

# Féléves doktoranduszi beszámoló

(3. félév, 2022/2023 őszi félév)

Horváth Zoltán (ZILZIS)

Témavezető: Dr. Bérczi Szaniszló

Fizika Tanítása Doktori Program

2023. január

## 1. Irodalomfeldolgozás, előadás-részvételek

A kutatómunka szerves része a téma és az korábban mások által elért eredmények megismerése, feldolgozása. Korábbi évek általános témába vágó cikkei helyett, most főként olyan anyagokat dolgoztam fel, melyek az elem kerülő feladatokhoz sorosan kapcsolódtak. A tudományos publikációk mellett így sok online videót és ismeretterjesztő anyagot dolgoztam fel – egyedül vagy szakkörös diákjaimmal –, melyek együttes száma meghaladta az 50-et – főként úrkutatási, mérés-technikai, programozási és pedagógiai témákban.

A Fizika Tanítása Doktori Program valamennyi (online) előadása is segítségemre volt a félév során – különös tekintettel a témámhoz némileg kapcsolódó „Környezeti áramlások fizikája”, a „Fizika a biológiában” tárgyak áramlásmáni, a „Fizika tanítása III.” pedagógiai ismeretei.

## 2. Publikáció, megjelenések

A harmadik félévben az irodalomkutatáson túl egyre több az eredmény, ugyanakkor ezek eddig főként szakköri, iskolai, illetve verseny anyagokban, valamint beszámoló formájában jelentek meg az alábbiak szerint:

- Szakköri előadások, prezentációk (több mint 50 dia)
- Doktoranduszi összefoglaló beszámoló a témavezetőnek (Bp., 2022. dec. 1.) (53 dia)
- A saját fejlesztésű „A repülés fizikája és aerodinamikája” kurzus előadásanyag a szakkör diákjainak (több mint 100 dia)
- „Marsi napraforgó, mosogatószivacs, távirányítás markoló – Nem csak játék!” korábbi cikk szakmai bővített változata „A Budai Ciszterci Szent Imre Gimnázium évkönyve 2021/2022.” kötetben (Budapest, 2022. október) (2 oldal) (pp 247-248.)
- CanSat Hungary 2023 verseny Preliminary Design Review (PDR) és frissítése (2022. nov. 30., dec. 15.) (11 oldal)

Tervezett publikációk, megjelenések a következő félévre:

- Előadás és publikáció a 64. Fizikatanári Ankéton
- Fizikai Szemle cikk
- GIREF-EPEC 2023 konferenciacikk (Kassa, 2023. július)
- Education Journal IJRES Volume 10 (ISSN 2349-5219, [www.ijres.org](http://www.ijres.org))

## 3. Szakköri, pedagógiai tevékenységek és eredmények

A múlt évben megkezdett kutatási és pedagógiai munkát ebben a félévben is a diákok bevonásával szakköri tevékenység keretében végeztem.

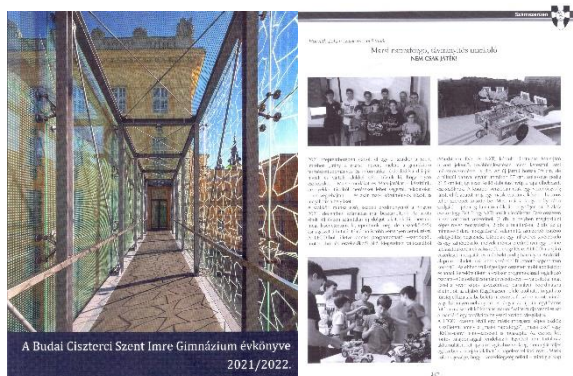
### 3.1. A féléves célkitűzések, keretek, szakköri csapat

Az elmúlt év pozitív tapasztalatainak megfelelően ebben a félévben is főként szakköri keretek között – vezetett előadásokkal, egyéni és csoportmunkával, mentorálva, segítve az egyének és csoportok előrehaladását – folytattuk a megkezdett munkát a célkitűzések mentén.

Az elmúlt év ugyan nagyon termékeny volt, sok különféle területet bejártunk a diákokkal, és ennek megfelelően igen sok szigetszerű megoldás is született. Mivel ezek integrálására sokszor nem is adódik mód, és nem is lenne rá racionális indok, így célul tűztük ki, hogy ebben az évben egy olyan komplex megoldást dolgozzunk – egy mobil rovert (Husar) építünk meg –, mely a legtöbb korábban szigetszerűen megvalósított funkciót egységes és bővíthető platformon valósítja meg. Egységes közös platformnak az Arduinót választottuk, melyhez rendkívül sokféle hardver (Arduino-kompatibilis processzor és lapka, rengeteg olcsó szenzor és manipulátor) és szoftveres, platformfüggetlen fejlesztőkörnyezet érhető el.

Ahhoz, hogy egy integrált rendszert valósítsunk meg, működőképes összetevőkre, modulokra is szükség van elengedhetetlen a szenzorok és mozgó motorok megismerése felhasználása is, tehát az alapoknál kell kezdeni.

A fentekhez teljes mértékben igazodott az a lehetőség, hogy a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) több szervezetével együttműködve meghirdette az első hazai nagyszabású CanSat versenyt CanSat Hungary 2023 néven. Ebben csapatonként legfeljebb 6 diáknak 1-2 mentor segítségével egy konzervdoboz méretű „műholdat” kell építenie, amihez ugyan a néhány km-re való feljuttatást biztosítják, de meg kell oldani a hőmérséklet-,



1. ábra: A Budai Ciszterci Szent Imre Gimnázium évkönyve 2021/2022. és a benne szereplő cikk 1. oldala

légnyomás-, páratartalom-mérést, az adatokat valós időben rögzíteni és rádióan lesugározni is kell, valamint biztonságos visszatérést kell megvalósítani (pl. ejtőernyővel), valamint a versenyző csapat által választott másodlagos küldetést is végre kell hajtani.

A fenitiek a célkitűzésekkel nagymértékben összezsengtek: integrált, autonóm módon működő megoldás szenzorokkal, manipulátorokkal és rádiós telemetriával. A repüléstől eltekintve akár egy planetáris rover feladat is lehetne. A sorban jelentkező határidők még a csapat produktivitását is növelhetik, és a verseny biztosítja a motivációt és a működő eredményt is. Persze hátrányokkal is jár: időt és figyelmet von el olyan feladatokról, mint a terepasztal megvalósítása, a talajvizsgálatok, vagy éppen a talajon történő mozgó mechanika. Ezen feladatokra tehát a verseny mellett külön figyelni kell. Ugyanakkor behoz olyan témákat, amellyel a rover esetén nem kell foglalkozni, de kiváló lehetőség a fizika más területeinek a megismerésébe. Ilyen a repülés fizikája, különös tekintettel az áramlástanra, aerodinamikára. Erre a CanSat verseny, csapatunk által választott másodlagos küldetése miatt is szükség van, mivel a másodlagos küldetés céljának az ereszkedő CanSat pályájának jelentős módosítást (az eszköz esetleges siklásának megvalósítását) tűzték ki.

Beszámolómban így a fenti speciális területeken végzett munka is megjelenik.

A 3. félévben a tavalyi év végéhez képest a 11. osztályba lépett diákok nagy része tanulmányai miatt távozott, de egy 5-dikes, egy 7-dikes, egy 9-es diák viszont csatlakozott – előbb egy másik iskolából. Így a félévet 12 fővel zártuk. (2 lány, 10 fiú) (5. évf.: 1 fő; 7. évf.: 3 fő; 9. évf.: 1 fő; 10. évf.: 5 fő; 11. évf. 2 fő) Ebből került ki a Cansat 6 fős, CanSa(in)tlmre nevű lelkes csapata is.

### 3.2. Elektronika: platform, szenzorok, motorok

#### 3.2.1. Platform: Arduino és ESP32

Az eddig megismert hardveres platformok közül az Arduino és azzal kompatibilis platformok (pl. ESP32) mutatkoztak a rover (Husar) és CanSat megépítéséhez is a legrugalmasabbnak. Előnyei között szerepel, hogy rengeteg gyártó sok általános és még több speciális feladatra gyárt Arduino vagy kompatibilis hardvert. Ezekhez szintén rengeteg szenzor és motor érhető el, ezek szoftveres működtetéséhez programozásához pedig sok fejlesztői környezet és példakód áll rendelkezésre.

A rover vagy a CanSat esetében is fontos azonban, hogy az eszköz megfelelő számítási kapacitással bírjon, ahogy az is, hogy az energiafogyasztása és a kiterjedése is minél kisebb legyen. A megvizsgált Arduino-kompatibilis eszközök közül az ESP32 került ki győztesen összehasonlítva például a Raspberry Pi Pico-val - a legjobban megfeleve a kompromisszumnak. Ezt az összehasonlítást mutatja a mellékelt táblázat.

#### 3.2.2. Inertial Reference Unit (IRU)

Akár a rovról, de még inkább a CanSatról van szó, fontos a pozíciójának, sebességének és gyorsulásának a pillanatnyi nyomon követése, ilyen rendszer Inertial Reference Unit/Module (IRU/IRM) minden repülőgépben, űreszközben található. Erre mi egy redundáns, összetett rendszert terveztünk, melynek elemei:

- 3-tengelyű gyorsulásmérő
- 3-tengelyű giroszkóp
- 3-tengelyű magnetométer
- Precíziós nyomásmérő
- GPS-vevő
- ESP32

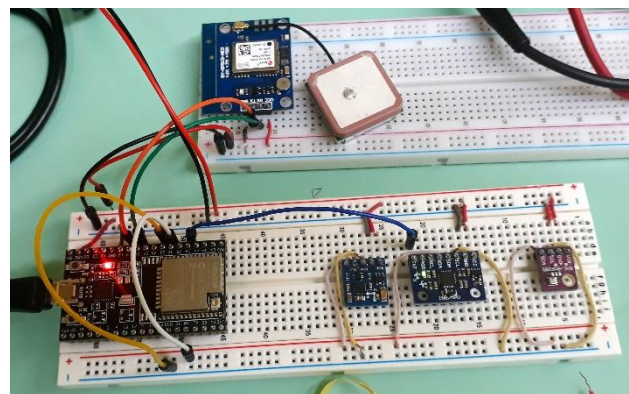
A GPS-vevő önmagában is a pozíciót néhány m-es pontossággal, és a sebességet is meghatározza, ha van



2. ábra: CanSat Hungary verseny logója

	Raspberry Pi Pico	ESP32
Processzor	Arm Cortex-M0+ dual-core	Tensilica Xtensa LX6 32 bit dual-core
RAM	264KB	520KB
Órajel	133MHz	80/160/240MHz
Üzemi feszültség	1.8-5.5V DC	2.2-3.6V
Üzemi hőmérséklet	-20 °C ... +85 °C	-40 °C ... +125 °C
Flash	2MB	4MB
Külső flash	16MB	16MB
RTC memória	-	16KB
Wi-Fi	No	802.11b/g/n
Bluetooth	No	Bluetooth 4.2, BLE
Ethernet	No	10/100 Mbps
Egyéb interfacek	2 × UART, 2 × I2C, 2 × SPI, 16 × PWM channels	3 × UART, 2 × I2C, 2 × I2S, 4 × SPI, 16 × PWM channels
Beépített szenzorok	Temperature	Touch, Temperature, Hall Effect
GPIO	26, plus 3 analogue pins	34 programmable pins
PIO	8	No
Beépített USB	USB 1.1 (Device / Host)	No
Méret	21 mm × 51 mm	18 mm × 25 mm
Energiaigény	91 mA	2,5 μA - 240 mA
Energiatakarékos üzemmódok	1+1	4+1

3. ábra: Raspberry Pi Pico és ESP32 platformok összehasonlítása



4. ábra: ESP32 antennával kiegészített GPS-vevővel, 3-tengelyű gyorsulásmérővel, giroszkóppal, magnetométerrel és egy precíziós nyomás-, hőmérséklet- és páratartalom-mérővel működés közben

megfelelő jel. (Ennek hiánya a Föld felszínétől távol, nagy mágneses viharok esetén vagy zárt helyen fordulhat elő.) Sokszor ennél pontosabban és gyakrabban frissítéssel kell meghatározni a kinematikai vektorokat. A 3-tengelyű gyorsulásmérő ebben segít, a gyorsulások integrálásával a sebességvektorok, azok integrálásával az elmozdulás adódik. Mivel a mérési rendszer dőlhet, foroghat, ennek kompenzálására szolgál a giroszkóp-rendszer, valamint kis (néhány 100 m-es) elmozdulások esetén a magnetométer által mutatott fix referenciáirány, a Föld mágneses indukcióvektora (annak inklinációja és deklinációja). A számítás igen összetett, és figyelembe kell venni, hogy a gyorsulásmérők az alábbi gyorsulásokat is mérik: gravitációs, lineáris vagy translációs, centrifugális, tangenciális. Ezen forgó koordinátarendszer-adatok földhöz rögzített koordinátákba való visszazámítása és az ez alapján történő integrálás nehéz feladat – különösen középiskolás diákoknak.

Ha ezen bonyolult rendszer nem állna rendelkezésre akkor a nyomásmérőt, mint altimétert használva a barometrikus magasságformulával (ismerve a felszíni légnyomást) a magasság igen jó pontossággal becsülhető – hasonlóan a repülőgépek fedélzeti magasságmérőjéhez.

Az ESP32 minden esetben az adatok kiolvasásáért és a számításokért felel. Több működő alrendszer esetén ezek együttes használata jelentős pontosítást tesz lehetővé.

A feni képen látható módon sikerült egy elektronikai rendszerré összekapcsolni az összes szenzort, az értékeket kiolvasni, megjeleníteni és WiFi-n továbbítani, viszont az inerciális számítások és redundancia kezelése, felhasználása még nem került implementálásra.

### 3.2.3. Gázszenzorok és radonmérés

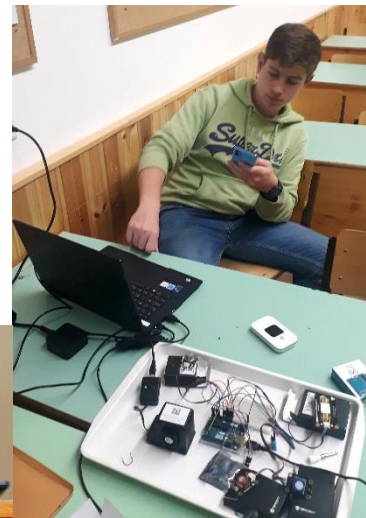
A légkör összetételére és a nyomgázok mérésére egyaránt szükség lehet rovers és cansat-es mérés esetén is. Az MTA Energiatudományi Kutatóközpontjával egy pilot projektben veszünk részt, mely a környezeti levegő minőségének az iskolai vizsgálatáról szól, s mely jól integrálható a fenti két eszköz vizsgálataiba.

A projekt keretében 3 különböző alrendszer végez egyidejű méréseket:

- CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub> gázszenzorok + Arduino: A 4 különféle gáz mérésére szolgáló szenzorokat egy Arduino olvassa ki és egy csatlakoztatott laptopra menti el az adatokat.
- méretfrakcionált aeroszol koncentráció mérő: 8 méretfrakcióban 0,35 és 40 µm között méri a szálló részecskék koncentrációját, COM-porton keresztül lementi, és valós időben mutatja.
- Radon-mérő: óránkénti felbontásban méri a levegő aktivitását (a radon koncentrációját), melyet Bluetoothon lehet lekérdezni.



6. ábra: Gázszenzorok, méretfrakció-mérő és radonmérő együttes működése



5. ábra: Gázszenzorok programozása

Az eddigi rövid ideje tartó mérési eredmények feldolgozása folyamatban van. Az már most szembetűnő, hogy a radon koncentrációja a teremben lévő aktivitást jól követi: Munkanapokon napközben (amikor az ajtók, ablakok gyakran nyitva vannak) az aktivitás alacsony, viszont éjszaka és hétvégén fokozatosan növekszik, de a veszélyes határértéket így sem közelíti meg.

### 3.2.4. Szervomotorok

Mind a rover kerekeinek, mind manipulátorainak és a CanSat vezérsíkjainak mozgatásához szükség van szervomotorokra. Hogy ezek Arduinoval való összekapcsolását demonstráljuk és a motorok működtetését megismerjük, egy joystickokkal távvezérelhető robotkart szereltünk össze.



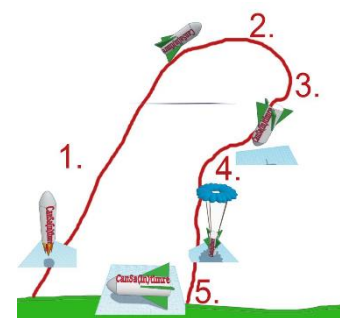
7. ábra: Távvezérelhető, diákok által összeszerelt robotkar és vezérlője

## 3.3. Mechanika és aerodinamika

### 3.3.1. Trajektória és beavatkozás tervezése

A CanSat repülésének megtervezése, időzítése és aerodinamikai kialakítása is komoly kihívás volt. A CanSat pályaszakai az alábbiak:

1. Kilövés, utazás a rakétában, CanSat becsukott szárnyakkal
2. Rakétából való kibocsátása után a CanSat szárnyainak nyitása, stabilizálás.
3. A vezérsíkok mozgatásával pályakorrekció (siklás)
4. Ejtőernyő kibocsátása, fékezés
5. Leérkezés (touchdown)

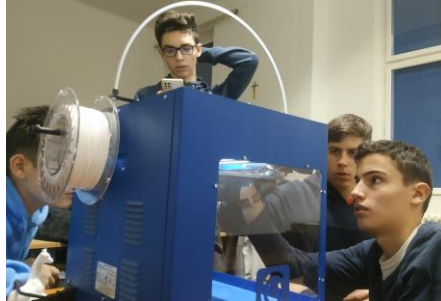


8. ábra: A CanSet pályaszakaszai

A CanSat vázának, a vezérsíkok vagy az ejtőernyő tervezéséhez és a repülés fizikájához a diákoknak nem volt kellő előismerete, és jó, tömör, és minden lényeges elemre kiterjedő tananyagot nem találtam, így készítettem egy több mint 100 oldalas prezentációt, ami segítségével és feladatok megoldásával középiskolai szinten online és személyes előadok keretében vezettem be őket a repülés fizikájába, aerodinamikába.

### 3.3.2. Váz és 3D-nyomtatás

A CanSat és a rover jelentős része egyedileg gyártott könnyű alkatrészből fog készülni, melyhez a legjobb eljárás napjainkban a CAD-ben való tervezés és ezt követően a tárgy 3D-nyomtatása.



9. ábra: 1. Minta, ötlet (cellás csűrője); 2. CAD-tervezés; 3. 3D-nyomtatás; 4. Egy szárnyas CanSat 1:1 makettje

### 3.3.3. Ejtőernyő és ejtési kísérletek és feldolgozása

A CanSat biztonságos visszatéréséhez ejtőernyőt kell nyitni. A megengedett visszatérési végsebességből (5 m/s) és a CanSat össztömegéből (350 g) kiszámított ernyőfelülettel esernyő anyagából egy közepén kis lyukkal rendelkező ejtőernyő, valamint CanSat méretű, tömegű és tömegeloszlású rakomány is készült. Ezt beltéri (2-3 m-es) és kültéri (16-17 m-es) ejtésteszteken esett át, mely során az esési időt mértük, a esés közben az ernyő alakját utólag lassított videofelvételről elemeztük, és megfelelően védve mobiltelefont is reptettünk 3-tengelyű gyorsulást mérve. A tapasztalatok alapján újabb ernyő készült.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a végsebesség valóban 5 m/s körüli volt. A 3-tengelyű gyorsulásértékek is a vártak megfelelően voltak: a normált szinthez képest a dobásnál kissé megnő a gyorsulás, majd hirtelen 0-ra csökken (szabadesés), majd felgyorsulva az



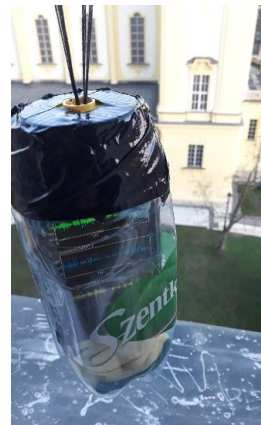
10. ábra: Ernys ejtés gyorsulás-idő diagramja

ernyő közegellenállása miatt fékeződik, végül állandósult állapotban történő ereszkedésnél

– a földet érésig és ott elborulásig – a gravitációs gyorsulás a megszokott értékű. A

gyorsulásgörbéken a forgás és az enyhe dőlés miatt szinuszos jel szuperponálódik, melyből a forgás periódusideje jól mérhető. A mért

adatokból integrálással megkaptuk a 17 m-es ejtési magasságot.



11. ábra: Mobiltelefonos gyorsulásmérés ernyővel

### 3.4. Pedagógiai és versenyeredmények

A CanSat csapatnak nagy élményt jelentett, amikor január 14-én a CanSat Hungary 2023 verseny találkozájára mentünk. Itt lehetett találkozni a szervezőkkel, be kellett mutatni az eszköz már meglévő részeit, de tanulhattak mások megoldásaiból is azokat alaposan szemügyre véve.

(A találkozón a MANT főtíkárával, Arnócz Istvánnal. A továbbiakban egyeztetésre kerül sor a kutatási témám kapcsán.)

A program pedagógiai sikerének gondolom, hogy a szakkör igen népszerű, mindig vannak új csatlakozók, idén már másik iskolából is. Az is árulkodó jel, hogy a szakkör 90 perce után is még több órát ottmaradnak, dolgoznak, újabb és újabb versenyekre jelentkeznek és veszik sikerrel az akadályokat.

A szakkör tagjai több versenyen is részt vettek. 18 diákom (7-esek és 9-esek) – köztük 3 szakkörös – indult a Jedlik Ányos Országos Fizikaversenyen, ahol az első fordulón mindenki sikeresen túljutott – szinte mindenki 85% fölötti eredménnyel. Egy 3 fős 10-dikes diákjaimból álló csapat pedig a MTA Fenntarthatósági Tanulmányi Versenyen (<https://verseny.mta.hu>) indult, és kért fel mentortanárnak, 611 csapatból a másik 151 csapattal a 2. fordulóra jutott, ahova színvonalas munkákat adott be.

Idén másodszor indult két 10-es diákunk (Balás Borbála és Peller Dániel) az Athletica Galactica Kárpát-medencei Középiskolai Csillagászati és Asztrfizikai Versenyen, ahol 3 fordulót teljesítése után mindketten – a 11-12-esekkel együtt versenyezve – 15. és 20. helyen az országos döntőbe jutottak. Így március végén személyesen próbálhatják ki tudásukat Bakonybélben, és versenyezhetnek a Nemzetközi Csillagászati és Asztrfizikai Olimpia hazai csapatába kerülésért.



12. ábra: A CanSa(in)tlmre csapat 3 tagja a CanSat felbocsátására képes rakétával