



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

UAV fejlesztése mobilhálózat
irányítással

OE-AMK
2024

Hallgató neve: Farkas Bálint
SZD2402121107158248TEEVVW



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem.

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Gáti, 2024. 05. 09


.....
hallgató aláírása



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Farkas Bálint

Szakedolgozat száma: SZD2402121107158248

Törzskönyvi száma: T000301/FI12904/A

Neptun kódja:

Szak:

pilóta nélküli légi jármű üzemeltető szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: UAV fejlesztése mobilhálózat irányítással

A dolgozat címe angolul: UAV Development with Mobile Network Control

A feladat részletezése:

1. Irodalomkutatás.
2. Meglévő eszközök leírása.
3. A repülőeszköz kiválasztása.
4. A rendszer elvi felépítésének megtervezése.
5. Összerszerelés, implementáció.
6. Szoftverillesztés.

Intézményi konzulens neve: Dr. Udvardy Péter

Külső konzulens neve: Pál Károly

Munkahelye: Number One Technologies Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 07. 10.

Beadási határidő: 2024. 05. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2024. 04. 08.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2024. 05. 15.

belső konzulens

külső konzulens

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	6
1.1 Célkitűzések.....	6
1.2 A géppel szemben támasztott követelmények specifikálása	6
1.3 Áttekintés	6
NAGY HATÓTÁVOLSÁGÚ DRÓNOK FELHASZNÁLÁSÁNAK VIZSGÁLATA.....	7
2.1 Alkalmazási területek	7
2.2 kompetenciák vizsgálata	8
ALAPOK LEFEKTETÉSE.....	9
3.1 kommunikáció	9
3.1.1 A 4G infrastruktúra.....	9
A FUNKCIONÁLIS ALKATRÉSZEK MEGVÁLASZTÁSA	11
4.1.1 A kommunikációs modem specifikálása	11
4.1.1 A kommunikációs modem felé elvárt követelmények	12
4.2 A mikrokontroller specifikálása	13
4.3 Az irányítás hierarchiájának kidolgozása.....	14
4.4 A meghajtás méretezése	14
4.5 Motorvezérlők specifikálása	18
4.6 Irányítás	20
4.7.1 Energiaellátás.....	21
4.7.2 LFP71173207/280AH LFP lithium battery	22
4.7.3 Tartalék akkumulátor	23
4.7.4 A napelem specifikálása	23
MECHANIKAI TERVEK ELKÉSZÍTÉSE	24
5.1 Szárnygeometria	24
5.2 Az orr kialakítása	28

5.3 A teljes szerkezet	29
A VEZÉRLŐÁRAMKÖR ELKÉSZÍTÉSE	31
6.1 Elektronikai tervezés- Kommunikációs egység	31
6.2 Kommunikációs modem kiválasztása	31
6.3 Az EG25 Kapcsolási rajza	32
6.4 A SIM bekötése.....	34
6.5 A térbeli orientálásra szolgáló egység megtervezése	36
6.6 A videókapcsolat megvalósítása	38
6.7 A magassági adatokat szolgáltató kapcsolat	39
6.8 Akkumulátor választás	40
6.9 A mikrokontroller és környezete	42
6.9 A rádiófrekvenciás videójel jeltovábbítás	43
7.0 Az elkészült vezérlőáramkör	44
ÖSSZEFOGLALÁS.....	45
ZUZAMMENFASSUNG.....	46
ÁBRAJEGYZÉK	47
TÁBLÁZATJEGYZÉK	49
IRODALOMJEGYZÁK	50
MELLÉKLETEK.....	52

BEVEZETÉS

Az utóbbi években rendkívüli mértékben elterjedtek és fejlődtek a drónok, számos területen megváltoztatva mindennapi életünket. Kezdetben főként katonai és ipari alkalmazásokra tervezték ezeket az repülő eszközöket, azonban azoknak az előnyöknek a felismerése, amelyeket a drónok kínálnak, hozzájárult a széleskörű elterjedésükhöz.

A civil alkalmazások terén a drónoknak számos funkciója van, beleértve a légi fényképezést és videózást, mezőgazdasági tevékenységeket, kutatási és mentési műveleteket, illetve a csomagszállítást. Ezenkívül a drónok lehetővé teszik a távoli területek megfigyelését és elérését anélkül, hogy emberi jelenlét szükséges lenne.

Ez a technológiai forradalom új kihívások elé állít minket. A drónok elterjedése egyértelműen hozzájárul a hatékonyság növeléséhez és új lehetőségek megnyitásához, miközben folyamatosan alakítja át a mindennapi élet és üzleti tevékenységek módját.

1.1. Célkitűzések

A szakdolgozatom egy olyan pilóta nélküli légi jármű fejlesztését dokumentálja, ami fizikai jellemzői és technikai paraméterei alapján a speciális kategóriába tartozik. Mivel a használat módja bekegategorizálja a speciális kategóriába ezért nincs szükség azt a szempontot figyelembe venni, miszerint a légijármű tömege 25 kg alá essen.

1.2. A géppel szemben támasztott követelmények specifikálása

A fejleszteni kívánt pilóta nélküli legi járművel szembeni elvárások a következők:

- 30 kg-ban maximalizált felszállótömeg
- Mobilhálózat alapú, rádiófrekvenciás és műholdas távvezérlés. Ezek közti dinamikus váltási lehetőség meghatározott protokollok alapján.
- Merevszárnyas kialakítás, elektromos meghajtás 2 db szárnyak alatti gondolába helyezett kefe nélküli villanymotorral.
- 100 km-es hatótávolság.
- Külön pilótakamera és munkakamera felfogatási pont.

1.3. Áttekintés

Szakdolgozatom egy a fentiekben specifikált drón fejlesztését mutatja be. A szakdolgozat az alapoktól mutatja be a projekt előrehaladását. A dolgozat kitér az iparág bemutatására, részletesen bemutatja az eszköz elektronikai tervezését, a mikroprogramok specifikációját, illetve kitér a prototípus fizikai tervezésére is.

NAGY HATÓTÁVOLSÁGÚ DRÓNOK FELHASZNÁLÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Ebben a fejezetben a kifejleszteni kívánt drón felhasználásának területeit, működtetésének piaci és jogi követelményeit vizsgálom.

2.1. Alkalmazási területek

A nagy hatótávolságú drónok különböző területeken való alkalmazása gyorsan terjedő és dinamikusan fejlődő terület a technológia világában. Ezek a repülőgépek képesek hosszú távolságokat megtéve önállóan vagy távirányítás segítségével működni, és számos iparági szegmensben, valamint rendkívüli körülmények között nyújtanak hatékony megoldásokat.

Logisztika és Szállítás: A nagy hatótávolságú drónok forradalmasíthatják a szállítási és logisztikai szektort. Azok a vállalkozások, amelyek gyors és hatékony csomagszállítást igényelnek, például sürgős orvosi ellátást nyújtó szervezetek, hasznosíthatják ezeket a drónokat a gyors és megbízható szállítás érdekében. A hosszú hatótávolság lehetővé teszi, hogy a drónok távoli területeket közelítsenek meg, ahol hagyományos közlekedési eszközök nehezen érnek el.

Katasztrófa-elhárítás és Mentés: Nagy hatótávolságú drónok alkalmazása a katasztrófa-elhárítás és mentés területén életmentő lehet. Képesek gyorsan eljutni elszigetelt vagy nehezen hozzáférhető területekre, információkat gyűjteni, segítséget küldeni, és így hozzájárulni a mentési műveletek hatékonyságához. Tűzvész, árvíz vagy más katasztrófák esetén ezek a drónok nélkülözhetetlen eszközök lehetnek a helyzet felmérésében és a segítségnyújtásban.

Kémiai és Fizikai felderítés: Nagy hatótávolságú drónokat alkalmaznak kémiai vagy fizikai veszélyek felderítésére olyan területeken, ahol az emberi beavatkozás kockázatos lehet. Ezek a drónok képesek gyorsan és pontosan felmérni a környezeti veszélyeket, így segítve a biztonsági szakembereket és hatóságokat a megfelelő intézkedések meghozatalában.

Azonban ezen alkalmazások során is felmerülnek kihívások, például a légterek szabályozása, a magánélet védelme, valamint az adatbiztonság kérdései. Mindezek ellenére a nagy hatótávolságú drónok ígéretes technológiai eszközök, amelyek számos területen hozhatnak előnyöket és innovációkat.

2.2 A fejlesztendő eszköz használatához szükséges kompetenciák vizsgálata

A jogalkotók az utóbbi években világszerte rendelkeztek a pilóta nélküli légi járművek

üzemeltetésének feltéteiről. Azonban ezek a rendelkezések sok vitás kérdést vetnek fel, illetve főként a harmadik országokat tekintve markánsan eltérnek. Az európai Unió területén két rendelet született a témában ezek az Európai Unió Bizottságának 2019/945 Felhatalmazáson Alapuló Rendelet és az Európai Unió Bizottságának 2019/947 Végrehajtási Rendelete. A Magyar Állam 1995. évi XCVII. törvénye a légitörvényről szintén releváns rendelkezés. Ezeken felül különböző rendeletek is rendelkezhetnek a pilóta nélküli légi járművek üzemeltetésének jogi kereteiről. [1]

A szakdolgozatban prezentált pilóta nélküli légitörvényről, fizikai paramétereiből és a felhasználásából adódóan a speciális kategóriába fog tartozni. A fentebb felsorolt direktívákból fakadóan az üzemeltetőnek műveleti engedéllyel kell rendelkeznie, ezen felül be kell nyújtania a műveletre vonatkozó kockázatelemzést a szükséges kockázatsökkentő intézkedések megnevezésével együtt. Azonban jogi személyeknek lehetőségük van könnyű UAS-üzemeltetői tanúsítványt (LUC) szerezni. Ebben az esetben nincs szükség műveleti engedély igénylésére, saját hatáskörben engedélyezheti a saját műveletét. Ennek a tanúsítványnak a megszerzése többletkövetelményeket és magas szintű dokumentációt kíván meg. [2]

A pilóta szempontjából a következő kompetenciák megléte szükséges: Ennek a légitörvénynek a fizikai paramétereit és a látótávolságon túli repülés (BVLOS) megkövetelik a pilóta részéről a speciális kategóriájú jogosítványt. Ezen felül körültekintően kell eljárni a EASA honlapján lévő dokumentumokat. Szükséges kitölteni a az STS, illetve a műveletünkre érvényes PDRA dokumentumot. Ez utóbbit a végrehajtandó művelet szerint kell megválasztanunk. A kitöltendő dokumentumokat a következő honlapról lehet letölthet: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/application-forms>

ALAPOK LEFEKTETÉSE

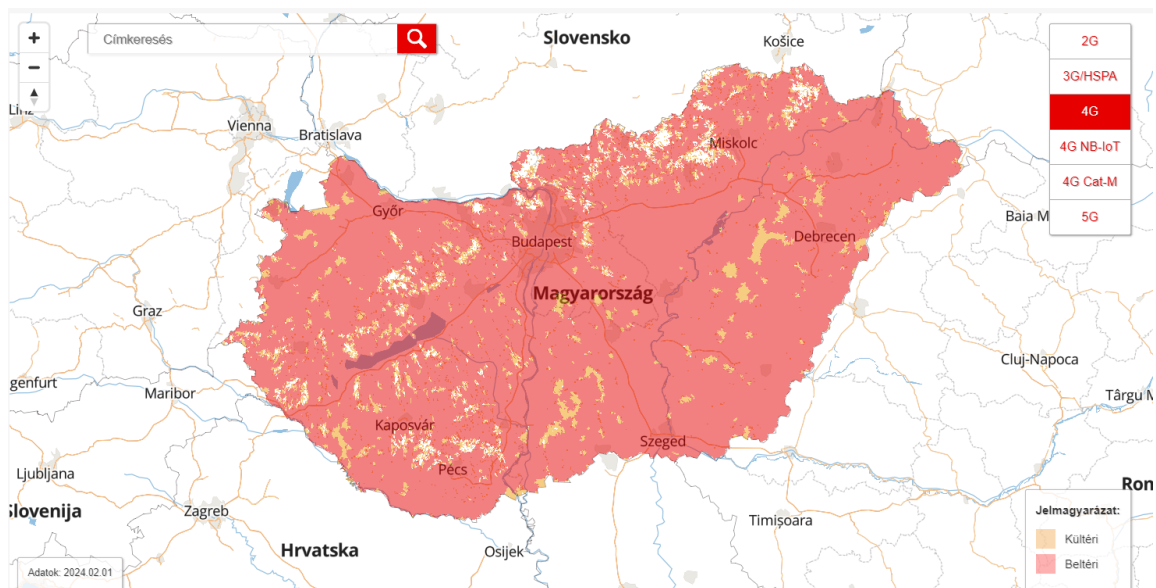
Ebben a fejezetben több különálló projekttel kapcsolatos kérdés kerül megvizsgálásra. Érinteni fogom a kommunikációs infrastruktúra vizsgálatát. Specifikálásra kerülnek a kommunikációs modemmel szembeni elvárások. Illetve több független pontot vizsgállok meg. Meghatározásra kerül a megvalósítani kívánt topológia, kitérek az energiaellátás kérdésére, illetve különböző projekttervezési kérdések kerülnek megvizsgálásra.

3.1. Kommunikáció

Ebben a fejezetben megvizsgálom az 4G kommunikációt megvalósító infrastruktúrát. Illetve specifikálásra és megválasztásra kerül a kommunikációs modem is.

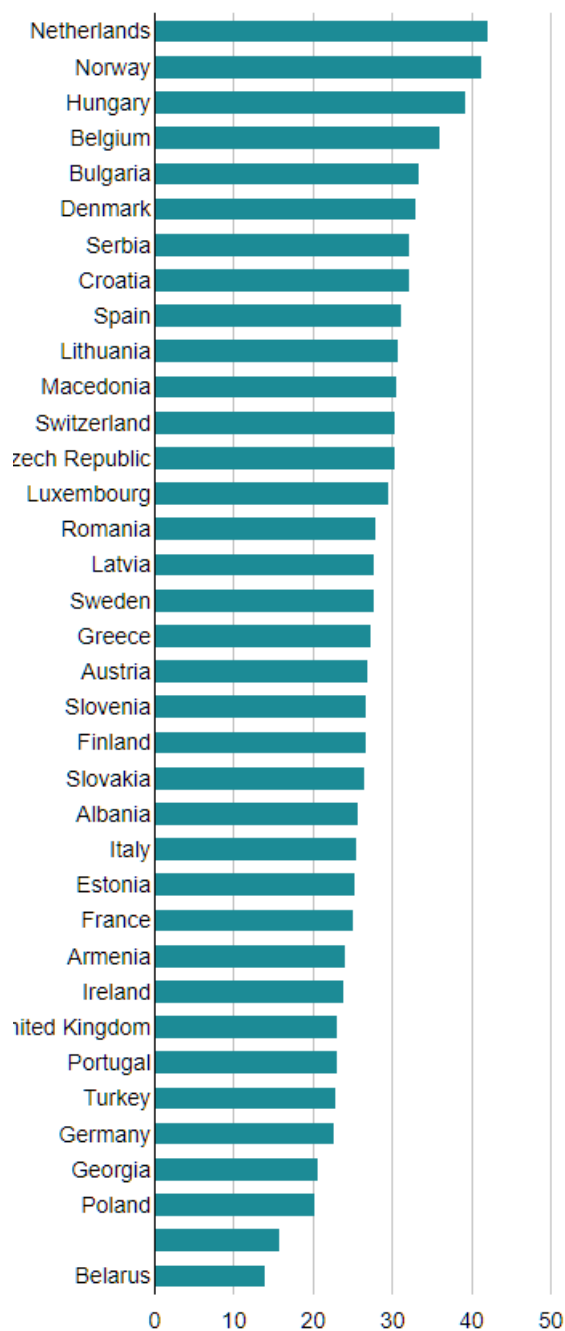
3.1.1. A 4G infrastruktúra

A projekthez a kiválasztott egyik kommunikációs szabvány a 4G. Ez a technológia elterjedt az európai környezetben ezért valószínűleg használható egy UAV irányítására. Ennek ellenére a projekt alapvető sikeressége múlik a felvetésen, miszerint rendelkezésre áll a megfelelő szintű infrastruktúra, ezért némi kutatás ebben a szegmensben nélkülözhetetlennek bizonyul.



1. ábra 4G lefedettségi térkép Magyarországon

[<https://www.vodafone.hu/hasznos-informaciok/lefedettsegi-terkep>]



2. ábra 4G sebessége Európában Mb/s-ben

[<https://www.opensignal.com/2018/02/20/europes-4g-speeds-rise-while-the-rest-of-the-world-stalls>]

A lefedettségi térképek és a hálózati sebességet bemutató diagramm alapján az Európában meglévő infrastruktúra alkalmasnak bizonyult egy ilyen eszköz megbízható használatára.

FUNKCIONÁLS ALKATRÉSZEK MEGVÁLASZTÁSA

4.1.1. A kommunikációs modem specifikálása

A 4G modem olyan eszköz, amely képes kapcsolódni a 4G mobilhálózathoz, és lehetővé teszi a vezeték nélküli internet-hozzáférést különböző eszközök számára. A 4G (negyedik generációs) mobilhálózatok gyors adatkapcsolatot biztosítanak, ami kiválóan alkalmas adatátvitelre és internetezésre. A kommunikációs modem helyes specifikálása létfontosságú a projekt sikerét tekintve. Mivel az már lefektetett tény, hogy a 4 G hálózatot szeretnénk ilyen célra használni ezért más mobilhálózat alapú modemek (5G, NbIot) nem jöhetnek számításba. Léteznek a piacon különböző Cat besorolású termékek. Ez a jelzés az adatátvitel sebességét hivatottak reprezentálni. Esetünkben videókapcsolat megvalósítása is elvárt. tehát egy minimum Cat 4 besorolású modemet célszerű választani. Ezeken felül léteznek olyan modemek, amelyek magukban foglalják a helymeghatározáshoz szüksége hardwaret is, kézenfekvő lenne egy ilyen modemet választani. Szintén bölcs döntés lenne modulárisá tenni a modem és a mikrokontroller galvanikus kapcsolatát. Léteznek olyan termékek amik egy mini nyáklemezre vannak integrálva tehát nem beültetésre kerülnek az elsődleges hordozólemezre hanem egy PCI csatlakozón keresztül kommunikálnak az áramkör többi egységével. Ez a jövőbeni technikai fejlődés szempontjából hasznos, így software-es módosítással is elérhető az 5G.

4.1.2. Kommunikációs modem felé elvárt követelmények

Paraméter	Leírás
Modell	Quectel EG25
Hálózati támogatás	2G, 3G, 4G LTE
Frekvenciatartomány	GSM/GPRS/EDGE: 850/900/1800/1900 MHz
	UMTS/HSPA+: 850/900/1900/2100 MHz
	LTE FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B8/B12/B13/B18/B19/
	B20/B25/B26/B28
	LTE TDD: B39 (csak a Cat M1 támogatásához)
Adatátviteli sebesség	LTE Cat.4: max. 150 Mbps letöltés, 50 Mbps feltöltés
	HSPA+: max. 42 Mbps letöltés, 5.76 Mbps feltöltés
	GSM/GPRS/EDGE: max. 236.8 kbps letöltés, 236.8 kbps feltöltés
Szolgáltatások	VoLTE (Voice over LTE), VoIP, SMS, USSD
Interfészek	UART, USB 2.0, GPIO, I2C, SPI
SIM kártya	1, 1.8V/3V
Tápellátás	3.3V - 4.4V DC, max. 3.4A
Méret	29.0mm × 32.0mm × 2.4mm
Hőmérsékleti tartomány	Működés: -40°C - +85°C
	Tárolás: -45°C - +90°C
Operációs rendszer	Linux / Android / Windows

1. táblázat A kommunikációs modem tulajdonságai [3]

4.2. A mikrokontroller specifikálása

Ebben a bekezdésben az eszközt vezérlő mikrokontroller specifikálására kerül sor. Mindenképpen fontos olyan mikrovezérlőt választani, ami megfelelő a különböző időjárási tényezőkkel szemben és kellően üzembiztos. Létfontosságú olyan kontrollert választani, ami elegendő számítási kapacitással rendelkezik, illetve el tudja látni az összes megkívánt rendszer irányítását. A felsoroltak alapján egyértelmű, hogy valamilyen ipari jellegű mikrokontrollert kell választani. Ezek alapján az STM32H7-széria bármely tagja jó választás. Az ST gyártó nagy múltra tekint vissza a mikrokontroller fejlesztésben, a termékeik alkalmasak a legviszontagságosabb környezetekben is helytállni. A fentiek alapján az STM32H742 típusú mikrokontroller lesz a vezérlőegység szíve.



3. ábra STM32H742- típusú kontroller

4.3. Az irányítás hierarchiájának kidolgozása

Ebben a fejezetben az RC és 4G irányítás hierarchizálása lesz a fő kérdéskör. Az olvasóban felmerülhet a kérdés, hogy egyáltalán mi szükség erre, illetve miért írok RC irányításról amikor a dolgozat címében mobilhálózat alapú irányításról esik szó. A két konkurens rendszer létezésének létjogosultsága a repülésbiztonsági axiómákban keresendő. A repülés technikai szempontból 3 főbb szakaszra osztható. Ezek a felszállás, leszállás és a kettő közötti funkcionális repülés. A 3 közül a fel és leszállás kritikus művelet, a repülés során bekövetkező problémák itt hordozzák magukban a legnagyobb kockázatot. Meglátásom szerint ebben a két esetben nem szabad a légijármű irányítását a kiszámíthatatlan lokális térerőre bízni. Úgy gondolom, hogy szükség van egy rövid hatótávolságú csatorna kidolgozására is, amelyen a repülőgép le és felszállását hivatott biztonságossá tenni.

Ezek alapján lefektetésre kerül egy olyan vezérlés miszerint a gép fel lesz szerelve egy RC kommunikációs modullal is, ami az elsődleges rendszer lesz. Ez a rendszer fogja végezni a fel és leszállást. Ez a rendszer fogja átadni a vezérlést a 4G rendszernek. Ez olyan elven fog működni, mint a nagygépes szegmensben a robotpilóta és a manuális vezérlés viszonya.

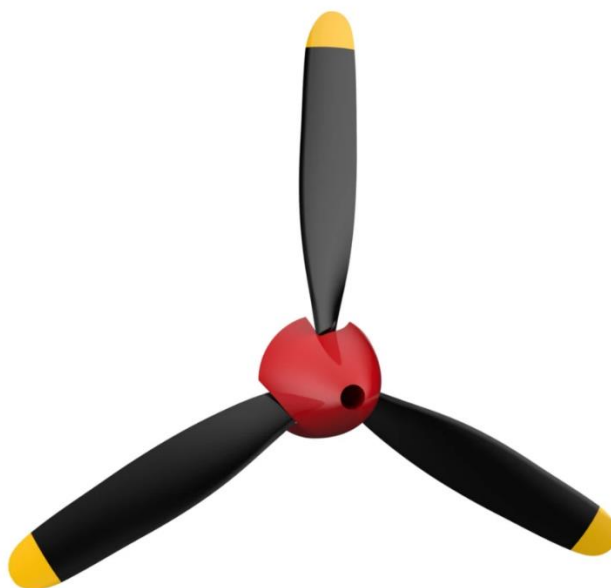
4.4 A meghajtás méretezése

A kérdéskörben először az a tény kerül megállapításra, hogy 2 motoros kialakítás kerül megvalósításra. Ez azért előnyös mert egy esetleges motormeghibásodás esetén vagy légsavar törés esetén a gép még korlátozott mértékben röpképes marad. Ezek mellett a munkakamera látótere is szabadabb kilátást kap amellet, hogy a vibráció is kisebb lesz. Ez főként fotogeometriai felhasználásban fontos.

A szükséges vonóerő meghatározása bonyolult számítási feladat. A megfelelő nagyságú vonóerő meghatározása függ a gép súlyától, a légellenállástól és a szárnyak kialakításától. Ez utóbbi 2 szorosan összefügg mivel sokszor a meg kell találni a kényes egyensúlyt a megfelelő felhajtóerő termelőkéesség és a lehető legkisebb légellenállás között. Ezt nevezzük összeségében hatékonyságnak. A témában sok értekezés született [5], ezek alapján a szükséges vonóerőt 14kg-ban határozom meg.

A vonóerő 2 fő komponens határozza meg. Ezek pedig a légsavar és az azt forgató villanymotor. A légsavaros hajtóművek által keltett vonóerő nagysága növelhető a légsavar paramétereinek változtatásával, illetve a fordulatszám növelésével. Nagyon fontos leszögezni, hogy gyártó által előírt paramétereken túl nem szabad használni a légsavart és a hangsebességet semmiképpen sem lépheti túl a propeller kerületi sebessége a hangsebességet. Tehát az egyik komponens definiálja a másikat. Ezek alapján, ha egy 15*8-as légsavart határozunk meg (15 inch az átmérője és 8 inch a lapátemelkedés) akkor kiszámíthatjuk, hogy nagyból 9000-et kell fordulnia percenként ahhoz, hogy megkapjuk az elvárt vonóerőt. Szintén kiszámítható, hogy ehhez egy közel 2100 W-os villanymotorra van szükségünk. Fontos leszögezni, hogy a levegő sűrűségének a változása befolyásolja a számítást.

Tehát az első lefektetett tézis a témában az, hogy a légijármű 3 lapátos 15*8 inches méretezésű légsavarokkal lesz felszerelve.



4. ábra A választott légsavar

A légsavarhoz méretezett erőforrással szembeni elvárások:

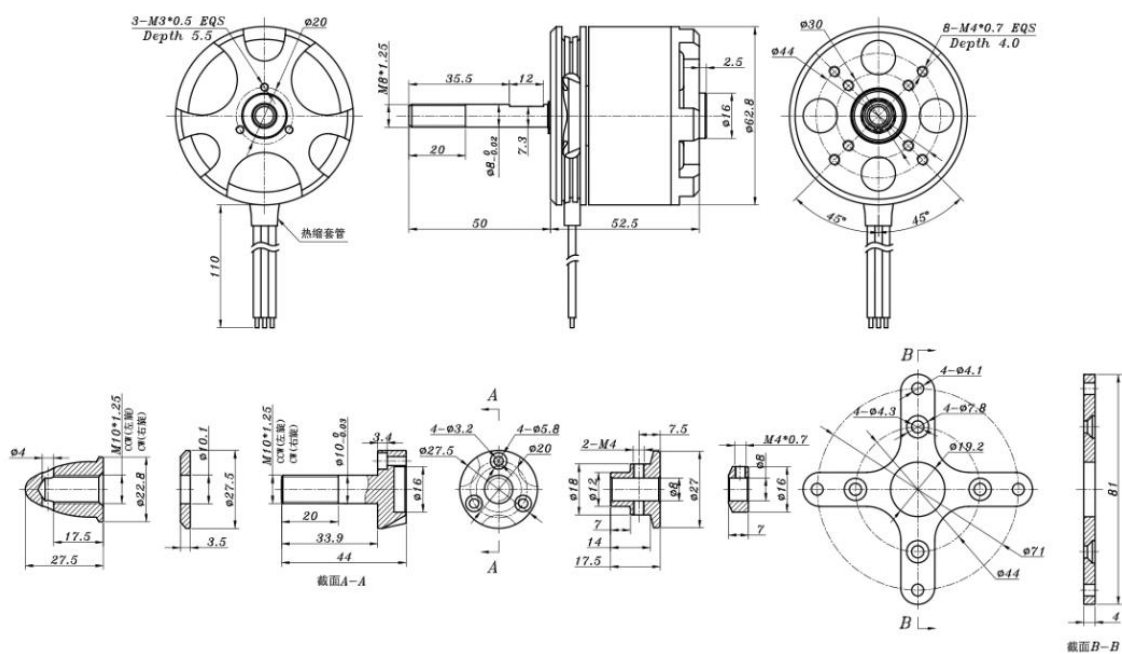
Teljesítmény	2000W
Maximum súly	600g
Maximum fordulatszám	9000rpm
Üzemi feszültség	0-40V
Ár	100 EUR

2. táblázat A motorral szembeni elvárások

A fenti paraméterek alapján több több gyártó termékét is megvizsgáltam. A legkedvezőbbnek egy japán gyártót az SunSkyt találtam. Az ő termékpalettájukon viszonylag kedvező áron található az előbbiekben feltárt paramétereknek megfelelő motorok. A végső választásom a X5325 KV 230. Az előzetes kívánalmak alapján ebből a típusból 2 db lesz beépítve értelem szerűen a szárnyak alatt elhelyezve.



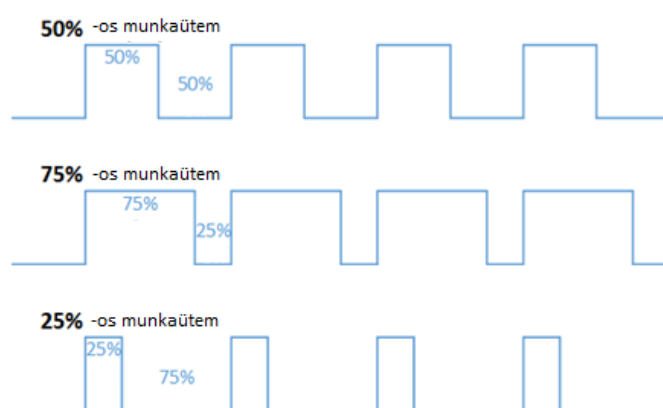
5. ábra Az erőforrás



6. ábra A motor műszaki tervei

4.5 Motorvezérlők specifikálása

A modern irányítástechnikában a legjobban bevált vezérlési mód egy megfelelő térvezérlésű tranzisztorokból kialakított kapcsolás, amit egy úgy nevezett pwm jellel szabályozunk. A PWM működési elve, hogy egy elektromos jel által szolgáltatott átlagos energia mennyiségét módosítja, modulálja, úgy, hogy azt kisebb diszkrét egységekre bontja. Ez fizikai értelemben annyit jelent, hogy egy fogyasztóba táplált átlagos elektromos feszültséget és áramerősséget a táp és a fogyasztó között levő kapcsoló gyors ütemű be- és kikapcsolásával szabályozza. [5]



7. ábra A PWM

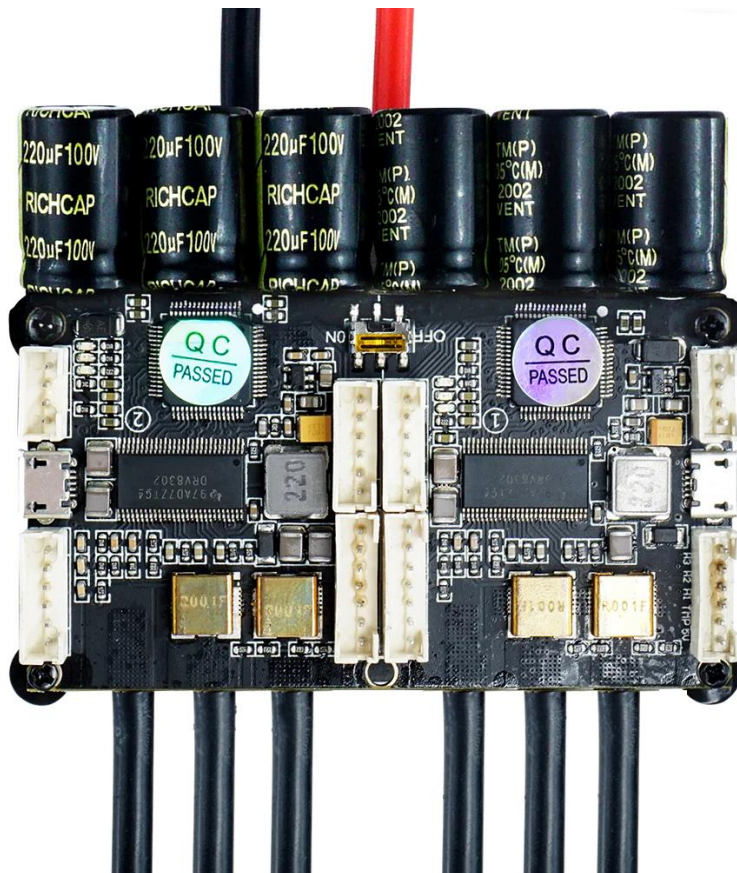
Ebben a témában az első kérdés, amit meg kell válaszolni az az, hogy ez egy különálló egység legyen, avagy integrálva legyen az irányítást végző mikroprocesszoros áramköri lapra. Meglátásom szerint ezt mindenképp külön egységként kell kezelni. Ennek több oka is van: Nem szerencsés integrálni a motorvezérlőt a központi elektronikába mert túlságosan komplex áramkört kapnánk, ami egy egység meghibásodása eseté az egész panel cseréjét okozza. Az ilyen teljesítmény áramkörök nagy hőt termelnek tehát célszerű lenne valamilyen olyan helyre elhelyezni a gépen, ahol megoldható a megfelelő hűtés. Célszerű a két motorhoz két független motorvezérlőt alkalmazni. Ez biztonsági okokból is előremutató döntés mert így két független rendszer áll rendelkezésre. Az egyik meghibásodása esetén a másik még használható marad. Ezek az érvek mentén haladva arra jutottam, hogy teljesen felesleges ilyen kapcsolást kialakítani, célszerű egy megfelelőt választani. Sok ilyen előre gyártott motorvezérlő létezik. Tehát meg kell határoznom a keresett kapcsolás kritériumait és az alapján választani a kínálatból.

Üzemi feszültség	37V
------------------	-----

Áramerősség	70A
Interface	UART, USB, SPI
Súly	400g

3.táblázat A motorvezérlő paraméterei

Kritériumok alapján arra jutottam, hogy a Flipsky Dual FSESC 4.20 elnevezésű termékét fogom használni. Habár így a két motor vezérlése nem lesz térben elválasztva és fennáll az egy idejű hajtáskimaradás mind a két motorban a súlycsökkentés és a költséghatékonysági szempontok jelen esetben prioritást élveznek. Ez az ESC használata nagyban megkönnyíti az irányító áramkörök tervezését is. Ebben az esetben az ESC-be integrált mikroprocesszor és a kialakított hardwares környezet a gyártó által dedikált firmwarrel önmagában képes működtetni a meghajtást. Külön PWM vezérlés megvalósítására a vezérlőegység (STM32-es kártya) nincs szükség.



8. ábra A motorvezérlő áramkör

4.6 Irányítás

A klasszikus repülőgépeken 3 fő funkcionális irányító rendszer áll rendelkezésre. Ezek a magassági, oldal és csűrő

kormányok. Ezek aerodinamikai kormányfelületek, működési elvük azon alapul, hogy a sárkányszerkezet alapvetően kiegyensúlyozott aerodinamikai jellegét oly módon változtatják meg, hogy a létrejövő kiegyensúlyozatlanságból fakadó gyorsulás vektor a kívánt irányba hasson és ezáltal a megfelelő irányba térítse ki a gépet. Ezek a kormányfelületek általában a szárnyakon és a farkon elhelyezkedő mozgatható lapok. Ebben a részben a lapokat mozgató úgynevezett szervomotorok működtetése a téma. Itt még konkrét szervoegység nem kerül kiválasztásra mert ahhoz előbb a sárkányszerkezetet kell meghatározni ugyanis a szükséges erők kiszámítása csak ezután lehetséges.

A digitalizáció korában élünk, így a fejlődés a szervogyártókat is elérte. Ennek megfelelően kifejlesztésre kerültek digitális jellel vezérelt szervók, ezeket Egy impulzusszélesség modulált jellel (PWM)-el vezérlik. Esetünkben is ilyet fogunk használni.



9. ábra Digitális szervó

4.7.1 Energiaellátás

Ahhoz, hogy konkrétan méretezni tudjuk a gép akkumulátorát és a napelemes rendszer teljesítményt ahhoz először kell készítenünk egy fogyasztáskalkulációt.

Meghajtás:

Fogyasztó megnevezése	Felvett villamos teljesítmény [Ah]
Meghajtás fogyasztás 25%-os gázkar állásnál	24,32
Meghajtás fogyasztás 50%-os gázkar állásnál	72,92
Meghajtás fogyasztás 75%-os gázkar állásnál	101,36
Meghajtás fogyasztás 100%-os gázkar állásnál	145,95

4.táblázat A meghajtás fogyasztása

Irányítás:

Fogyasztó megnevezése	Felvett villamos teljesítmény [Ah]
Vezérlő elektronika/kommunikáció	0,53-2,36
Kormányzás	max. 15
Pilótakamera	3

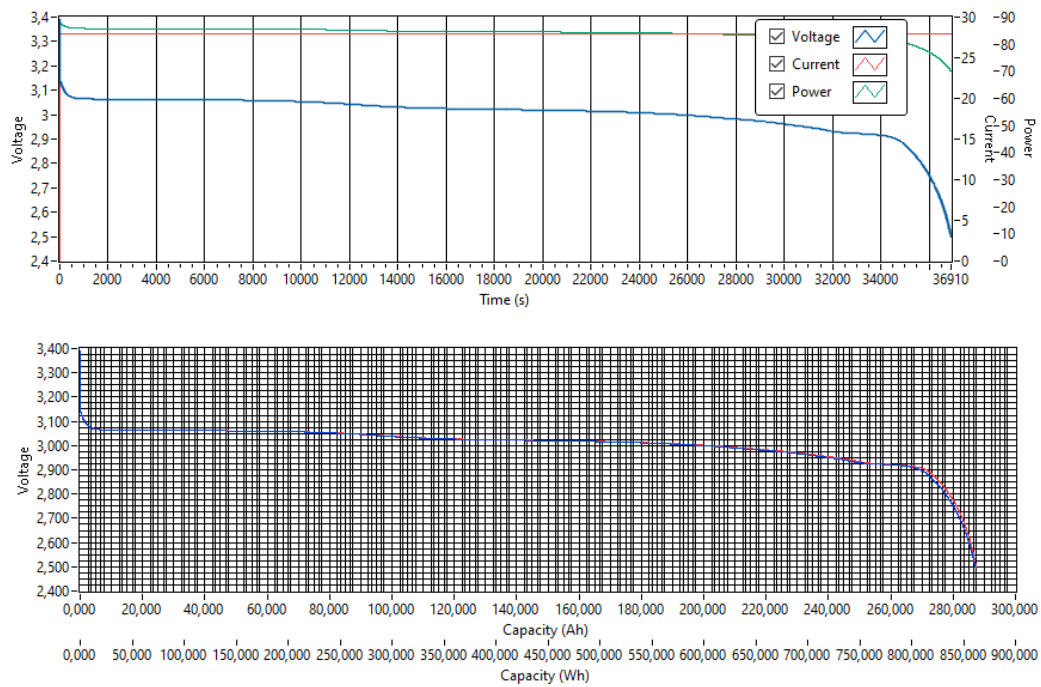
5.táblázat Az irányítás fogyasztása

Az akkumulátor kapacitásának meghatározásakor tekintettel kell lennünk a minimálisan garantált repülési idővel is. Ez esetünkben 1 órában lett meghatározva. Továbbá figyelembe kell venni, hogy a különböző feszültségszintek konverziójakor jelentős villamos veszteség lép fel. Én ezt 30%-os tényezővel veszem figyelembe. Ezek alapján kijelenthető, hogy egy 250Ah kapacitású akkumulátor megfelelő lesz a gép számára.

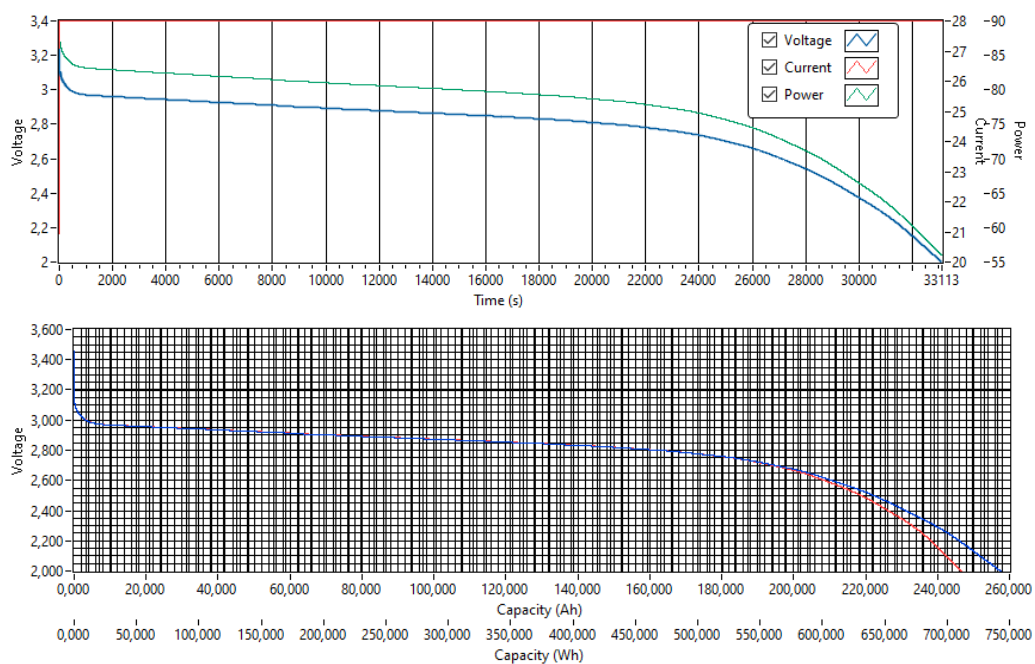
Korábbi munkáim során részt vettem lítium vasszfát akkumulátorok vizsgálatában, így rendelkezésemre áll olyan 3,3 V feszültségű akkumulátor, aminek a névleges kapacitása 280 Ah.

4.7.2 LFP71173207/280Ah LFP lithium battery

Ez az akkumulátor egy kínai gyártó terméke. Névleges kapacitása 280 Ah. Méréseim alátámasztják, hogy ez valóban kivethető teljesítmény. Az adatlapon szereplő kritériumoknak az akkumulátor megfelelt.



10.ábra Az akkumulátor kisülési karakterisztikája 10 celsius fokon



11.ábra Az akkumulátor kisülési karakterisztikája -10 celsius fokon

4.7.3 Tartalék akkumulátor

Biztonsági okokból megfontolandó kérdés egy tartalék akkumulátor beépítése is. Ez azért fontos mivel viszonylag nagy tömegű légi járműről lévén szó, a lehető legkisebbre kell mérsékelni annak a kockázatát, hogy irányítás nélkül, irányíthatatlanul repüljön/lezuhanjon a gép. Fontos tudni, hogy a meghajtás elvesztése egy repülőgépnél nem jelenti azt, hogy röpképtelenné válik az eszköz. A gép mindaddig vezethető ameddig a levegő megfelelő sebességű áramlását fent tudjuk tartani a szárnyon. Tehát az ilyen jellegű plusz teher, mint a plusz vészhelyzeti akkumulátor hordozása bizonyos helyzetekben megmentheti a drónt a teljes pusztulástól. Be kell látnunk, hogy akkora teljesítményt, ami a meghajtás akár csak $x\%$ -os húzóerőig biztosítaná nem lenne célszerű tartalék akkumulátorban a fedélzeten tartani mivel túlságosan nagy plusz súlyt jelentene. Az előzőekben kifejtettek alapján úgy vélem, hogy kisebb méretű tartalék, ami a kommunikációt, pilótakamerát és az irányítást képes működtetni az áramkimaradást követően 15 percig az elegendő. Ennél nagyobb tartalékra azért nincsen szükség mivel meghajtás hiányában a gép ennél több időt aligha képes a levegőben maradni.

4.7.4 A napelem specifikálása

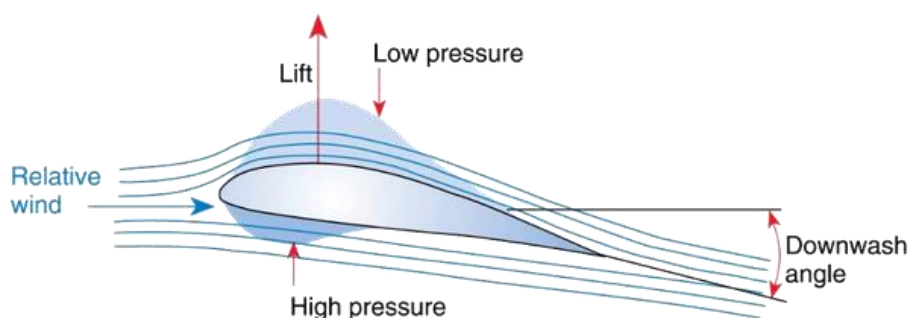
A hatótávolság növelésére az akkumulátor kapacitáson kívül alternatív megoldás egy napelemrendszer integrálása a rendszerbe. Olyan napelemes rendszer integrálása lenne a cél, ami képes tartósan a levegőben tartani a gépet. Ehhez egy olyan teljesítményű napelemes rendszer szükséges meglátásom szerint, ami képes a 40% hajtóműteljesítmény energiaigényét fedezni. Az előző részben meghatározott fogyasztás kalkuláció alapján ez 60Ah villamos energiatermelést igényel. Ez az érték már tartalmazza a termelési konverziókból származó veszteséget. Ez azt jelenti, hogy 12V-os rendszerben gondolkodva 700W-os napelem teljesítmény kiépítése lenne ideális.

MECHANIKAI TERVEK ELKÉSZÍTÉSE

Ebben a fejezetben egy olyan sárkányszerkezet kialakítása a téma, ami megfelelő platformként szolgál a projektnek.

5.1 Szárnygeometria meghatározása

Az aerodinamikában a közeg áramlását befolyásoljuk úgy, hogy a keletkező erőhatások eredőereje abba az irányba hasson, ami a kívánt haladási irány. A levegő áramlásának a befolyásolásának sok módja van, a repülőgépek esetében a szárnyak és a vezérsíkok szolgáltatják a különböző felhajtó, illetve forgató erőket. Nem törvénytörő, hogy az áramló közegbe helyezett szárnyprofil felhajtóerőt termel. Léteznek olyan profilok is, amiken nem képződik kitérítő erő, illetve megfigyelhetünk olyan profilgeometriákat is, amik leszorítóerőt termelnek. Ezeket jellemzően versenyautókon alkalmazzák. Egy repülő eszköznél pont az ellenkezőjét szeretnénk elérni. Itt az a fő szempont, hogy egy adott közegáramlási sebesség mellett a lehető legnagyobb felhajtóerőt generálja a lehető legkisebb légellenállás mellett. Az ilyen szárnyprofilokat nevezzük hatékony szárnyaknak. [6]



12.ábra A szárny működése

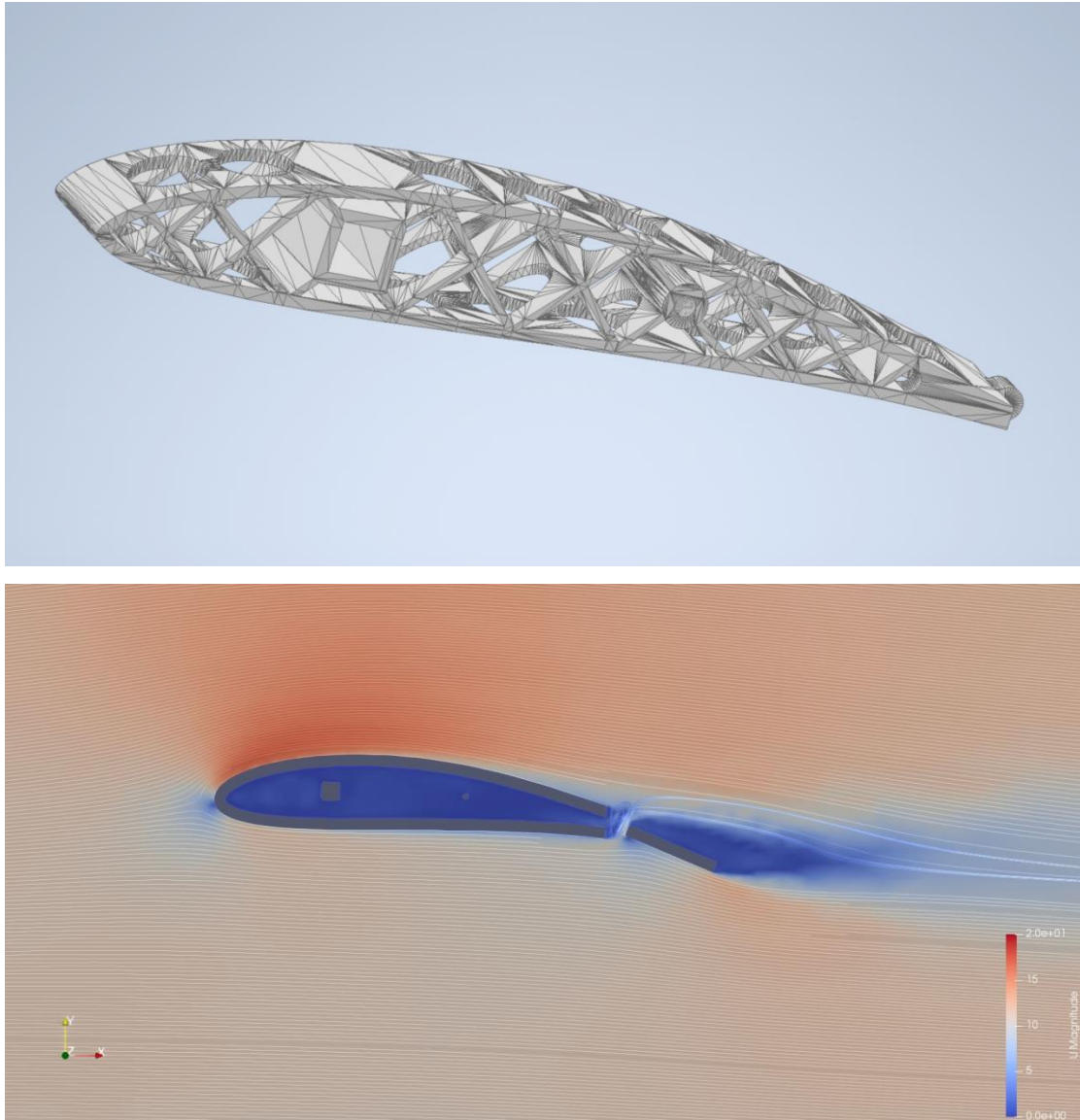
[<https://www.quora.com/How-does-a-wing-actually-work>]

Az ábra jól szemlélteti az aerodinamikai szárny működését. Jól látható, hogy a keletkező felhajtóerő két komponensből áll össze. A felhajtóerő 1/3 részben a szárny alatt kialakuló torlónyomás által létrehozott emelőerő, 2/3 részben pedig a szárny feletti gyors áramlat miatt kialakuló alacsony nyomású terület által gerjesztett szívóerő.

A konkrét méretezésnél meghatározó szempontok a maximális felszállótömeg és a minimális áramlási sebesség a szárnyak körül. A felhajtóerő mértéke megadható az alábbi képletből. [7]

$$LF = \frac{1}{2} \cdot A \cdot 1.2754 \cdot C_L \cdot V^2$$

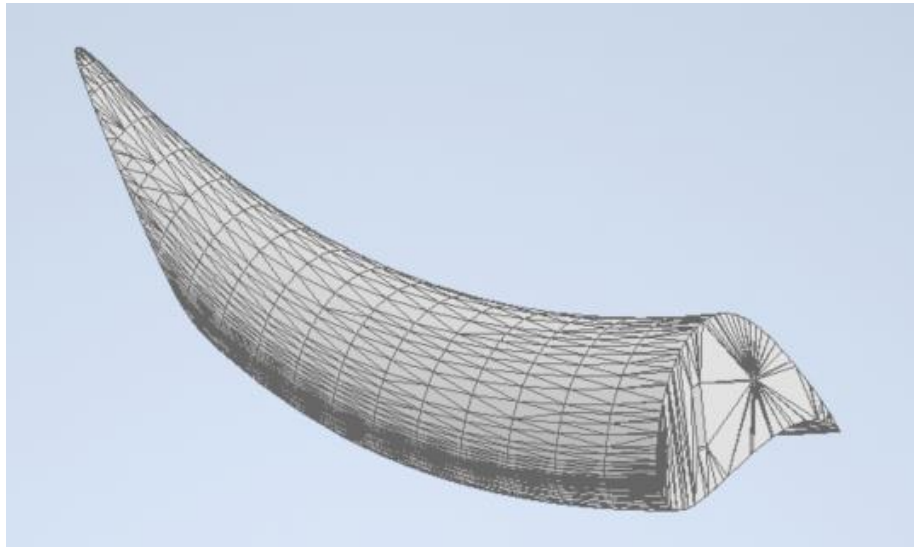
Tehát a 30kg-os maximális tömegű gép, ami 0,9 emelési együtthatójú és 1,5 négyzetméter nagyságú szárnyfelülettel rendelkezik annak nagyságrendileg 65 km/h-ás áramlási sebességre van szüksége 1,27 köbméter/kg sűrűségű levegőben a repüléshez. Ez azt jelenti, hogy 40 cm-es szárnyvastagság mellett 3,65 m-es fesztáv szükséges.



13.ábra A kialakított profil és a CFD szimulációja

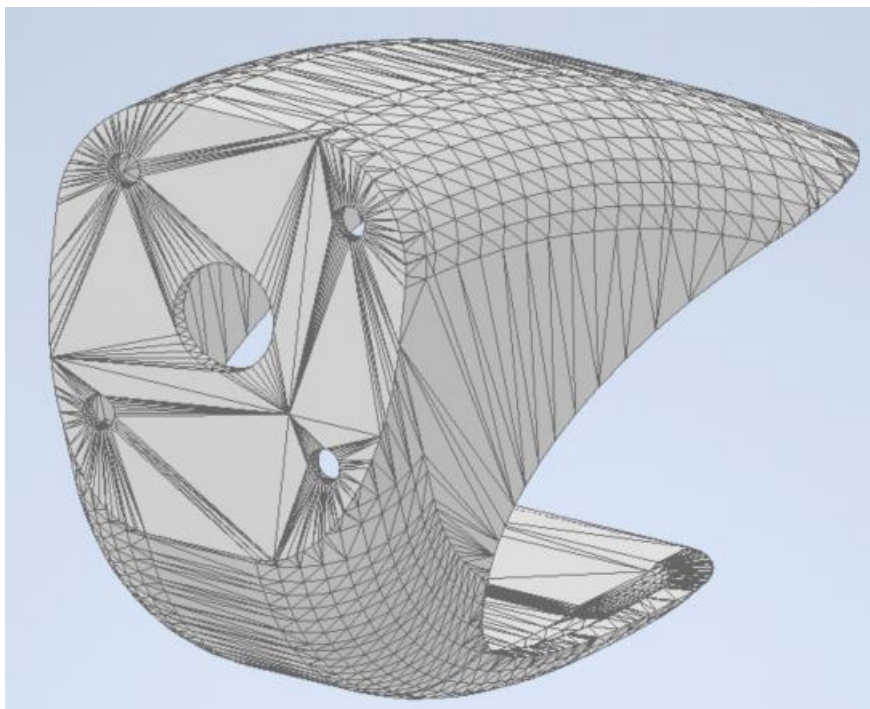
A szimuláción megfigyelhető, a vízszintesen, azaz 0 állásszöggel repülő szárny alján nem képződik torlónyomás azonban az alacsony nyomású terület szépen kialakul a szárny felett. A csűrőlap is kellő hatékonyságú.

A megfelelő szárnyvéglap kialakítása is fontos mert itt, ha nem kerül elkülönítésre az alsó magas és a felső alacsony áramlás akkor úgy nevezett szárnyvégi örvénylezés alakul ki, ami hatékonyságvesztéshez vezet. Ennek megfelelően az alábbi szárnyvég került kitakarításra. [8]



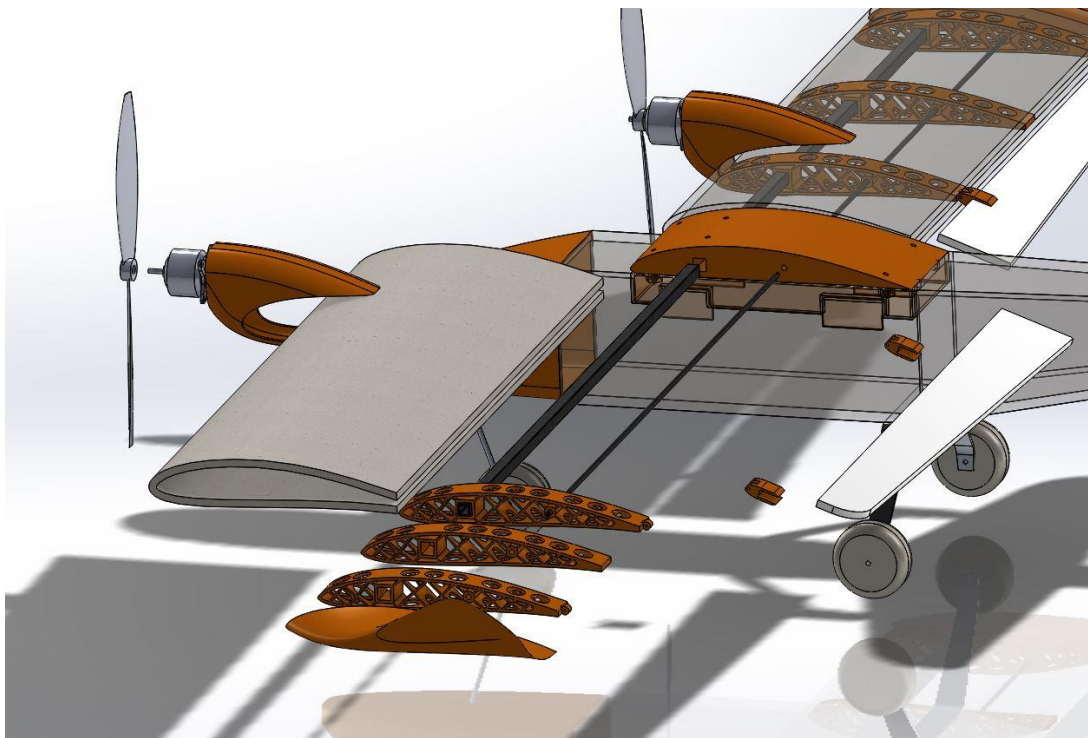
14.ábra A kialakított szárnyvég

A következő megtervezésre váró részlet a motorok rögzítésének a megoldása. A témában felmerült az esetleges szárny alá függesztett motorelhelyezés is de végül a szárny síkjába helyezett motor koncepció bizonyult jobbnak. Ez hatékonyabb megoldás aerodinamikai szempontból. Felmerülhet a kérdés, hogyha ez a hatékonyabb akkor miért helyezik a nagy utasszállítóknál a motorokat a szárny alá. Ennek gazdasági megfontolása van. Mivel így könnyebben cserélhető és ezáltal jelentősen csökkenthető az állásidő miatt fellépő bevételekiesés. Az általam választott kialakítás az alábbi illusztráción látható.



15.ábra A hajtómű konzolja

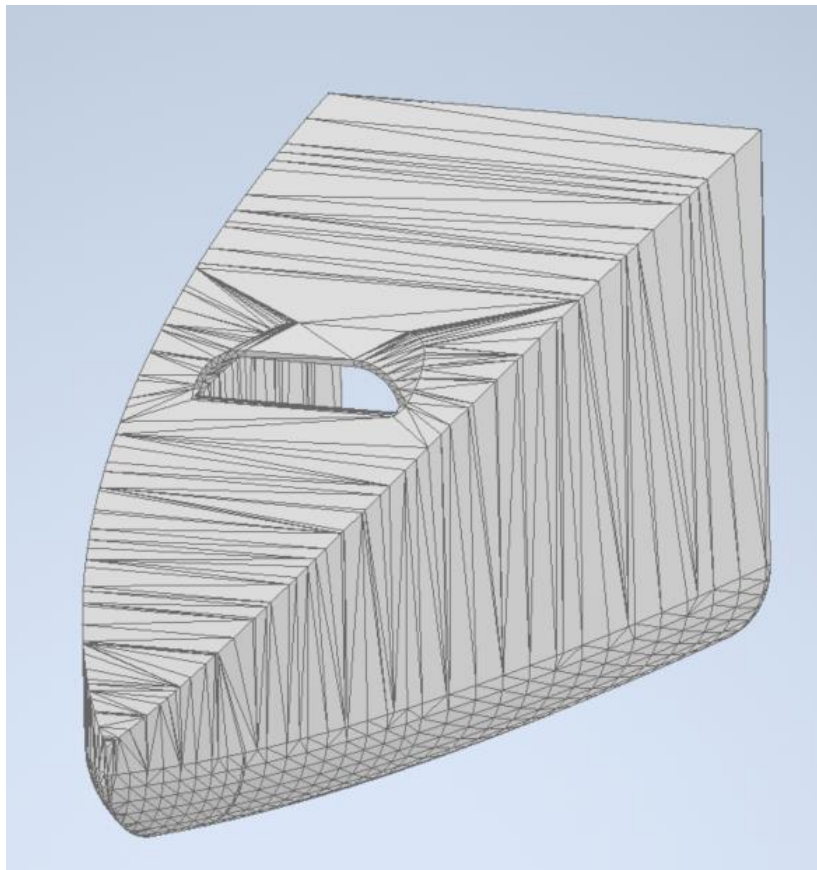
A szárny keresztirányú merevítése egy a teljes fesztávon végigfutó rúdpar segítségével kerül kialakításra. erre kérelmek felfűzésre a szárnyprofilt adó 3D nyomtatott profilelemek. Majd ezek kerülnek beborításra.



16.ábra A szárnyak felépítése

5.2 Az orr kialakítása

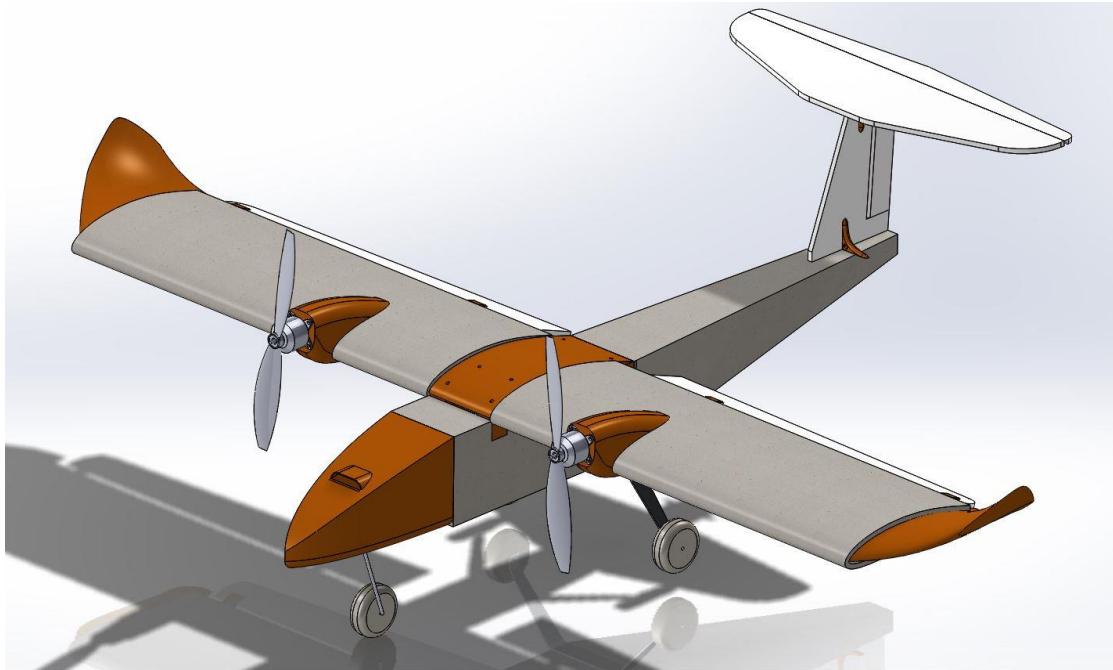
A sárkányszerkezet orrfelületének kialakítása szintén fontos feladat. Ez a rész találkozik először a levegővel ezért muszáj áramvonalas kialakításra szabni mivel ellenkező esetben a légellenállást jelentősen megnövelné. Fontos tényező, hogy nem fejthet ki forgatónyomatékokat a törzsre. Ha ez bekövetkezik akkor a repülőgép folyamatosan süllyedni vagy emelkedni fog, ami csak trimmerrel lesz kompenzálható, ami felesleges légellenállás növelő tényező. Mivel ez a rész viszonylag távol van a súlyponttól ezért a legkisebb nyomaték is elfordítja a gépet. Az orrkúpban kap helyet a pilóta kamera és a pitot cső is. Ennek kell egy megfelelő kilátást biztosító nyílás.



17.ábra Az orr kialakítása

5.3 A teljes szerkezet

Az elkészült sárkányszerkezet az alábbi módon áll össze.



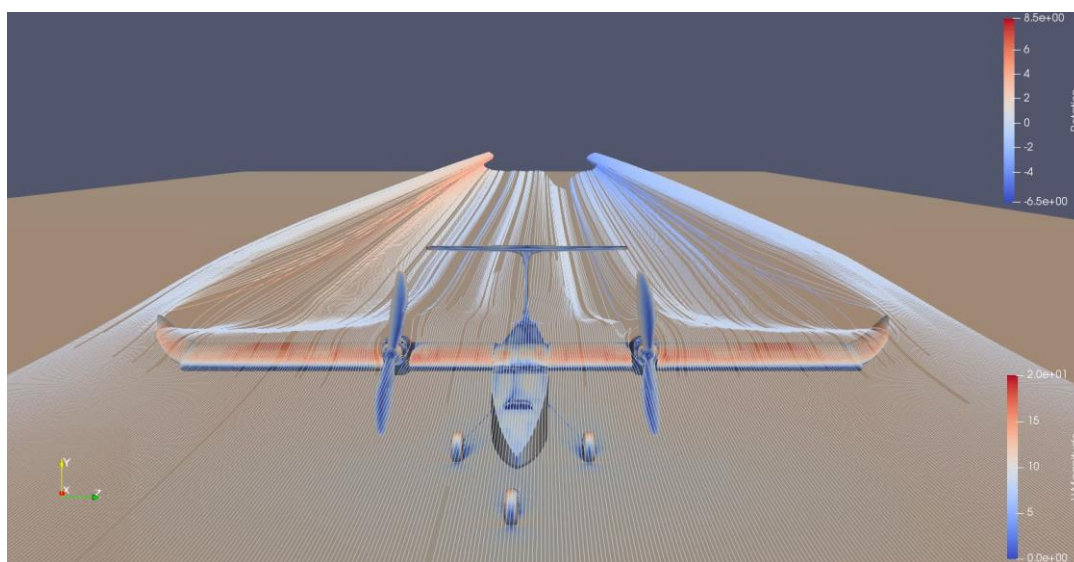
18.ábra A teljes gép

A teljes szerkezet áramlástanai vizsgálata kimutatta, hogy a szárnyvéglapok tökéletesen elszigetelik a különböző nyomású területeket. Az is bebizonyosodott, hogy sehol nem alakul ki olyan nyomáskörnyezet, ami gép vezethetőségét nagy mértékben rontaná.



19.ábra A teljes gép aerodinamikája

A motorrögzítő konzolok mögött megfigyelhető némi turbulens áramlás. Ez az ilyen felépítésű gépeknél mindig fellépő jelenség. Esetleg a motortartó konzolok formatervezésével kis mértékben javítható a kialakult áramlási kép.



20.ábra A teljes gép aerodinamikája szemből

A VEZÉRLŐ ÁRAMKÖR MEGTERVEZÉSE

6.1. Elektronikai tervezés - Kommunikációs egység

Ebben a részben a kommunikációs modem és a vele összefüggésben álló áramkörök megtervezése lesz téma.

6.2. Kommunikációs modem kiválasztása

A Quectel EG25 egy kiváló minőségű, sokoldalú modem, amely széles körű kommunikációs igényeket kielégít. A modem az IoT (Internet of Things) és az M2M (Machine-to-Machine) alkalmazások számára készült, és számos funkcióval rendelkezik, hogy megfeleljen az iparágak egyre növekvő követelményeinek.

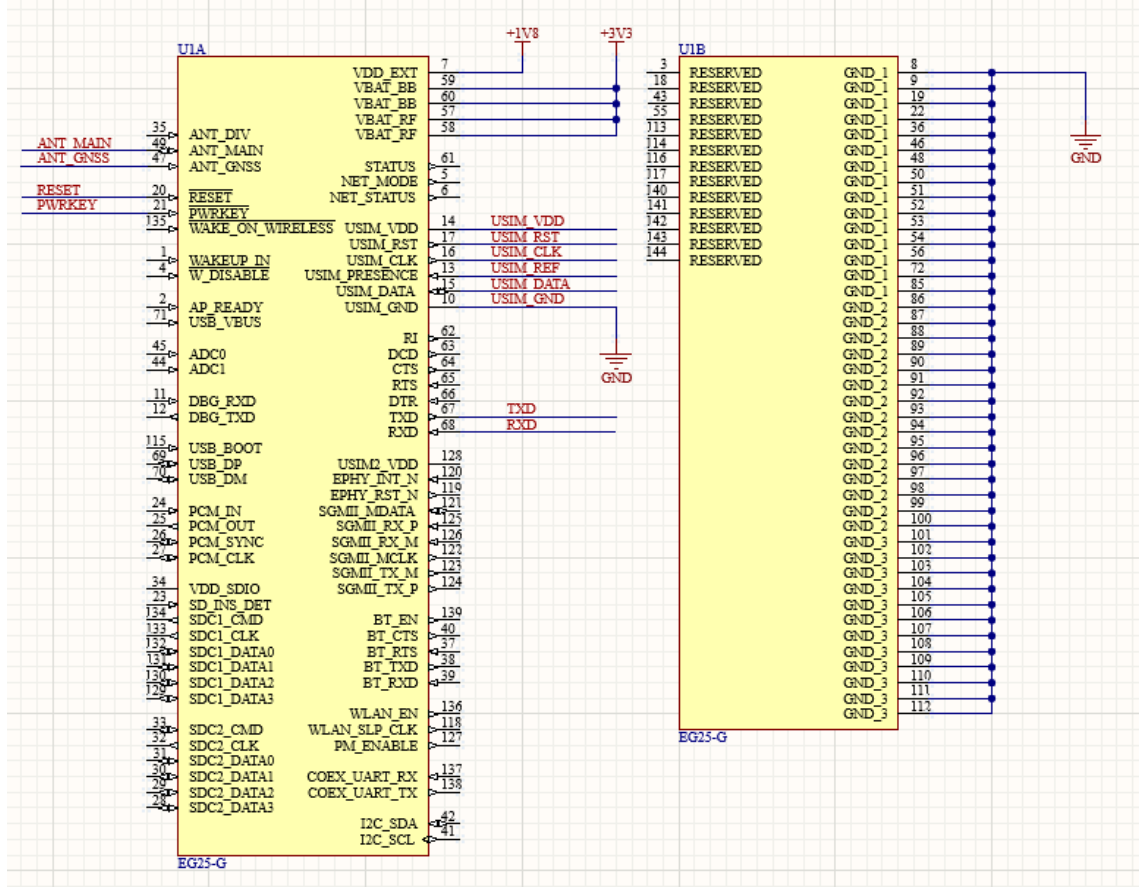
Az EG25 modem két változatban érhető el: az EG25-G és az EG25-GN. Mindkét változat támogatja a 4G LTE-t, valamint a multimódos kialakításnak köszönhetően képesek támogatni a 3G és a 2G hálózatokat is. Ez lehetővé teszi a modem számára, hogy rugalmasan alkalmazkodjon a rendelkezésre álló hálózati infrastruktúrához, és biztosítsa a folyamatos kapcsolatot az eszköz és a felhőszolgáltatások között.

Az EG25 modem kompakt méretének köszönhetően ideális megoldás olyan eszközökbe, mint például okoskészülékek, gépjárművek nyomkövető rendszerei, ipari érzékelők és távfelügyeleti rendszerek. A modem könnyen integrálható a különböző eszközökbe és alkalmazásokba, és magas szintű teljesítményt nyújt még a legkifinomultabb felhasználási területeken is.

A Quectel EG25 modemek nagy sebességű adatátviteli sebességet biztosítanak LTE hálózatokon keresztül, lehetővé téve például nagy adatmennyiségű multimédia tartalmak gyors letöltését és feltöltését. Emellett alacsony energiafogyasztásukkal hozzájárulnak az eszközök hosszú üzemidejéhez, ami kritikus fontosságú az IoT alkalmazásokban, ahol az eszközök gyakran hálózaton kívüli környezetben működnek.

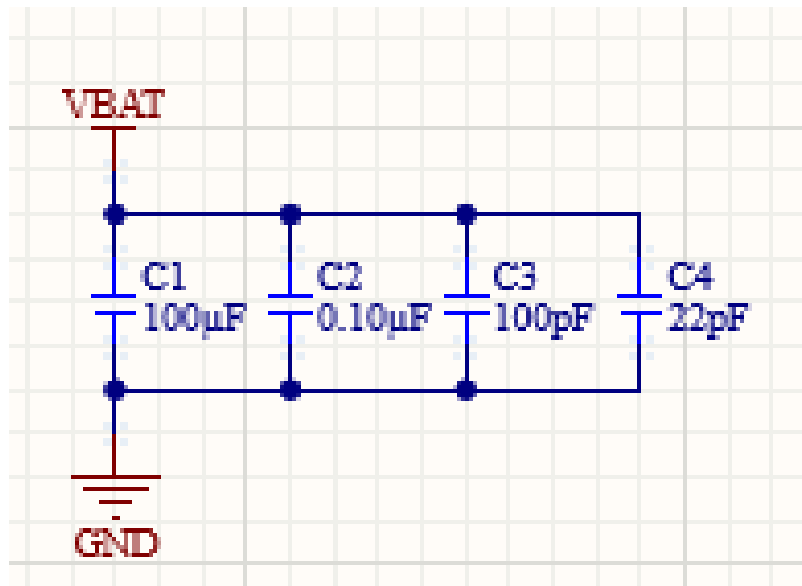
Összességében a Quectel EG25 modemek kiváló választásnak bizonyulnak azoknak a fejlesztőknek, akik megbízható, sokoldalú és hatékony kommunikációs megoldást keresnek IoT és M2M alkalmazásaikhoz. A modemek magas minősége és rugalmassága garantálja, hogy a felhasználók kiaknázhassák azokat az előnyöket, amelyeket a modern mobilhálózati technológia kínál az ipari és fogyasztói alkalmazások terén [9]

6.3. Az EG25 Kapcsolási rajza



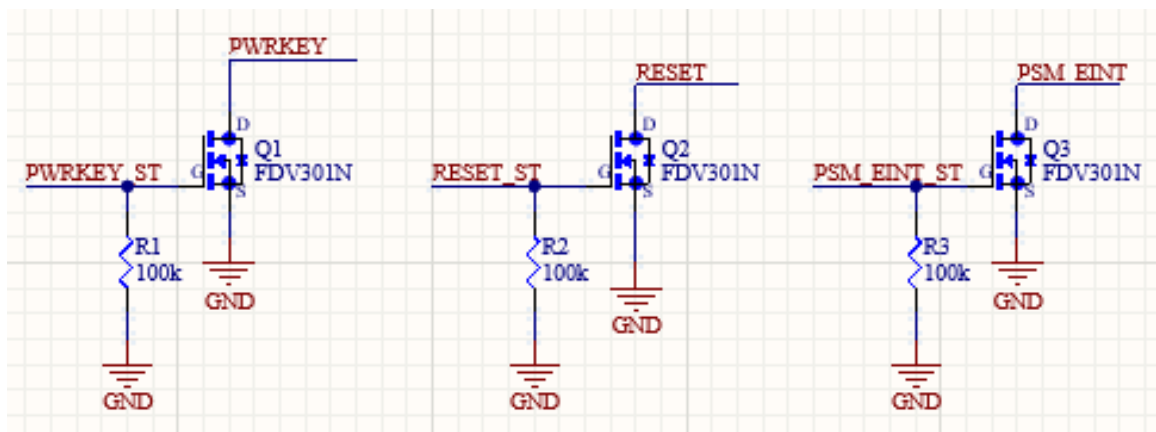
21. ábra az EG25 kapcsolási rajza

A modul stabilitásához elengedhetetlen az energiaellátás megfelelő biztosítása. A javasolt megoldás egy 0,5 A-es kimeneti áramú LDO használata. Fontos, hogy a modulnak 2,1 V és 3,63 V közötti tápfeszültséget biztosítsunk. Ügyeljünk arra, hogy a működés közben a bemeneti feszültség soha ne csökkenjen 2,1 V alá, mivel ez hibákat okozhat a modul működésében. A jobb teljesítmény érdekében ajánlott egy 100 μ F alacsony ESR-ű tantál kondenzátor ($ESR=0,7 \Omega$) és három kerámia kondenzátor (100 nF, 100 pF és 22 pF) elhelyezése a VBAT pinek közelében. Továbbá javasolt lehet TVS-diódát is elhelyezni a VBAT pinek közelében a túlfeszültség elkerülése érdekében. Az áramellátást az alábbi ábra szemlélteti. Ideális esetben minél hosszabb a VBAT nyomvonal, annál szélesebbnek kell lennie



22. ábra az EG25 tápellátásának pufferelése

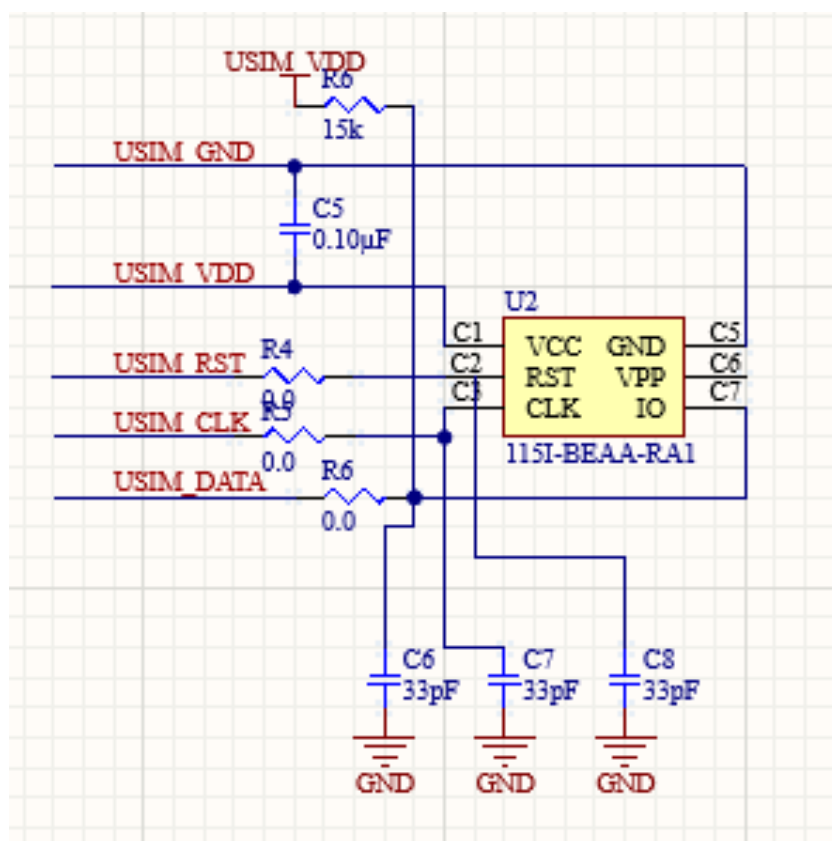
Az EG25 modul bekapcsolódásához legalább 500 ms-ig tartó alacsony szintre kell állítani a PWRKEY pint. Ezt a vezérlést egy n típusú FET végzi, hasonlóan a RESET és a PSM_EINT lábakhoz. Ezáltal a modul stabil működése biztosított a megfelelő bekapcsolási folyamat során.



23. ábra a ki és bekapcsolást megvalósító áramkör

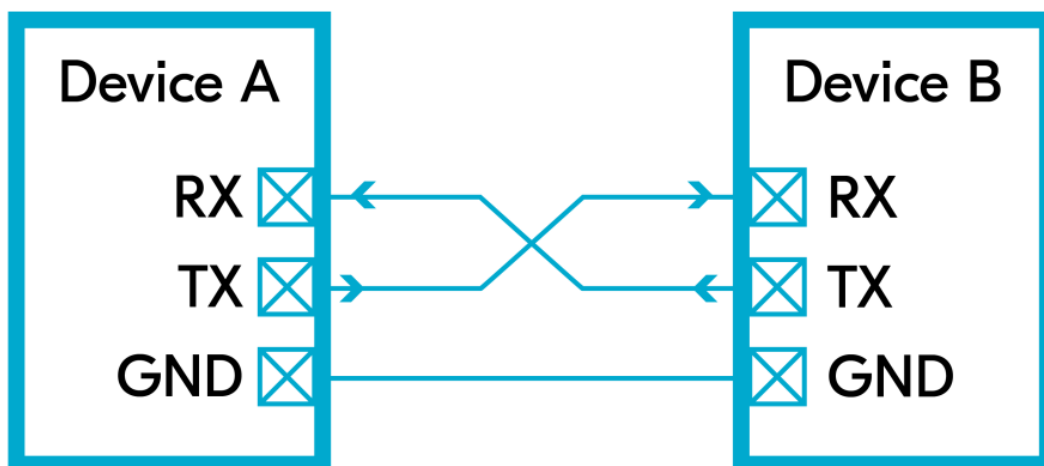
6.4 a SIM bekötése

A modul ISO/IEC 7816-3 szabványnak megfelelő USIM interfészt biztosít, így lehetővé teszi a modul számára, hogy kommunikáljon egy külső 1,8 V-os USIM kártyával. Ennek érdekében a külső USIM kártyát egy belső szabályozó hajtja meg a modulban, amely biztosítja a szükséges 1,8 V-os feszültséget. Ezáltal a modul képes biztonságosan és hatékonyan kommunikálni a külső USIM kártyával a megfelelő működés érdekében.

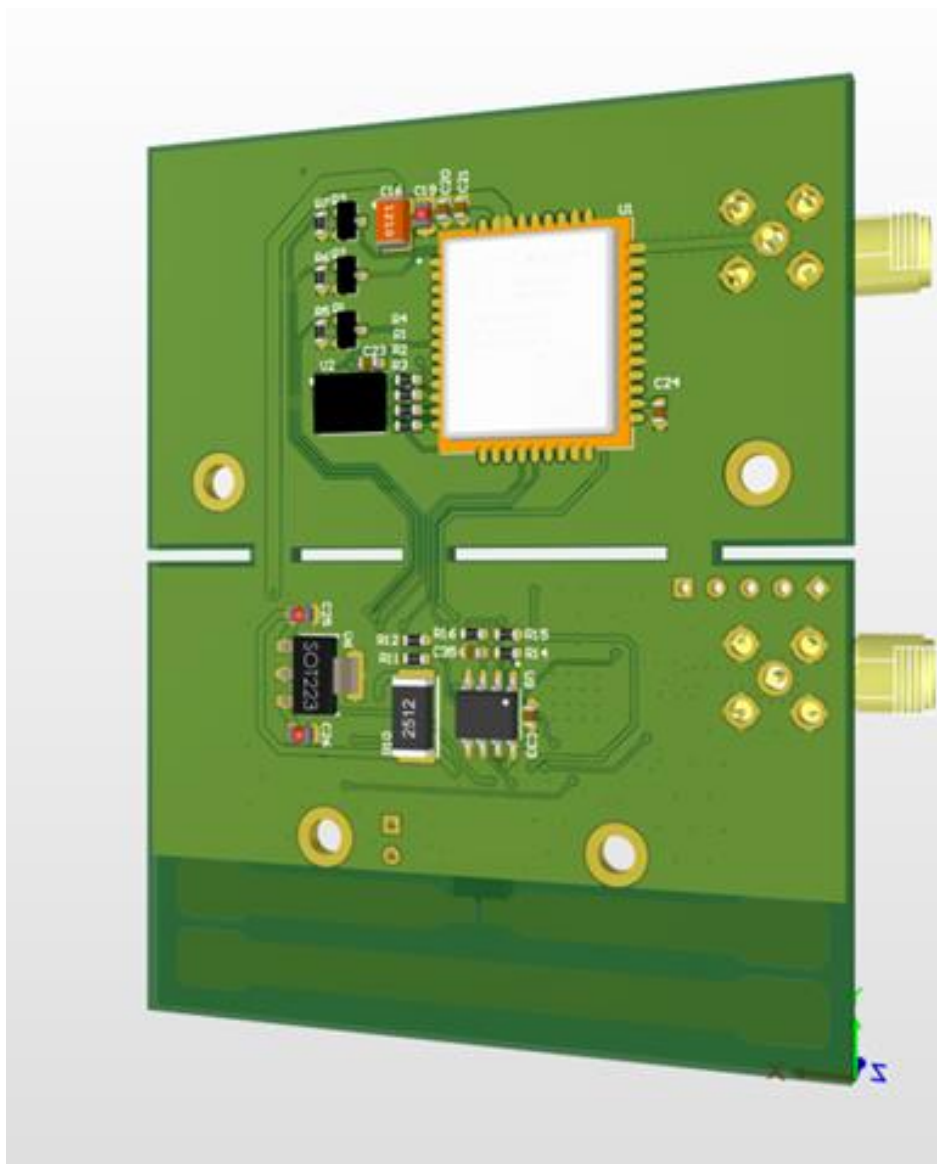


24. ábra SIM bekötése

A modullal történő kommunikáció a fő UART porton keresztül zajlik, AT parancsok segítségével. Ez a port felelős a firmware frissítéséért és az adatátvitelért is. Alapértelmezés szerint a modul auto-baud módban működik, és automatikusan állítja be a baud sebességet, feltéve, hogy az nem haladja meg a 115200 bps-t. Amikor a modul bekapcsol, az MCU-nak folyamatosan küldenie kell a parancsot a sebesség szinkronizálásához a modullal. Az "OK" visszajelzés azt jelzi, hogy a sebesség sikeresen szinkronizálódott. Amikor a modul felébred PSM módból, a baud sebesség automatikusan szinkronizálódik az indításkor. Ha a portot firmware frissítésére használják, az átviteli sebesség alapértelmezés szerint 921600 bps.[10]



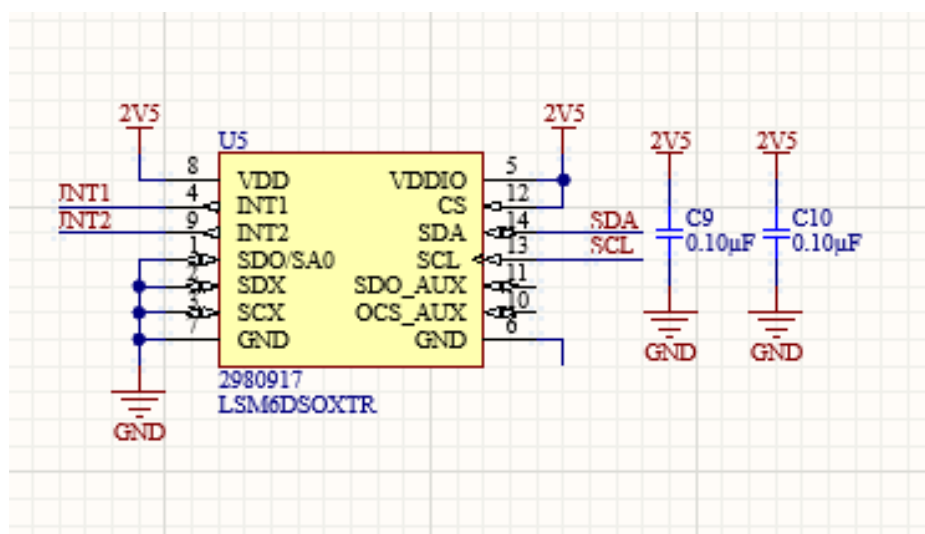
25. ábra az UART működése



26. ábra Az elkészült 4G egység

6.5. A térbeli orientálásra szolgáló egység megtervezése

Az inerciális mérőegységek, vagy IMU-k (Inertial Measurement Units), olyan eszközök, amelyek a térbeli pozíciót, az orientációt és a gyorsulást mérő szenzorokból állnak. Ezek az eszközök számos alkalmazásban hasznosak, például a repülésvezérlésben, a jármű navigációjában, a robotika területén és a virtuális valóságban.

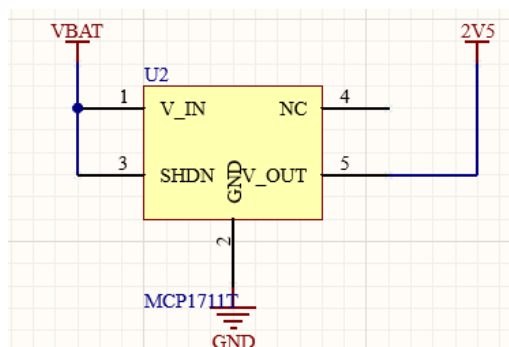


27. ábra az LSM6DSO bekötése

Az LSM6DSO egy integrált inerciális mérőegység (IMU), amely kombinálja a gyorsulásmérő és a giroszkóp funkcióit egyetlen chipben. Ez a szenzor képes mérni a gyorsulást és a szögsebességet három tengelyen keresztül, lehetővé téve az objektum mozgásának és tájolásának pontos követését.

Ez a szenzor rendelkezik beépített digitális jelfeldolgozóval is, amely lehetővé teszi az adatok gyors és hatékony feldolgozását, valamint a kimeneti adatok pontos kalibrálását és szűrését. Ezáltal az LSM6DSO képes pontos és stabil mérési eredményeket szolgáltatni még zajos környezetben is.

Az LSM6DSO szenzor két I2C lábon keresztül kommunikál a mikrovezérlővel: SDA (Serial Data Line) és SCL (Serial Clock Line).



28. ábra az MCP1711 bekötése

A szenzornak 2,5 voltos tápfeszültségre van szüksége. Ezt egy MCP1711 típusú LDO állítja elő.

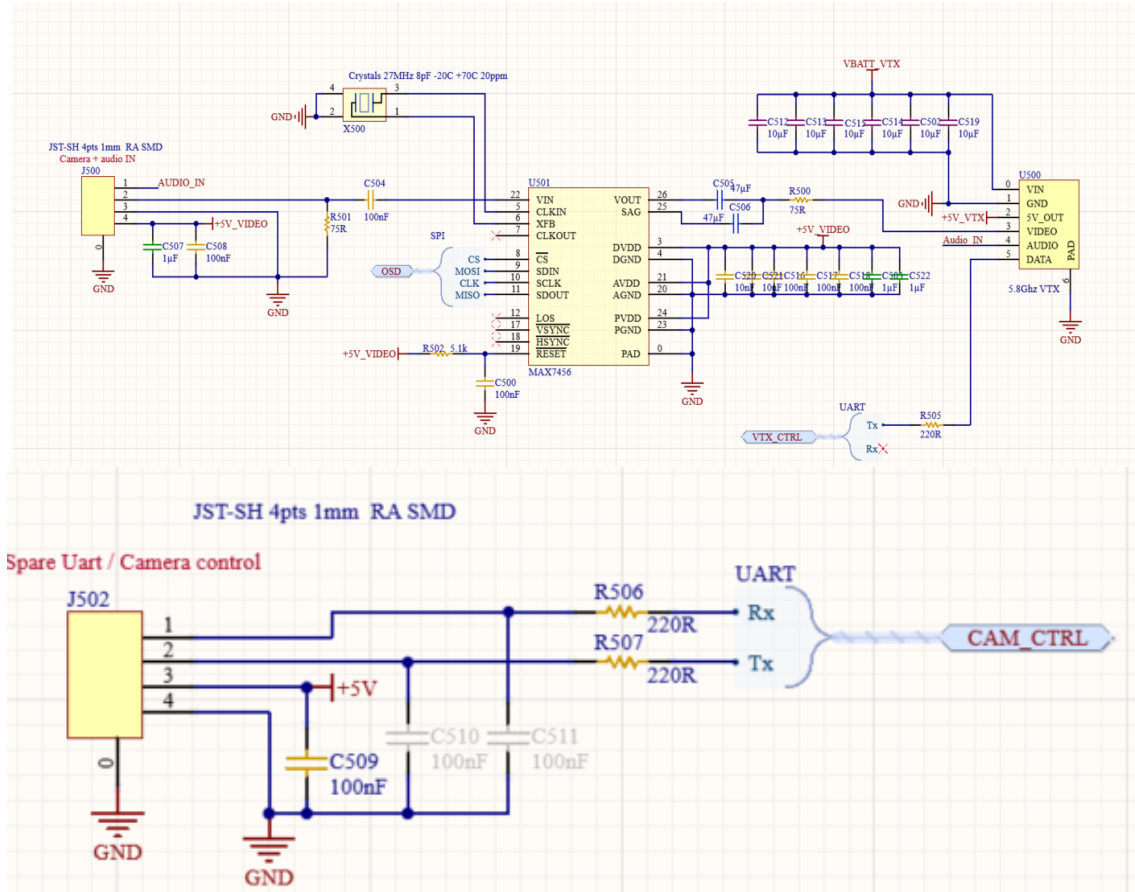
Az LDO-k, vagyis az alacsony esésű lineáris feszültszabályozók olyan eszközök, amelyek a bemeneti feszültséget stabil kimeneti feszültséggé alakítják áramkorlátozás segítségével. Ezek gyakran alkalmazott eszközök a villamos áramkörökben, amikor alacsony zajszintre, alacsony energiafogyasztásra és/vagy alacsony hőkibocsátásra van szükség.

Az LDO-k működési elve a bejövő feszültség és a kimeneti feszültség közötti feszültségkülönbség minimalizálásán alapul. Ennek eredményeként az LDO-k hatékonyan működnek akkor is, ha a bemeneti feszültség csak kismértékben magasabb a kimeneti feszültségnél. Ezáltal minimalizálják a teljes energiafelhasználást, és lehetővé teszik az alacsony feszültségű áramkörök hatékony működését.

Az LDO-kat széles körben használják az elektronikai eszközökben, mint például az akkumulátoros eszközökben, a mobiltelefonokban, a távvezérlőkben és más hordozható elektronikai eszközökben. Kiválóak olyan alkalmazásokhoz, ahol a stabilitás, a zajszint és az energiahatékonyság kulcsfontosságú szempontok.

Az LDO-k kiválasztásakor fontos figyelembe venni a kívánt kimeneti feszültséget, a terhelési áramot, az energiahatékonyságot és más alkalmazásspecifikus követelményeket. A megfelelő LDO kiválasztása jelentősen befolyásolja az áramkör teljesítményét és megbízhatóságát. [11]

6.6 A videókapcsolat megvalósítása

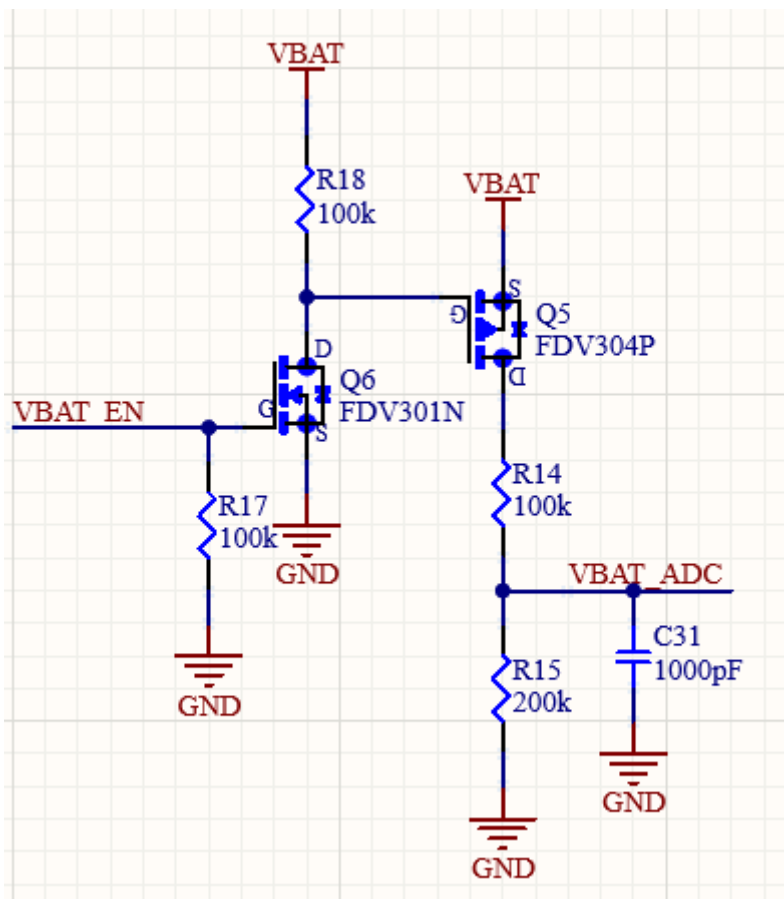


29. ábra a7456 IC és környezete

A MAX7456 kiváló minőségű videokimenetet biztosít, és kompatibilis a legtöbb videojelforrással. Alacsony fogyasztású és könnyen integrálható a különböző rendszerekbe, így ideális választás lehet FPV rendszerek, drónok vagy más videofelvétel-alapú alkalmazások számára, ahol fontos a pontos és részletes információk megjelenítése a videoképen.

6.8 Akkumulátor választás

A megfelelő akkumulátor kiválasztásában az a hierarchia került meghatározásra, miszerint a tartalék akkumulátor folyamatos galvanikus kapcsolatban áll a tápellátással. A fő üzemi akkumulátor azonban a fent látható kapcsoláson keresztül vezérelt reléken keresztül le, illetve bekapcsolható a hálózatba. Ebben a felállásban a tartalék akkumulátor mindig 100%-os töltöttségű lesz. A fő akkumulátor feszültség egy komparátor IC segítségével folyamatos monitorozás alatt áll, ha egy bizonyos szint alá esik a feszültsége automatikusan leválasztásra kerül a hálózatról. Ilyenkor a motorok működtetése letiltásra kerül. A tartalék akkumulátorról csak az irányítás és a kommunikáció működhet.



31. ábra a főakkumulátort engedélyező áramkör

A MOSFET, vagyis a Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, egy olyan félvezető eszköz, amely széles körben használatos az elektronikában, például kapcsolóként vagy erősítőként. A MOSFET-eknek két fő típusa van: a N-csatornás (N-channel) és a P-csatornás (P-channel), melyek az áramvezetésre vagy a vezérlésre használják a pozitív vagy negatív töltésű elektronokat.[12]

Az N-csatornás MOSFET-ekben a csatorna negatív töltésű, míg a P-csatornás MOSFET-ekben pozitív töltésű. A működési elv az elektronsugárzási hatásokon alapul, ahol egy kapacitív réteget (a gate-oxide réteget) vezérlő elektróddal (a gate) együtt használnak, hogy szabályozzák az áramot a csatornában.

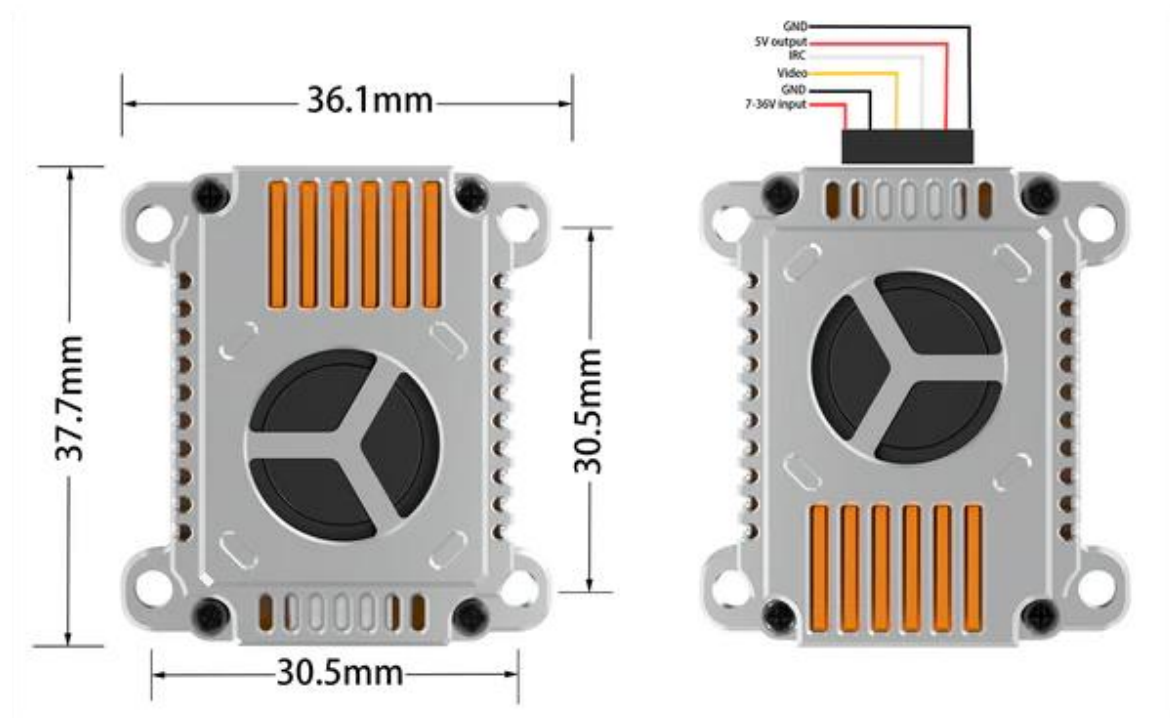
A MOSFET-eknek számos előnye van az analóg és digitális áramkörökben. Például alacsony vezérlőfeszültség, gyors kapcsolási idő, kis kapacitás és alacsony kapcsolódási ellenállás jellemzi őket. Ezek a tulajdonságok ideálisak olyan alkalmazásokhoz, ahol nagy áramokat kell kapcsolni nagy sebességgel vagy ahol a kis energiaveszteség és a kis hőtermelés fontos.

A MOSFET-eket széles körben alkalmazzák az energiaátviteli rendszerekben, motorvezérlésben, tápegységekben, audio erősítőkben és más olyan alkalmazásokban, ahol nagy teljesítményre van szükség. A megfelelő MOSFET kiválasztása nagyban befolyásolja az áramkör hatékonyságát, stabilitását és megbízhatóságát, ezért fontos figyelembe venni az alkalmazásspecifikus követelményeket és paramétereket, például a vezérlőfeszültséget, az átviteli ellenállást és a kapacitást a megfelelő eszköz kiválasztása során.

6.9 A mikrokontroller és környezete

6.9 A rádiófrekvenciás videójel jeltovábbítás

Erre a feladatra az úgy nevezett VTX modul egy bevált eszköz. A piacon rendelkezésre áll több gyártó terméke is. Én egy nagy hatótávolságú 1,2GHz-es kivitelét választottam.



33. ábra a VTX

Az alábbiakban olvasható az 1.2G/1.3G hosszú hatótávolságú FPV (First Person View) VTX (Video Transmitter) eírása:

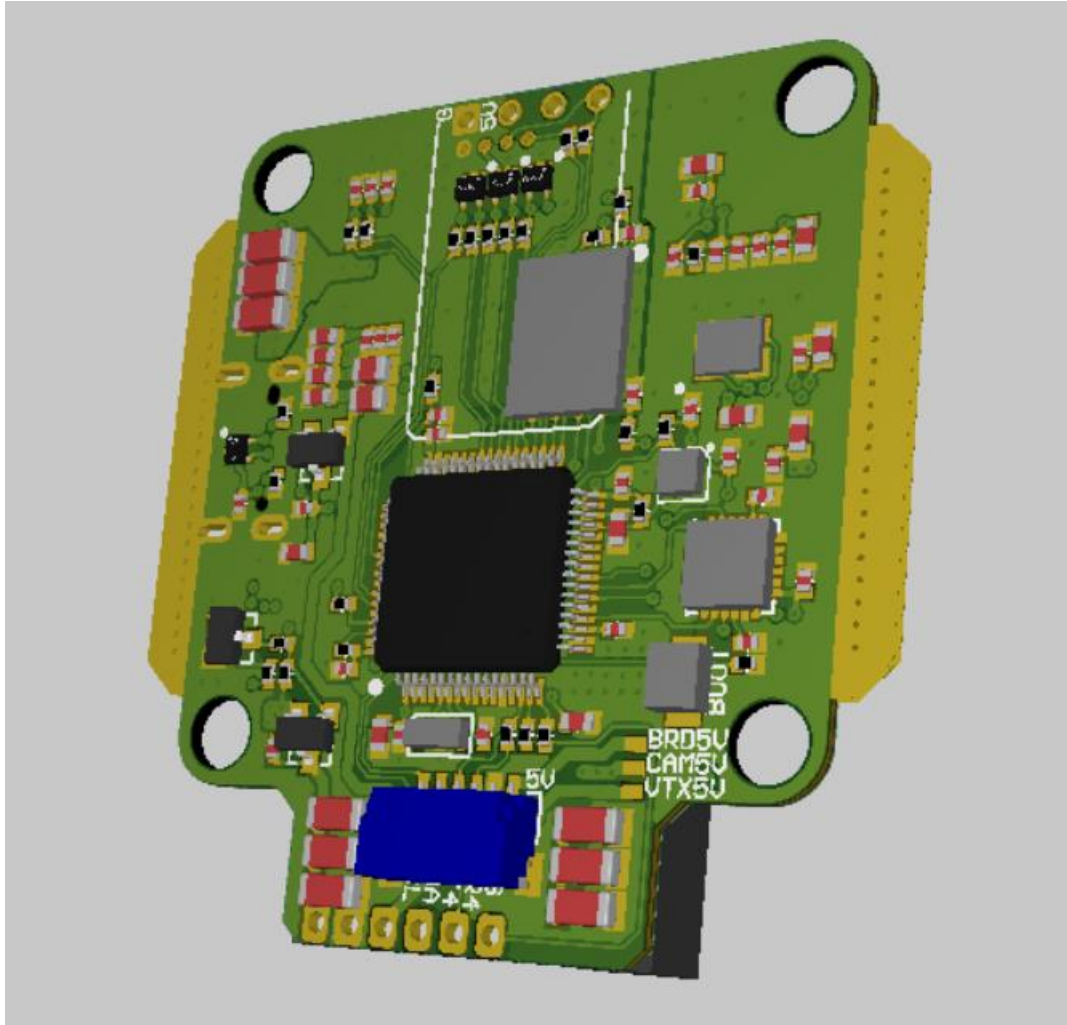
Az 1.2G/1.3G hosszú hatótávolságú FPV VTX egy kiváló minőségű videóadó, melyet kifejezetten rádióvezérelt repülőgépek és drónok FPV rendszeréhez terveztünk. Az eszköz lehetővé teszi a nagy távolságok áthidalását és a stabil videójel továbbítását a felhasználóknak. Ez a VTX két frekvenciasávban működik, 1.2G vagy 1.3G, melyek kiváló teljesítményt és megbízhatóságot nyújtanak. A nagy teljesítményű kimenet, 2000mW, lehetővé teszi a nagyobb távolságokra való adást, miközben gondoskodunk a helyi jogszabályoknak megfelelő teljesítmény szabályozásáról.

A VTX 9 különböző csatornát kínál, hogy választhassunk a legjobb vétel érdekében. Emellett rendelkezik OSD funkcióval, ami lehetővé teszi az adó beállításainak megjelenítését a videókimeneten keresztül, és támogatja a Betaflight-et és a Smart Audio-t. A MMCX csatlakozó könnyű és biztonságos csatlakozást biztosít az antennához.[13]

Ez az FPV VTX tökéletes választás azoknak az alkalmazásoknak, ahol nagy hatótávolságú FPV szükséges, és fontos a stabil videójel. Biztosítjuk, hogy a termék megfelel minden releváns

szabványnak és előírásnak, és arra ösztönözzük a felhasználókat, hogy gondoskodjanak a helyi jogszabályok betartásáról és az antennakonfiguráció megfelelő beállításáról a legjobb teljesítmény és legális használat érdekében.

7.0 Az elkészült vezérlőáramkör



34. ábra az elkészült vezérlőáramkör

A végleges kialakításban VTX egység integrálható a nyomtatott áramkörre, de a jobb elhelyezés érdekében egy D-sub csatlakozón keresztül is csatlakoztatható és tetszőlegesen elhelyezhető a fedélzeten.

ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozat részletesen elemzi és bemutatja egy 4G és 1.2GHz-es távirányítással rendelkező UAV (Unmanned Aerial Vehicle) tervezését és megvalósítását. Az UAV-k jelentőségének növekedésével a drónok tervezése és fejlesztése egyre fontosabbá válik, különösen az olyan speciális funkciókat és tulajdonságokat tekintve, mint a távirányítás, a meghajtórendszer, a mechanikai tervek és a jogi háttérük.

A szakdolgozat részletesen tárgyalja az UAV jogi háttérét, különös tekintettel azokra az előírásokra és szabályozásokra, amelyek az ilyen típusú nagyobb UAV-kra vonatkoznak. Kiemeli az engedélyezési folyamatokat, a repülési korlátozásokat és a felelősségbiztosítási követelményeket, amelyekre figyelemmel kell lenni az UAV működtetése során.

A mechanikai tervezés részletesen elemzi az UAV testének és alkatrészeinek tervezési folyamatát. Ez magában foglalja az aerodinamikai tervezést, a szerkezeti elemzéseket és az anyagválasztást, amelyek mind meghatározzák az UAV stabilitását és repülési teljesítményét.

A távirányítás részletesen bemutatja az UAV távirányító rendszerét, beleértve a vezérlő elektronikát, a kommunikációs protokollokat és a vevőegységeket. Kiemeli a távvezérlő rendszer megbízhatóságának és teljesítményének fontosságát az UAV biztonságos és hatékony működése érdekében.

A nyáktervezés részletesen tárgyalja az UAV elektronikai áramkörének tervezési folyamatát. Ez magában foglalja az áramköri tervező szoftverek használatát, az áramköri elemek elhelyezését és összekötését, valamint az áramkör terhelési és működési jellemzőinek elemzését.

A felhasználási területek vizsgálata során részletesen elemzi az UAV-k sokféle alkalmazási lehetőségét, mint például légifényképezés, távérzékelés, mentési műveletek stb. Ez segíti a tervezőket az UAV-k megfelelő funkcióinak és tulajdonságainak meghatározásában az adott felhasználási terület igényei szerint.

A meghajtórendszer méretezése fontos lépés az UAV tervezésében, mivel a megfelelő meghajtórendszer kiválasztása és méretezése meghatározza az UAV repülési teljesítményét és hatótávolságát. Ez magában foglalja a hajtómű típusát és teljesítményét, az energiaforrások kiválasztását és kapacitását, valamint a repülési teljesítmény szimulációját és elemzését.

Az UAV felhasználási területeinek és meghajtórendszer méretezésének alapos elemzése segíti a tervezőket és fejlesztőket az optimális UAV kialakításában és működtetésében, valamint hozzájárul a technológiai fejlődéshez és az UAV-k széleskörű alkalmazásához a gyakorlati életben. A szakdolgozat fő célja a szakmai és tudományos közösség figyelmének felkeltése az UAV-k tervezésének és fejlesztésének fontos kérdéseire, valamint az ehhez kapcsolódó jogi és műszaki kihívásokra.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Facharbeit analysiert und präsentiert ausführlich das Design und die Umsetzung einer Drohne (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) mit 4G- und 1,2-GHz-Fernsteuerung. Mit dem zunehmenden Stellenwert von Drohnen wird deren Gestaltung und Entwicklung immer wichtiger, insbesondere im Hinblick auf spezielle Funktionen und Eigenschaften wie die Fernsteuerung, das Antriebssystem, mechanische Pläne und rechtliche Rahmenbedingungen.

Die Arbeit behandelt ausführlich die rechtlichen Rahmenbedingungen für UAVs, insbesondere die Vorschriften und Regelungen für größere UAVs. Es werden Genehmigungsverfahren, Flugbeschränkungen und Haftpflichtversicherungsanforderungen hervorgehoben, die bei der Betreibung von UAVs zu beachten sind.

Im Bereich des mechanischen Designs wird der Entwurfsprozess für den Körper und die Komponenten der Drohne detailliert analysiert. Dies umfasst aerodynamisches Design, strukturelle Analysen und Materialauswahl, die alle die Stabilität und Flugleistung der UAV beeinflussen.

Die Fernsteuerung präsentiert das Steuersystem der UAVs im Detail, einschließlich der Steuerungselektronik, Kommunikationsprotokolle und Empfangseinheiten. Die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit des Fernsteuersystems werden als entscheidend für den sicheren und effizienten Betrieb der UAVs hervorgehoben.

Das Leiterplattenlayout diskutiert ausführlich den Designprozess für die elektronischen Schaltkreise der UAVs. Dies beinhaltet die Nutzung von Leiterplatten-Designsoftware, die Platzierung und Verbindung der Schaltungselemente sowie die Analyse der Belastungs- und Betriebsmerkmale der Schaltung.

Die Untersuchung der Anwendungsbereiche betrachtet ausführlich die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von UAVs, wie Luftbildfotografie, Fernerkundung, Rettungseinsätze usw. Dies hilft den Designern, die geeigneten Funktionen und Eigenschaften der UAVs entsprechend den Anforderungen des jeweiligen Anwendungsbereichs festzulegen.

Die Dimensionierung des Antriebssystems ist ein wichtiger Schritt bei der Gestaltung von UAVs, da dies die Flugleistung und Reichweite der UAVs bestimmt. Dies umfasst die Auswahl und Dimensionierung der Antriebsmotoren, die Auswahl und Kapazität der Energiequellen sowie die Simulation und Analyse der Flugleistung.

Eine gründliche Analyse der Anwendungsbereiche und des Antriebssystems von UAVs unterstützt die Designer und Entwickler bei der optimalen Gestaltung und Betrieb der UAVs und trägt zur technologischen Entwicklung und breiten Anwendung von UAVs im praktischen Leben bei. Das Hauptziel der Arbeit ist es, das Interesse der Fach- und Wissenschaftsgemeinschaft an wichtigen Fragen des UAV-Designs und der Entwicklung sowie an den damit verbundenen rechtlichen und technischen Herausforderungen zu wecken.

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra 4G lefedettségi térkép Magyarországon.....	10
[https://www.vodafone.hu/hasznos-informaciok/lefedettsegi-terkep]	
2. ábra 4G sebessége Európában Mb/s-ben.....	11
[https://www.vodafone.hu/hasznos-informaciok/lefedettsegi-terkep]	
3. ábra STM32H742- típusú kontroller.....	14
[https://hu.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/STM32H742VGT6?qs=%252B6g0mu59x7J82jMK97FZmQ%3D%3D]	
4. ábra A választott légszárító.....	16
[https://hu.banggood.com/1pc-or-2pcs-or-3pcs-or-4pcs-or-5pcs-or-10pcs-Eachine-P-40-Fighter-400mm-RC-Airplane-Spare-Part-3-Blade-Propeller-With-Spinner-Screw-p-1970820.html?utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_organic&gmcCountry=HU&utm_content=minha&utm_campaign=aceng-pmax-hug-hu-pc¤cy=HUF&cur_warehouse=CN&createTmp=1&ID=557529&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_eu&utm_content=dcr&utm_campaign=aceng-pmax-hug-all-2303sale-230316&ad_id=&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw88yxBhBWEiwA7cm6pRkVPpxal0eneQh8SFjKzNJbZvr7i2Lo6CN8CR2ARFFCdokl3TdZKR0C7HkQAvD_BwE]	
5. ábra Az erőforrás.....	18
[https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-x5325-brushless-motors]	
6. ábra A motor műszaki tervei.....	18
[https://sunnyskyusa.com/products/sunnysky-x5325-brushless-motors]	
7. ábra A PWM.....	19
8. ábra A motorvezérlő áramkör.....	20
9. ábra Digitális szervó.....	21
[https://www.conrad.hu/hu/p/amewi-standard-szervo-6221mg-digitalis-szervo-hajtomu-anyag-fem-dugaszolo-rendszer-jr-1953723.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw88yxBhBWEiwA7cm6pVL6YCYesagx2RX1yJQJnfHDo8Bfy-Nd8N2itcaIaKsCgmlbAIUdJR0CFCkQAvD_BwE&refresh=true]	
10. ábra Az akkumulátor kisülési karakterisztikája 10 celsius fokon.....	23
11. ábra Az akkumulátor kisülési karakterisztikája -10 celsius fokon.....	23
12. ábra A szárny működése.....	25
[https://www.quora.com/How-does-a-wing-actually-work]	
13. ábra A kialakított profil és a CFD szimulációja.....	26
14. ábra A kialakított szárnyvég.....	27
15. ábra A hajtómű konzolja.....	28
16. ábra A szárnyak felépítése.....	28
17. ábra Az orr kialakítása.....	29
18. ábra A teljes gép.....	30
19. ábra A teljes gép aerodinamikája.....	31
20. ábra A teljes gép aerodinamikája szemből.....	31
21. ábra Az EG25 kapcsolási rajza.....	33
22. ábra Az EG25 tápellátásának pufferelése.....	34
23. ábra A ki és bekapcsolást megvalósító áramkör.....	34
24. ábra SIM bekötése.....	35

25. ábra Az UART működése.....	36
[https://academy.nordicsemi.com/courses/nrf-connect-sdk-fundamentals/lessons/lesson-4-serial-communication-uart/topic/uart-protocol/]	
26. ábra Az elkészült 4G egység.....	36
27. ábra Az LSM6DSO bekötése.....	37
28. ábra Az MCP1711 bekötése.....	38
29. ábra Az 7456 IC és környezete.....	39
30. ábra A nyomásmérő IC és környezete.....	40
31. ábra A főakkumulátort engedélyező áramkör.....	41
32. ábra AZ MCU és környezete.....	43
33. ábra A VTX.....	44
34. ábra Az elkészült vezérlőáramkör.....	45

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat A kommunikációs modem tulajdonságai	12
2. táblázat A motorral szembeni elvárások.....	16
3. táblázat A motorvezérlő paraméterei.....	19
4. táblázat A meghajtás fogyasztása.....	21
5. táblázat Az irányítás fogyasztása.....	21

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] online
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=IT>
 2024.03.02
- [2] online
<https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/light-uas-operator-certificate-luc>
 2024.03.04
- [3] online
<https://www.quectel.com/product/lte-eg25-g>
 2024.03.07
- [4] jegyzet
 Cím: REPÜLŐGÉPEK RENDSZEREI ÉS AVIONIKA
 Szerző: BENEDA KÁROLY, GÁTI BALÁZS, HÁMORI GYÖRGY, ÓVÁRI GYULA, RÁCZ JÁNOS
https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/48/dd/1/Gati_et_al_Repulogepek_rendszerei.pdf
 2024.03.19
- [5] szakdolgozat
 Cím: Okos közvilágítás kifejlesztése NBIOT és Bluetooth alapon
 Szerző: Farkas Bálint
- [6] jegyzet
 Cím: AERODINAMIKA
 Szerző: ROHÁCS JÓZSEF GAUSZ ZSANNA GAUSZ TAMÁS
 2024.04.01
http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Jankovics_Istvan_anyagai/Aerodinamika/Rohacs_Gausz_Aerodinamika.pdf
- [7] jegyzet
 Cím: AERODINAMIKA
 Szerző: ROHÁCS JÓZSEF GAUSZ ZSANNA GAUSZ TAMÁS
 2024.04.01
http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Jankovics_Istvan_anyagai/Aerodinamika/Rohacs_Gausz_Aerodinamika.pdf
- [8] jegyzet
 Cím: AERODINAMIKA
 Szerző: ROHÁCS JÓZSEF GAUSZ ZSANNA GAUSZ TAMÁS
 2024.04.01
http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Jankovics_Istvan_anyagai/Aerodinamika/Rohacs_Gausz_Aerodinamika.pdf
- [9] online
https://www.quectel.com/wp-content/uploads/2021/03/Quectel_EG25-G_Mini_PCIe_Hardware_Design_V1.3.pdf
 2024.03.08
- [10] szakdolgozat
 Cím: Okos közvilágítás kifejlesztése NBIOT és Bluetooth alapon

Szerző: Farkas Bálint

[11] Könyv

Cím: Elektrotechnika

Szerzők: Uray Vilmos, dr. Szabó Szilárd Kiadó: Tankönyvkiadó, Budapest, 1981

[12] Könyv

Cím: Integrált áramkörök gyártástechnológiája

Szerző: Eugene R. Hnatek

Kiadó: Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978

[13] Könyv

Cím: Analóg és digitális áramkörök

Szerzők: U. Tietze, Ch. Schenk

Kiadó: Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1990

69

MELLÉKLETEK

1- Melléklet Alkatrészlista

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
10 μ F	CAP 0603	C200, C701, C708	0603_CAP	CAP_0603	3
1 μ F	CAP 0603	C201, C503, C507, C522, C700, C707, C714, C715, C719, C728, C729, C730	0603_CAP	CAP_0603	12
100nF	CAP 0402	C202, C203, C204, C205, C206, C207, C208, C209, C300, C302, C305, C306, C500, C504, C508, C509, C516, C517, C518, C600, C601, C702, C709, C711, C712, C713, C717, C718, C722, C732	0402_CAP	CAP_0402	30
4.7 μ F	CAP 0603	C210	0603_CAP	CAP_0603	1
2.2nF	CAP 0402	C301	0402_CAP	CAP_0402	1

10μF	CAP 1206	C502, C512, C513, C514, C515, C519, C704, C705, C706, C723, C724, C725, C726, C727, C731	1206_CAP	CAP_1206	15
47μF	CAP 0805	C505, C506	0805_CAP	CAP_0805	2
10nF	CAP 0402	C520, C521, C703, C710, C716	0402_CAP	CAP_0402	5
22μF	CAP 0805	C720, C721	0805_CAP	CAP_0805	2
LED	LED 0603 Blue	D200, D702, D704	0603_LED_B	LED 0603 Blue	3
SP3003-02X	Diode TVS 2 channel	D201, D600, D601, D602	SOT-553	SP3003-02	4
SMF26A	Diode TVS 26V 200W	D700	SOD-123FL	SMF26A	1

BZT52C16T	Diode Zener 16V 300mW	D701	SOD-523	BZT52C16	1
SDM40E20LC	Dual Schottky diode common cathode	D703	SOT-23	SDM40E20LC	1
DX07S016A1	USB-C female RA 16pts	J200	USB_C_RA_JAE_16	JAE USB-C RA 16pts	1
JST-SH 6pts 1mm RA SMD	JST-SH 6pts 1mm RA SMD	J300	JST-SH-RA-6	JST-SH 6pts RA SMD	1
JST-SH 4pts 1mm RA SMD	JST-SH 4pts 1mm RA SMD	J500, J502	JST-SH-RA-4	JST-SH 4pts RA SMD	2
JST-SH 8pts 1mm RA SMD	JST-SH 8pts 1mm RA SMD	J600	JST-SH-RA-8	JST-SH 8pts RA SMD	1
10 μ H 2.8A	Inductor 10 μ H 2.8A 5.4×5.2mm	L700	IND_EATON_HCM_503 0	HCM1A0503V2- 100-R	1
PMOS 40V 3A	PMOS 40V 3A	Q700, Q701	SOT-23	DMP4065S	2

NPN	NPN 40V 200mA	Q702	SOT-23	MMBT3904	1
1k	RES 0402	R200, R203, R300, R301, R304, R305, R701, R709, R710	0402_RES	RES_0402	9
5.1k	RES 0402	R201, R202, R502, R608, R711	0402_RES	RES_0402	5
51k	RES 0402	R204, R205, R606, R700, R704, R708	0402_RES	RES_0402	6
220R	RES 0402	R302, R303, R400, R401, R505, R506, R507, R600, R601, R602, R603, R604, R605, R607	0402_RES	RES_0402	14
75R	RES 0402	R500, R501	0402_RES	RES_0402	2
20R	RES 0402	R702	0402_RES	RES_0402	1

180k	RES 0402	R703, R706	0402_RES	RES_0402	2
41k2	RES 0402	R705	0402_RES	RES_0402	1
7k5	RES 0402	R707	0402_RES	RES_0402	1
Tactile Switch SPST-NO	Tactile Switch SPST-NO	SW200	SWITCH_B3U- 1000P(M)	OMRON tactile switch	1
STM32F722RET 6	MCU cortex- A7 512kb flash	U200	LQFP-64	STM32F722	1
W25Q256JVEIQ	256Mbit NAND flash	U201	WS0N 8 8×6mm	W25Q256J	1
MPU-6000	6 axis IMU SPI Interface	U300	QFN24-4×4 NO PAD	MPU-6000	1
Digital Pressure Sensor	Digital Pressure Sensor	U301	BMP388	BMP388	1

MAX7456	PAL/NTSC OSD	U501	TSSOP-28 PAD	MAX7456	1
3V3 500mA Low noise LDO	3V3 500mA Low noise LDO	U700, U701	SOT-23-5	SPX3819	2
MP9943GQ	Step down converter 36V 3A	U702	QFN8-3×3	MP9943	1
8Mhz	Osc Ceraclock 8Mhz	X200	CERACLOCK	CSTCE8M00G52 -R0	1
Crystals 27MHz 8pF -20C +70C 20ppm	Crystals 27MHz 8pF - 20C +70C 20ppm	X500	CRYSTAL_3.2×2.5MM	ABM8W- 27.0000MHZ-8	1

