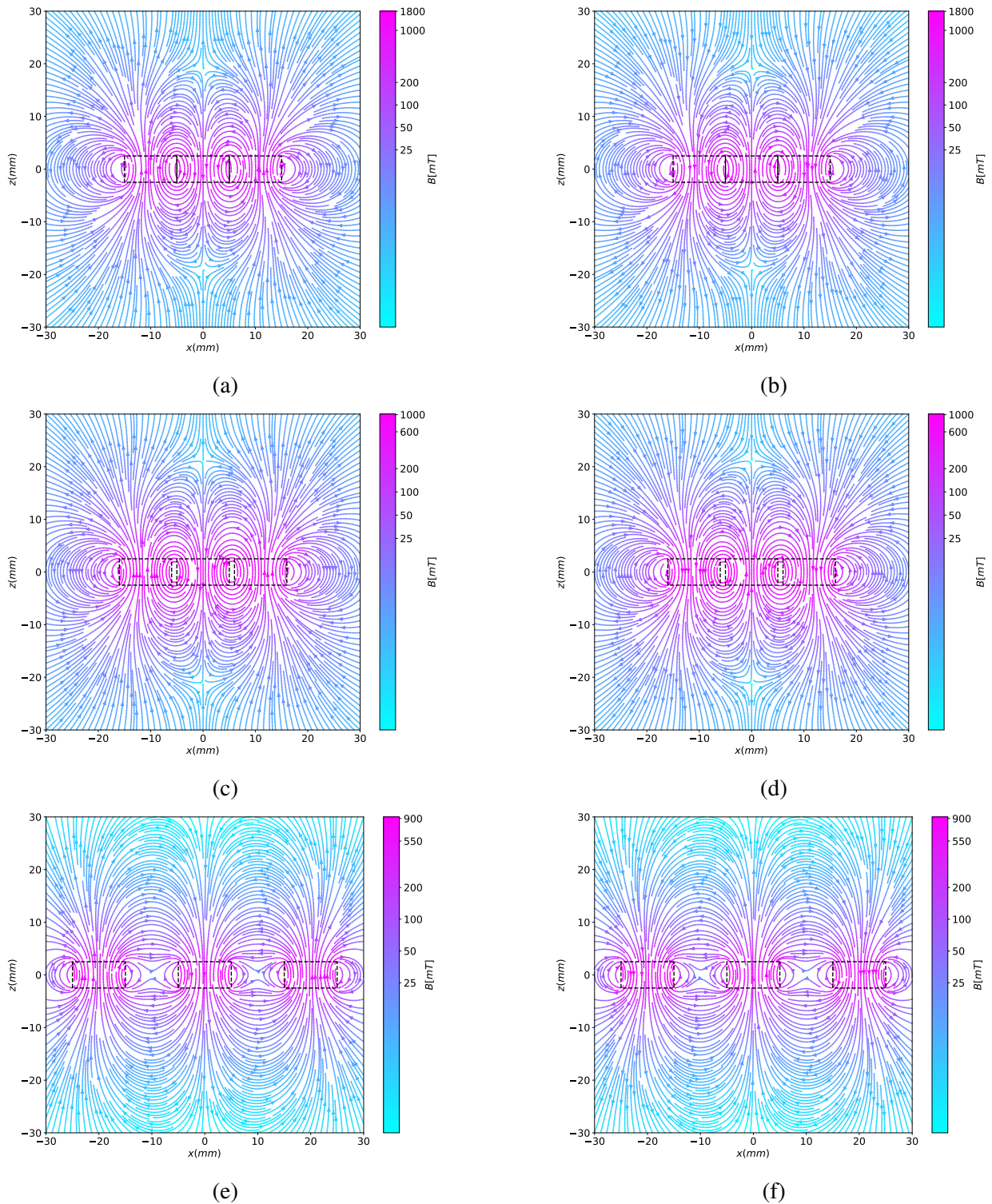


(b)



(c)

4.33. ábra. (a) A három mágnes párhuzamosan; (b) A #2 mágnes megfordítva; (c) A #1 és #3 mágnesek megfordítva, az eredeti párhuzamos esethez képest



4.34. ábra. (a), (b) A mágnesek egymástól 0 mm távolságra vannak, (a): a középső van megfordítva, (b) a két szélső; (c), (d) A mágnesek egymástól 1 mm távolságra vannak, (c): a középső van megfordítva, (d) a két szélső; (e), (f) A mágnesek egymástól 10 mm távolságra vannak, (e): a középső van megfordítva, (f) a két szélső;

Következtetések

A dolgozat keretén belül felvázoltunk egy első kísérleti berendezést, melyet prototípusnak neveztünk. A vázlat szerint, barkácsboltban beszerezhető alkatrészekből el is készítettük a prototípust.

A prototípust használva megmértük a henger alakú, tengely mentén mágnesezett, neodímium mágnesek terét a szimmetriatengelyük mentén és kiszámoltuk a remanens indukcióik értékeit. Észrevettük, hogy a szondánk esetén a Hall-szenzor körülbelül 1.35 mm -rel a burkolat mögött van, így ennek megfelelően eltoltuk az adatsort. Kapott eredményeinket összehasonlítottuk az eladói szabványokkal, jó egyezést kapva. A megfigyelt mágneses tér erővonalait is ábrázoltuk.

Az áramköri elemek kapcsolásának analógiájára két mágneses elrendezést vizsgáltunk. Az első konfiguráció amit vizsgáltunk a soros elrendezés volt. Ekkor 3D-s ábrán vizualizáltuk a mágnesek elhelyezkedését. Az xOz síkban ábrázoltuk a mágneses erővonalakat két illetve három mágnes esetén is. A kapott mérési eredmények alapján sikerült felállítani egy olyan összefüggést, mely leírja ezen elrendezések eredő mágneses indukciójának nagyságát. Kijelentettük, hogy két egyforma mágnes sorosan elhelyezve ekvivalens egy olyan mágnessel, amely ugyanabból az anyagból készült, sugara ugyanakkora de kétszer olyan magas.

A párhuzamos konfiguráció vizsgálata során kapott eredmények tárgyalását a 3D-s Python ábrákkal kezdtük, majd áttértünk a három párhuzamosan helyezett mágnes terének ábrázolására. Adatsoraink alapján azt tapasztaljuk, hogy ekkor a mágneses indukció a távolság függvényében hasonló viselkedést mutat mint a soros elrendezés esetén.

Két párhuzamos mágnes esetén az eddigiektől eltérő viselkedést láthattunk. Azt tapasztaltuk, hogy a mágneshez közeledve az indukciónak van egy helyi maximuma, tovább közeledve az indukcióvektor irányítása ellentétesé válik.

A prototípus után terveztünk majd építettünk egy elektronikusan vezérelt berendezést. Ezt LabVIEW programmal vezéreltük és méréseket végeztünk ugyanazokra az elrendezésekre, mint a prototípusnál. Mértünk ellenpárhuzamos esetben is, amikor rendre a középső és a két szélső mágnes fordítottuk meg az eredeti párhuzamos esethez képest. Itt is készítettünk vizualizációt a mágneses térről.

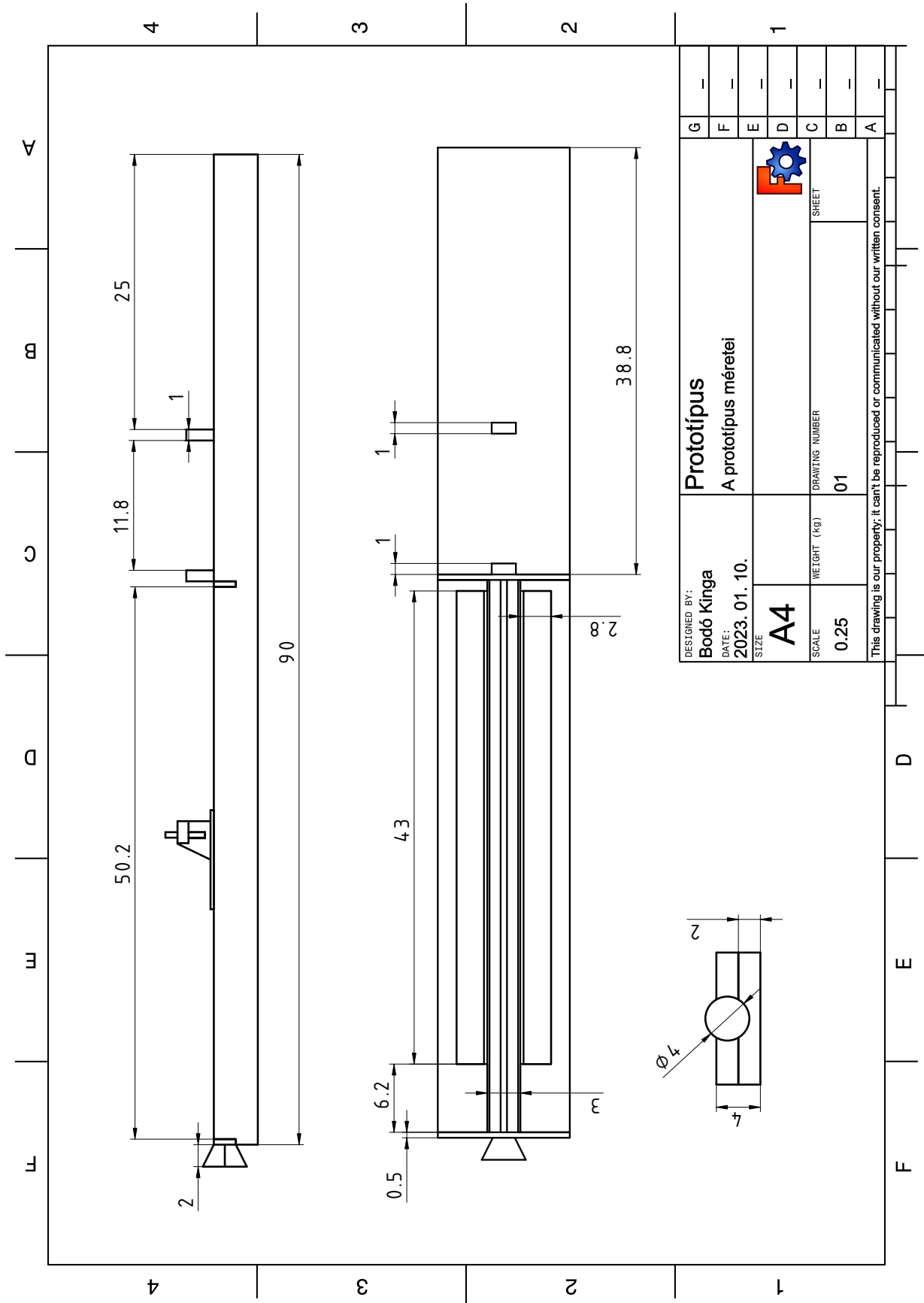
Mindkét berendezést 3D-ben terveztük és műszaki rajzokat készítettünk róluk. A prototípus esetén a távolság állítását csak mm pontossággal tudtuk megvalósítani, a használt vonalzók miatt. Ezt a továbbfejlesztett változatban már sokkal pontosabban képesek vagyunk irányítani. Ekkor 180 mm -nek 2500 motor lépés felel meg, ez azt jelenti hogy elméleti számítások alapján egy motor egységnyi lépés megtétele 0.072 mm elmozdulást kellene eredményezzen. Tekintve, hogy

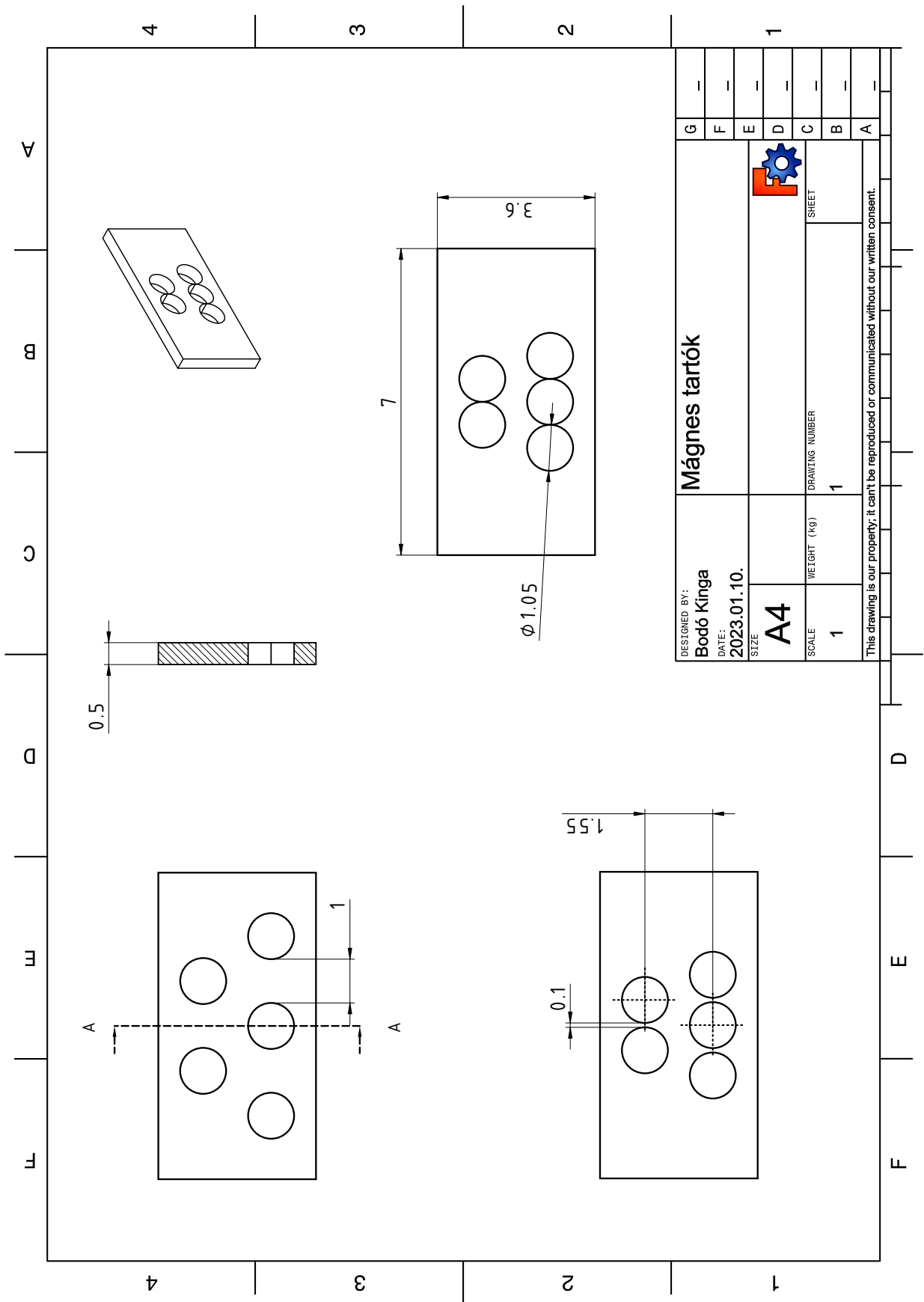
nem volt ahogyan megmérni és igazolni ezt csak elméleti pontosságként kezelhetjük. A tapasztalat azt mutatja, hogy 0.5 mm -es lépések alá is tudunk menni, ami körülbelül 5 motor egységnek felel meg.

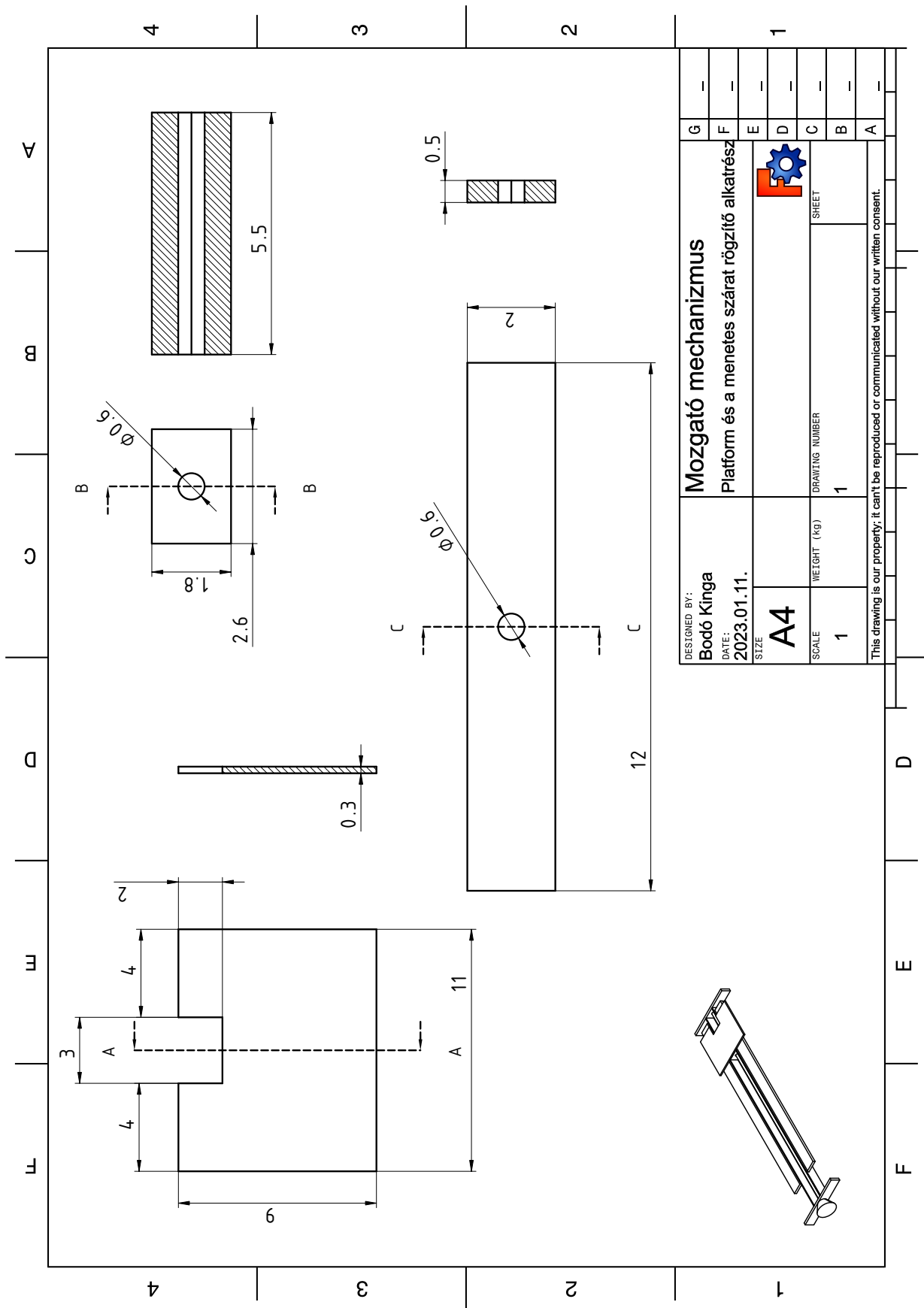
A mágneses indukció mérésében a fejlesztés során szenzort cseréltünk. A prototípus esetén nem tudtuk pontosan, hogy hol található a félvezető lap a szondában. Az 1.35 mm -nyi eltolást empirikusan határozzuk meg. A továbbfejlesztett változatban ezt kiküszöböltük.

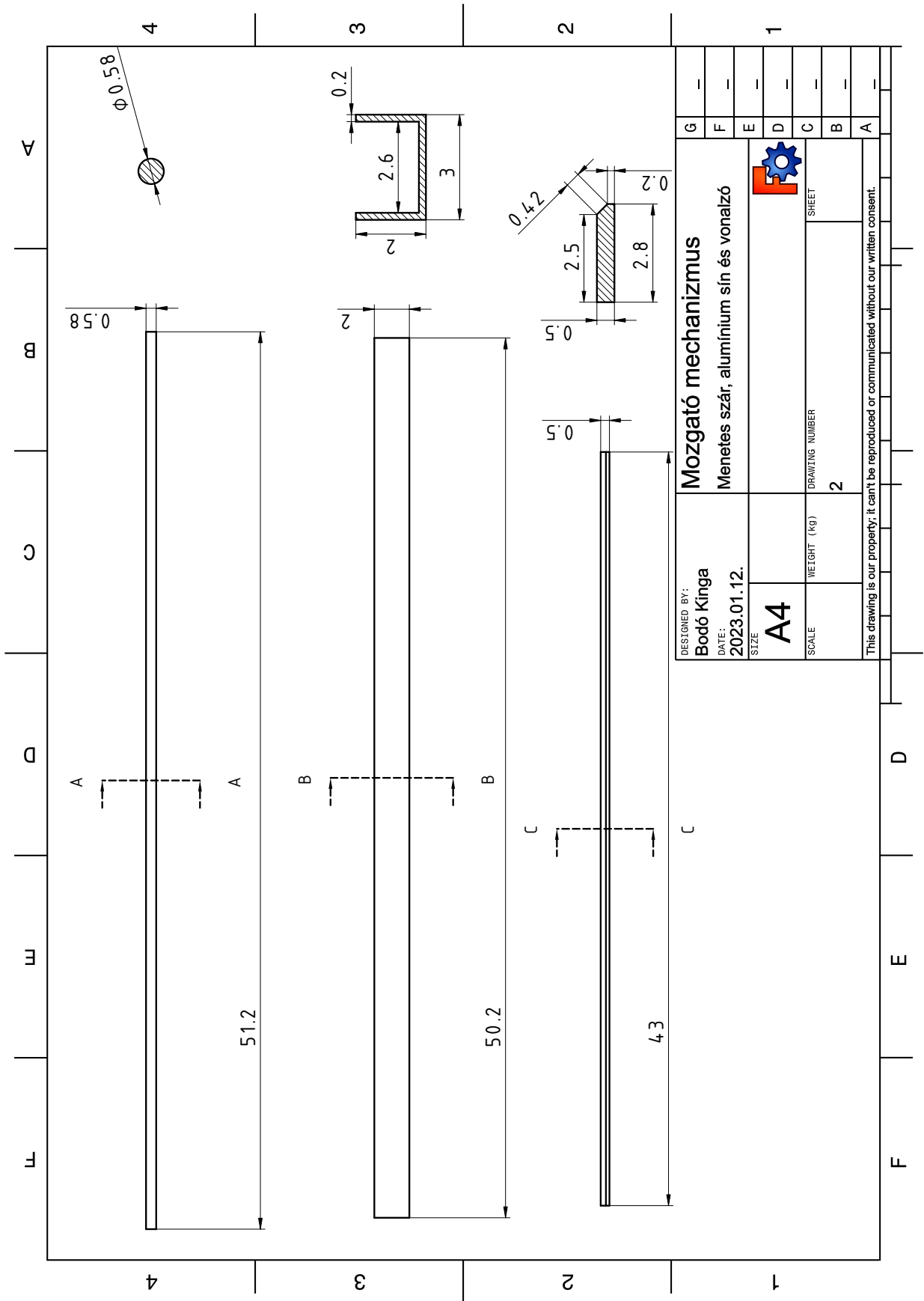
A tervezésből adódóan a prototípussal egyetlen tengelyen tudunk mérni. A továbbfejlesztett berendezés esetén a szondát egy adott síkban, az origótól el tudjuk mozdítani 1 cm távolságra, minden irányba.

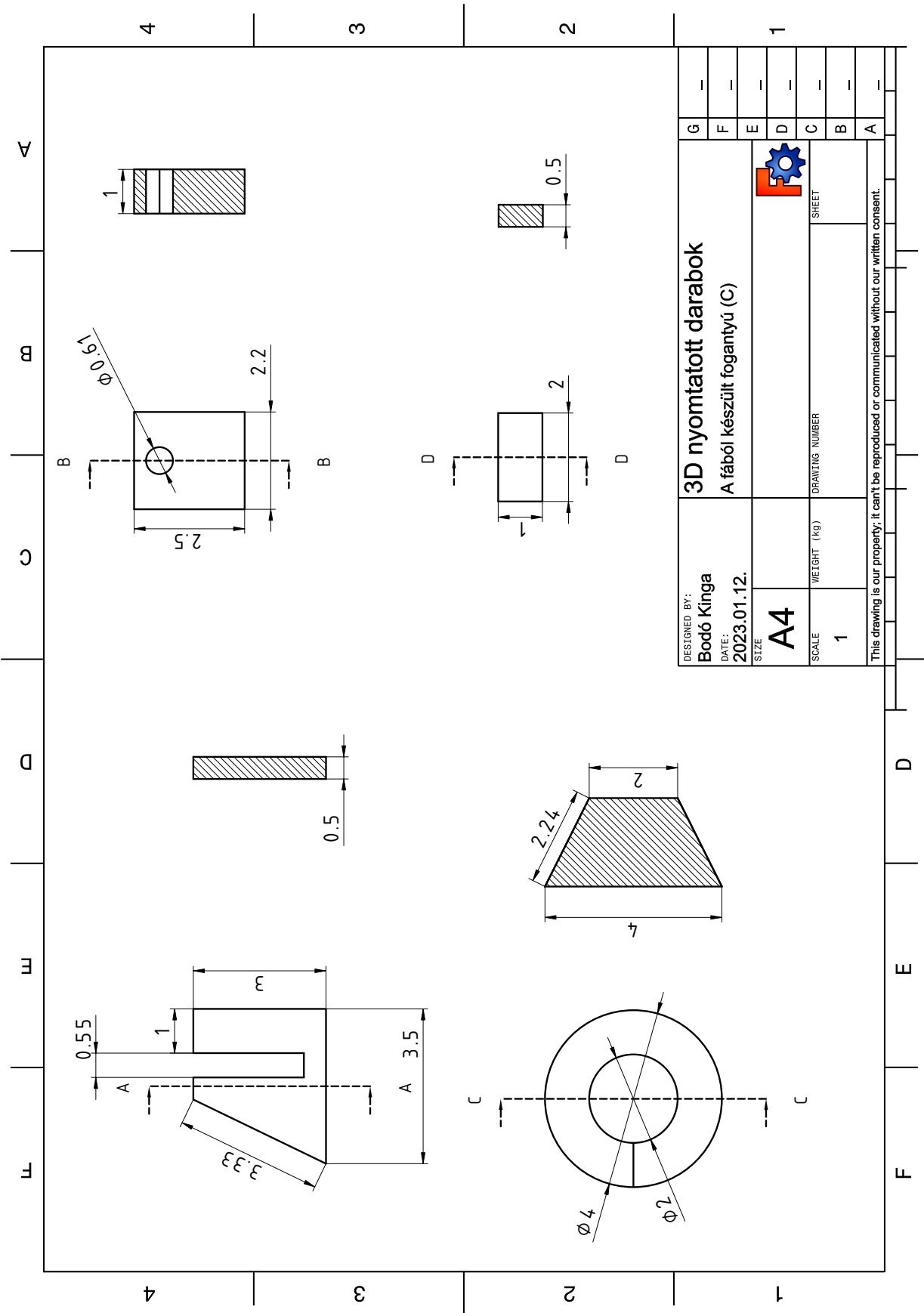
A. A prototípus tervrajzai



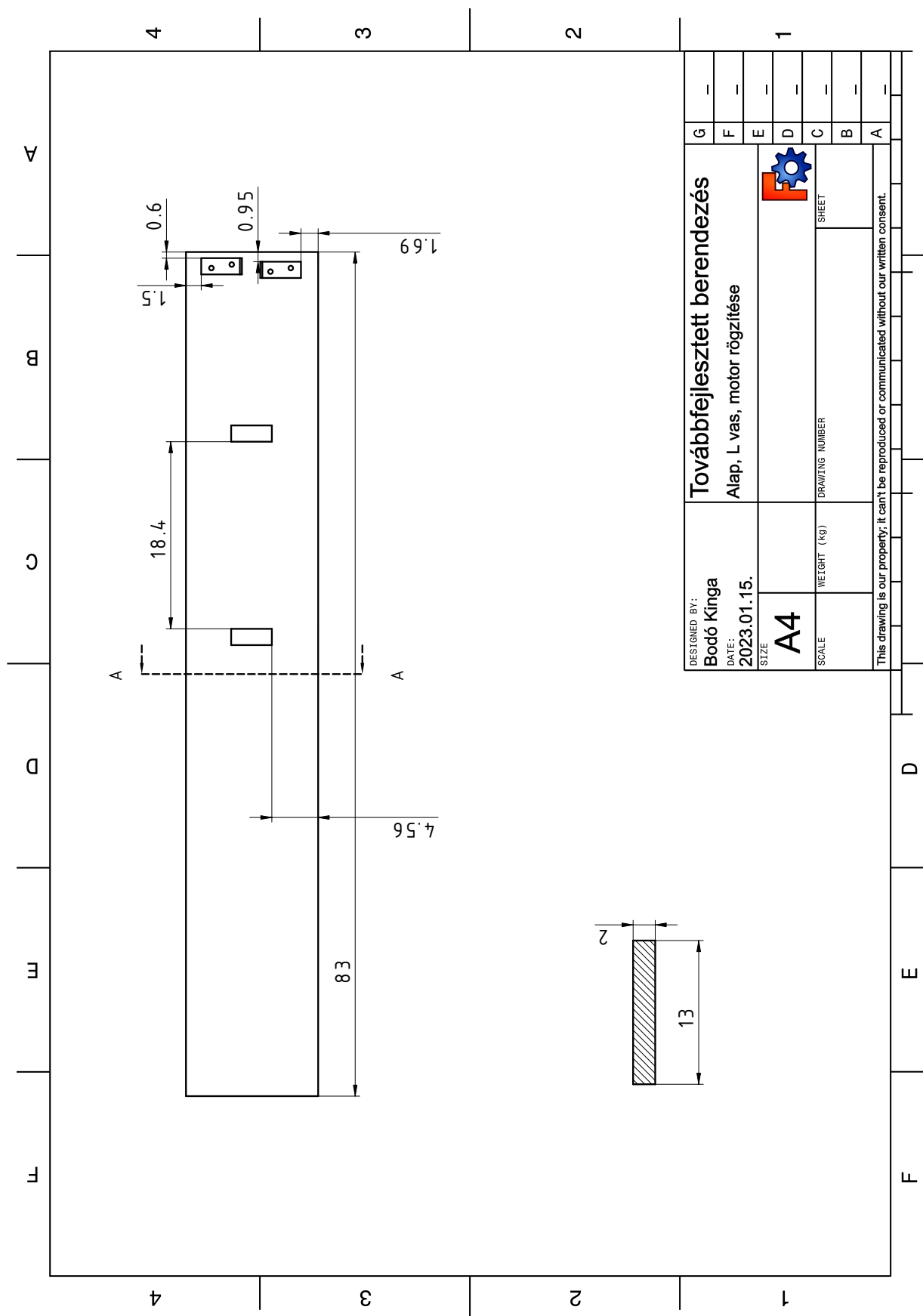


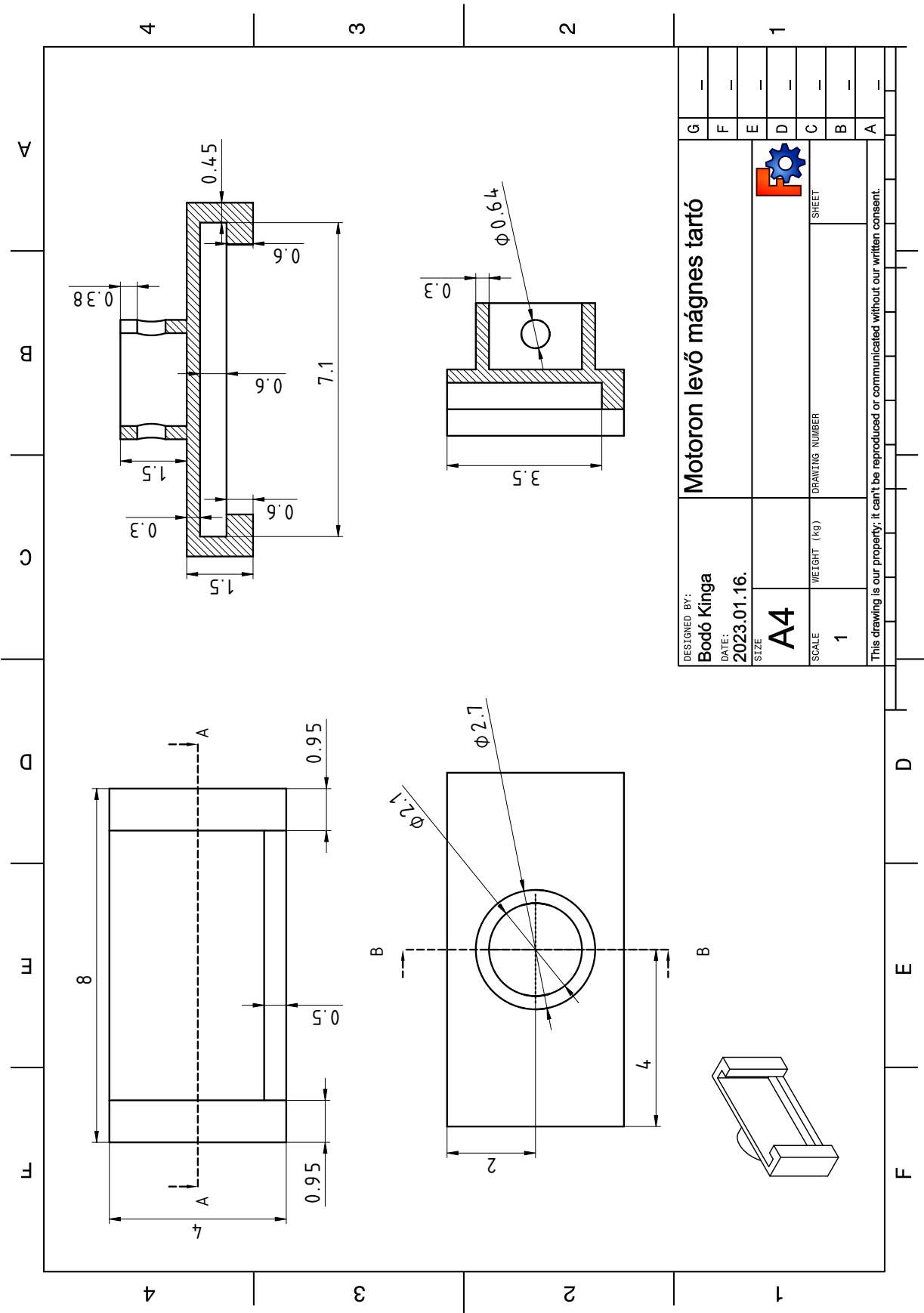


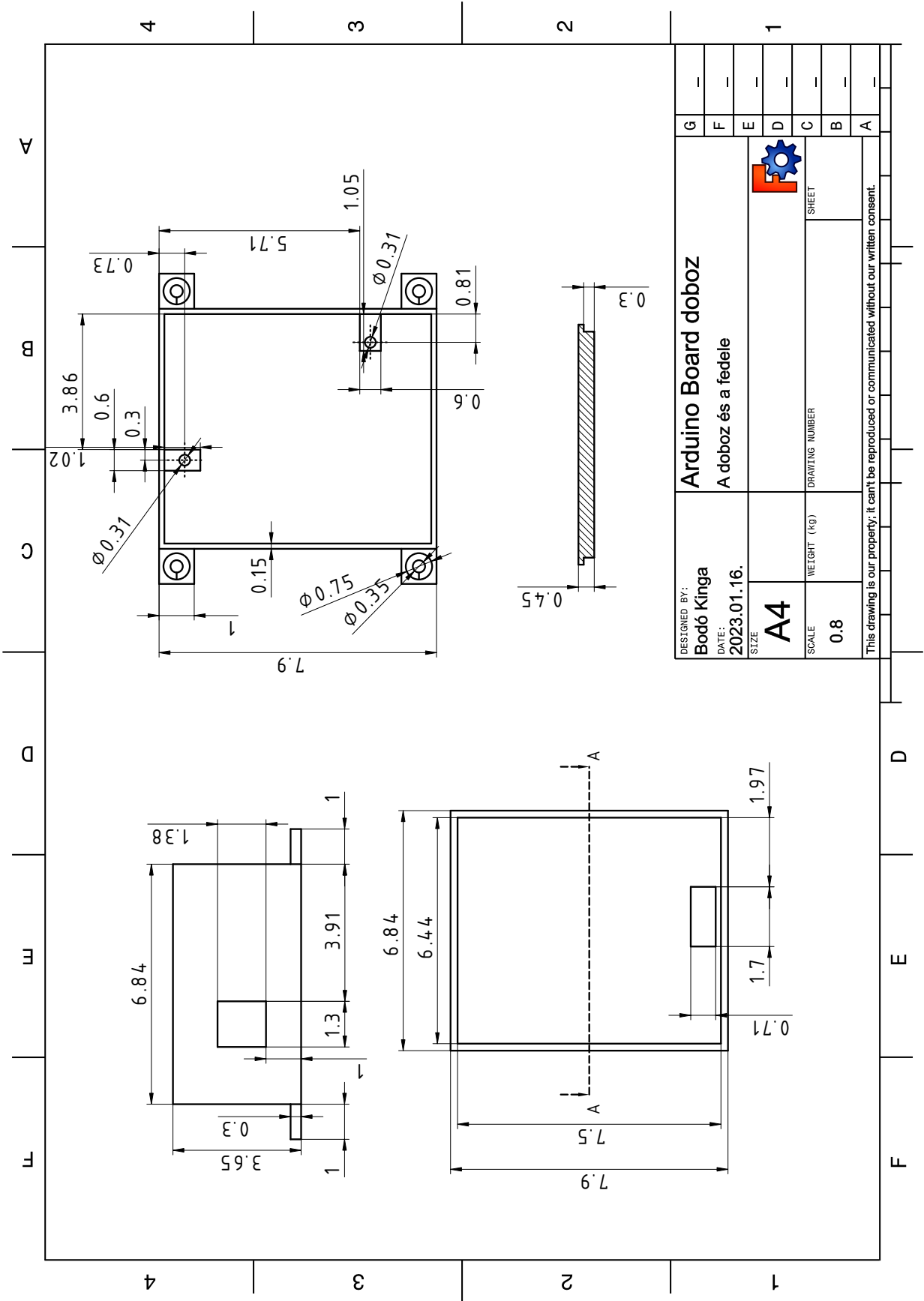


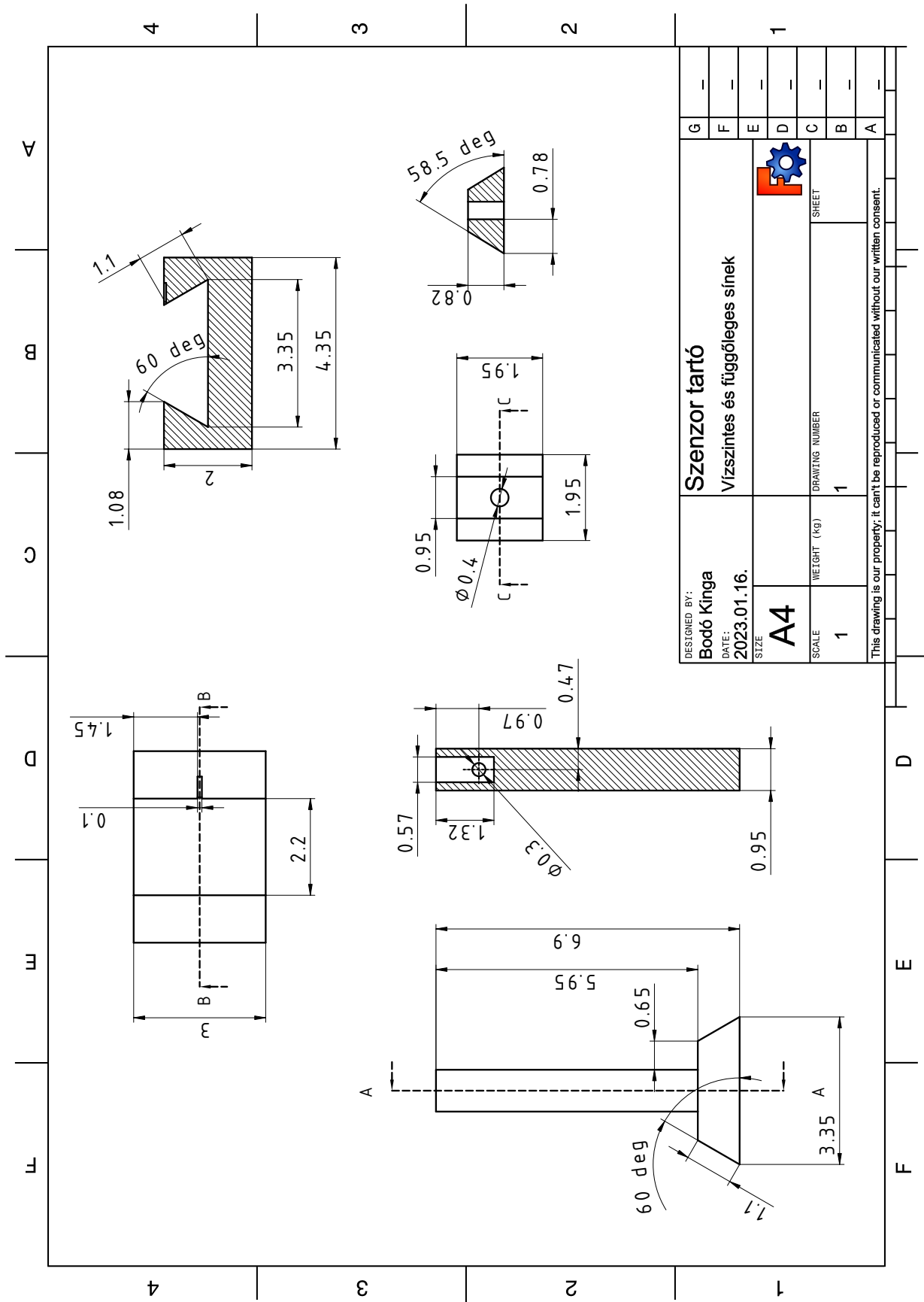



B. A továbbfejlesztett berendezés tervrajzai



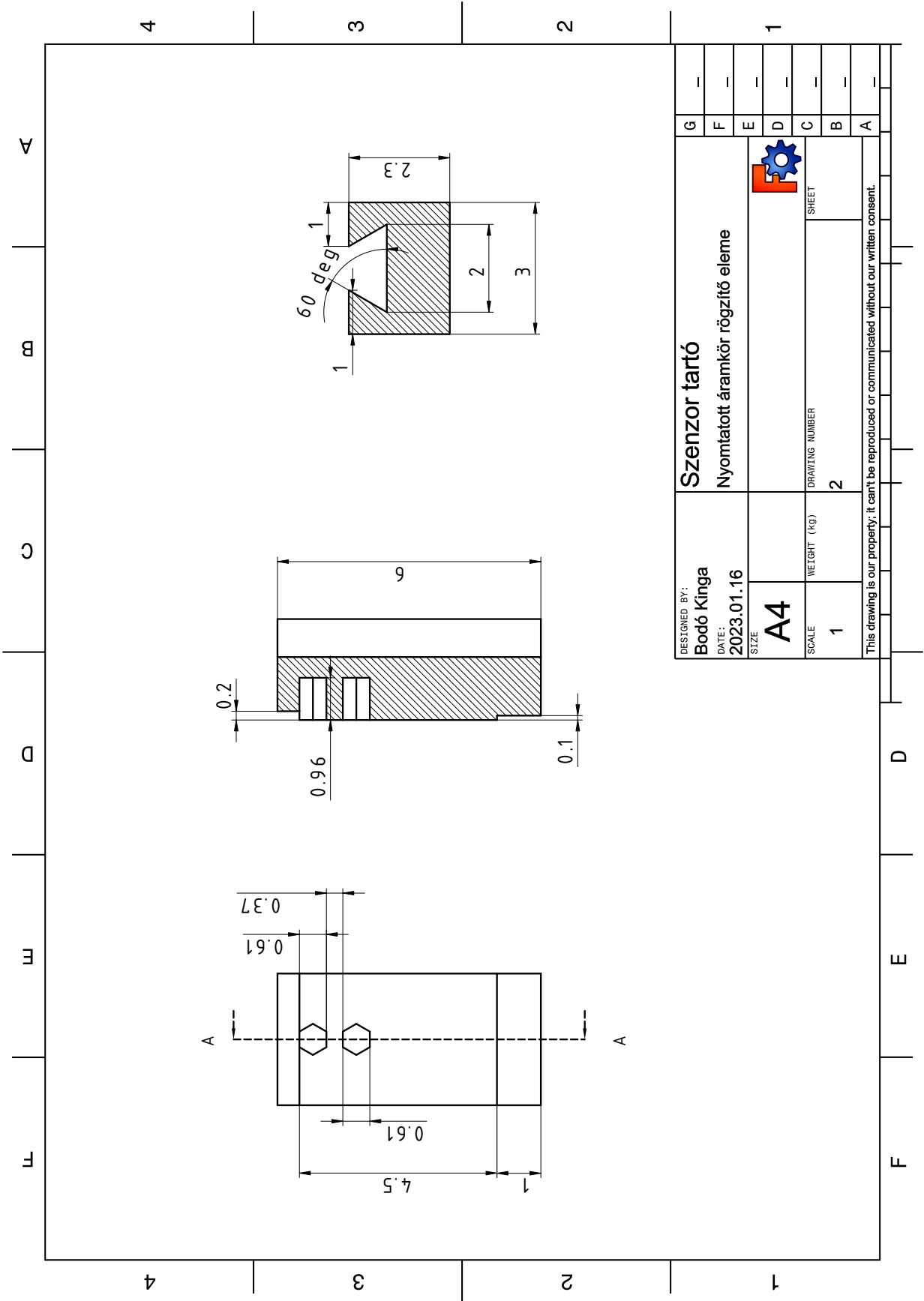


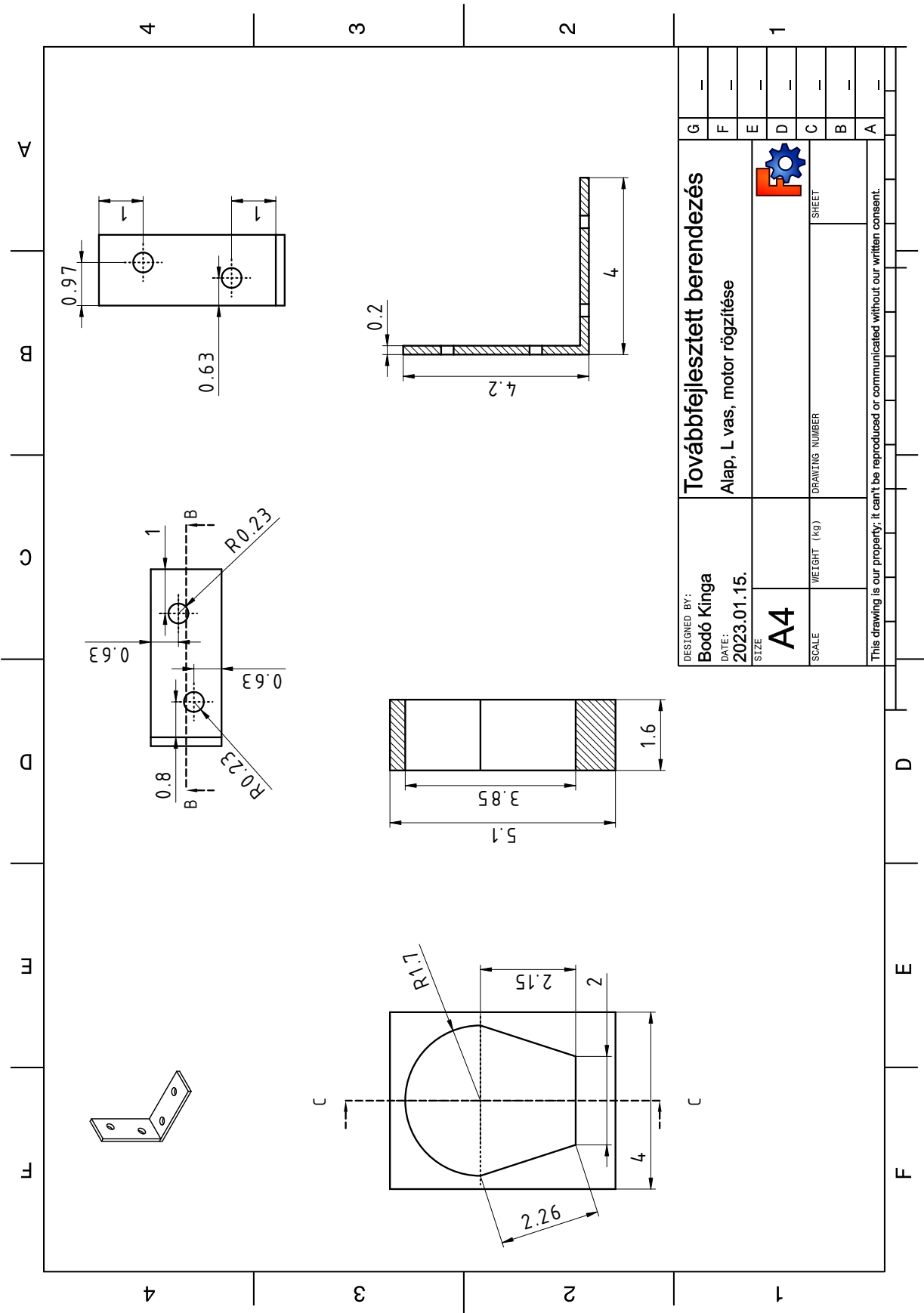





DESIGNED BY: Bodó Kinga	Szenzor tartó	
DATE: 2023.01.16.	Vízszintes és függőleges sínek	
SIZE A4		
SCALE 1	WEIGHT (kg) 1	DRAWING NUMBER 1
SHEET		SHEET
A		B
B		C
C		D
D		E
E		F
F		G

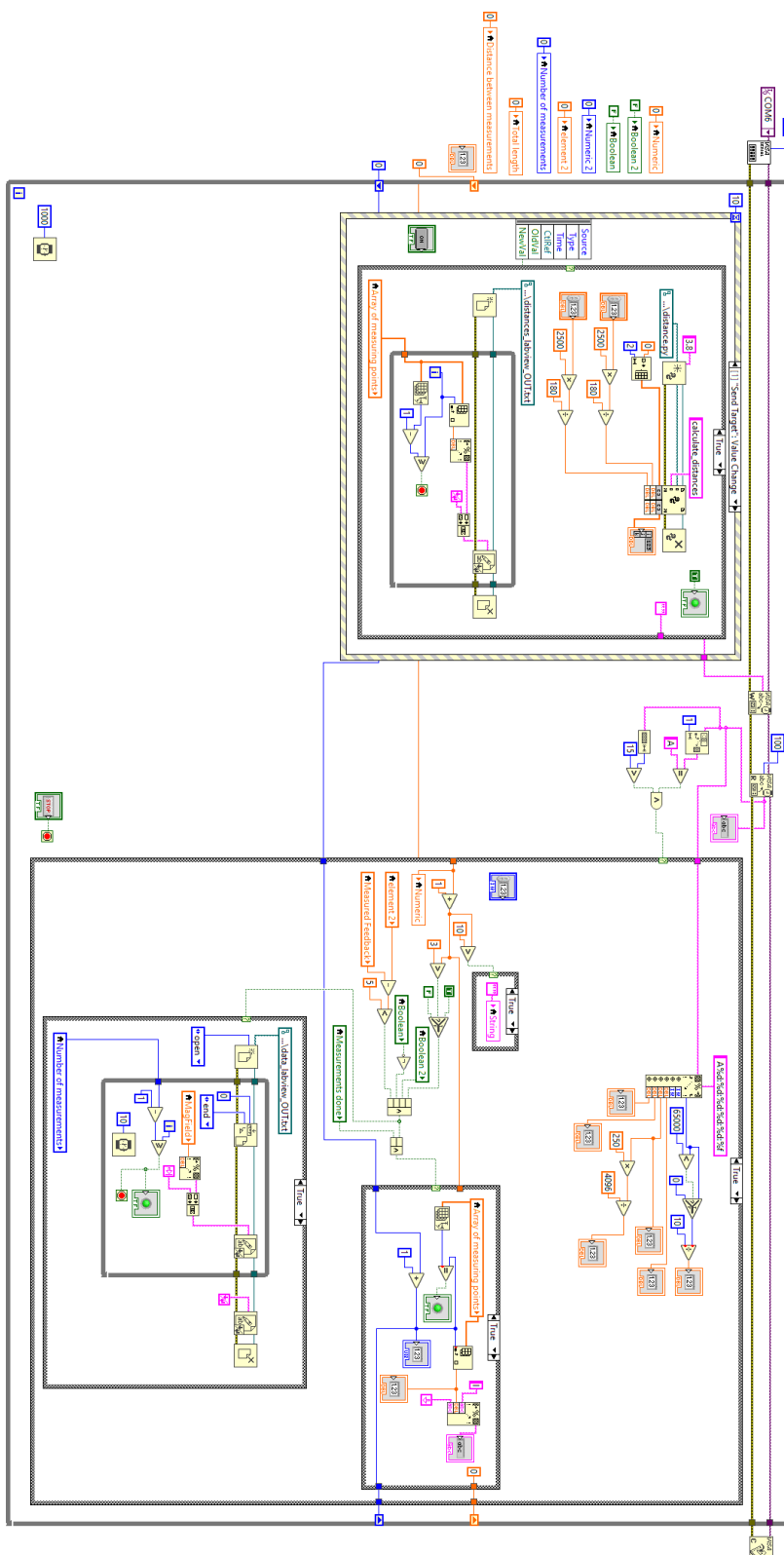
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written consent.





DESIGNED BY: Bodó Kinga	Továbbfejlesztett berendezés	
DATE: 2023.01.15.	Alap, L vas, motor rögzítése	
SIZE: A4		SHEET
SCALE		
WEIGHT (kg)		
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written consent.		

C. LabVIEW Block Diagram



C.1. ábra. A LabVIEW program Block Diagram-ja

D. Python kódrészletek

```

1 import numpy as np
2 import magpylib as magpy
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 distance=np.array([0,1,10])
6
7 def three_magnets_parallel(d):
8     src1=magpy.magnet.Cylinder(magnetization=(0,0,1170), dimension=(10,5))
9     src1.style.color='#FF6B35'
10    src1.move((d+10,0,0))
11
12    src2=magpy.magnet.Cylinder(magnetization=(0,0,1170), dimension=(10,5))
13    src2.style.color='slategrey'
14
15    src3=magpy.magnet.Cylinder(magnetization=(0,0,1170), dimension=(10,5))
16    src3.style.color='#004E89'
17    src3.move((-d-10,0,0))
18
19    col=src1+src2+src3
20    col.show(style_magnetization_show=False)
21    plt.savefig("3_magnets_in_parallel_"+str(d)+"mm.pdf", dpi=200)
22
23 for i in range(len(distance)):
24    three_magnets_parallel(distance[i])

```

1. Listing. Három mágnes 3D ábrázolása

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import magpylib as magpy
4
5 def three_magnets_in_parallel(d,B_r):
6     fig, ax1=plt.subplots(1,1,figsize=(10,8))
7
8     src1=magpy.magnet.Cylinder(magnetization=(0,0,B_r[0]),
9                               dimension=(10,5))
10    src2=magpy.magnet.Cylinder(magnetization=(0,0,B_r[1]),
11                               dimension=(10,5))
12    src3=magpy.magnet.Cylinder(magnetization=(0,0,B_r[2]),
13                               dimension=(10,5))
14
15    src1.move((d+10,0,0))
16    src3.move((-d-10,0,0))
17    col=src1+src2+src3
18
19    ts = np.linspace(-30, 30, 210)
20    grid = np.array([[x,0,z] for x in ts] for z in ts])
21
22    B=col.getB(grid)
23    ampB = np.linalg.norm(B, axis=2)
24
25    MAX=ampB.max()//100*100
26    tick_big=np.linspace(200,MAX,3,dtype=int)
27    tick_small=np.linspace(25,MAX/(ampB.max()//100),4,dtype=int)
28    i=2
29    tick_small=np.delete(tick_small,i)
30    tick_value=np.concatenate((tick_small,tick_big))
31    tick_place=np.log(tick_value)

```

```

32
33 p=ax1.streamplot(grid[:, :, 0], grid[:, :, 2], B[:, :, 0], B[:, :, 2],
34 density=3.5, color=np.log(ampB), linewidth=2, cmap='cool')
35 cbar=plt.colorbar(p.lines, ticks=tick_place)
36 cbar.ax.set_yticklabels(tick_value, size=16)
37 cbar.set_label(label="$B[mT]$", size=16)
38
39 ax1.plot([5, -5, -5, 5, 5], [2.5, 2.5, -2.5, -2.5, 2.5], 'k--', linewidth=1.75)
40 ax1.plot([-d-5, -d-15, -d-15, -d-5, -d-5], [2.5, 2.5, -2.5, -2.5, 2.5], 'k--',
41 linewidth=1.75)
42 ax1.plot([d+15, d+5, d+5, d+15, d+15], [2.5, 2.5, -2.5, -2.5, 2.5], 'k--',
43 linewidth=1.75)
44
45 plt.xlabel("$x(mm)$", fontsize=16)
46 plt.xticks(fontsize=16)
47 plt.ylabel("$z(mm)$", fontsize=16)
48 plt.yticks(fontsize=16)
49 plt.tight_layout()
50 plt.savefig("3_magnets_in_parallel" + str(d) + "mm.pdf", dpi=200)
51 print(tick_big)
52 print(tick_small)
53 return ampB
54
55 Magnetization_3_parallel=np.array([1170, 1170, 1170]) # ideal magnets
56 distance=np.zeros(3)
57 distance[1]=1
58 distance[2]=10
59
60 for i in range(len(distance)):
61     f=three_magnets_in_parallel(distance[i], Magnetization_3_parallel)

```

2. Listing. A mágneses tér indukcióvonalainak ábrázolása

Hivatkozások

- [1] Gombás Pál és Kisdi Dávid. *Bevezetés az elméleti fizikába*. Akadémiai Kiadó, 1971.
- [2] Darabont Sándor, Tapasztó Levente és Kertész Krisztián. *Elektromosság és mágnességtan II. rész*. Erdélyi Tankönyvtanács, 2003.
- [3] dr. Szalay Béla. *Fizika*. Műszaki könyvkiadó, 1979.
- [4] Alvin Hudson és Rex Nelson. *Útban a modern fizikához*. LSI OMAK ALAPÍTVÁNY, 1994.
- [5] *Magnetic Field Indicators*. URL: https://magnaflux.com/Files/Product-Data-Sheets/Accessories/Magnetic-Field-Indicators_Product-Data-Sheet_English.pdf (elérés dátuma: 2023. máj. 16.)
- [6] Humphrey Lloyd. „On the Determination of the Intensity of the Earth’s Magnetic Force in Absolute Measure”. *Proceedings of the Royal Irish Academy (1836-1869)* 2 (1840), 295–300. oldal. ISSN: 03027597. URL: <http://www.jstor.org/stable/20520137> (elérés dátuma: 2023. máj. 27.)
- [7] Ignacio de Mendizábal. *Types of Magnetometers*. 2021. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/types-of-magnetometers/> (elérés dátuma: 2023. máj. 17.)
- [8] *supermagnete.de*. URL: <https://www.supermagnete.de/eng/faq/How-do-you-calculate-the-magnetic-flux-density> (elérés dátuma: 2023. máj. 30.)
- [9] The K&J Magnetics Inc. *The K&J Magnetic Field Calculator*. URL: <https://www.kjmagnetics.com/fieldcalculator.asp> (elérés dátuma: 2023. máj. 30.)
- [10] Michael Ortner és Lucas Gabriel Coliado Bandeira. „Magpylib: A free Python package for magnetic field computation”. *SoftwareX* (2020). DOI: 10.1016/j.softx.2020.100466.
- [11] Juan Manuel Camacho és Victor Sosa. „Alternative method to calculate the magnetic field of permanent magnets with azimuthal symmetry”. *Revista mexicana de física E* 59 (2013. jún.), 8–17. oldal.
- [12] D.K. Cheng. *Field and Wave Electromagnetics*. Addison-Wesley series in electrical engineering. Addison-Wesley, 1989. ISBN: 9780201128192.
- [13] Constantinides Steve. *The Elements of Magnetism*. 2013. URL: https://www.researchgate.net/publication/271794329_The_Elements_of_Magnetism (elérés dátuma: 2023. máj. 13.)
- [14] Stan Trout. „UNDERSTANDING PERMANENT MAGNET MATERIALS; AN ATTEMPT AT UNIVERSAL MAGNETIC LITERACY”. (2000. jan.).
- [15] Gerhard Martinek, Sami Ruoho és Wyss Urs. *Magnetic Properties of Permanent Magnets & Measuring Techniques*. URL: <https://www.arnoldmagnetics.com/wp-content/uploads/2021/11/White-Paper-Measurement-07.23.2021MS2a4.pdf> (elérés dátuma: 2023. máj. 14.)

- [16] Outokumpu Stainless AB Avesta Research Centre. *Standard Cr-Ni Stainless Steels*. 2006. URL: http://www.stainless-lintels.co.uk/ldx2101_cat/304_datasheet.pdf (elérés dátuma: 2023. máj. 18.)
- [17] *Tessauer anya*. URL: <https://www.dedeman.ro/ro/bucsa-zinc-filet-dublu-m6-10-x-13-mm/p/1049071> (elérés dátuma: 2023. máj. 18.)
- [18] *PHYWE Hall-szonda*. URL: <https://www.phywe.com/physics/electricity-magnetism/electrostatics-electric-field/hall-probe%5C%02axial/a-2172/> (elérés dátuma: 2023. máj. 19.)
- [19] *PHYWE teslameter*. URL: https://www.phywe.com/equipment-accessories/measurement-devices/oscilloscopes/phywe%5C%02teslameter-digital_2108_3039/ (elérés dátuma: 2023. máj. 19.)
- [20] *Glideforce linear actuator light duty series*. URL: <https://www.pololu.com/file/0J1238/LD-Linear-Actuator-Data-Sheet-201208.pdf> (elérés dátuma: 2023. máj. 28.)
- [21] *Lineat High Precision Analog Hall Sensor 144*. URL: <https://www.asensor.eu/onewebmedia/Datasheet-HE144X.pdf> (elérés dátuma: 2023. máj. 28.)
- [22] *What is LabVIEW?* URL: <https://www.ni.com/en-gb/shop/labview.html> (elérés dátuma: 2023. máj. 29.)

DECLARAȚIE PE PROPRIE RĂSPUNDERE

Subsemnatul, BODÓ KINGA, declar că Lucrarea de licență/diplomă/disertație pe care o voi prezenta în cadrul examenului de finalizare a studiilor la Facultatea de FIZICĂ, din cadrul Universității Babeș-Bolyai, în sesiunea IULIE 2023, sub îndrumarea DR. SIMON ALPAI, reprezintă o operă personală. Menționez că nu am plagiat o altă lucrare publicată, prezentată public sau un fișier postat pe Internet. Pentru realizarea lucrării am folosit exclusiv bibliografia prezentată și nu am ascuns nici o altă sursă bibliografică sau fișier electronic pe care să le fi folosit la redactarea lucrării.

Prezenta declarație este parte a lucrării și se anexează la aceasta.

Data,

26.06.2023.

Nume,

BODÓ KINGA

Semnătură

Bodó K.