



**36. ORSZÁGOS
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI
KONFERENCIA 2023**

MULTIFUNKCIONÁLIS ROBOT PLATFORM FEJLESZTÉSE

TDK DOLGOZAT

LAKATOS ATTILA ISTVÁN

**GYŐRI SZC JEDLIK ÁNYOS GÉPIPARI ÉS INFORMATIKAI
TECHNIKUM ÉS KOLLÉGIUM**

11. D (GÉPÉSZTECHNIKUS)

KONZULENSEK:

MIKLÓS MÁTÉ (SZE KUTATÓMÉRNÖK)

KRECHT RUDOLF (SZE KUTATÓMÉRNÖK)

2022

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
1.1.	Célkitűzés	3
1.2.	A kutatási téma összefüggései	4
2.	Műszaki megvalósítás.....	6
2.1.	Levegő minőség értékelés	6
2.2.	A HEAT SPOTTER alap és energetikai működése	8
3.	A HEAT SPOTTER 2.0 előnyei	9
4.	A robot konkrét megvalósításának módja.....	10
4.1.	A kiindulási konstrukció (HEAT SPOTTER 1.0)	10
4.2.	Mechanikai tervezés és megvalósítás.....	11
1.	4.2.1. A robot karosszéria kiegészítése az újonnan fejlesztett funkciók támogatására.....	11
2.	4.2.2. Meghajtás.....	12
3.	4.2.3. Elektronikai tervezés és megvalósítás	12
4.	4.2.4. Beltéri levegőminőség mérése	14
4.3.	LIDAR.....	16
4.4.	Multifunkcionális lökhárítók	17
4.5.	Hőkamera.....	18
5.	Alkalmazási lehetőségek.....	18
6.	További fejlesztési tervek	19
7.	Összefoglalás.....	19
8.	Köszönetnyilvánítás.....	22
9.	Felhasznált irodalom.....	22
10.	Ábrajegyzék	23
11.	Mellékletek.....	24

1. Bevezetés

„Az igazán nehéz dolog a megfelelő kérdéseket feltenni. Ha az megvan, a többi már gyerekjáték.”

Elon Musk

Elon Musk sikeres mérnök és üzletember. Sikerének egyik titka valószínűleg az, hogy mindig megtalálja azokat a kihívásokat, amelyeknek műszaki megvalósítása üzletileg is sikeres lehet. Én is próbálom ezt az utat követni. A robotfejlesztés és -építés olyan folyamat, amellyel komplex műszaki tudásra lehet szert tenni és azt hatékonyan és innovatív módon lehet felhasználni. Alkotás, tervezés közben mindig az jár a fejben, milyen célra lesz hasznosítható az adott eszköz, és milyen piaci igény van rá.

1.1. Célkitűzés

A fűtött/hűtött tereket határoló felületek dokumentálható energetikai felmérésének minél pontosabb, reprodukálható, rövidebb időn belüli elvégezhetősége nagyon fontos.

Az energiaválság miatt tovább erősödik az igény arra, hogy keressük az energiamegtakarítás lehetőségeit. Ennek fontos eszköze lehet az építkezések és felújítások során történő folyamatos felmérés, és a felderített hiányosságok kijavítása. Ez adott esetben akkor a leghatékonyabb, ha maga az építőipari szakember kap olyan eszközt, amellyel ez a művelet elvégezhető és (energetikai szakember nélkül is) kiértékelhető.

Ez az igény kiegészül a helyiségek levegőjének fizikai és kémiai minőségének ismeretével, hiszen ez az egészség védelme miatt kiemelkedő fontosságú.

Ezt a két funkciót építettem be az általam tervezett és épített robotplatformba (amely természetesen más felhasználásoknak is alapot teremthet).

Felhasználási lehetőségek:

- Épület kivitelezés
 - Hőhidak keresése,
 - Épületszerkezet hőszigetelő képességének vizsgálata,
 - Levegőminőség ellenőrzése lakó- és munkaterekben (pl. irodák),
 - Épületgépészeti rendszerek vezetékeinek hőszigetelő képesség vizsgálata.

- Villamos rendszerek (elektromos járművek) diagnosztizálása
 - Akkumulátorok külső vizsgálata,
 - Áramkörök nem megfelelően érintkező pontjainak felderítése,
 - Járműtűzek intenzitásának biztonságos távolságból való vizsgálata.



1. ábra: Energetika felmérő robot felhasználási lehetőségei¹

1.2. A kutatási téma összefüggései

A K+F téma fő kiindulási iránya mobil, távirányítható, több műszaki célra is alkalmazható robusztus robot platform fejlesztése volt.

A robot platform első felhasználási célját az energetikai és levegőminőségi felmérések területén jelöltem ki.

Jelenleg az építményekre kiterjedő vizsgálatok főként a hőáramlásból fakadó veszteségekre összpontosítanak (Blower-door teszt [2.]), azonban a jó energetikai paraméterekkel rendelkező (passzívházak [1.]) a természetes szellőzés [5.], [6.], [7.] hiánya miatt levegőminőségi, és ebből fakadóan egészségügyi problémákat is felvethetnek. Ezek a levegőminőségi kívánalmak akár járműjavító és üzemeltető műhelyekben is lényeges vizsgálati szempontot jelenthetnek, hiszen itt még a belső égésű motorok működése is levegőminőséget rontó tényezőt jelent.

A téma relevanciáját kiemeli, hogy a levegőkémiával foglalkozó és orvosi témájú konferenciák már gyakran foglalkoznak a beltéri levegőminőség jelentőségével és problémáival az életminőség és egészség szempontjából. Ebből adódóan a levegőminőség számszerűsítése, mérése, ennek érzékelése, dokumentálása és a problémák megoldása lényeges mérnöki feladat [3.].

Jelenleg az energetika területe is fokozott hangsúlyt kapott az energiaárak drasztikus emelkedése miatt. Épületenergetikai felmérő robot segítségével gyors és pontos hőenergetikai

¹ <https://www.winklertuzep.hu/tudastar/a-hoszigeztelesrol-oszinten/58>,

<https://www.villanylap.hu/lapszamok/2015/aprilis/3596-hokemarok-a-villamos-szakembereknek>

felmérést végezhetünk az ipari célú épületekben, de ugyanakkor járművekhez kötődő diagnosztikai, elemzési feladatok esetében is jó szolgálatot tehet az eszköz.

A levegőminőség [4.] mérésére léteznek már kézi műszerek (Indoor Air Quality Measurement), illetve épületautomatizálási megoldások (pl. Ambience Monitoring Sensors), amelyek főként a páratartalmat, CO₂-koncentrációt, TVOC-szintet (Total Volatile Organic Compound, azaz illékony szerves vegyületek) mérik. Távvezérelhető robotba (HEAT SPOTTER) építve, hőkamerával és videokamerával kombinálva, azonban nem találtam a piacon beszerezhető megoldást.



2. ábra: Energetika felmérő robot (HEAT SPOTTER)²

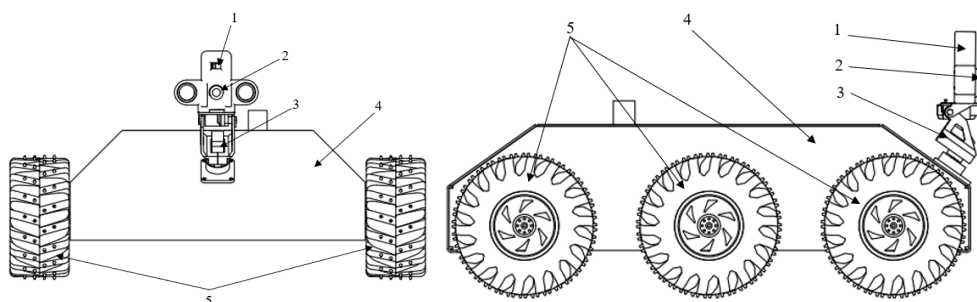
² Saját fotó: HEAT SPOTTER (saját tervezés és kivitelezés)

2. Műszaki megvalósítás

A robotplatformra épített épületenergetikai és levegőminőség felmérő funkciókat az alábbi fő alkotó elemek szolgálják ki:

- (1) hőkamera
- (2) széleslátószögű kamera
- (3) két tengely mentén állítható szögű rögzítőelem (a kamerák megfelelő mérési helyzetbe állítását végzi távvezérelt szervomotorral)
- (4) energetikai és levegőminőség felmérő robot (mobil platform)
- (5) mobil platform kerekekkel

A megvalósított differenciálhajtású robot odometriai adat meghatározására is alkalmas.



3. ábra: Energetika felmérő robot robotplatformra építve (HEAT SPOTTER)

2.1. Levegő minőség értékelés³

Az ún. **Indoor Air Quality (IAQ)**, azaz a belső levegőminőség mérésére a robotomat levegőminőség-érzékelőkkel szereltem fel. A mérési magasság befolyásoló hatását teleszkóposan emelhető rúdra szerelt szenzorokkal tervezem figyelembe venni (a fejlesztés későbbi szakaszában).

A mért értékek:

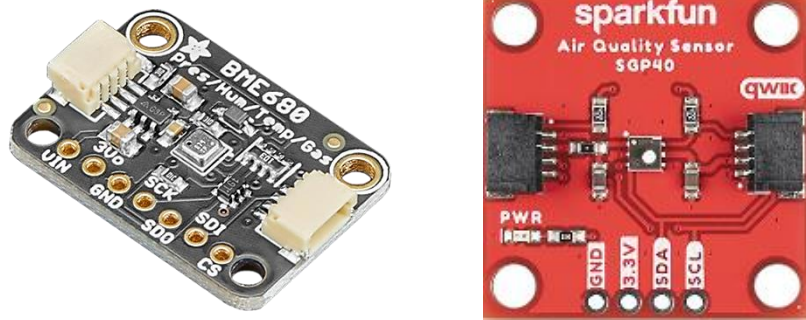
- illékony szerves vegyület (VOC: Volatile Organic Compound) koncentráció,
- széndioxid (CO₂) koncentráció,
- hidrogén (H₂) koncentráció,

³ Attila LAKATOS: Air Quality Measurement in Buildings, "HIDRAULICA" (No. 4/2021) Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, ISSN 1453 – 7303, Romania

- etanol koncentráció,
- levegő páratartalom, nyomás, hőmérséklet.

Kiválasztott szenzorok:

- BME 680 Bosch levegőminőség-érzékelő [8.] és
- SEN-16531 - SGP30 Qwiic levegőminőség-érzékelő [9].



4. ábra: Bosch (balra) és SEN-16531 - SGP30 Qwiic (jobbra) levegőminőség-érzékelő

A beltéri levegő minősége fontos az életminőség és az egészség szempontjából [1]. Érzékelése ezért lényeges a mérnöki területen.

Főbb jellemzők, amelyek a szakirodalom alapján lényegesek számunkra:

- beltéri hőmérséklet,
- beltéri nyomás,
- páratartalom,
- szén-dioxid koncentráció,
- illékony szerves vegyületek (VOC-k).

Termikus komfortérzetünk nagymértékben függ a következőktől:

- levegő hőmérséklete (ezt általában szabályozzák),
- relatív páratartalom (ami a levegő vízgőztartalmát jelzi, és 40-60% között kell lennie),
- levegő összetétele (amelyből az oxigén és a szén-dioxid százalékos biofizikai jelentősége a legnagyobb).

A belélegzett levegő CO₂-tartalmának változása nagyobb hatással van az emberi szervezetre, mint az oxigéntartalom hasonló változása. Következésképpen a szén-dioxid-szint monitorozása a levegőösszetétel vizsgálatának lényeges eleme.

A jó levegőminőség fenntartása és a CO₂-koncentráció csökkentése érdekében az épületet folyamatosan szellőztetni kell. A szellőztetés azonban energiaigényes folyamat.

Ugyanakkor a belélegzett levegő megnövekedett CO₂-tartalma káros reakciókat okoz az emberi szervezetben:

- csökkenti a figyelmet és
- álmoságot okoz.
- Ha a belélegzett levegő CO₂-tartalma 1000 ppm fölé emelkedik, akkor az álmoság érzet és a koncentráció csökkenése mellett súlyosabb következményekkel is számolnunk kell: ilyenkor légszomj és szapora szívverés is jelentkezik.
- Ha a szén-dioxid koncentrációja eléri az oxigénéhez hasonló arányt (körülbelül 20%), az akár életveszélyes is lehet.

Észak-Amerika és Európa fejlett országai nagy súlyt fektetnek a levegőminőségi szabványokra és a beltéri CO₂-tartalomra [3].

A szellőztetésre vonatkozó kötelező szabványok [4], [5], [6], [7]:

- Amerikai egyesült államok
 - ASHRAE 62.1-2013
- Európa
 - EN-15241:2011,
 - EN-15242:2009,
 - EN-13779:2008 és
 - ICS 91.140.30.

Az általam választott két szenzor elérhető áron elégíti ki a mérésekkel kapcsolatos fenti követelményeket.

2.2. A HEAT SPOTTER alap- és energetikai működése

A HEAT SPOTTER első változatához viszonyítva a jelenlegi, 2.0 változatban az alábbi területeken végeztem fejlesztést:

- javított képátviteli technológia (a távvezérléshez),
- nagyobb felbontású hőkamera,
- a robot elektronikai kivitelezésének korszerűsítése (nyomtatott áramkörök tervezése és a vezetékezés kiváltásával áttekinthetőbb struktúra kialakítása),

- a robot ütközésveszélyének csökkentése elől-hátul beépített ultrahangos távolságérzékelőkkel,
- a mechanikai felépítés alkalmassá tétele az új funkciókra (új tartók, szerkezeti elemek tervezése és kivitelezése),
- LIDAR alapú környezetértékelés műszaki hátterének megvalósítása (LIDAR alapú környezetértékelés műszaki hátterének előkészítését végeztem el).

A fenti kitűzött cél megvalósítását komplex tervezési és kivitelezési tevékenységgel valósítottam meg. Ennek fő szakmai összetevői az alábbiak:

- Gépészeti tervezés és kivitelezés (3D nyomtatás),
- Programozás (képátvitel, teleoperáció, adatrögzítés, feldolgozás),
- Elektronikai tervezés (új kamera és hőkamera, továbbfejlesztett képátvitel és teleoperáció, LIDAR alapú környezetértékelés, ultrahangos távolságérzékelők).

3. A HEAT SPOTTER 2.0 előnyei

A HEAT SPOTTER robot elérhető árú a professzionális hőkamerákhoz viszonyítva (kb. az ár negyede), így hamar megtérülő eszköz vagy akár szolgáltatás később piacra vihető prototípusa, az 1.0 változat kapcsán szabadalmi bejelentés történt. Fontos előny, hogy a HEAT SPOTTER egyszerűen kezelhető, így a kivitelező szakemberek is képesek használni a folyamatok közben történő megállapítások és döntések meghozására.

Fő előnyei:

- élőmunka-kímélő,
- egyszerűen és hatékonyan alkalmazható, nem csupán energetikai és levegőkémiai specialisták által,
- objektív és dokumentálható mérési eredményeket biztosít.

Használata várhatóan az építőipari és épületgépészeti, illetve járműüzemeltetéssel foglalkozó cégek számára lesz a legelőnyösebb, akár járműfenntartó létesítmények kivitelezésénél is jó használható.

A robot által alkalmazható hőenergetikai és levegőminőségi felmérési módszer olcsóbb, mint a jelenleg elérhető módszerek:

- A robottal végzett energetikai felmérési eredmények alapján tervezhető például a felújítási technológia és a szükséges szigetelőanyagok, nyílászárók stb. is, melyek így a legcélszerűbben kiválaszthatók.
- A levegőminőség elemzése már üzemelő épületekben (különösen passzív házakban) lehetővé teszi az életminőség értékelését, illetve a nem megfelelő értékek révén a hiányosságok gyors és egzakt felmérését, ami lehetőséget nyújt a hibák elhárítására.
- A robot nagyobb darabszámú gyártása növeli a szakemberek munkájának hatékonyságát.

4. A robot konkrét megvalósításának módja⁴

4.1. A kiindulási konstrukció (HEAT SPOTTER 1.0)

A HEAT SPOTTER 1.0 a 30. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Versenyre készült el, és részesült kiemelt dicséretben. A jelenlegi robot ennek jelentősen fejlesztett változata, amely a 31. Ifjúsági Innovációs Versenyen részesült kiemelt dicséretben.

Az 1.0 változat (ezek alkotják a 2.0 változat alapját) fő jellemzői:

- A robot szerkezete könnyen, olcsón gyártható, ugyanakkor a használat közbeni igénybevételnek megfelelően robusztus, esztétikus eloxált alumínium lemezből készült.
- A berendezés távvezérelt, hatkerekű, differenciálhajtással hajtott. Ez a fajta hajtásmód elősegíti a manőverezhetőséget szűk helyeken.
- Informatikai alapfelépítés:
 - Az eszközön belül található egy beágyazott számítógép (Raspberry Pi 4), amely a fedélzeti képfeldolgozásért felel.
 - A teleoperációt szétválasztottam a képátviteltől:
 - A sebességének és irányának a megadása 2,4 GHz-es frekvenciájú rádiójellel.
 - A hőkamera és a kamera képe kijelző tableten (Archos Oxygen 70) jelenik meg.

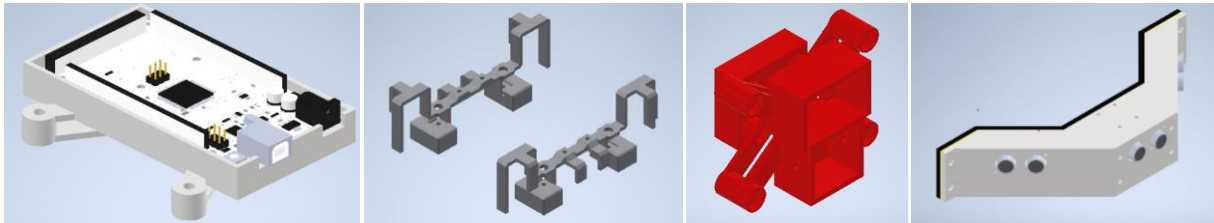
⁴ Attila LAKATOS: Measuring Robot Development, HIDRAULICA (No. 2/2022) Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, ISSN 1453 – 7303, Romania

4.2. Mechanikai tervezés és megvalósítás

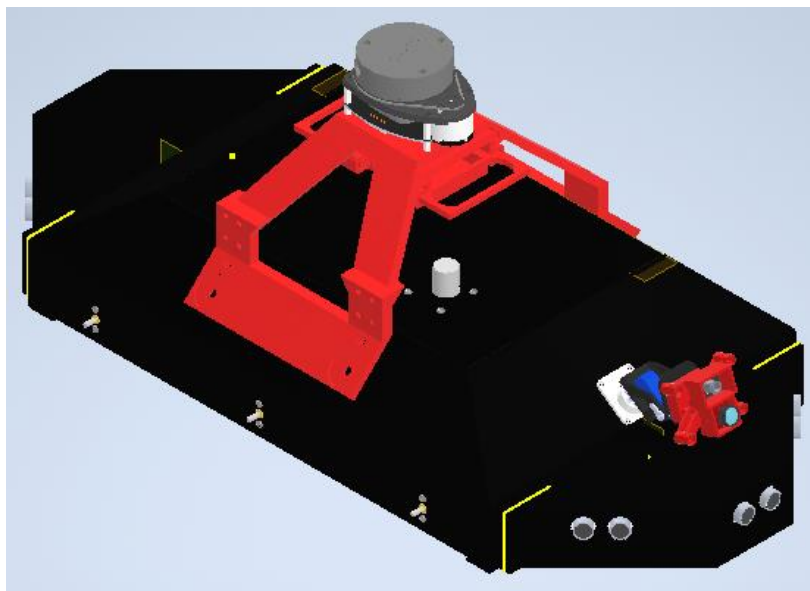
4.2.1. A robot karosszéria kiegészítése az újonnan fejlesztett funkciók támogatására

A robotplatform általam tervezett háza (karosszéria) már az előző versenyre elkészült alumínium lemezből, CNC lézervágással. A házban az egyes elemek rögzítő- és tartóelemeit (PLA, **p**oly**l**actic **a**cid), valamint a lökhárítót (PETG, **P**oly**e**thylene **t**erephthalate **g**lycol-modified) Autodesk Inventorral terveztem, majd saját 3D nyomtatómon (Anycubic Chiron 3D) gyártottam le. Ebben a tekintetben a 2.0 változat számos minőséget javító, újonnan tervezett és elkészített elemet tartalmaz. Ezek a robot belső áttekinthetőségét (így a hibakeresési lehetőségeket is) és szerelhetőségét (pl. akkumulátor csere) jelentősen egyszerűbbé teszik.

A 2.0 változathoz számos új szerkezeti elemet terveztem meg és gyártottam le 3D nyomtatással.



5. ábra: 3D nyomtatással készült saját tervezésű szerkezeti elemek⁵



6. ábra: Robot karosszéria, a felszerelt 3D nyomtatott elemekkel⁶

⁵ Saját 3D tervezés (Inventor)

⁶ Saját 3D tervezés (Inventor)

4.2.2. Meghajtás

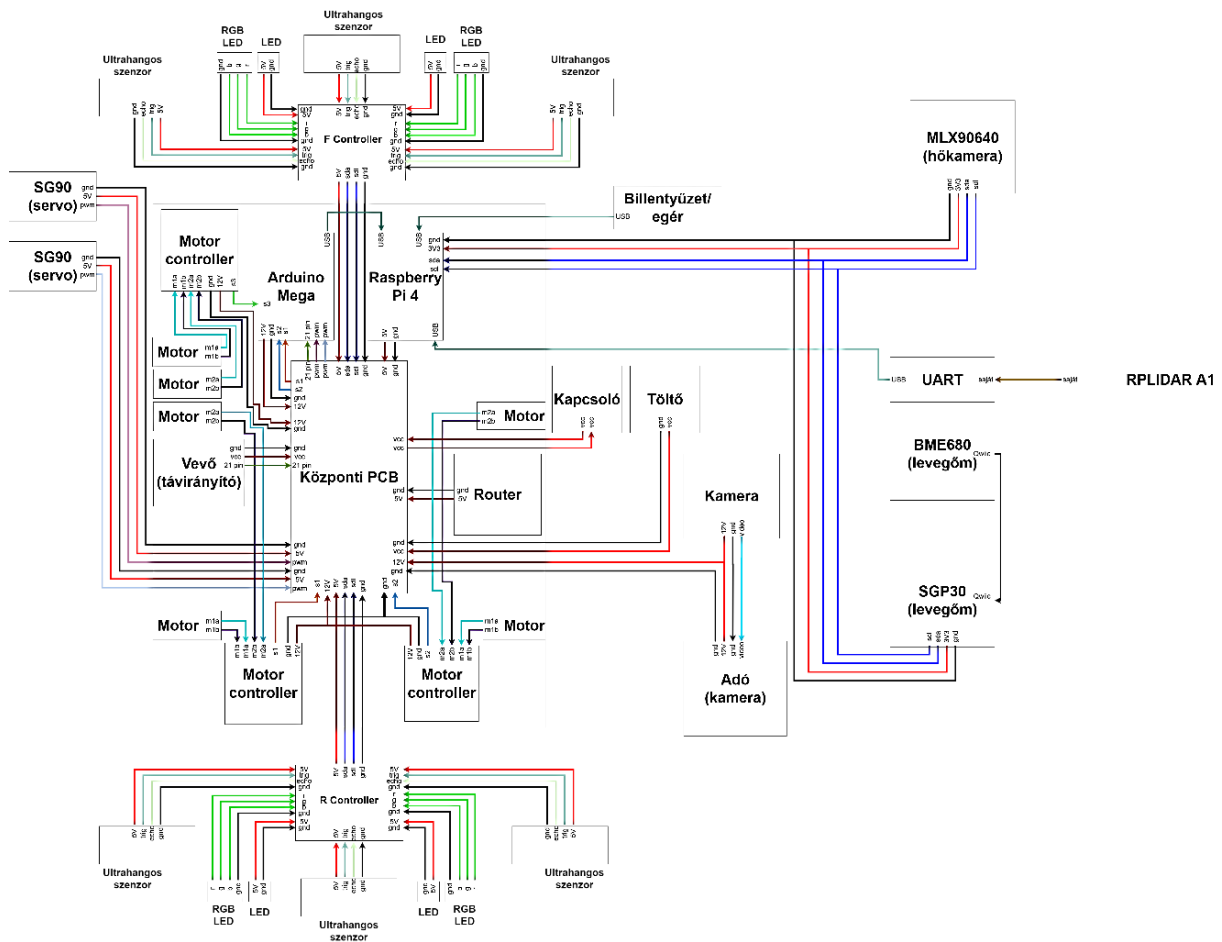
A differenciális hajtású robotok mozgása komolyabb geometriai korlátok nélkül megvalósítható. A hajtásmódnak megfelelően a robot nagyon fordulékony, akár egyhelyben is meg tud fordulni, ezért szűk helyeken is jól manőverezhető.

A robotot 6 db elektromos motor hajtja, amelyeket páronként egy-egy kétcsatornás motorvezérlő irányít. A rádiófrekvenciás jelnek megfelelő vezérlés Arduino MEGA 2560 panel segítségével történik. Ez a konstrukció is elkészült már az 1.0 változathoz. Ugyancsak ez a panel a felelős a kamerákat mozgó szervomotorok vezérléséért is. A programozást C++ alapú Arduino programnyelven végeztem.

4.2.3. Elektronikai tervezés és megvalósítás

A fedélzeti elektronikát saját tervezésű (Eagle program) nyomtatott áramkörök segítségével alakítottam ki. Ennek főbb fedélzeti komponensei:

- Magasszintű irányítás – Raspberry Pi 4
 - Szenzoradatok feldolgozása és továbbítása,
 - Későbbiekben: környezetérzékelés, útvonaltervezés autonóm/félautonóm működéshez,
- Alacsonyszintű irányítás – Arduino Mega
 - Valós idejűség garantálása,
 - Motorok aktuálása,
 - Egyedi PCB (saját tervezés).
- Távolságérzékelők vezérlője a robot első és hátsó részén (a lökhárítóknál)
 - Arduino Nano, egyedi PCB (saját tervezés),
 - I2C kommunikáció az első és hátsó vezérlő és a központi alacsonyszintű irányítás között,
 - Jobb megbízhatóság, vezetékezésből, analóg jelátvitelből adódó problémák elkerülése.



7. ábra: Elektronikai megvalósítás⁷

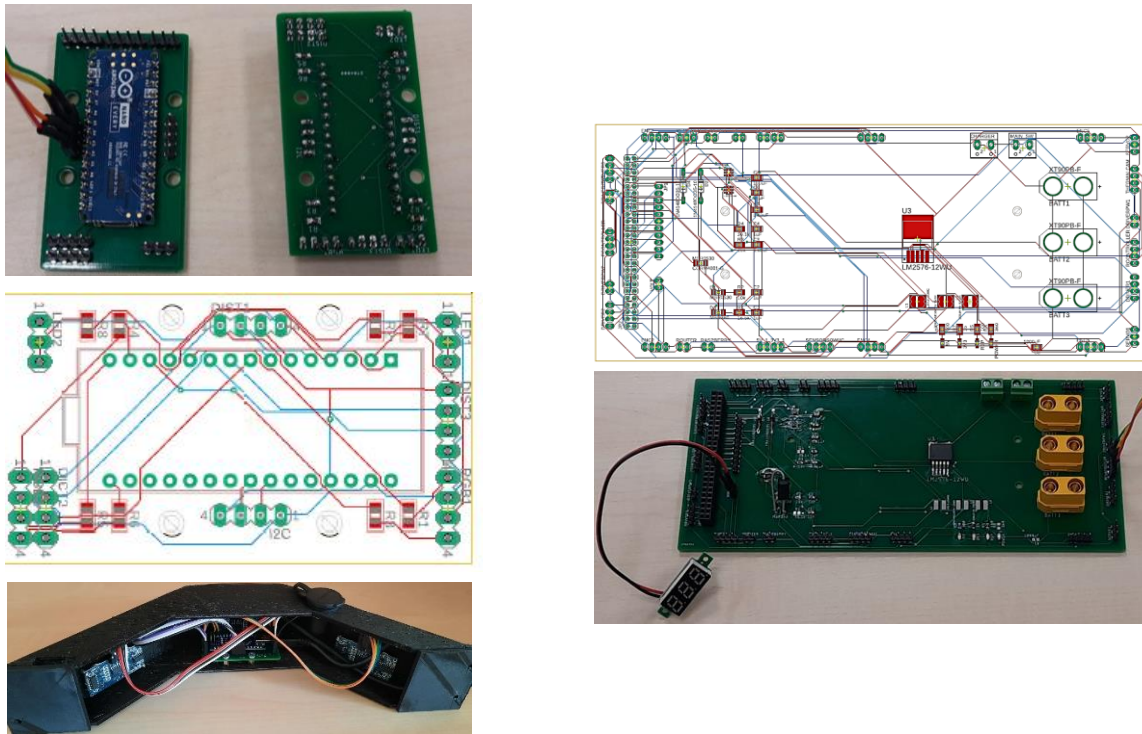
Az adatátvitel a távirányított robot egyik fontos funkcionális része. Ennek megoldásait modulárisan terveztem meg és alakítottam ki:

- Kamerakép átvitele – 5,8 GHz rádiófrekvenciás adó-vevő
- Teleoperáció – 2,4 GHz rádiófrekvenciás adó-vevő
- Egyéb fedélzeti szenzorok adatának átvitele – WiFi, on-board router alkalmazásával.

Két lehetséges megoldás:

- Jelenleg képernyőmegosztással, GUI a Raspberry-n (a robotban)
- később UDP csomagok formájában, GUI a fogadó PC-n.

⁷ Saját tervezés



8. ábra: Lőkhárító NYÁK-ok (balra), központi NYÁK jobbra⁸

4.2.4. Beltéri levegőminőség mérése

A beltéri levegőminőség nagy jelentőségű az életminőség és egészség szempontjából. A továbbiakban a kiválasztott és felhasznált levegő minőség érzékelő szenzorokat mutatom be.

4.2.4.1. BME 680 Bosch levegő minőség érzékelő szenzor

A BME 680 egy digitális 4 az 1-ben érzékelő, amely

- gázt (CO₂, VOC),
- páratartalmat,
- nyomást és
- hőmérsékletet mér.

A szenzor BSEC szoftvere intelligens algoritmusokat tartalmaz. A hardver-szoftver rendszer legfontosabb jellemzői a következők:

- A környezeti levegő hőmérsékletének kiszámítása a készüléken kívül (pl. Telefon)
- A környezeti relatív páratartalom kiszámítása a készüléken kívül

⁸ Saját tervezés

- A beltéri levegő minőségének (IAQ, Indoor Air Quality) kiszámítása a készüléken kívül

A BME 680 szenzor működése

A BME 680 egy fém-oxid alapú érzékelő, amely érzékeny rétegén adszorpcióval (és ezt követő oxidációval/redukcióval) érzékeli a VOC-kat. A BME 680 képes mérni a környező levegőben lévő VOC-/szennyeződések összegét. Ez lehetővé teszi, hogy a BME 680 érzékelje a magas VOC-szintet pl. a főzés, az élelmiszerfogyasztás, a kilélegzett levegő és/vagy az izzadás miatt.

A nyers értékeket a BSEC -n belüli intelligens algoritmusok beltéri levegőminőségi (IAQ) indexekké alakítják át:

- Az IAQ skála 0 (tiszt levegő) és 500 (erősen szennyezett levegő) között mozog. Működés közben az algoritmusok automatikusan kalibrálják és alkalmazkodnak az érzékelő működésének tipikus környezeteihez (például otthon, munkahely, autó belseje stb.).
- Az IAQ ~ 25 megfelel a „jó” levegőnek, és az IAQ ~ 250 jelzi a „szennyezett” levegőt.

4.2.4.2. SEN-16531 - SGP30 Qwiic levegőminőség-érzékelő

A SparkFun SGP30 levegőminőség-érzékelő információt nyújt a szoba vagy ház levegőjének minőségéről az érzékelő körüli illékony szerves vegyületek érzékelésével. Az SGP30 levegőminőség-érzékelő a bekapcsolás után 15 másodpercen belül érvényes beltéri levegőminőségi (IAQ) értékeket tud szolgáltatni.

A levegőminőség (IAQ) érzékelők többsége mintegy 20 perces indítási időt igényel. A 15 másodperc kiváló értéknek számít. A nagyon gyors indítási idő mellett a szenzor ellenálló más gázok szennyeződéseivel szemben, hosszú távú stabilitást és rendkívül megbízható eredményeket ad⁹.

⁹ <https://www.sparkfun.com/products/16531>

Az SGP30 gázérzékelő kimeneti értékei:

- VOC (TVOC),
- szén-dioxid (CO₂),
- H₂,
- etanol.

A SparkFun Qwiic Connect System (a szenzor csatlakozási felülete és rendszer) I2C érzékelőkből, aktuátorokból, pajzsokból és kábelekből álló rendszer, amely megkönnyíti a prototípuskészítést.

4.3. LIDAR

A robotra az ár-érték arányban megfelelő alábbi LIDAR-t (**l**ight **d**etection and **r**anging) választottam ki:

A4010 Slamtec Rplidar A1 - 360 Laser Range Scanner

A LIDAR olyan érzékelő, amely lézer segítségével pontosan érzékeli a távolságot. A Time-of-Flight érzékelőkkel ellentétben a LIDAR-ok hihetetlenül gyorsak. A szonár/ultrahangos érzékelőkkel ellentétben nagyon pontosak.

Mivel nagy sebességgel is pontos távolságmérést lehet végezni, a LIDAR-érzékelőt egy forgó motorra lehet szerelni. A lézerfényt másodpercenként több ezerszer „lövi ki”, és a szöghelyezettel korrelálva 2D-s „térképet” készíthet az akadályokról és falakról.

Ez a lézerszkenner-fejlesztőkészlet 360 fokos letapogatást képes végezni 12 méteres hatótávolságon belül, 2-10 Hz-es mintavételi sebességgel (ez egy teljes fordulatra vonatkozik). Ez a LIDAR 0,2 cm távolsági-, 1 fokos szög-felbontásra és 12 méteres hatótávolságra képes.

A tápellátás 5 V-ról történik. USB-kábelen keresztül a Raspberry Pi számítógépen dolgozhatjuk fel a szolgáltatott adatokat.

A LIDAR és a levegő érzékelők felfogatásához Inventorral terveztem tartót, amelynek felső részére a LIDAR kerül felszerelésre (megfelelő robot körüli rálátással, alsó (kihúzható) „fiókja” pedig a levegőérzékelőket foglalja magában. A robotra hordozó fűleket is készítettem a könnyebb kezelhetőség érdekében. A kialakítás zsanéros konstrukcióval készült, így könnyen hozzáférhetünk a robot belső részéhez, ha az szükségessé válik.



9. ábra: SLAMTEC RPLIDAR A1 (LIDAR)

4.4. Multifunkcionális lökhárítók

A robot alumínium vázát meg akartam tartani, viszont az elrendezés átalakítása és az új funkciók kialakítása megkívánta ennek bővítését. Ezt a célt a megfelelően tervezett első és hátsó lökhárítók valósítják meg.

A lökhárítóba több funkciót megvalósító elem is beépítésre került: Ebbe terveztem bele a főkapcsolót, a töltő csatlakozót (így töltéshez ezután nem kell kiszerelni az akkumulátort), ide kerültek elő-hátul az ultrahangos távolság érzékelők (4-4), illetve az ezek működtetésére tervezett nyomtatott áramkörök is.

A lökhárítók cseréjével ugyanakkor a robot további lehetőségekkel is felruházható: így mindig más szenzorkészlettel lehet esetlegesen bővíteni.



10. ábra: Ultrahangos távolságérzékelő

4.5. Hőkamera

A HEAT SPOTTER 1.0 8x8-as mátrixú hőkameráját **nagyobb felbontású** Adafruit MLX90640 IR hőkamerára cseréltem. Ennek jobb kiértékelhetősége javítja a robot használhatóságát.

Az Adafruit MLX90640 IR 24x32-es IR hőérzékelőkből álló tömböt tartalmaz. A Raspberry Pi-hez csatlakoztatva 768 egyedi infravörös hőmérsékleti értéket ad vissza az I2C-n keresztül. A kiválasztott 4469 jelű változat széles (110°x70°) látómezővel működik. A kártya 40 °C és 300 °C közötti hőmérsékleteket képes mérni ± 2 °C pontossággal (a 0-100 °C tartományban). A maximális 16 Hz-es képkockasebességnek köszönhetően tökéletesen alkalmas arra, hogy mini hőkameraként alkalmazzuk¹⁰.

5. Alkalmazási lehetőségek

A robot felhasználási lehetőségei sokoldalúak. Főként az építőipari és épületgépészeti kivitelező cégeknek nyújt költségtakarékos lehetőséget arra, hogy még a kivitelezés, illetve felújítás fázisát megelőzően, illetve eközben ellenőrizni tudják a minőséget az energetikai szempontokra tekintettel.

Néhány példa a felhasználási területekre:

- A levegőminőség ellenőrzése az épületgépészeket segíti a megfelelő szellőző/levegőcserélő rendszer tervezésében, illetve kialakításában, átalakításában.
- Járműdiagnosztikai célokra is alkalmas, különösen jármű alatti méréseknél lehet hasznos.
- Elektromos járműtűzek esetén az égő jármű hőmérsékletét és a levegőösszetétel égéstől függő értékeit is hasznos segítőként derítheti fel.
- Műhelyekben is hasznos segítő lehet pl. az egészségre káros levegőösszetétel felderítésére.

A széles használati skála jelzi, hogy ilyen robot megvásárlása vagy bérlete gyorsan megtérülő beruházás lehet az építőipari, épületgépészeti és épületvillamossággal foglalkozó cégek számára.

¹⁰ <https://www.adafruit.com/product/4469>

6. További fejlesztési tervek

A közeli jövőben (a jövő évi versenyre) az alábbi fejlesztéseket (amelyeket már részben előkészítettem) kívánom megvalósítani a még magasabb szintű működés és használhatóság érdekében:

Tervezett későbbi funkciók:

- Félautonóm területbejárás, felmérés, adatgyűjtés,
- Lézerszkennер alkalmazásával a bejárt terület „feltérképezése”,
- Biztonsági leállás, precíz manőverezhetőség érdekében ultrahangos távolságérzékelők alkalmazása,

A fentiekhez már most megvalósított előkészítő műveletek:

- A lézerszkennер LIDAR beépítése,
- Ultrahangos távolságérzékelők beépítése,
- Az odometriához szükséges kerékszögsebesség-mérés.

7. Összefoglalás

Az épületeket határoló szerkezetek esetében sokszor jelentős hőveszteségekkel kell számolnunk. Ennek felderítéséhez hasznos eszköz lehet egy célrobot által végzett, gyors és olcsó energetikai felmérés, a hőhidak és hőveszteséget okozó tényezők, szerkezeti elemek listázása és minősítése.

Főként a passzív házaknál nagyon fontos a légcseré megfelelő méretezése és kialakítása. Ennek hiányosságai esetén romlik a beltéri levegőminőség.

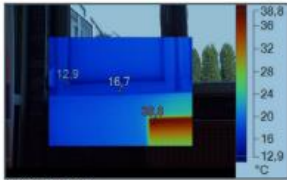
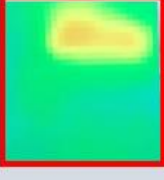
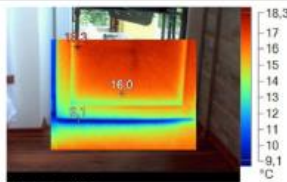
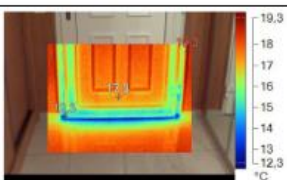
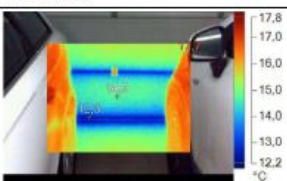
A teljes egészében általam tervezett és megvalósított HEAT SPOTTER 2.0 robot elérhető árú, így rövid idő alatt megtérülő eszköz ezekre a feladatokra.

A HEAT SPOTTER szerkezete könnyen, olcsón gyártható, de ugyanakkor a használat közbeni igénybevételnek megfelelően robosztus (700x450x300 mm méretű).

Az eszköz mérete és dinamikus mozgása, valamint jó manőverező képessége a távvezérelt működtetéssel együtt kiválóan segíti a munkavégzést.

A hőkamerás méréseket az ENERGIAEXPERT Energetikai Mérnökiroda Kft. precíziós hőkamerájával és robotommal végzett mérések összevetésével validáltam. A céggel a robot

mozgását, irányíthatóságát, távvezérelhetőségét is több különböző helyzetben teszteltük. A validálást és a felhasználhatóságot a melléklet nyilatkozatai is alátámasztják.

Fluke hőkamera (Energiaexpert)	Heat Spotter	Diagnosztizált tény
 IR006043.IS2		Nappali: a radiátor melegebb a környezeténél (meleg felületek a hőképen)
 IR006044.IS2		Nappali: az erkélyajtó gumisalagjai nem megfelelően tömítenek (hideg felületek a hőképen)
 IR006051.IS2		Bejárati ajtó: az ajtó alatti hézag tömítetlen (hideg felületek a hőképen)
 IR006058.IS2		Garázs: a szekcionált garázkapu az egyes szekciók között nem megfelelően tömített (hideg felületek a hőképen)

11. ábra: A Heat Spotter hőtechnikai méréseinek validálása (Fluke hőkamerával)

A fejlesztési szakaszban természetesen problémákkal is meg kellett küzdenem, amelyek kezelése valódi fejlesztői feladat volt. Ilyenek voltak pl.:

- költségvetésnek és minőségi követelményeknek megfelelő eszközök kiválasztása,
- a kamerakép és a hőkamerakép kölcsönös megjelenítése,
- a hőkamera színtérképének megfelelő beállítása,
- a levegőminőség érzékelő szenzorok jelének feldolgozása,
- az érzékelők és beavatkozók, valamint a fedélzeti számítógép megfelelő, egymástól független tápellátásának biztosítása,
- az új fejlesztésekhez tartozó kiegészítő mechanikai elemek átgondolása, megtervezése és kivitelezése (fő szempont a megfelelő funkcionális kialakítás, egyszerű szerelhetőség)

- prototípusnak megfelelő, könnyen áttekinthető NYÁK-ok tervezése, és a HEAT SPOTTER 1.0 vezetékezésének NYÁK-okkal történő kiváltása.

A jelenlegi állapotban elkészült a robot 2.0 változatának működőképese, többször tesztelt prototípusa, amelynek fő jellemzői:

- jól manőverező, távirányítható, robusztus robot platform:
 - egyedileg tervezett és kivitelezett alumínium karosszéria,
 - egyedileg tervezett és kivitelezett tartó és rögzítő elemek (3D nyomtatás: PLA és PETG),
 - távvezérléshez éjjellátó kamera, vezeték nélküli jeltovábbítással
- hőkamerával és levegőminőség érzékelőkkel felszerelt robot platform, az alábbi feladatok ellátására alkalmas:
 - épületgépészeti felmérés,
 - épületvillamossági-elektronikai diagnosztika,
 - járműdiagnosztika,
 - elektromos hajtású és hibrid járművek diagnosztikája és járműtüzek vizsgálata
- a robot platform egyéb érzékelőkkel és felszerelhető, így akár az alábbi célokra is alkalmas lehet:
 - katasztrófa elhárítás (tűz, mérgezés-veszély stb.),
 - katonai célok (pl. épületben emberekre leselkedő veszélyek felderítése),

A tapasztalatok alapján ebben a szakaszban is kitűztem a HEAT SPOTTER 2.0 továbbfejlesztési irányait. Ugyanakkor megállapítottam (ezt szakmai vélemények is alátámasztják), hogy a robot már ebben a formájában jó ár-érték aránnyal rendelkező segítője lehet a műszaki területtel foglalkozó szakembereknek.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönet a Magyar Innovációs Szövetség és a Kárpát-medencei Tehetségkutató Alapítvány támogatásáért.

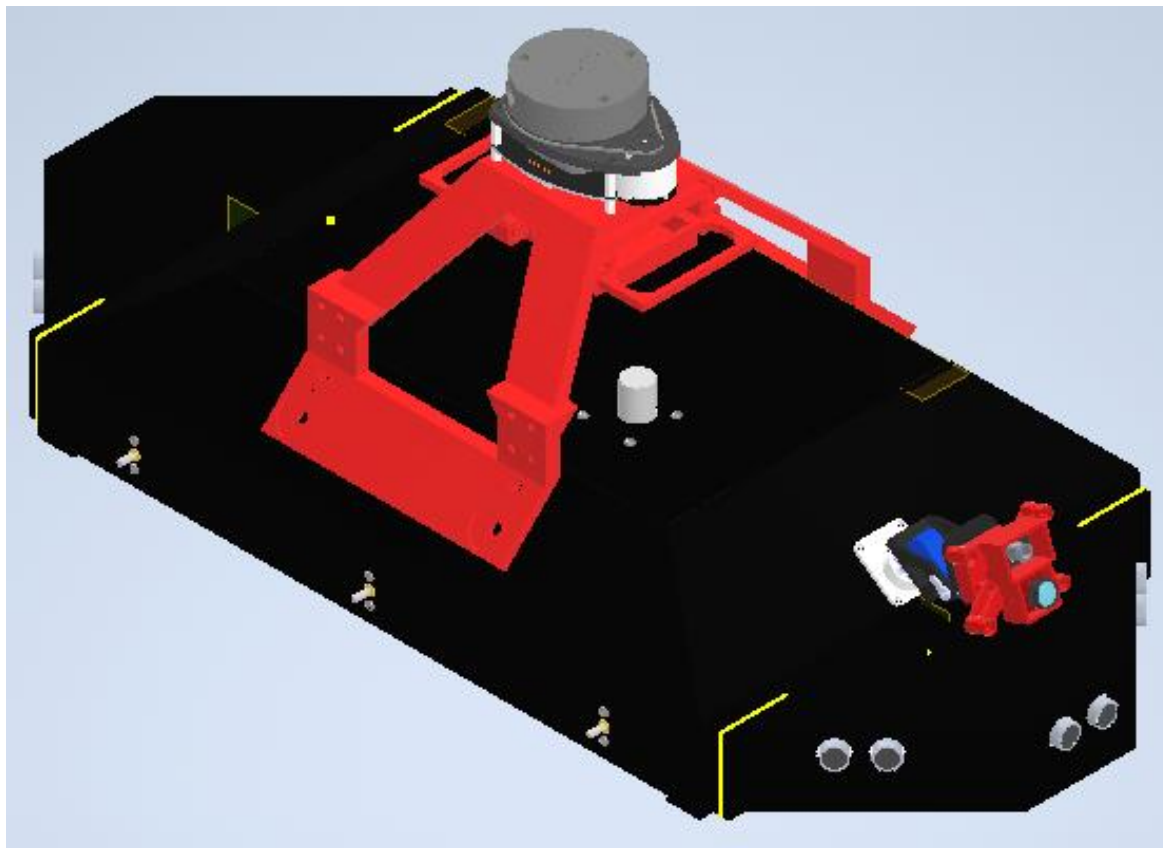
9. Felhasznált irodalom

- [1.] Alejandro Moreno-Rangel, Tim Sharpe, Gráinne McGill, Filbert Musau: Indoor Air Quality in Passivhaus Dwellings: A Literature Review, International Journal of Environmental Research and Public Health, MDPI, 1 July 2020
- [2.] Bill Van der Meer: Blower Door Testing, The Pennsylvania Housing Research/ Resource Center, Builder Brief BB0201
- [3.] <https://axiomet.eu/hu/hu/page/1954/Belteri-levegominoseg-monitorozasa/>
- [4.] <https://i-qlair.com/2021-guide-indoor-air-quality-standards/>
- [5.] https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/DIN-EN-15241-2011-448473_SAIG_DIN_DIN_1011406/
- [6.] <https://webstore.ansi.org/standards/on/onormen152422009>
- [7.] https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/pn-en-13779-2008-930272_saig_pkn_pkn_2193541/
- [8.] BME680 Low power gas, pressure, temperature & humidity sensor, BME680 – adatlap 1.0, July 2017, Document number: BST-BME680-DS001-00
- [9.] <https://www.sparkfun.com/products/16531>
- [10.] Attila LAKATOS: Air Quality Measurement in Buildings, “HIDRAULICA” (No. 4/2021) Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, ISSN 1453 – 7303, Romania
- [11.] Attila LAKATOS: Measuring Robot Development, HIDRAULICA (No. 2/2022) Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, ISSN 1453 – 7303, Romania

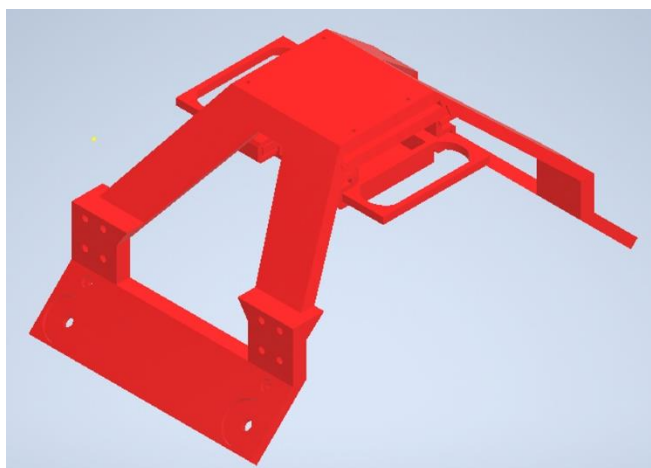
10. Ábrajegyzék

1. ábra: Energetika felmérő robot robot felhasználási lehetőségei
2. ábra: Energetika felmérő robot (HEAT SPOTTER)
3. ábra: Energetika felmérő robot robotplatformra építve (HEAT SPOTTER)
4. ábra: Bosch (balra) és SEN-16531 - SGP30 Qwiic (jobbra) levegőminőség-érzékelő
5. ábra: 3D nyomtatással készült saját tervezésű szerkezeti elemek
6. ábra: Robot karosszéria, a felszerelt 3D nyomtatott elemekkel
7. ábra: Elektronikai megvalósítás
8. ábra: Lökhárító NYÁK-ok (balra), központi NYÁK jobbra
9. ábra: SLAMTEC RPLIDAR A1 (LIDAR)
10. ábra: Ultrahangos távolságérzékelő

11. Mellékletek



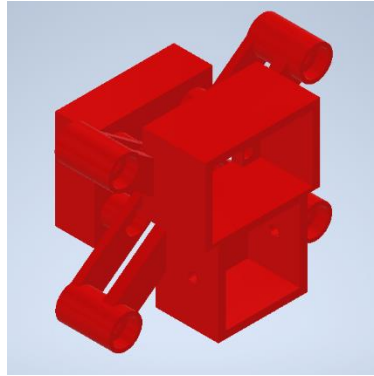
HEAT SPOTTER ház, a főbb külső műanyag elemekkel¹¹



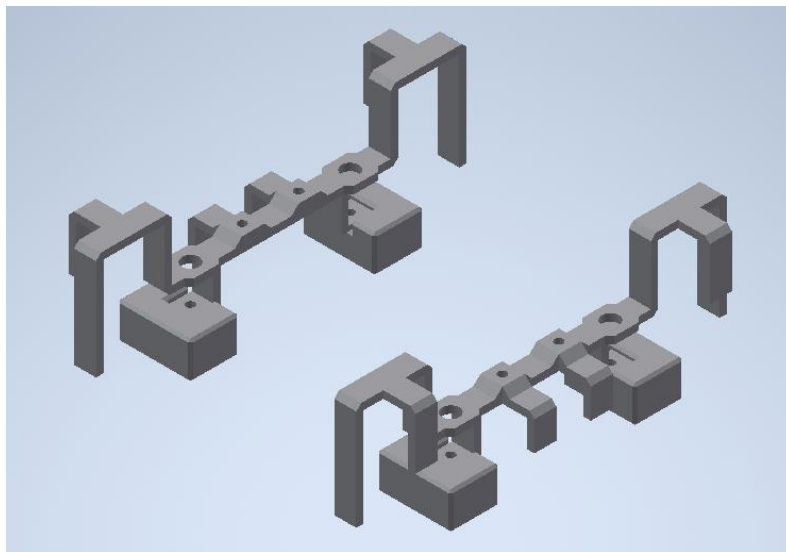
Lidar és levegő-összetétel érzékelő tartó¹²

¹¹ Saját tervezés és kivitelezés

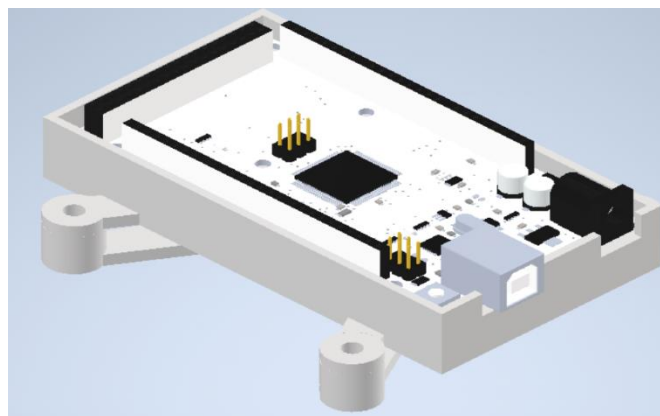
¹² Saját tervezés és kivitelezés



Kamera tartó¹³



Akkumulátor tartó¹⁴

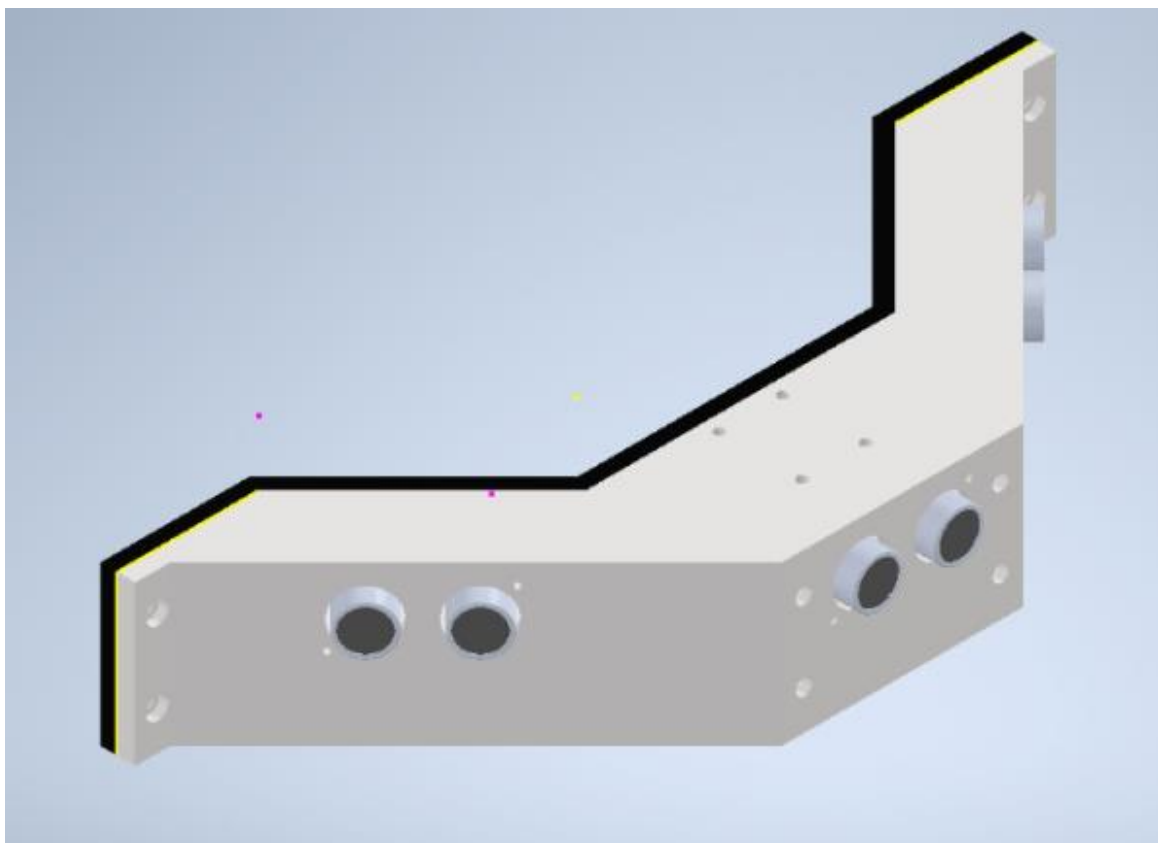


Raspberry tartó¹⁵

¹³ Saját tervezés és kivitelezés

¹⁴ Saját tervezés és kivitelezés

¹⁵ Saját tervezés és kivitelezés



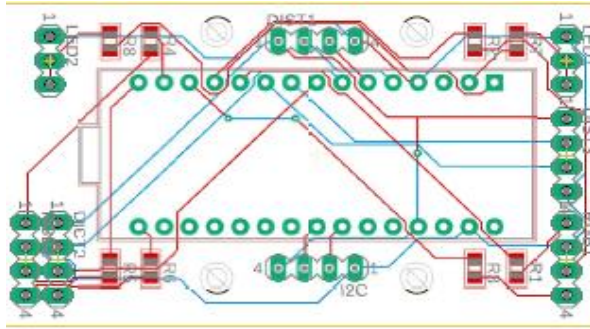
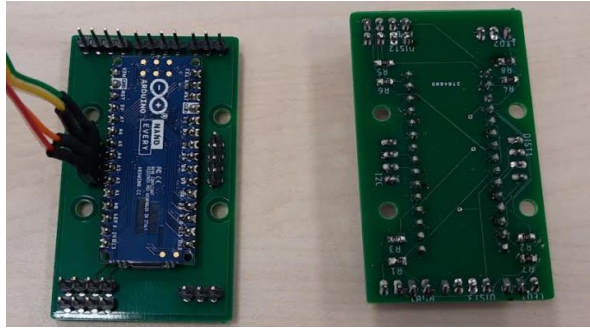
Lökhárító¹⁶



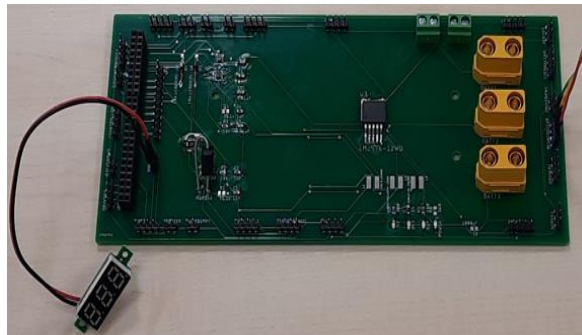
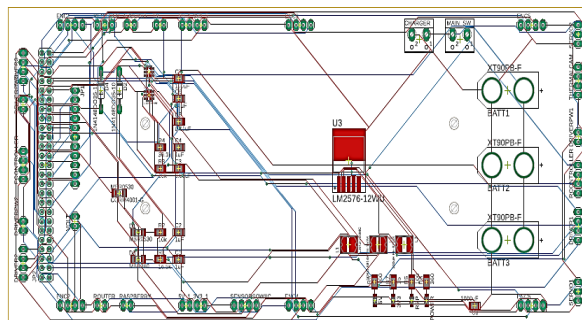
Levegő összetétel érzékelő szenzor tartó¹⁷

¹⁶ Saját tervezés és kivitelezés

¹⁷ Saját tervezés és kivitelezés



Lökhárító NYÁK¹⁸



Központi NYÁK¹⁹

¹⁸ Saját tervezés és kivitelezés

¹⁹ Saját tervezés és kivitelezés



EnergiaExpert Mérnökiroda Kft.

Hőkamerás vizsgálat

Helyszín: 9030 Győr, Csikostó út 1.

Hőkamerás felvétel	Látható kép	3D hőmérséklet diagram	Megjegyzés
			Földszintű rendszer üzemel, a radiátor hőmérséklete a környezethez képest jelentősen magasabb.
			Ertekező zárt állapotban. Tűkötél tér. belső, külső hőmérséklet. Az ajtó szigetelése nem megfelelő. A szigetelés kompat. csatlakozás miatt az ajtó szigetelésének beállítása javasolt. A képen látható alacsony hőmérséklet (9°C) a tűkötél helyiség hőmérséklete. Ez bizonyítja, hogy az ajtó nem zár rendszeren, szigetelése rossz állapotban van.
			Begyártott ajtó zárt állapotban. Tűkötél tér. külső. Az ajtó szigetelése nem megfelelő. A szigetelés ellenőrzése, szakszerű csatlakozás javasolt az ajtó beállítása ellenőrzése is. A képen látható alacsony hőmérséklet (12°C) a külső hőmérsékletnél magasabb. Ez azt jelenti, hogy az ajtó zárása közel megfelelő, szigetelése valószínűleg rossz állapotban van.
			Földszintű, hőszigetelt szekcionált kapu. Az egyes szekciók között a hőszigetelésben hiányosságokat mutat a vizsgálat. A szigetelő anyag állapotának ellenőrzése, szakszerű csatlakozás javasolt.

A Heat Spotter alkalmas arra, hogy színjelzéssel jelezze a szignifikánsabb hőmérséklet-eltéréseket. Ezzel felhívja a figyelmet pl. a hőszigetelési hiányosságokra, hőhidakra. Használatánál előre és pontosabb főként építési munkák közben, vagy munkafolyamatok utáni átvizsgálás érdekes lehet, ahol a cég vagy más szakember egyszerűen meg tud győződni a hiányosságokról, és intézkedni tud azok javítását illetően. Használatával költségkalkulácson növekedhet a befizetés és ugyanakkor kivitelezett épületek energetikai minősége.

Készítette:

Szabó István és Csapó Albert

Csorna, 2021. 03. 17.

ENERGIAEXPERT
Energetikai Mérnökiroda Kft.
H-9300 Csorna, Andrássy út 48.
Adószám: 24220721-2-08



ENERGIAEXPERT Energetikai Mérnökiroda
8000 Csorna, Andrássy út 48.

Tel.: +36-30-956-4771; +36-30-507-0890
Tel./Fax: +36-96-261-749

Email: info@energiaexpert.hu
Web: www.energiaexpert.hu

Validációs igazolás²⁰

²⁰ Energiaexpert Kft.



Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal

Általános elnökhelyettes

Elektronikusan hitelesített dokumentum



Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal
1054 Budapest, Bajcsy-Zsilinszky út 52. • Tel.: +36 1 459 7777 • www.mekh.hu

ÁLTALÁNOS ELNÖKHELYETTES

Támogató ajánlás

Magyarország összes energia-felhasználásából az épületek körülbelül 40 százalékért felelősek. Az energiafelhasználás csökkentése, az energiapazarlási pontok megkeresése és feltárása fontos feladat.

A Lakatos Attila által az országos Ifjúsági Innovációs Versenyre készített Épületenergetikai felmérő robot (Heat Spotter) kiváló ötlet, amely olcsó, előmunkatakarékos megoldással segíti az energiapazarlási pontok megtalálását és dokumentálását.

Új épületeknél, építkezés közben fontos feladat a minőségbiztosítás. Fontos szempont, hogy a beépített anyagok és az alkalmazott technológiák megfelelő minőségűek-e.

Régi épületeknél főként az okoz problémát, hogy nem ismertek a falak, áthidalók, födémek, nyílászárók hőátbocsátási tényezői. Ez felújítás előtt komoly probléma.

A hivatalos energetikai tanúsítás előtt jó alternatíva lehet a költségek felméréshez egy célrobot által végzett gyors és olcsó energetikai felmérés.

A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal nyitott az innovatív iparági megoldások ösztönzésére.

Az elkészült robotban látjuk azt a lehetőséget, hogy megvásárolható eszközként vagy szolgáltatásként segítse a hatékonyabb energiafelhasználást.

Az elkészült robot esetében mind az ötletet, mind a műszaki megvalósítást magas színvonalúnak tartjuk és támogatjuk. A robot alkalmazása hiánypótló lehet, hiszen jelenleg ilyen részben automatizált, egyszerűen kezelhető eszköz nem érhető el a piacon. További előnye, hogy önálló használata mellett bővíthető, kiegészíthető lehet – feltételezhetően műszaki továbbfejlesztést követően – egyéb mérések megvalósíthatóságának céljára is.

Budapest, elektronikus bélyegző szerint

Dr. Tóth Tamás

Ajánlás²¹

²¹ Magyar Energetikai és Közmű-Szabályozási Hivatal, Dr. Tóth Tamás, általános elnökhelyettes