

UAV-on hordozható légminőségmérő rendszer

Solymossy Gergely
Mechatronikai mérnök szak
2023

Konzulens: Takács Olivér Zoltán

Tartalomjegyzék

Absztrakt	4
Bevezetés.....	5
1. Légminőség ellenőrzése.....	6
1.1. PM10-es részecskék (<10um)	7
1.2. PM2.5-es részecskék (< 2.5um)	7
1.3. Szén monoxid (CO)	7
1.4. Szén dioxid (CO ₂)	8
1.5. Nitrogén monoxid (NO)	8
1.6. Nitrogén dioxid (NO ₂)	8
1.7. Ózon (O ₃).....	8
1.8. Kén dioxid (SO ₂).....	8
1.9. BTEX	8
2. OLM által használt módszerek	9
2.1 Mérési módszerek	9
2.2 Szennyezés forrásának vizsgálata	9
3. Prototípus mérőeszköz leírása	11
3.1 Általános leírás.....	11
3.2 Részletes leírás.....	13
4. 3D nyomtatott tokozás	15
5. UAV eszközök általános bemutatása	19
5.1 Aerostat.....	19
5.2 Aerodyne.....	20
6. Forgósárnyas UAV-ok alapvető felépítése.....	22
6.1 energia tárolás	22
6.2 Meghajtás	23
6.3 Irányítás.....	23
7. UAV-al végrehajtott automatizált tevékenységek és útvonaltervezés	25
8. Felhasznált hordozó drón	27
9. Drónnal végzett légminőség mérés	30

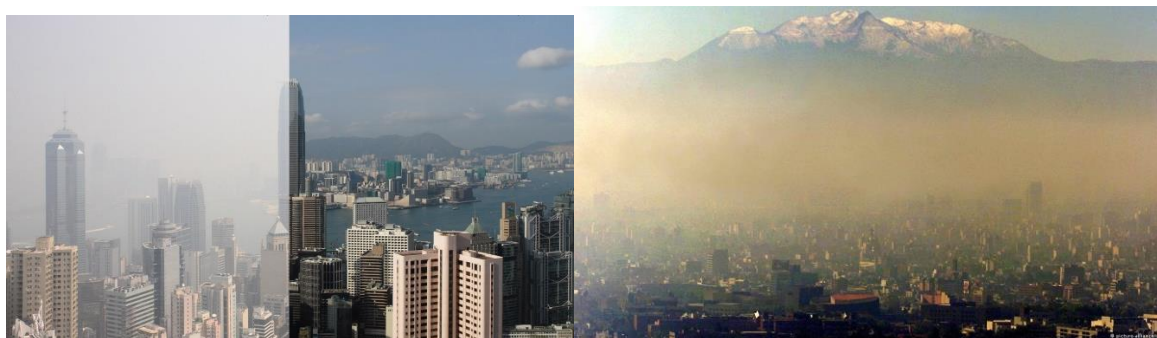
10. Lehetséges fejlesztési irányok / célok.....	Error! Bookmark not defined.
- Irodalomjegyzék	Error! Bookmark not defined.
- Ábra jegyzék	33
- Rövidítések listája.....	34
- Függelék	35

Absztrakt

A dolgozat bemutat egy lehetséges módot a légminőség mérő módszerek bővítésére. Kiemeli a légszennyezetség okozta problémákat és kiemeli létező megoldásokat azokra. Foglalkozik a Magyarországon működő OLM (Országos Légszennyezetség Mérőhálózat) annak elhelyezkedésével, és a mért anyagok tulajdonságaival. A mérőhálózat kiegészítése képen ír le egy magaslati levegőminőség mérő eszközt mely UAV (Unmanned Aerial Vehicle) segítségével hordozható. Bemutatja az eszköz megjelenését és felépítését. Bemutatja a felhasznált mérőszensorok hardware-es és software-es igényeit. Leír és bemutat egy 3D tervezett tokozást mely kompatibilis hordozójárműveken használt rögzítésekkel. Foglalkozik a pilóta nélküli hordozójármű kérdésével, alap szinten bemutatja felépítésüket, működésüket és azok relevanciáját a légminőségmérés témájával kapcsolatban.

Bevezetés

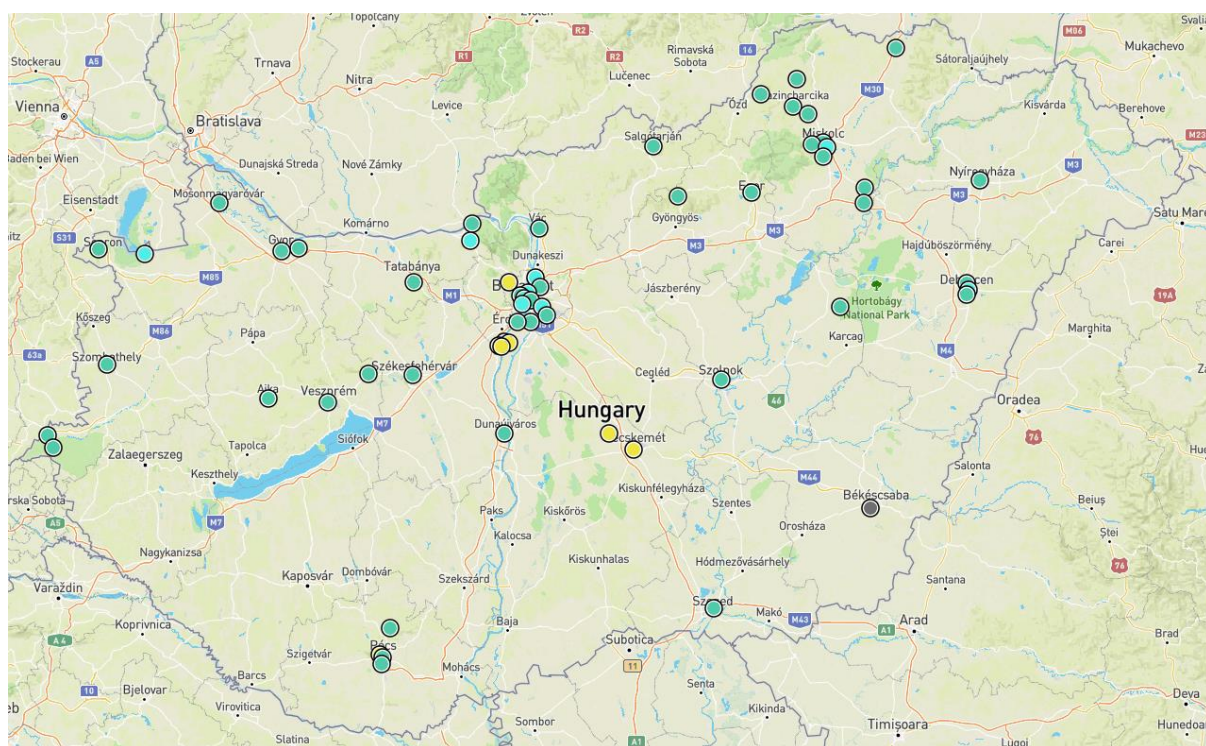
A levegő szennyezettsége kiemelkedő problémát jelent világszinten, több fővárosban, nagyvárosban is. Jól érezhető a mindennapokban az átlagemberek számára is. Hongkong városában az év 30%-a során a látótávolság mindössze 8 kilométer. Ez ugyan nem tűnhet túl relevánsnak városi környezetben, ahol sok esetben nincs szükség ilyen távolságok belátására, de a szennyező anyagok és káros gázok jelen annak a levegőben optikai észleléstől függetlenül. A napfény elárnyékolása és a távolbalátás megnehezítése mellett komoly egészségügyi problémát is jelent. Több nagyváros kiemelt módon foglalkozik a problémával és hoz különböző megoldásokat azzal szemben. A legkézenfekvőbb megoldás a lakosság felkészítése információs és védelmi szempontból. Ha az általános tudás része a szennyezettség komolysága, jobb az esély a megelőzésre is. Lesznek, akik tudatosan csökkentik a levegőt szennyező anyagokat kibocsájtó tevékenységeiket. Például mégsem személyautóval közlekednek, hanem tömegközlekedéssel, vagy csökkentik az elpazarolt energiát. (villany, gáz) A védekezés tekintetében pedig maszkot viselnek megjelölt napokon, minimalizálják a szabadban töltött időt ezáltal kitettségüket is.



ábra 1. Hon kong szennyezett és tiszta napokon (bal) Mexikó város légszennyezettsége (jobb)

1. Légminőség ellenőrzése

Modern életmódunk miatt mindenhol problémát jelenthet az időszakos levegőminőség romlás. Emiatt is, a levegő minőségét sűrűn lakott területeken rendszeresen ellenőrzik a hatóságok. Az OLM statikusan kihelyezett mérőállomásokon óránként frissülő, folyamatos jelleggel gyűjt adatokat hazánk területének egy részén. Emellett negyedévente manuális mérési módszerekkel is végez vizsgálatokat. Magyarország egész területén találhatóak kihelyezett mérőállomások elszórva, de főleg nagyvárosokban, településeken összpontosulnak.



ábra 2. Magyarországi OLM mérőállomások helye (2023.04.01.)

A kép az aktuális, az OLM által közölt 2023.04.01.-ei levegőminőségi adatokat mutatja. A térképen megjelenő színezésnél a szennyező anyagok legmagasabb koncentrációértékei határozzák meg az összevont légminőség szintet, amely tükrözi az egyes mérőállomások levegőminőségét. Az összevont érték a szennyező anyagok közül a legmagasabb értéknek felel

meg. A térképen látható körök a levegőminőséget mérő állomások helyét jelzik. A színek tükrözik a levegő minőségét az adott órában az adott állomáson. Az említett felület megtekinthető a <https://legszenyezettseg.met.hu/levegominoseg> webcímen (Országos Meteorológiai Szolgálat, n.d.), óránként frissülő adatokkal. A Mérézállomások összeállítása szenzorosan eltérhet, mindig a helyi igényeknek és környezetnek megfelelően alakítják ki. A legtöbb mérőállomás fel van szerelve részecskeszámlálóval, amik alkalmasak PM2.5 és PM10-es részecskék érzékelésére, számolására. Emellett felszerelik őket CO, SO₂ és O₃ szenzorokkal is. (Országos Meteorológiai Szolgálat, n.d.)

Az OLM autonóm módon a következő gázok és szennyező anyagok koncentrációját és mennyiségét tudja nyomon követni:

1.1. PM10-es részecskék (<10µm)

A PM10 szerves és szervetlen anyagok keveréke, amely olyan toxikus policiklusos aromás szénhidrogénekből áll, mint például benzoapirén, nehéz és átmeneti fémek, furánok vagy dioxinok. A CAFE irányelv feltételezése szerint, a PM10 maximálisan megengedett éves átlagos koncentrációja 40 µg/m³, a maximálisan megengedett napi koncentráció pedig 50 µg/m³. Az irányelv lehetővé teszi az átlagos napi koncentráció túllépését legfeljebb évente 35 napig.

1.2. PM2.5-es részecskék (< 2.5µm)

Mivel a PM2.5 finomabb típusú lebegő részecske, ezért az egészségre különösen veszélyes, mivel a részecske kicsi, és könnyen behatolhat a pulmonáris alveolákba, és így eljut a véráramba is. A CAFE-irányelv szerint a PM2.5 éves átlagos koncentrációja nem haladhatja meg a 25µg/m³-t.

1.3. Szén monoxid (CO)

Szintelen, szagtalan, íztelen gáz, nagyon mérgező. Mérgező hatása azzal magyarázható, hogy a vér hemoglobinjában található vasatomokkal stabil komplexet, szén-monoxid-hemoglobint képez, csökkentve az oxigén megkötési képességét a vérnek.

1.4. Szén dioxid (CO₂)

Üvegházhatásért felelős gáz. Zárt helyen, nagy koncentrációban képes az oxigén kiszorítására, ezzel fulladást okozva. A sűrűn lakott területeken megemelkedhet a koncentrációja a szabadterben is.

1.5. Nitrogén monoxid (NO)

Erősen mérgező, maró hatású. Felelős lehet savaseső kialakulásáért.

1.6. Nitrogén dioxid (NO₂)

Mérgező gáz, vízben jól oldódik. Üvegházhatásért felelős anyag.

1.7. Ózon (O₃)

A földi légkör legalsó rétegében, a troposzférában az ózon az egészségre káros anyag, a szmog egyik összetevője, mely leginkább a nagy forgalmú városokat sújtja.

1.8. Kén dioxid (SO₂)

Mérgező, a vörösvérsejteket roncsolja. A levegőben megengedett maximális koncentrációja 5 ppm. Jelentősen járul hozzá a savasesők kialakulásához. Üzemanyagok égetése során is a levegőbe kerül.

1.9. BTEX

Benzol, toluol, etilbenzol, és a xilol. Járművek erdőtüzek és cigaretta útján kerül a levegőbe. Karcinogén hatású anyagok is megtalálhatók a csoportjában.

A kihelyezett automata állomások szenzoros felszereltség szerint nem az összes felsorolt anyagot méri. A helyi igények szerint vannak felszerelve szenzorosan.

2. OLM által használt módszerek

2.1 Mérési módszerek

Gravimetrikus módszer: (Wikipédia, n.d.)

A legpontosabb finomporrészecske mérési módszernek számít. Szűrőelemek tömegkülönbségén alapul. A mérés során használni kívánt szűrő tömegét, használat előtt, telítetlen állapotában laboratóriumi körülmények között megméri. A mérőállomást kihelyezik, ami a finom szűrőn keresztül folyamatos tömegáramú levegőt mozgat át. A mérőeszköz adott ideig marad kihelyezve. A mérési időtartam lejárta után a szűrő súlyát egyező környezeti körülmények között (páratartalom, hőmérséklet, légnyomás, ...) lemérik. A mérés időszaka alatt keletkezett súlykülönbség megadja a finomporrészecskék tömegét. A kapott értékkel és a mérés időtartamával számolható átlagos porkoncentráció. A szűrő átengedési mérete alapján becsülhető a gyűjtött részecskék nagysága.

Automatizált módszer:

Állandó mérésre alkalmas módszer porérzékelők és gáz szenzorok alkotják. Összeállításától függően méri a gyakrabban detektálni és mérni kívánt gázokat. Nem igényelnek folyamatos emberi jelenlétet, de foglalkozni kell karbantartásukkal. A szenzorok állomásba rendezve egy egységet alkotnak, ami idealizálva lett azok igényeinek ellátására. Ez jelenthet páratartalmat, hőmérsékletet vagy adott térfogatáramú levegőt is. Az állomáson egy számítógép gyűjti be a szenzorok és érzékelők adatait, dolgozza fel, majd közli őket egy szerver felé. A kapott mérési adatokból statisztikai és szimulációs folyamatok során készítenek kimutatásokat, melyek kimutathatnak adott területeken lokális légszennyeződést, globális levegőminőség trendeket azok mozgását és lefolyását.

2.2 Szennyezés forrásának vizsgálata

A szennyezettségi szintek megfigyelése és nyomon követése mellett fontos feladat a szennyezés forrásának felkutatása, azonosítása. Ehhez gyakran manuális felderítéseket és

méréseket kell végezni. Ez jelentős emberi erőforrást és munkaórák sokaságát is igényelheti, függően a környezeti viszonyoktól. Példa lehet erre a rosszul megközelíthető vagy bejárható terület, természet képezte akadályok. Ilyen esetekben a környezeti viszonyok növelhetik a veszélyesnek ítélt területen tartózkodók kitettségét az említett szennyező anyagoknak, káros gázoknak. Emiatt egyes helyzetekben előnyt jelenthet a távirányított eszközökkel való mérés, mintavételezés. Ezt pilóta nélküli repülő járművekkel hatékonyan lehet kivitelezni. A pilóta nélküli repülő jármű mellett szükség van egy kompakt, kis tömegű, vezetékek nélküli, szenzoros mérőeszközre is. A mérőeszköznek képesnek kell kenne a levegőszennyezettségért felelős anyagok kimutatására és mérésére.

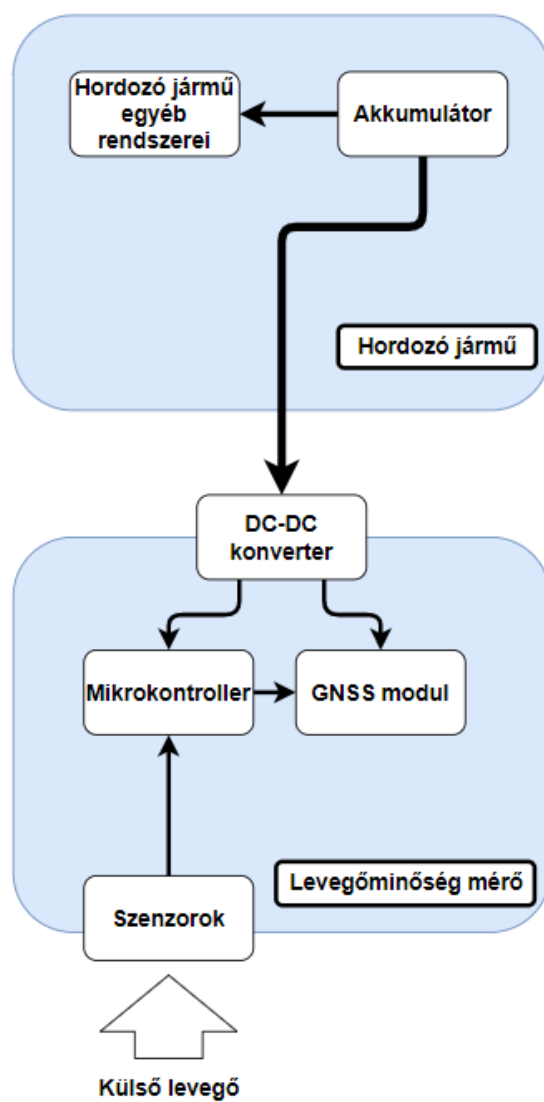


ábra 3. OLM mérőállomás

3. Prototípus mérőeszköz leírása

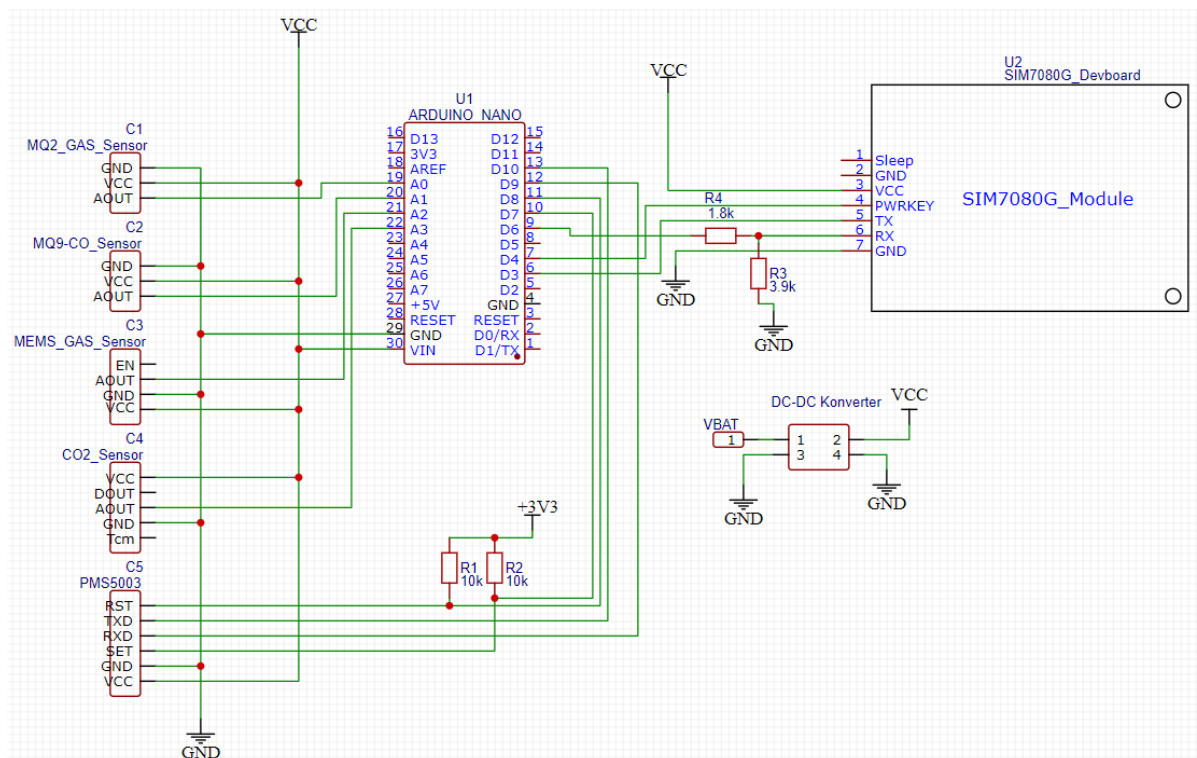
3.1 Általános leírás

A fent említetteknek megfelelő lehet egy olyan prototípus mérőeszköz mely középpontjában egy Arduino mikrokontroller van. Ez kezeli az összes szenzoros adatbeolvasását. A rendszer képes négy analóg gázszenzor és egy digitális részecske sűrűség szenzor kimenetének lekezelésére és tovább küldésére. Az adatokat egy GNSS modulnak adja át UART porton keresztül. A soros-porton keresztül vezérlőutasítást ad a modulnak, majd az továbbítja az adatokat egy céges webszerverre. A webszerver tárolja az adatokat feldolgozásig. Az eltárolt adatokat később feldolgozás céljával Excel alkalmazásba lehet importálni. A prototípus áramellátása elsősorban akkumulátorral kell megvalósítani. Azakkumulátorok merülése miatt képesnek kell lennie idő alatt változó feszültségek mellett is működni. Ezt egy DC-DC konverterrel lehet megoldani. A hordozó jármű saját akkumulátorai ideálisak a prototípus áramellátására. A szenzorok és a mikrokontroller üzemi feszültsége 5V-os. Későbbiekben bővíthető más, kisebb feszültségű szenzorokkal is a rendszer egy plusz DC-DC konverter beillesztésével. Az 5V üzemi feszültség feletti feszültséget igénylő szenzorok és eszközök működtetése érdekében tartalmazza a lehetőséget a DC-DC felkonvertáló egységgel való bővítésre. Ha a szenzor igényel további tápfeszültségűszűrőket akkor azok beillesztésére is álljon rendelkezésre megfelelő űrtartalom. A szenzorok és egyéb komponensek rögzítése és védelme miatt egyedi tervezésű 3D tokozást kell tervezni és alkalmazni. A tokozás 3D nyomtatással készül el, PP anyagból. (Polipropilén)



ábra 4. Levegőminőség mérő eszköz felépítésének vázlata

3.2 Részletes leírás



ábra 5. Kapcsolási ábra levegőtminőség mérő prototípushoz EasyEDA felhasználásával.

A kötési ábra bemutatja a szenzorok és a kommunikációért felelős SIM7080G modul összekötését az arduino mikrokontrollerrel. A szenzorok összekapcsolása az Arduino Nano mikrokontrollerrel 4 analóg IO lábat (input-output) és 2 digitális be IO lábat igényel. A digitális IO lábak szerepe megvalósítani a UART (Universal asynchronous receiver-transmitter) soros kommunikációt. Az Arduino Nano csak 1 hardware-esen támogatott soros port-al rendelkezik. (USB to serial-al történő programozáshoz) Emiatt a soros port-ot emulálni kell software-es módon. A digitális kommunikáció az eszközökben eltérő feszültség szinteken is történhet. Ez kárt tehet kisebb feszültségen kommunikáló hardware-ekben. Ez a PMS5003-as porérzékelő szenzorra nem vonatkozik, mivel az Arduino és a szenzor is 5V-os UART-ot használ. A problémát a SIM7080G modul 3.3V-os UART-ja okozhatja. Emiatt az Arduino TX SIM7080g RX nem csatlakoztatható közvetlen a modulhoz, feszültségosztót kell alkalmazni. Az Arduino

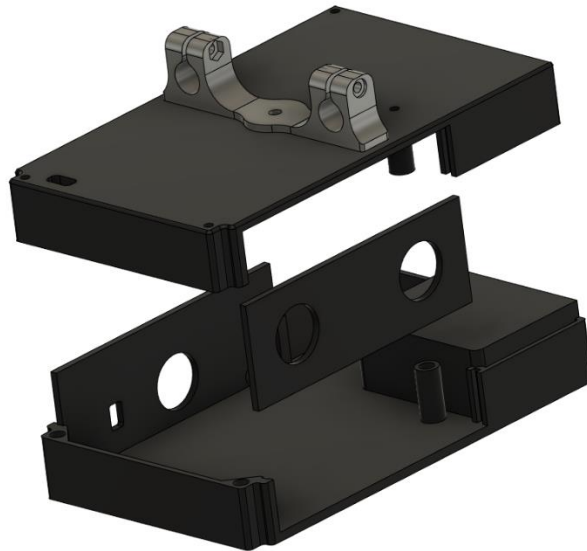
RX és a SIM7080G TX vezeték nem igényel ilyen megoldásokat, az Arduino soros kommunikáció során már magas értékű jelnek tekinti a 3.3V-ot. A részecskekoncentráció mérőmodul RST és SET pin-eket 3.3V logikai magasra kell kötni a normál működési mód beállításához.

(How To Electronics, 2022)

(Arduino, 2019)

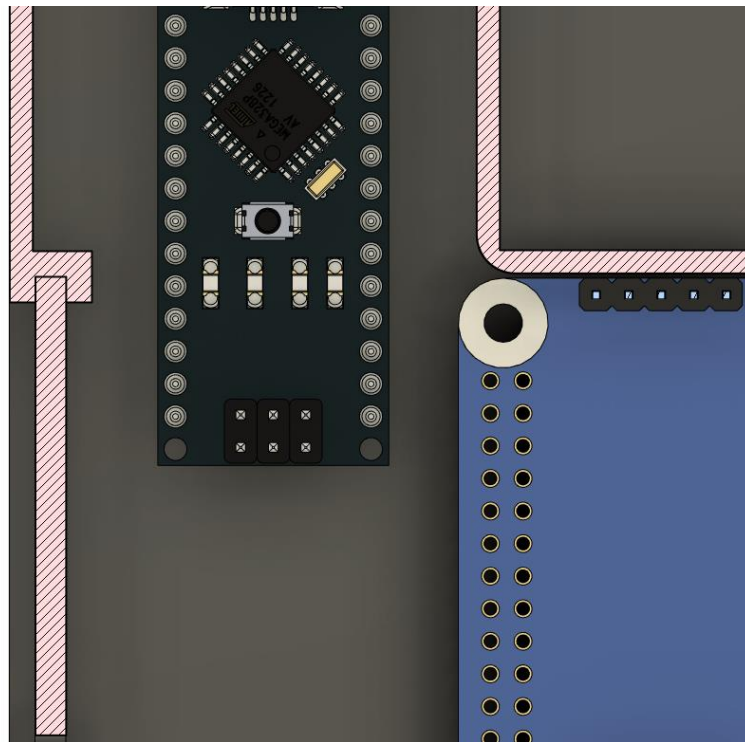
4. 3D nyomtatott tokozás

Az eszköz belső komponenseit 3D nyomtatott tokozás védi. Ez 4 elemből áll. 2 szendvics szerű elem, amely összefog 2 oldallapot.

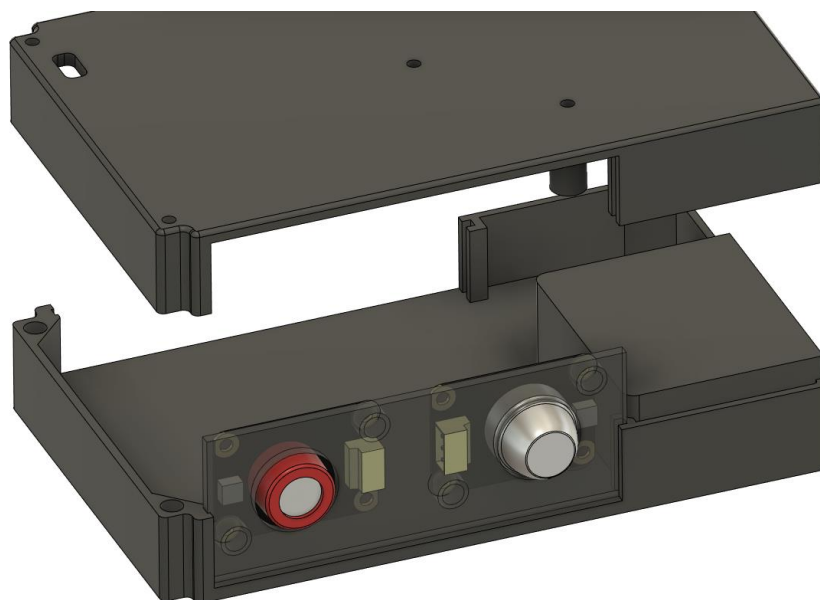


ábra 6. Tokozás elemeinek ábrázolása (fent) Render ábra 3D tervezett tokozásról légminőségmérő műszerhez (lent)

Az oldallapok felelősek a levegő összetételét vizsgáló gáz szenzorok rögzítéséért. Vájatba illeszthetőségük miatt cserélhető elemek. Az oldallapok kis részét teszik ki a tokozásnak, így egyszerű őket egyedi szenzorokhoz készen újra nyomtatni. Így valóban könnyen és gyorsan átalakítható egy eszköz szenzoros összeállítása.

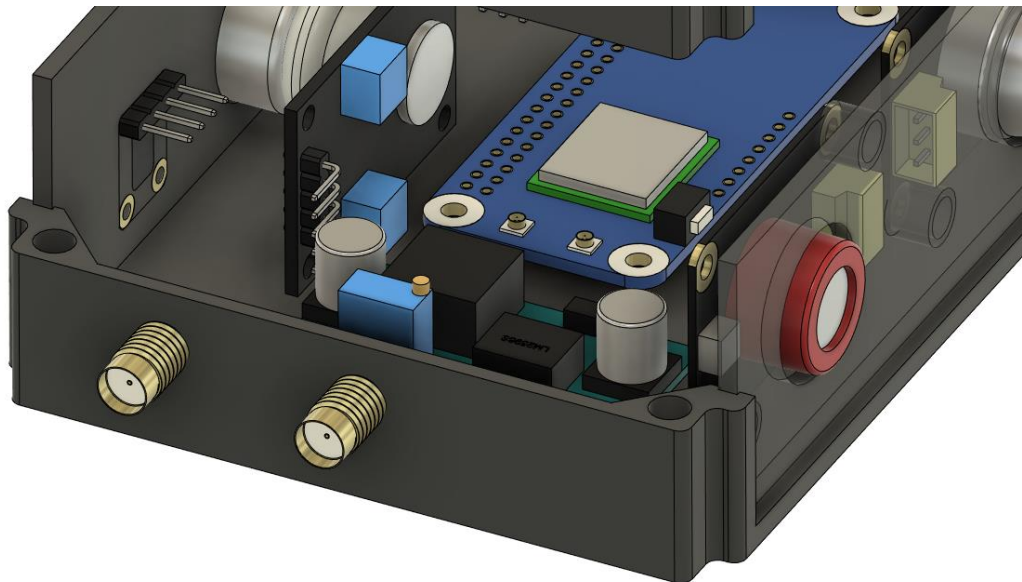


ábra 7. 3D nyomtatott tokozás szenzorpanelének vájatos rögzítése.



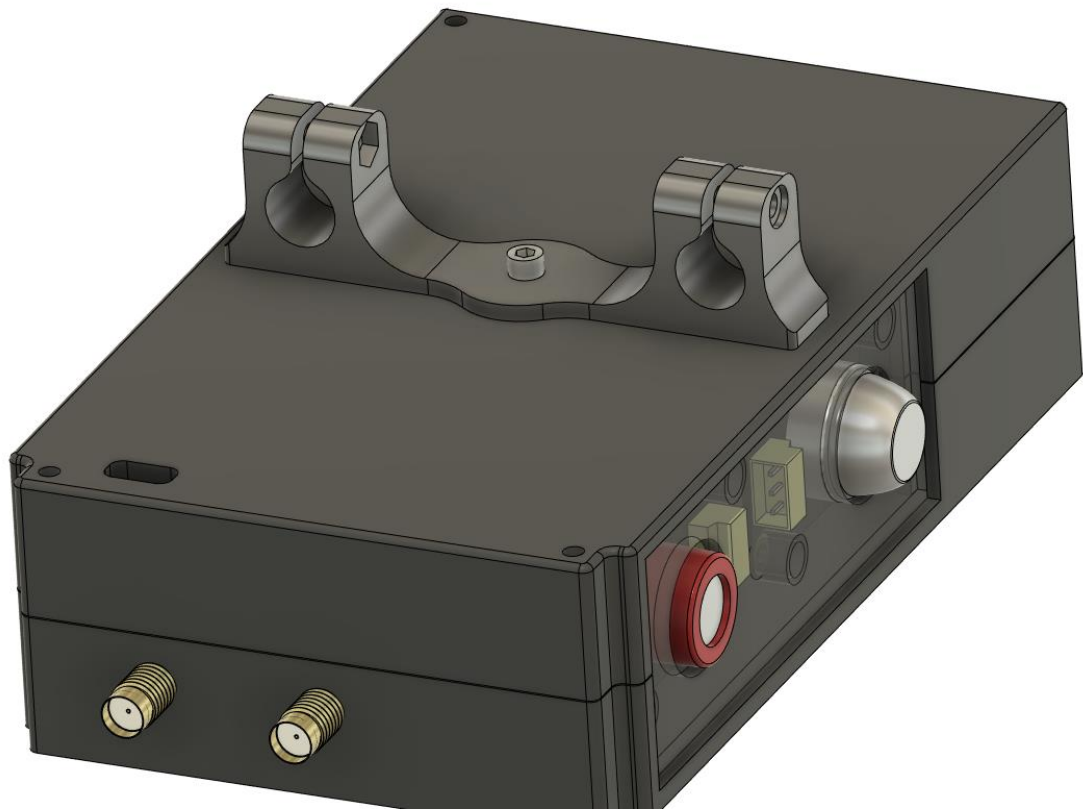
ábra 8. 3D nyomtatott tokozás szenzortartó oldallemez.

A részecske koncentráció szenzort az alsó elem rögzíti, ez a szenzor állandó felszerelése a prototípus eszköznek. Az alsó lemezhez kerülnek rögzítésre az áramellátásért felelős komponensek, a szenzorok kezelését végző Arduino Nano és a kommunikációért felelős GNSS modul is. A prototípus jelleg és az összeállításban lehetséges variációk miatt kétoldalú ragasztó rögzíti ezeket. Az alsólapon kaptak helyet a GNSS modul antenna és GPS antenna SMA csatlakozói is.



ábra 9. SMA csatlakozók a 3D nyomtatott prototípus mérőeszköz tokozásán.

A tokozás felső részén kaptak helyet az akkumulátorhoz vezető tápvezetékek is, illetve a modul UAV-hoz rögzítését szolgáló köztes tartóelem. A tokozást 4 M3x15 csavar tartja és egy M4x15 csavar rögzíti a köztes tartóhoz.

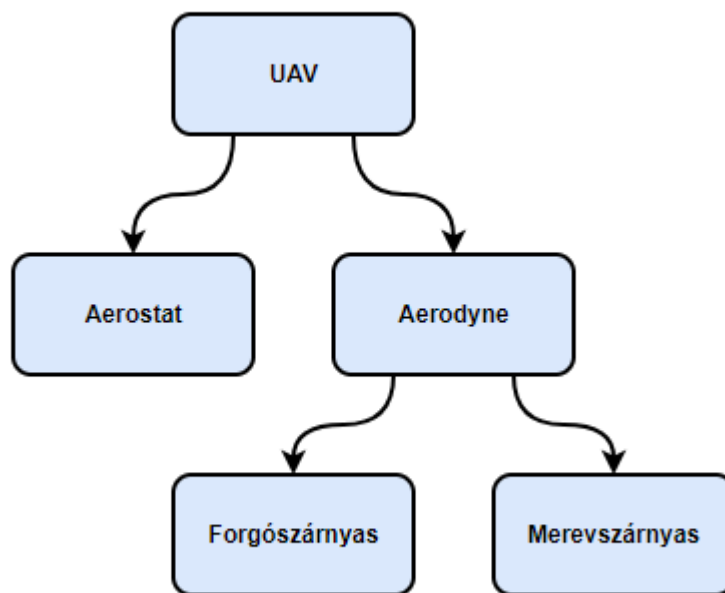


ábra 10. 3D nyomtatott tokozás csavar rögzítése.

A 3D nyomtatáshoz használt anyag viselkedése és karakterisztikája is fontos. A választott anyag PP lett. Viszonylag rugalmas, nem olyan merev, mint a PLA. Ellenállósága oldószerekkel (pl.: izopropil alkohol) szemben magasabb, mint az ABS-nek. A rugalmassága pedig csillapítóként funkcionál a hordozójármű és a porrészecske számláló ventilátora között.

5. UAV eszközök általános bemutatása

A légi járműveket két fő csoportra lehet bontani, aerostat és aerodyne. Ezek a kategóriák ugyan csak érvényesek a modern korban elterjedt pilóta nélküli repülőrendszerekben (UAS) felhasznált légijárművek (UAV) esetében is. Az aerodyne UAV-ok csoportja tovább bontható a felépítésük alapján merev és forgószárnyas alcsoportokra. A légminőségmérő rendszer szempontjából a forgószárnyas, aerodyne UAV-ok felépítése és az azokkal kapcsolatos felhasználási lehetőségek kerülnek kiemelésre.



ábra 11. UAV-ok csoportosítása (részlet)

5.1 Aerostat (National Aviation Academy, 2023) (How To Electronics, 2022)

Olyan légi járműveket takar, melyek sűrűsége kisebb légkörünk sűrűségénél, és az így keletkező felhajtó erő segítségével emelkednek fel. Alkalmasak helyből fel- és leszállás

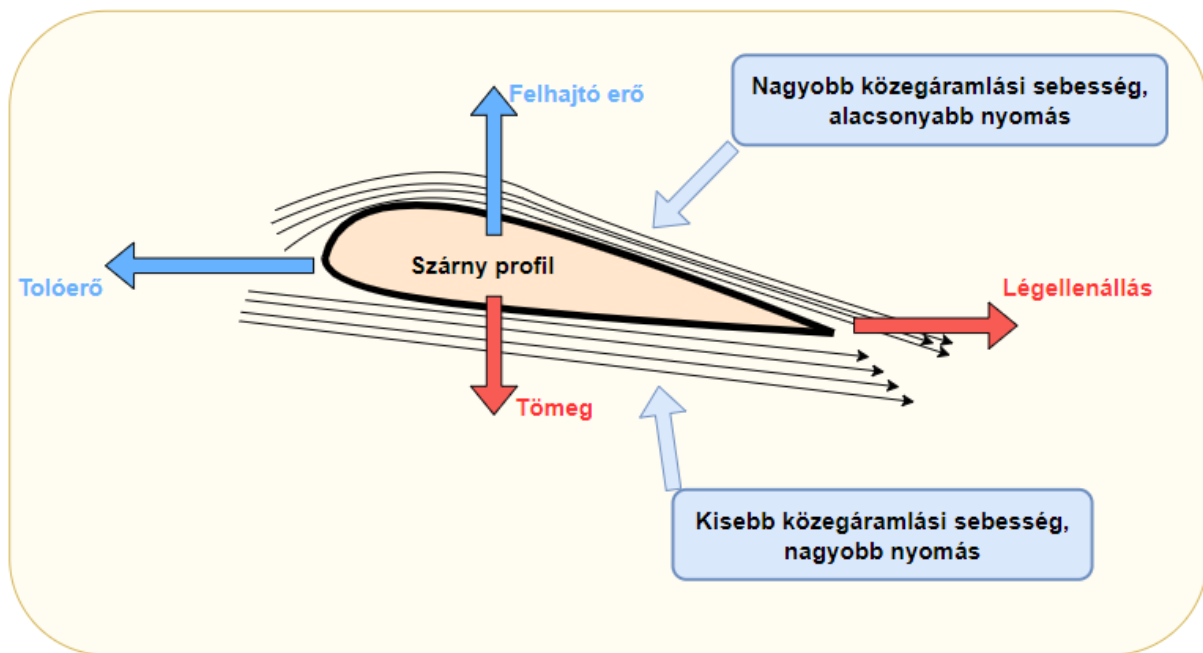
manőver végrehajtására (VTOL). Ide soroljuk a motorizált és nem motorizált léghajókat és a ballonokat is. Az elnevezés eredete a Görög levegő (αήρ) és az álló (στατός) szó összetétele.



ábra 12. Aerostat járművek ballon (bal) és léghajó (jobb)

5.2 Aerodyne

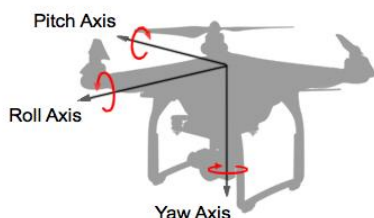
Olyan légijárművek csoportja, melyek sűrűsége meghaladja légkörünk sűrűségét. Földtől való elemelkedésükhöz elsősorban aerodinamikai erőket alkalmaznak, mint a szárnyprofil mentén áramló közeg keltette felhajtóerő. Ebbe a csoportba tartoznak a repülőgépek is, illetve a forgószárnyas légijárművek, mint például a helikopterek.



ábra 13. Vázlat szárnyprofil felhajtó erő generálásáról

6. Forgósárnyas UAV-ok alapvető felépítése

A forgósárnyas UAV-ok előnyt élveznek a merevsárnyas UAV-ok csoportjával szemben a relatív rövid távolságban, lassú átlagsebesség mellett végzett feladatok esetén. 6 szabadságfokkal képesek mozogni és képesek huzamos ideig egyhelyben lebegni is. Ez elsősorban a meghajtásért felelős légcsavarok működéséből adódik. A legelterjedtebb a multirotoros konstrukció, ahol a rotorok azonos irányba fejtenek ki tolóerőt, fenntartva a tömegvonzás-felhajtóerő egyen súlyt a lebegéshez. Az irányítást a légcsavarok sebességszabályozása eredményezi, így okozva a roll, pitch és yaw tengelyek mentén történő elfordulást. A továbbiakban a multirotoros konstrukcióval rendelkező forgósárnyas UAV-ra az egyszerűség miatt a „drón” szóval hivatkozik a dolgozat.



ábra 14. Drón forgástengelyei és elnevezésük

A drónok három fő elemre bonthatóak fel: energia tárolás, meghajtás és irányítás.

6.1 energia tárolás

Az energiatárolás felel az eszköz energia szükségleteinek a hordozásáért, leggyakrabban elektrokémiai folyamat útján, akkumulátorokban tárolja azt. Ilyenek például a Lítium-polimer és a lítium-ion akkumulátorok. Cellákból állnak, melyek soros és párhuzamos kapcsolásokba rendezve adják ki az elvárt teljesítményt. A sorba kapcsolt cellák számát megadja az akkumulátort jellemző kód. A 6S2P jelölés 6 soros kapcsolást és 2 párhuzamos kapcsolást

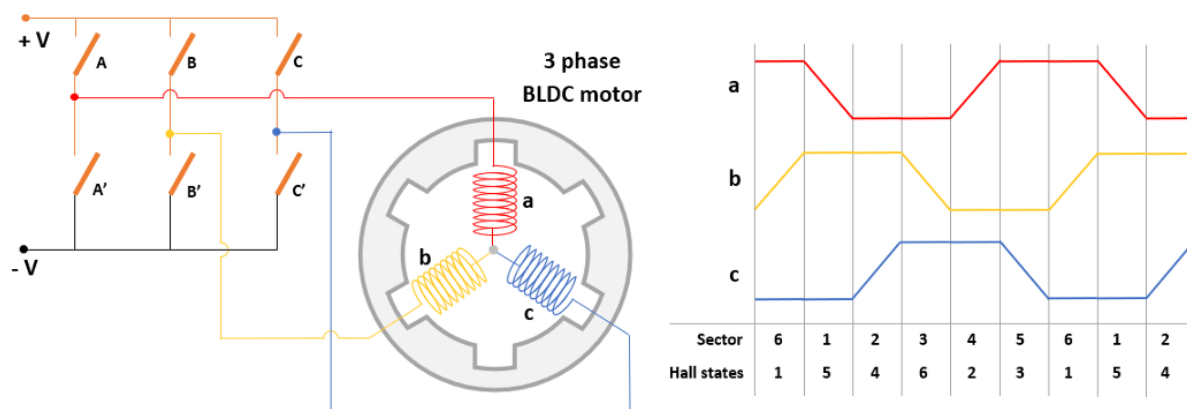
jelent összesen 12 cella között. Egy cella feszültsége 3.2-4.2 V-ig változhat (LiPo esetén!) normál használat mellett. A tisztán elektromos megoldás mellett léteznek hibrid energiatároló rendszerek és fosszilis energiatároló rendszerek is.

Hibrid rendszerek esetében éghető üzemanyag és elektromos generátor segítségével állítják elő a szükséges elektromos áramot.

A dolgozat elektromos akkumulátorokkal felszerelt drónt vesz alapul.

6.2 Meghajtás (MathWorks, n.d.)

A meghajtás felelős a tárolt energia felhasználásával a jármű levegőben tartásához. Általában az akkumulátorok által biztosított egyenáramot egy ESC (electronic speed controller) kapcsolja rá a BL-DC (brushless-direct current) motor tekercseibe. A motor 3 fázisú és azok bekapcsolásának sorrendje és polaritása határozza meg a forgási irányt és a sebességet. Motoronként egy ESC felel a vezérlésért. Az ESC vezérlő jelet kap a drón irányításáért felelős kontrollertől és telemetria adatot közöl vissza (pl. fordulatszám, fogyasztás).

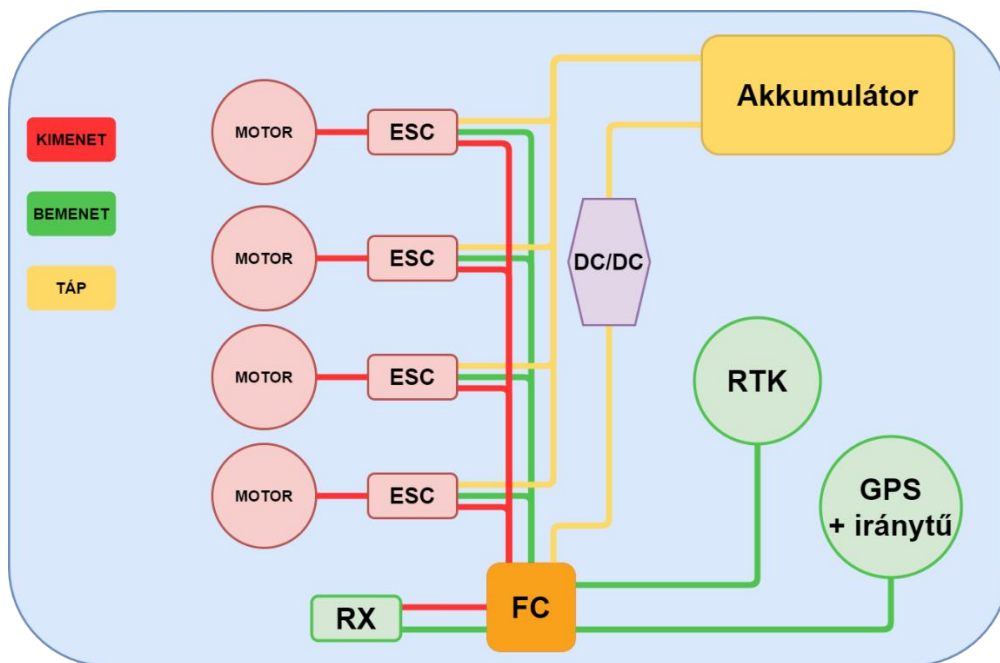


ábra 15. BLDC motor tekercs kapcsolási szekvenciája

6.3 Irányítás

Az irányítás feladatát a repülésvezérlő (FC) látja el. Feldolgozza a pilótától és a szenzorokból érkező jeleket és szabályzás segítségével korrekciókat végez. A motorok fordulatszámának változtatásával éri el a kívánt orientációt a térben. A szabályzást minden forgástengelyre külön

lefutó digitális PID (proporcionális integráló és deriváló) szabályzó segítségével valósítja meg, megközelítőleg 1-3 kHz-es frekvencián. Az FC gyakran integrált szenzorkészlettel kerül gyártásra. Ilyen szenzorok az IMU (inerciamérő egység), a barométer és az iránytű. A pontosabb helymeghatározás érdekében GPS (Globális Helymeghatározó Rendszer) és/vagy RTK modul (valós idejű kinematikus mérőmodul) is csatlakoztatható. Ezzel akár 3-10 cm-es pozicionálási pontosság is elérhető. A szenzorok mellett több mód is adott vevőegység (RX) csatlakoztatására (pl.: UART, PWM, PPM, ...) ami a pilóta és a drón vezetékek nélküli irányítását biztosítja. Az RX modul valójában nagyobb szerepet is képes ellátni, ezen a kommunikációs csatornán kerülnek vissza telemetria adatok. A telemetria adatok olyan adatok halmaza, melyek eredete az FC vagy egyéb drón alkatrész. Lehet ilyen adatra példa az akkumulátor feszültség, a GPS koordináták, motorok pillanatnyi fordulatszáma is.

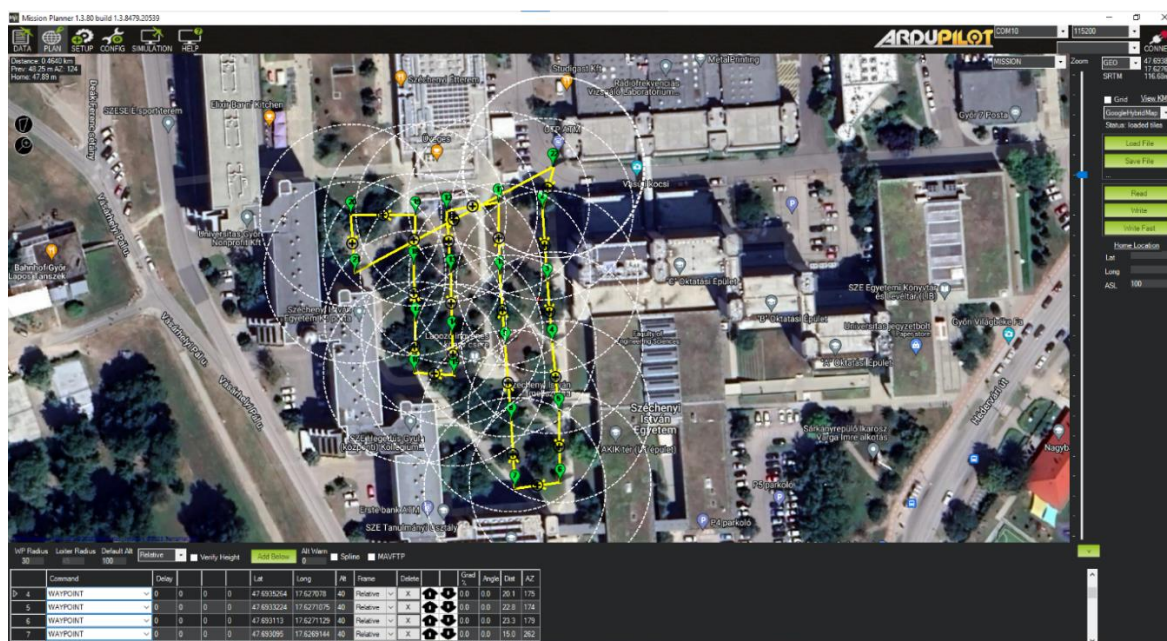


ábra 16. Drón alkatrészek kapcsolatának általános vázlata

7. UAV-al végrehajtott automatizált tevékenységek és útvonaltervezés

Manuális irányítás mellett a nagyobb számítási kapacitással rendelkező FC-k lehetőséget adnak az automatizált küldetésekre is. Automata módban (leggyakrabban) az FC felelős a küldetés útvonalának és annak paramétereinek eltárolásáért. Ez a funkció alapvetően járul hozzá a drónnal történő feladatvégzéshez legyen az infrastruktúra felmérés, fotogrammetria, permetezés, vagy hálózat lefedettség mérés. A felhasználó egy küldetés és útvonal tervező alkalmazásban megalkotja a kívánt küldetést és paramétereit, majd azokat feltölti vezetékess vagy vezeték nélküli kapcsolattal az FC-re. Ilyen alkalmazás lehet a Mission Planner (MP) és a QGroundControl (QGC) is.

A MP segítségével létrehozható küldetéshez szükség van egy ArduPilot firmware-t futtató FC-re, ami fel van szerelve minimum GPS-el és a MP nyílt forráskódú alkalmazásra. Az MP felületén megtervezett küldetést fel kell tölteni a drónra. A sikeres feltöltés után távpilóta felkészíti a gépet a repülésre, majd a távvezérlőn funkciógomb segítségével aktiválja a küldetést.



ábra 17. Kép a küldetés útvonalának megadásához használt felületről (MP)

A drón a beállított koordináták és feladatok szerint végighalad a kijelölt útvonalon. A küldetés menetét a távpilóta manuális módra váltással szakíthatja meg, illetve a firmware konfigurációja szerint a kontroll jel elvesztése is (RX signal loss).

(ardupilot, 2015)

8. Felhasznált hordozó drón (ardupilot, n.d.)

A koncepció szerint megfogalmazott mérőeszköz hordozására egy egyedi építésű drón került alkalmazásra. Alapja a TAROT XS690-es váz, ami közel 70 cm-es motortengelykört eredményez. A FC a Pixhawk Orange Cube, mely egy kompakt, integrált IMU, GPS és iránytűvel ellátott STM32H743ZI-es SOC. A meghajtást 4 darab 650 KV értékű T-Motor MT-3506-25 BL-DC motor biztosítja 4S-es 3500 mAh-ás akkumulátorokkal. A redundancia miatt egy külső HERE3-as GPS és iránytű modul is felszerelésre került. A távirányító kontrollerrel az összeköttetést egy ExpressLRS adó és vevő pár alkotja. Az adó és a vevő a CRSF protokollt alkalmazza az adatkommunikáció lebonyolítására. (telemetry képes RX) A biztonság miatt hardware-es biztosító gomb is elhelyezésre került.



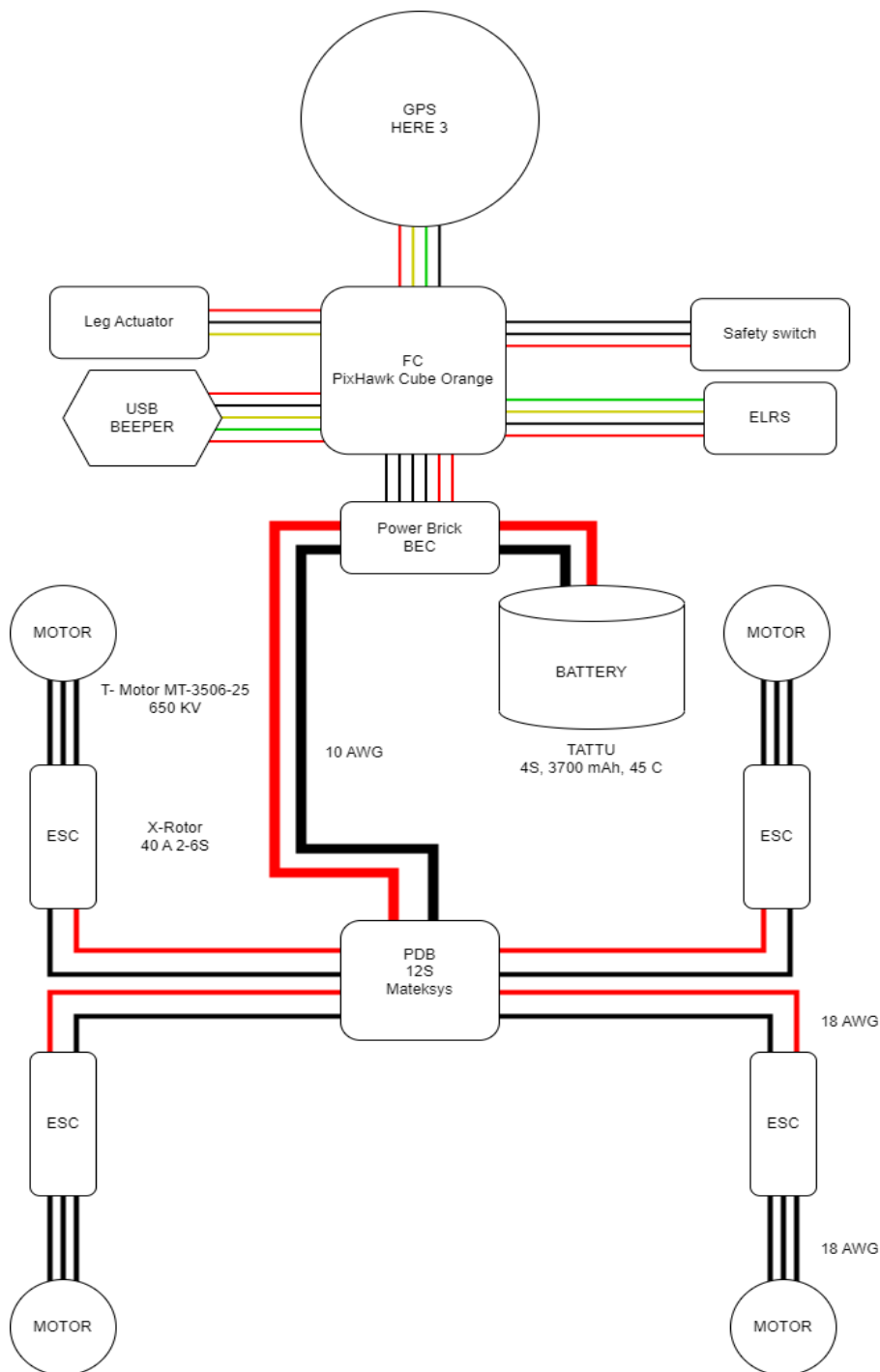
ábra 18. TAROT hordozó drón összeállítva

A TAROT váz kiegészítésre került egyedi tervezésű 3D nyomtatott alkatrészekkel is. Ilyen alkatrésze a karok végén található rugalmas motorgondolák. Ezek feladata rossz landolás esetén a károk minimalizálása és az ESC-k rögzítése. 3D nyomtatott alkatrész a hardware-es biztonsági gomb tartóeleme. Ez az alkatrész rögzíti a gombot a vázhoz, rugalmas műanyagból.

A vázszerkezet alján hasznos teher rögzítésére alkalmas 10 mm átmérőjű karbonszálak rudak helyezkednek el.



ábra 19. TAROT hordozó drón váz CAD modellje



ábra 20. TAROT hordozó drón kötési vázlata

9. Drónnal végzet légminőség mérés

A mérőeszközzel végzet magaslati mérések módszere nagyban megegyezik a földön alkalmazott metodikával. A fő különbség, a szenzorok mozgatása. A normál mérőállomások fix mérőpozíció felvételével végeznek méréseket. Így kisebb a zavaró környezeti tényezők kockázata. A kihelyezett állomások szenzorjai a felszíntől mintegy 1 - 1,5 méteres magasságban helyezkednek el.

Fontos a fizikai kitelepülés és mérés előtt a tervezés. Ilyenkor meghatározásra kerül a használt mérőszensor konfiguráció, a mérőterület és a mérési magasságok közötti magasság ugrás. Érdekes 15 – 20 méteres magasság ugrásokkal haladni az esetleges épületek és egyéb szélakadályok vonaláig. Utána akár 30 – 50 méteres különbségekkel is lehet adatokat gyűjteni. Ennek oka az akadályok által keltett turbulens áramlás lehetősége. Az épületek felett viszont kevesebb a légmozgásokat akadályozó tényező, így ott nagyobb rétegekben történik lamináris áramláshoz közelítő légáramlás. A kicsomagolás után a raktározási körülményektől függően kell portalanítani sűrített levegővel. A mérések megkezdése előtt érdemes várakozni, áram alá helyezett szenzorokkal. Több szenzor (pl.: CO₂ szenzor) alkalmaz olyan elektrokémiai detektáló és mérőfolyamatokat, amik hőt igényelnek. Ezt a szenzorok általában saját, beépített fűtőegységekkel biztosítják. (A megfelelő teljesítményű tápellátás elengedhetetlen emiatt is!)

A mérések megkezdéséhez biztosítani kell a megfelelő engedélyeket is. Európai szinten 250g Magyarországon pedig 125g az engedélymentesség határa pilóta nélküli légi járművekre. A Hordozójármű (hasznostehérrel és akkumulátorral felszerelve) megközelítőleg 1800g tömegű. (Emiatt A2 kategóriájú operátori jogosítványra van szükség)

A mérések kritikus része a fel és leszállások. Ekkor a legnagyobb a hiba lehetősége a drónirányítás során. Nem csak az operátor hibák okozhatnak problémákat, a mérőeszközök pornak kitettsége is jelentős veszélyforrás. A por képes eltömíteni szenzornyílásokat, vagy befolyásolni azok mérési mechanizmusait, működését. Emiatt a felszállás és leszállás lehetőleg portól védett helyen érdemes végezni, ha kivitelezhető. Ha ez nem oldható meg felszállás előtt alap értékeket érdemes felvenni, majd utána elindítani a drónlégcsavarjait. A felemelkedés után

a földközelen (5-6 m, hogy a földközeli por ne érje el a szenzorokat) kapott értékeket össze lehet hasonlítani a felpörgetés előtt mért értékekkel. Ha nincs jelentős eltérés, megkezdhető a mérés.

Az automata mérés során a kijelölt mérési magasság közelébe kell emelkedni, majd automata repülési módra váltani a repülési módját a drónnak. Az eszköz megközelíti az első kijelölt küldetés pontot, majd beáll a kijelölt magasságra a pont fölött. A következő pont fele fordulva megközelíti azt. Ezt folytatva a teljes előre meghatározott pálya folyamán. (általános waypoint-ok mellett lehetőség van speciális akciók beprogramozására is a MP felületén.) Ha a mérés során rendkívüli légi esemény következik be (más légi járművek áthaladása / közeledése, technikai hiba, stb..) a pilóta manuális módba váltva képes átvenni az irányítást a drón felett. A mérés folytatható az automata repülésmódba kapcsolás után onnan, ahol megszakításra került. Ha a mérés során például akkumulátorcsere, vagy vészhelyzet miatt leszállást kell végrehajtani poros felszínen, újra el kell végezni a por befolyásának ellenőrzését. Mivel a leszállás során beszennyeződhetnek a szenzorok, palackos sűrített levegővel érdemes kifűjni őket. (Egyes palackok PB-gázt tartalmaznak levegőkeverék helyett, extra időt kell hagyni a gáz elillanására.) Figyelní kell arra is, hogy a fűthető szenzorok ne kapjanak hirtelen hideg behatást, nehogy károsodjanak.

A mérés automata részének végeztével a pilóta visszaveszi az irányítást és landol a hordozójárművel. A drónt és a mérőrendszert áramtalanítani kell. Ha a szenzoroknak volt ideje lehűlni és szükséges a takarítás, akkor elcsomagolás előtt sűrített levegős portalanítást kell végezni.

10. Konklúzió

A dolgozat tartalma képes segíteni a légminőség vizsgálattal kapcsolatos alap információk megismerésében és bepillantást nyújt a pilótánélküli légi járművek témájának egy kis részletébe is. Az UAS-okkal végzett feladatok mértéktelen léptékben nőnek és véleményem szerint majdnem minden területre fognak hatást gyakorolni valamilyen formában. A közelmúlt eseményei is igazolni látszanak ezt a helyzetet. Emiatt is gondolom, hogy lényeges tovább vinni és projekt formájában megvalósítani a dolgozatban felvázolt eszközt. Az itt összegyűjtött információk és megoldások is ezt hivatottak szolgálni.

A fizikai megvalósítás során bővíthető az itt összefoglalt megoldás. Elengedhetetlen a GNSS modul kommunikációs protokollját megfelelően implementálni az Arduino vagy más központi mikrokontroller kompatibilis mérőeszköz kódjába. Ha a prototípus egység működőképes és a kommunikáció is megoldott véglegesíthető egy, vagy több hardware-es konfiguráció. Ebben az esetben már előnyt jelenthet egyedi PCB tervezése és gyárttatása a külső zavarok csökkentése és a szerelhetőség növelése érdekében. Abban az esetben, ha az adatok közlése webfelületre már adott, lehetőség nyílik egységes UI-t létrehozni köré. Ekkor a felhasználók a frontend biztosította kényelem mellett érhetik el az adatokat és sokak számára is könnyen elérhetővé lehet tenni a mérések, kiértékelések eredményeit. A rendszer és annak relevanciájának növekedése érdekében más hordozó eszközökre is fel lehet rögzíteni. Ez ugyan egyedi köztes rögzítőelem megoldásokat igényel. Pontosan a kiszélesedett használat miatt lehet érdemes saját belső akkumulátor megoldás kialakítása. Így kihelyezhetővé válik a mérőeszköz önmagában is. A fejlesztés bármelyik szakaszában fontos a további szenzorrögzítő lemezek fejlesztése, így a konstrukció gyorsan konfigurálható marad.

- Irodalomjegyzék

Arduino. (2019. July 26). *Arduino*. Forrás: Serial:

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/>

ardupilot. (2015. April 18). *Mission Planner Home*. Forrás: ardupilot: <https://ardupilot.org/planner/>

ardupilot. (dátum nélk.). *The Cube Orange/+ With ADSB-In Overview*. Forrás: ardupilot:

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-thecubeorange-overview.html>

How To Electronics. (2022. Augst 22). *Interfacing PMS5003 PM2.5 Air Quality Sensor with Arduino*.

Forrás: How To Electronics: <https://how2electronics.com/interfacing-pms5003-air-quality-sensor-arduino/>

MathWorks. (dátum nélk.). *Six Step Commutation*. Forrás: MathWorks:

<https://www.mathworks.com/help/mcb/ref/sixstepcommutation.html>

National Aviation Academy. (2023). *What Is an Aerostat?* Forrás: National Aviation Academy:

<https://www.naa.edu/aerostat/>

Országos Meteorológiai Szolgálat. (dátum nélk.). *A magyar levegőminőségi index*. Forrás: Országos

Meteorológiai Szolgálat: <https://legszenneyezettseg.met.hu/levegominoseg/informacio/aq-index-tajekoztato>

Országos Meteorológiai Szolgálat. (dátum nélk.). *legszenneyezettseg*. Forrás: Országos Meteorológiai

Szolgálat: <https://legszenneyezettseg.met.hu/levegominoseg>

Wikipédia. (dátum nélk.). *Gravimetria*. Forrás: wiki:

https://hu.frwiki.wiki/wiki/Gravim%C3%A9trie#Mesures_gravim%C3%A9triques_de_poussi%C3%A8res

- Ábra jegyzék

ábra 1. Hon kong szennyezett és tiszta napokon (bal) Mexikó város légszenneyezetttsége (jobb)

ábra 2. Magyarországi OLM mérőállomások helye (2023.04.01.)

ábra 3. OLM mérőállomás

ábra 4. Levegőminőség mérő eszköz felépítésének vázlata

ábra 5. Kapcsolási ábra levegőminőség mérő prototípushoz EasyEDA felhasználásával.

ábra 6. Tokozás elemeinek ábrázolása (fent) Render ábra 3D tervezett tokozásról légminőségmérő műszerhez (lent)

ábra 7. 3D nyomtatott tokozás szenzorpanelének vájatos rögzítése.

ábra 8. 3D nyomtatott tokozás szenzortartó oldallemez.

ábra 9. SMA csatlakozók a 3D nyomtatott prototípus mérőeszköz tokozásán.

ábra 10. 3D nyomtatott tokozás csavar rögzítése.

ábra 11. UAV-ok csoportosítása (részlet)

ábra 12. Aerostat járművek ballon (bal) és léghajó (jobb)

ábra 13. Vázlat szárnyprofil felhajtó erő generálásáról

ábra 14. Drón forgástengelyei és elnevezésük

ábra 15. BLDC motor tekercs kapcsolási szekvenciája

ábra 16. Drón alkatrészek kapcsolatának általános vázlata

ábra 17. Kép a küldetés útvonalának megadásához használt felületről (MP)

ábra 18. TAROT hordozó drón összeállítva

ábra 19. TAROT hordozó drón váz CAD modellje

ábra 20. TAROT hordozó drón kötési vázlata

- Rövidítések listája

Rövidítés	Jelentése	Fordítás
UAS	unmanned aircraft system	Pilóta nélküli távirányítású repülő rendszer
UAV	unmanned aerial vehicle	Pilóta nélküli légi jármű
VTOL	vertical take-off and landing	Vertikális fel és leszállás
LiPo	lithium-polymer	lítium-polimer
ESC	electronic speed controller	elektromos sebességszabályozó
BL-DC	brushless-direct current	Szénkefe nélküli egyenáramú (motor)
IMU	inertia measurement unit	inercia mérő modul
GPS	geo positioning system	Globális Helymeghatározó Rendszer)
RTK	real time kinematics	valós idejű kinematikus mérőmodul
PID	proportional integral derivative controller	proporcionális integráló és deriváló szabályzó
RX	receiver module	vevő egység
MP	Mission Planner	Mission Planner alkalmazás
QGC	QGroundControl	QGroundControl alkalmazás

UART	Universal asynchronous receiver-transmitter	univerzális aszinkron adó-vevő
PWM	pulse width modulation	impulzus szélesség moduláció
PPM	pulse position modulation	impulzus pozíció moduláció
PDB	power distribution board	áram elosztó nyák
CRSF	Crossfire protocol	Crossfire protokoll
SOC	system on chip	egy chip-es rendszer
OLM		Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat
PP	Polypropylene	Polipropilén
IO	Input-Output	Ki és bemenet
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter	Univerzális aszinkron adó és vevő

- Függelék

```
// Code for Arduino Nano based air quality measurer. The code
// reads 4 analogue sensor output and gets a particle sensor digital output.
// After the data has been collected and stored in variables, it sends it
// via serial port.

// Later the code will include the portions to command a GNSS module
// for wireless data transmission.
// made by Solymossy Gergely
// Győr 2023.04.05.
// Digital Development Center

//////////////////////////////////////
//
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial pmsSerial(2, 3); //Software serial for PMS5003
void setup() {

//Analog inputs of the sensors'
pinMode(A0, INPUT);
```

```
pinMode(A1, INPUT);
pinMode(A2, INPUT);
pinMode(A3, INPUT);

//start the serial with the PMS5003
pmsSerial.begin(9600);
Serial.begin(9600);

}
// data structure for the PMS5003 data
struct pms5003data {
    uint16_t framelen;
    uint16_t pm10_standard, pm25_standard, pm100_standard;
    uint16_t pm10_env, pm25_env, pm100_env;
    uint16_t particles_03um, particles_05um, particles_10um, particles_25um,
particles_50um, particles_100um;
    uint16_t unused;
    uint16_t checksum;
};

// data structure for PMS5003
struct pms5003data data;

void loop() {
    // read the PMS5003 data in the pms5003data structure
    if (readPMSdata(&pmsSerial)) {

    }

    // get the value of the other sensors
    uint16_t MQ2_Data = analogRead(A0);
    uint16_t MQ9_Data = analogRead(A1);
    uint16_t MEMS_Data = analogRead(A2);
    uint16_t CO2_Data = analogRead(A3);

    // combine all the data to be sent via serial
```

```
uint16_t message[8] = {MQ2_Data, MQ9_Data, MEMS_Data, CO2_Data,  
data.pm10_standard, data.pm25_standard, data.pm100_standard, 0xFF};  
  
// sending the data via serial  
Serial.write(message, 8);  
}  
/////////////////////////////////////  
// Later the message variable will be sent to the SIM7080 GNSS module  
// for wireless communication.  
  
// check if the serial is available, look for the 0x42 start byte, then read  
32 bytes of information.  
// after that calculate the checksum for error detection.  
boolean readPMSdata(Stream *s) {  
    if (! s->available()) {  
        return false;  
    }  
  
    if (s->peek() != 0x42) {  
        s->read();  
        return false;  
    }  
  
    if (s->available() < 32) {  
        return false;  
    }  
  
    uint8_t buffer[32];  
    uint16_t sum = 0;  
    s->readBytes(buffer, 32);  
  
    for (uint8_t i=0; i<30; i++) {  
        sum += buffer[i];  
    }  
}
```

