

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Műszertechnikai és Automatizálási Tanszék



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

MEZŐGAZDASÁGI IDŐJÁRÁS-ÁLLOMÁS LORAWAN KOMMUNIKÁCIÓVAL

Szerző: **Horváth Benedek**
villamosmérnök BSc. szak, III. évf.

Konzulens: **Borsos Döníz**
tanársegéd

Budapest, 2024.

Tartalomjegyzék

1. Kivonat	4
2. Bevezetés	5
2.1. A LoRaWAN technológia	5
3. Specifikáció	6
3.1. Mérendő jellemzők	6
3.2. LoRaWAN hálózat	6
3.3. Tápellátás	7
3.4. Időjárásállóság	7
4. Logikai rendszerterv	8
5. Alkatrészek kiválasztása és áramkörtervezés	9
5.1. Mikrokontroller	9
5.2. Hőmérséklet és páratartalom szenzor	10
5.3. Légnyomás szenzor	12
5.4. Szélsebesség és szélirány szenzorok	13
5.5. LoRaWAN kommunikációs modul	16
5.6. Tápegység	17
5.6.1. Méretezés a várható fogyasztásra	17
5.6.2. Az akkumulátor kiválasztásának szempontjai	19
5.6.2.1. Bevezetés	19
5.6.2.2. Lítiumion-akkumulátor	19
5.6.2.3. Lítium-vasfoszfát akkumulátor	20
5.6.2.4. Savas ólomakkumulátor	20

5.6.2.5. Értékelés és választás	21
5.6.3. Napelem	22
5.6.4. Töltésvezérlő áramkör	23
5.6.5. DC-DC konverter	26
6. Fizikai rendszerterv	29
7. NYÁK-tervezés és gyártás	30
7.1. Kommunikációs panel	30
7.2. Tápegység panel	32
8. A tartószerkezet és a készülékház felépítése	33
9. Szoftver	38
10. Tesztelés	40
11. A továbbfejlesztés lehetőségei	41
12. Összefoglaló	42
Ábrajegyzék	44
Táblázatjegyzék	45
Mellékletek	48

1. Kivonat

A meteorológiai adatok gyűjtése és monitorozása egyre nagyobb szerepet kap a modern mezőgazdasági termelésben. A LoRaWAN technológia lehetőséget nyújt alacsony energiaigényű, emberi beavatkozást nem igénylő adatgyűjtő berendezések létrehozására. A dolgozat fő témája egy olyan, LoRaWAN kommunikációt használó mezőgazdasági időjárás-állomás tervezése és megvalósítása, amely napelemes tápellátással, önműködően végez méréseket és a kapott adatokat egy webalkalmazáson keresztül továbbítja a felhasználóhoz.

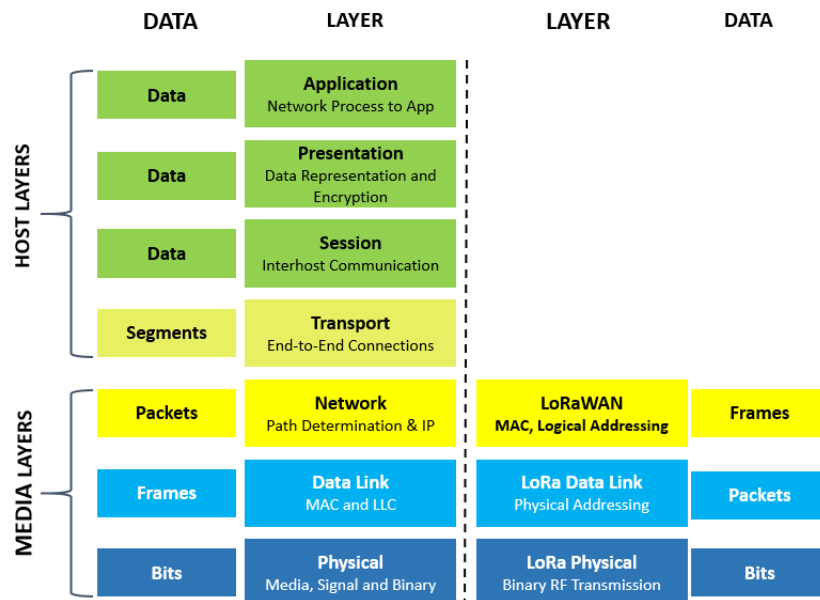
Az eszköz egy kommunikációs és mérésadatgyűjtő, valamint egy tápellátást biztosító részegységből áll. A dolgozat részletesen ismerteti a felhasznált alkatrészek kiválasztását, ezen részegységek tervezési folyamatát és legyártását, illetve az ezek során felmerülő problémákat és azok megoldásait. Ismertetésre kerül a napelemes töltésvezérlő által használt MPPT (Maximum Power Point Tracking, maximális munkapont követés) algoritmus és ennek előnyei más töltési módokhoz viszonyítva. Az időjárás állomás mikrokontrollerén futó szoftver, valamint a mérési adatok fogadását és megjelenítését végző NodeRED alkalmazás felépítése is tárgyalásra kerül.

Végül a dolgozat összegzi, értékeli az eszköz tesztelése során kapott eredményeket és a jövőbeni fejlesztési lehetőségeket.

2. Bevezetés

2.1. A LoRaWAN technológia

A LoRa (Long Range) egy vezeték nélküli nagy hatótávolságú kommunikáció. Alacsony energiafogyasztása miatt ideális az IoT alkalmazásokhoz, adatgyűjtő berendezésekhez. A LoRa CSS (Chirp Spread Spectrum) modulációt használ, ami különösen ellenálló a zavarokkal szemben. A LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) a LoRa technológiára épülő kommunikációs protokoll. Míg a LoRa az OSI¹-modellben a fizikai és adatkapcsolati rétegeket valósítja meg a LoRaWAN a hálózati réteghez tartozik. (2.1.ábra)



2.1. ábra. LoRa és LoRaWAN az OSI modellben [1]

¹Open Systems Interconnection Model

3. Specifikáció

A feladat egy olyan eszköz létrehozása, amely képes mérni a meghatározott időjárási jellemzőket és a mért adatokat LoRaWAN hálózaton keresztül a felhasználóhoz eljuttatni.

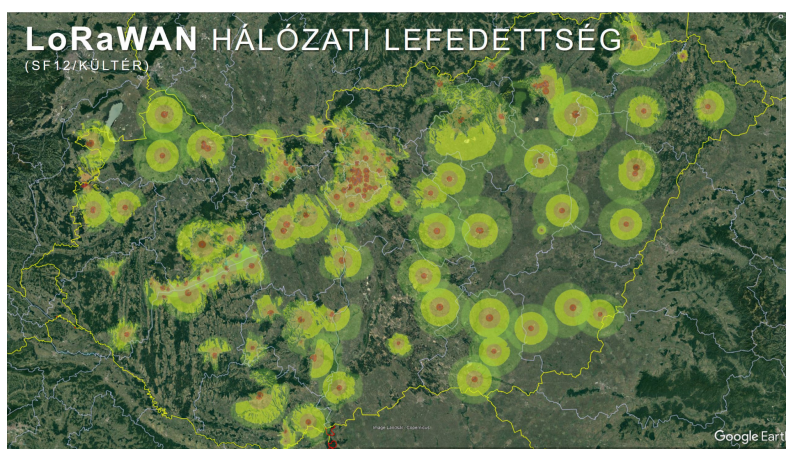
3.1. Mérendő jellemzők

Ahhoz, hogy a kapott meteorológiai adatok felhasználhatóak legyenek, a következő jellemzőket mindenképpen mérni szükséges:

- Hőmérséklet
- Páratartalom
- Légnyomás
- Szélsebesség
- Szélirány

Ezen kívül az időjárás-állomást olyan módon kell megtervezni, hogy a későbbiekben további szenzorok csatlakoztatásával könnyedén bővíthető legyen a mért jellemzők listája.

3.2. LoRaWAN hálózat



3.1. ábra. Az Antenna Hungária LoRaWAN hálózatának jelenlegi lefedettsége (2024.04.06.) [2]

A kommunikációhoz az Antenna Hungária által biztosított LoRaWAN hálózatot használok, ami tíz végpont üzembe helyezését teszi lehetővé. A hálózat jelenleg a megyeszékhelyek, fontosabb tudományos régiók és nagyobb városok tágabb környezetében biztosít lefedettséget. Ez az elkészült eszköz teszteléséhez megfelelő, de a későbbiekben a telepítés helyétől függően szükség lehet saját hálózat kialakítására.

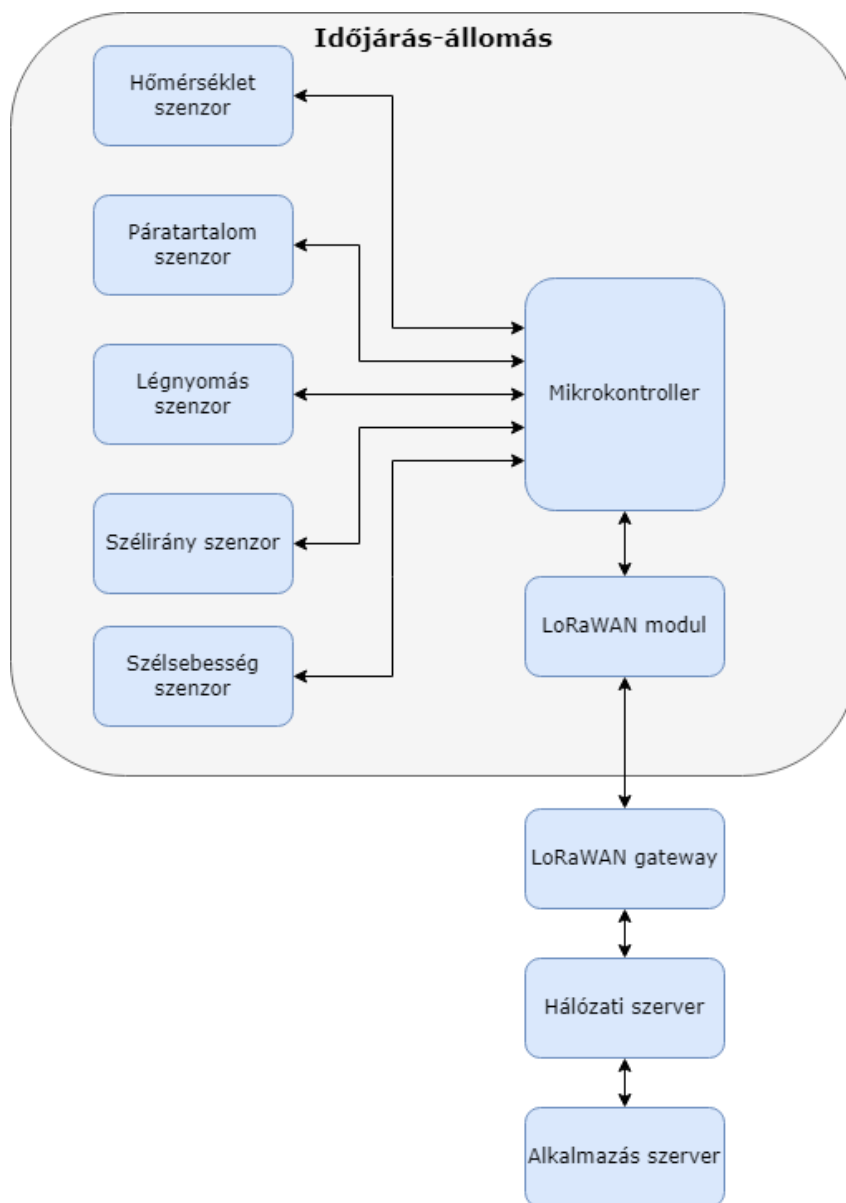
3.3. Tápellátás

A mezőgazdasági időjárás-állomások telepítési helyén jellemzően nem áll rendelkezésre villamos hálózat, ezért a tápellátást más módon kell megoldani, így a választás egy napelemes rendszerre esett. A napelem panel egy töltésvezérlő áramkörön keresztül tölti az akkumulátort, a megfelelő tápfeszültséget pedig DC-DC konverter állítja elő. Így az eszköz folyamatosan képes működni akkor is, amikor a napelem nem termel.

3.4. Időjárásállóság

Az eszköz kitett az időjárás viszontagságainak, ezért fontos hogy a készülékház megfelelő víz és por elleni védelemmel rendelkezzen, valamint a borkulat alkatrészei a napból érkező UV sugárzás hatására ne károsodjanak. Számításba kell még venni a működési hőmérséklet-tartományt is, mert a szélsőséges hőmérsékleti viszonyok hatással lehetnek a helyes működésre – különös tekintettel az akkumulátorra. A készülékház belsejére vonatkozó működési hőmérséklet-tartományt -20°C – 50°C -ban határoztam meg.

4. Logikai rendszerterv



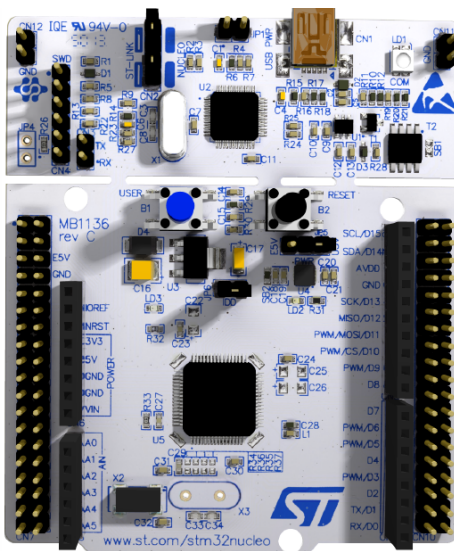
4.1. ábra. Logikai rendszerterv

5. Alkatrészek kiválasztása és áramkörtervezés

5.1. Mikrokontroller

A feladathoz egy STM32F103RBT6 mikrokontrollert választottam, amit prototípus elkészítéséhez az STM32 NUCLEO-F103RB fejlesztőpanel formájában használok.

Az STM32F103RB egy 32-bites ARM Cortex-M3 architektúrát használó mikrokontroller, amelyet a STMicroelectronics gyárt. Az eszköz 128KB FLASH és 20KB SRAM memóriát tartalmaz. Számos kommunikációs interfész áll rendelkezésre: 2db SPI, 2db I2C, 2db UART, USB 2.0 full-speed, és rendelkezik 2 darab 12 bites AD átalakítóval is. Lehetőség van egy 7 csatornás DMA (Direct Memory Access) controller használatára is.



5.1. ábra. STM32 NUCLEO-F103RB

A fejlesztőpanel beépítve tartalmazza az ST-LINK programozó és debugger eszközt, valamint lehetőséget nyújt bővíítőpanelek csatlakoztatására az ST morpho és Arduino UNO kompatibilis tűkesorokon keresztül.

5.2. Hőmérséklet és páratartalom szenzor



5.2. ábra. AM2301 hőmérséklet és páratartalom szenzor [3]

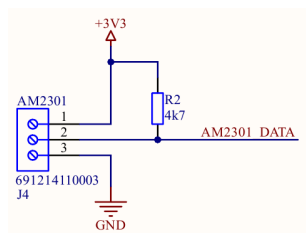
A hőmérséklet és a páratartalom mérésére az AM2301[3] szenzort választottam ki. Az érzékelő hőmérséklet esetében $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, relatív páratartalom esetében pedig $\pm 3\%$ RH pontossággal rendelkezik. A 3,3 V-tól 5 V-ig terjedő tápfeszültség-tartományban működőképes, fogyasztása mérés közben 1,2 mA, „sleep mode”-ban pedig $15\mu\text{A}$. Jelen esetben 3,3V-ról fog működni a szenzor, mert a mikrokontroller is ezt a tápfeszültséget használja. A kommunikációhoz a szenzor a saját „single bus” protokollját használja, aminek működéséhez a tápfeszültségen kívül, csak egyetlen adatvonal szükséges. A szenzor bekötése a 5.3. ábrán látható.

Pins	Color	Name	Describe	
1	Red	VDD	Power supply (3.3 V to 5.5 V)	① VDD
2	Yellow	SDA	Serial Data, Bidirectional Port	② SDA
3	Black	GND	Ground	③ GND
4		NC	No connection	④ NC

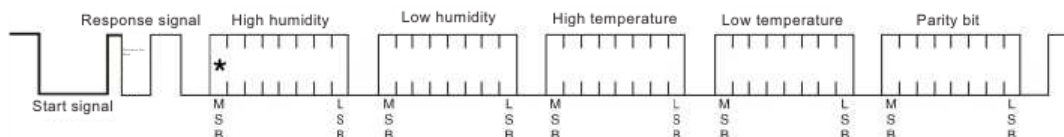
5.3. ábra. AM2301 bekötése [3]

A kommunikáció működéséhez az adatvonalat egy felhúzó ellenállással kell ellátni. Az ellenállás értéke a szenzor adatlapja alapján 30 m-es vezeték hossz alatt $5,1\text{ k}\Omega$. Az adatlapban szereplő $5,1\text{ k}\Omega$ -os helyett $4,7\text{ k}\Omega$ -os ellenállást használok mert a kapcsolásban máshol is használatban van ez az érték és a kis eltérés (minimális fogyasztás növekedésen kívül) nem okoz problémát. A kialakítás a 5.4. ábrán látható.

¹ Amikor nem történik kommunikáció vagy mérés, a szenzor alacsony fogyasztású üzemmódba kerül.



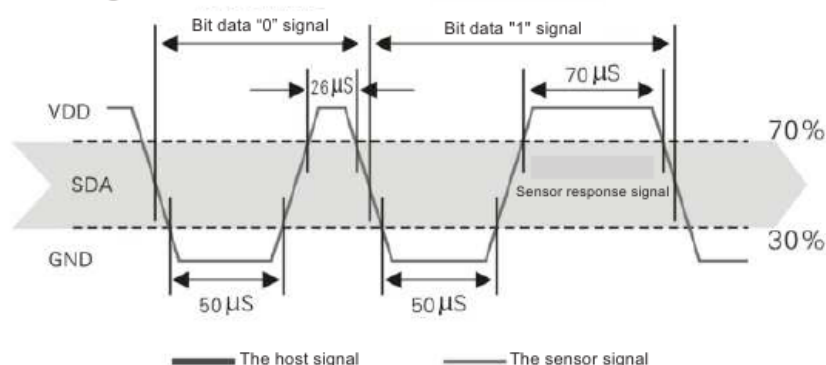
5.4. ábra. AM2301 a felhúzó ellenállással



5.5. ábra. A szenzor által használt "single bus" kommunikációs protokoll [3]

A kommunikáció a következő lépésekből áll:

1. A bekapcsolás után és az egyes mérések között is legalább 2 másodperces várakozás szükséges, hogy a szenzort olvasni lehessen. Ez idő alatt az adatvonalon érvénytelen értékek jelenhetnek meg, ezeket nem kell figyelembe venni.
2. A mikrokontroller szenzorhoz használt I/O lábát kimenetre kell beállítani, majd alacsony szintet kiadni rajta. Legalább 1ms várakozás után az I/O láb újra visszaállítható bementre. Ezek után a szenzor egy 80 μ s-os alacsony, majd egy 80 μ s-os magas szinttel válaszol, ezzel jelzi, hogy adatok következnek.
3. 40 adatbit következik. A bitek formátuma az 5.6 ábrán látható.



5.6. ábra. A single bus protokoll adatbitjei [3]

A „0” értékű bit egy 50 μ s idejű alacsony szintből és egy 26 μ s értékű magas szintből, az

„1” értékű bit pedig egy 50 μ s idejű alacsony szintből és egy 70 μ s értékű magas szintből áll. A bitsorozat végén az adatvonal visszaáll magas szintre.

Ahhoz, hogy az érzékelő fel tudja venni a környező levegő hőmérsékletét, óvni kell a közvetlen napsugárzástól és a csapadéktól is.[4] Erre a szenzor tokozása önmagában nem alkalmas, ezért szükség van egy árnyékoló házra, aminek leírása megtalálható a 8. fejezetben.

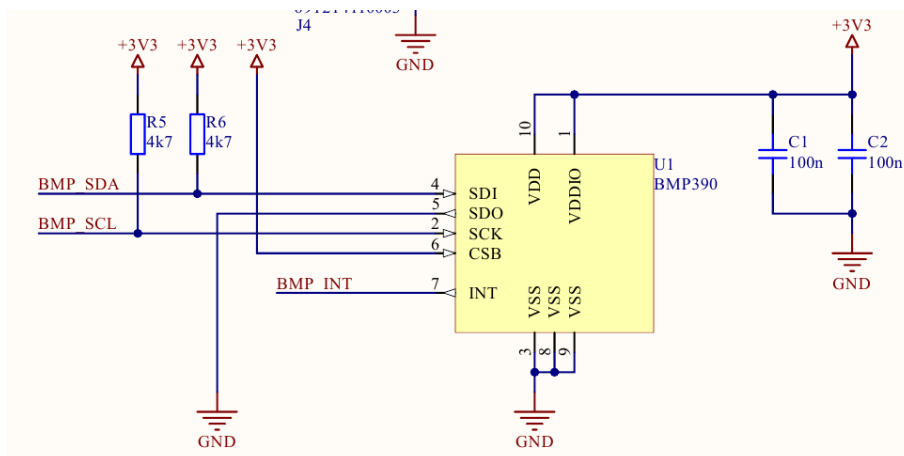
5.3. Légnyomás szenzor

A légnyomás mérésre a Bosch Sensortec BMP390[5] szenzorját választottam. A szenzor ± 50 Pa pontossággal képes a légnyomás mérésére. Az eszköz ezen kívül alkalmas hőmérséklet mérésre is, de ezt a funkciót jelen esetben nincs használatban. Működési tápfeszültség-tartománya 1,65 V-tól 3,6 V-ig terjed. Az átlagos áramfelvétel 1 Hz-es mérési gyakoriság esetén csupán 3,2 μ A. A szenzor az SPI és az I²C kommunikációt támogatja; itt I²C, módban működik.



5.7. ábra. BMP390 légnyomás szenzor [5]

Az I²C kommunikáció működéséhez felhúzó ellenállások szükségesek az órajel- és adatvonalakra. Ezek értékét 4,7 k Ω -ban határoztam meg az adatlap ajánlásai alapján. Szükség volt még az I²C eszközcím beállítására is. Az 111011X formátumú cím X-szel jelölt számjegyét az 5-ös (SDO) láb magas vagy alacsony szintre állításával lehet beállítani. Jelen esetben nincs jelentősége az eszközcímnek, mert ez a mikrokontrollerhez kapcsolt egyetlen I²C eszköz. A címet az SDO láb állandó alacsony szintre kötésével 1110110-re (0x76) állítottam be. A tápfeszültség lábakra az adatlapon ajánlott egy-egy 100 nF-os hidegítő kondenzátor került elhelyezésre. [5]



5.8. ábra. BMP390 légnyomás szenzor bekötése (részlet a kapcsolási rajzból)

5.4. Szélsebesség és szélirány szenzorok

A szélsebesség mérésére egy kanalas szélsebesség-mérő, a szélirány mérésére pedig egy nyomólapos szélzászló szolgál. A működési tápfeszültség-tartományuk 10 V-tól 30 V-ig terjed. Mindkét szenzor 0...5 V-os analóg jelet szolgáltat. A szélsebesség szenzor mérési tartománya 0...30 m/s, felbontása 0,1 m/s. A szélirány szenzor 8 különböző helyzet mérésére képes, így a négy fő- és négy mellékirányt lehet megkülönböztetni (É, ÉK, K, DK, D, DNY, NY, ÉNY).



5.9. ábra. Szélsebesség és szélirány szenzorok

A szenzorok analóg kimeneti jelét a mikrokontroller AD (analóg-digitális) átalakítója dolgozza fel. A mikrokontroller tápfeszültsége és egyben az AD átalakító referencia feszültsége is 3,3 V. A szenzorok kimeneti jele túllépné ezt, így közvetlenül nem csatlakozhatnak a mikrokontrollerhez. A szenzorok mikrokontrollerhez való illesztéséhez így egy feszültségosztó szükséges. A feszültségosztót olyan módon kellett méretezni, hogy megfeleljen a mikrokontroller adatlapjában előírt maximális forrásellenállás követelménynek. Ez a maximális ellenállás

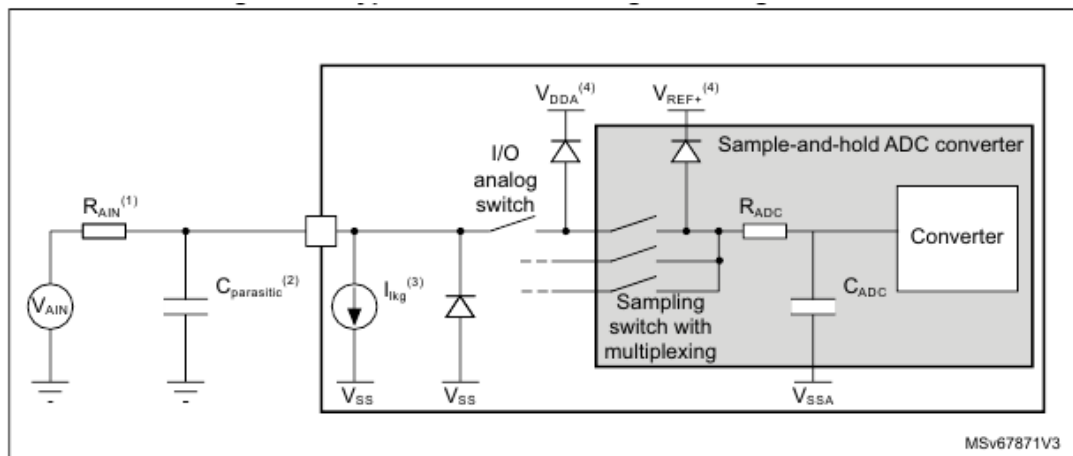
érték az adatlap alapján következő képlet szerint alakul. [6]

$$R_{AIN} < \frac{T_S}{f_{ADC} \cdot C_{ADC} \cdot \ln(2^{N+2})} - R_{ADC}$$

Ahol,

- R_{AIN} : az AD átalakítót meghajtó feszültségforrás belső ellenállása
- T_S : a konverzióhoz szükséges órajelciklusok száma (szoftveresen változtatható)
- f_{ADC} : az AD átalakító órajel-frekvenciája
- C_{ADC} : az AD átalakító „sample and hold” kapacitása
- N : az AD átalakító felbontása bitekben megadva
- R_{ADC} : az AD átalakító mintavételező kapcsolóelemének ellenállása

Ezen modellben szereplő elemek elrendezését jól szemlálteti az alábbi (5.10.) ábra.



5.10. ábra. Az AD átalakítót meghajtó maximális ellenállás meghatározásához használt modell [6]

Minden előbb felsorolt érték megtalálható az adatlapban, így már csak be kellett helyettesíteni őket a képletbe.

²mintavételezés és tartás

$$R_{AIN} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$T_S = 239,5 \text{ ciklus}$$

$$f_{ADC} = 8 \text{ MHz}$$

$$C_{ADC} = 8 \text{ pF}$$

$$N = 12$$

$$R_{ADC} = 1 \text{ k}\Omega$$

T_S esetében szoftveresen lehet előre meghatározott értékekből választani. Ezek közül a legnagyobb időt választottam, mert percek telnek el az egyes mérések között, így a gyorsabb mérés nem járna semmilyen előnnyel; a nagyobb idő pedig lehetőséget ad nagyobb ellenállások használatára és ez kisebb fogyasztást eredményez.

T_s (cycles)
1.5
7.5
13.5
28.5
41.5
55.5
71.5
239.5

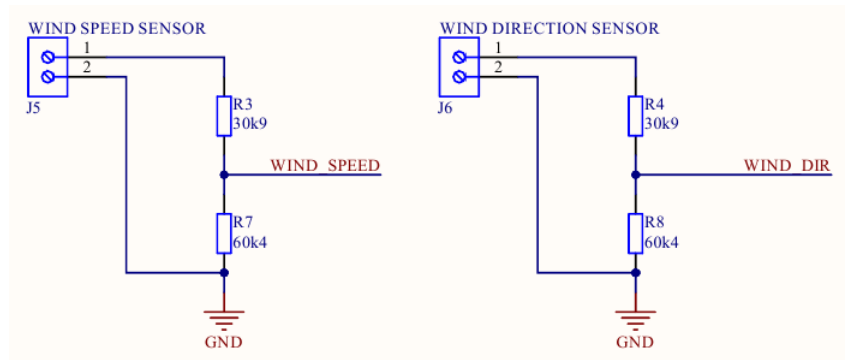
5.11. ábra. T_S lehetséges értékei [6]

$$R_{AIN} < \frac{239,5}{8 \text{ MHz} \cdot 8 \text{ pF} \cdot \ln(2^{12+2})} - 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{AIN} < 384,63 \text{ k}\Omega$$

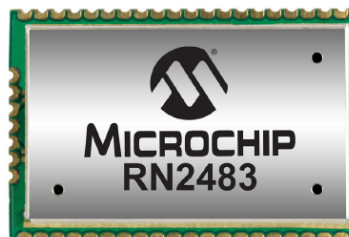
Ez azt jelenti, hogy a feszültségosztó ellenállásait úgy kell megválasztani, hogy az eredő ellenállásuk 384 k Ω alatt maradjon. A feszültségosztóra csatlakozó szenzor belső ellenállása az adatlap alapján 250 Ω alatti. Ez két nagyságrenddel alacsonyabb a felhasznált ellenállásoknál, ezért a hatását elhanyagoltam, így csak az osztó két ellenállásának összegével kell számolni. Az ellenállásokat úgy választottam ki, hogy az összegük a 100 k Ω -os nagyságrendbe essen és 5 V-os bemeneti feszültség esetén 3,3 V-os kimeneti feszültséget biztosítsanak.

A választás mindkét szenzor esetén egy 60,4 k Ω -os és egy 30,9 k Ω -os E96-os sorba tartozó, 1% tűrésű ellenállásra esett.



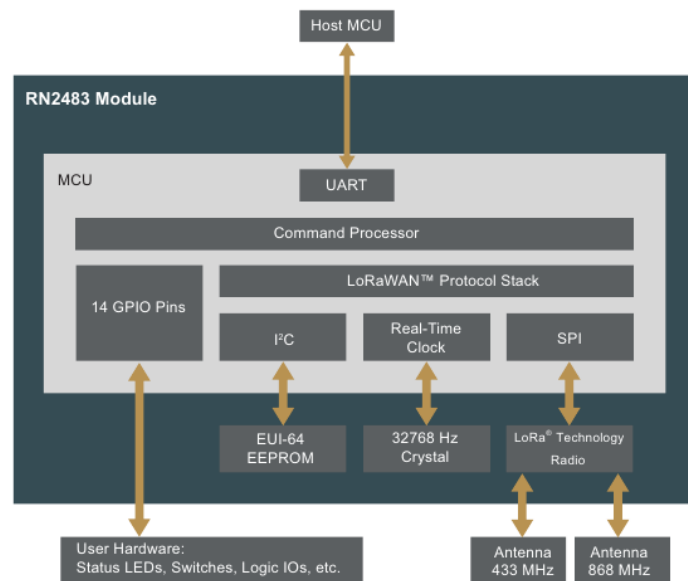
5.12. ábra. Szélsebesség és szélirány szenzorok feszültségosztói

5.5. LoRaWAN kommunikációs modul



5.13. ábra. RN2483 LoRaWAN modul [7]

A LoRaWAN kommunikációhoz a Microchip RN2483 modulját választottam. Az eszköz tartalmaz a LoRa technológia megvalósítására alkalmas rádiófrekvenciás egységet, ami a 868 MHz-es és a 433 MHz-es frekvenciasávot is képes kezelni. Ezen felül a modulban megtalálható egy mikrokontroller aminek segítségével önállóan képes a LoRaWAN protokoll kezelésére és az UART interfészen keresztül érkező utasítások fogadására. A kialakítás a 5.14. ábrán látható.



5.14. ábra. RN2483 LoRaWAN modul belső felépítése [7]

A modul a felhasznált mikrokontrollerrel megegyező 3,3 V tápfeszültségről üzemel. Fogyasztása tétlen állapotban 2,8 mA, adás közben 38,9 mA, alacsony fogyasztású „sleep” módban a különböző perifériák lekapcsolásával pedig csupán 1,6 μ A. A percenkénti mérések után következő rövid küldési időn kívül nincs szükség a kommunikációra, ezért a „sleep mode” használatával igen alacsony fogyasztást lehet elérni.

A mikrokontrollerhez való csatlakozáshoz szükség van az UART interfész RX és TX vonalaira, valamint egy $\overline{\text{RESET}}$ vonalra is. Az UART kommunikáció alapértelmezetten 567 500 b/s-os adatárviteli sebességgel működik, ami a korai tesztelés során stabilnak bizonyult, így ezen nem változtattam.

5.6. Tápegység

5.6.1. Méretezés a várható fogyasztásra

A várható fogyasztás meghatározásához először egy listát készítettem a különböző felhasznált eszközökkel és azok várható átlagos teljesítményével.

STM32F103 A mikrokontroller esetében fogyasztás szempontjából többféle üzemmód is elérhető, amik a működő funkciók számában térnek el egymástól. Ezek közül a „Run” és a „Sleep” üzemmódot használom. Az idő tekintetében azzal a becsléssel éltem, hogy 1 perc alatt

a mikrokontroller a legrosszabb esetben is 10 s-ot fog eltölteni a 8,6 mA áramfelvételű „Run” módban, a többi 50 s-ot pedig az 5,5 mA fogyasztású „Sleep” módban. [6] Így az átlagos teljesítmény a következőképpen alakul.

$$P_{STM32F103} = I_{\text{átlag}} \cdot U_{\text{táp}} = \frac{10 \text{ s} \cdot 8,6 \text{ mA} + 50 \text{ s} \cdot 5,5 \text{ mA}}{60 \text{ s}} \cdot 3,3 \text{ V} = 19,86 \text{ mW}$$

RN2483 Az RN2483 átlagos teljesítményének kiszámításához azt vettem figyelembe, hogy az adásidőre vonatkozó kitöltési tényező 1%-ra van limitálva. Így 1 perc alatt a legrosszabb esetben is csak 600 ms-ig működhet az adás, ez alatt 38,9 mA az áramfelvétel. A maradék időben a modul „sleep mode”-ban van, ilyenkor az áramfelvétel 1,6 μ A. [7]

$$P_{RN2483} = I_{\text{átlag}} \cdot U_{\text{táp}} = \frac{600 \text{ ms} \cdot 38,9 \text{ mA} + 59,4 \text{ s} \cdot 1,6 \mu\text{A}}{60 \text{ s}} \cdot 3,3 \text{ V} = 1,29 \text{ mW}$$

BMP390 A légnyomás szenzor esetében az adatlapban 3,2 μ A-es áramfelvételt adnak meg 1 Hz-es mérési gyakoriság mellett. [5] Ez az érték olyan alacsony a többi eszköz áramfelvételéhez viszonyítva, hogy nem számítottam át a valójában használt (16,67 mHz-es) mérési gyakoriságra, mert az eltérés a teljes fogyasztás szempontjából elhanyagolható lenne.

$$P_{BMP390} = I_{\text{átlag}} \cdot U_{\text{táp}} = 3,2 \mu\text{A} \cdot 3,3 \text{ V} = 10,56 \mu\text{W}$$

AM2301 A hőmérséklet és páratartalom szenzor esetén az adatlap szerint 600 μ A-es átlagos áramfelvétellel lehet számolni.

$$P_{AM2301} = I_{\text{átlag}} \cdot U_{\text{táp}} = 600 \mu\text{A} \cdot 3,3 \text{ V} = 1,98 \text{ mW}$$

Szélesség és szélirány szenzorok Mindkét szenzor esetében az adatlapon megadott 0,75 W-os teljesítményből indultam ki.

$$P_{\text{szél}} = 2 \cdot 0,75 \text{ W} = 1,5 \text{ W}$$

Eszköz	Átlagos teljesítmény
STM32F103 mikrokontroller	19,86 mW
BMP390 légnyomás szenzor	10,56 μ W
RN2483 LoRaWAN modul	1,29 mW
AM2301 hőmérséklet és páratartalom szenzor	1,98 mW
Szélesség és székirány szenzorok	1,5 W
Összeg	1,52 W

5.1. táblázat. A kiválasztott eszközök várható átlagos teljesítményszükséglete

Ebből a rendszer napi energiaszükséglete a következőképpen alakul:

$$W_{napi} = P_{\text{átlag}} \cdot t = 1,52 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} = 36,48 \text{ Wh}$$

5.6.2. Az akkumulátor kiválasztásának szempontjai

5.6.2.1. Bevezetés

A szükséges akkumulátor kapacitás meghatározása után következett a megfelelő akkumulátor technológia kiválasztása. Ez különösen fontos a specifikációban meghatározott széles működési hőmérséklet-tartomány miatt.

A legtöbb akkumulátortípusra jellemző a környezeti hőmérséklet csökkenésével járó kapacitás-, illetve élettartam-csökkenés, de ez a probléma nem mindegyik technológiát érinti egyforma mértékben.

5.6.2.2. Lítiumion-akkumulátor

A lítiumion-akkumulátorok használata elsősorban kézenfekvő megoldásnak tűnhet az elterjedtségük, a magas energiasűrűségük és a viszonylag alacsony árak miatt. Három különböző, eltérő gyártóval rendelkező akkumulátorcella adatlapját hasonlítottam össze. [8] [9] [10]

Ambient Temperature	Charge	0~+40°C
	Discharge	-20~+60°C
	Storage	-20~+50°C

5.15. ábra. Panasonic lítiumion-cella töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [10]

A fagypont alatti hőmérsékleten történő kisütés ugyan mindegyik vizsgált cellánál engedélyezett, a 0°C alatti töltést viszont egyik gyártó sem javasolja.

3.13 Operating temperature (Ambient)	Charge : 0 to 45 °C Discharge: -20 to 60 °C
---	--

5.16. ábra. Samsung lítiumion-cella töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [9]

2.9 Operating Temperature	Charge	0 ~ 45 °C
	Discharge	-20 ~ 60 °C

5.17. ábra. LG lítiumion-cella töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [8]

5.6.2.3. Lítium-vasfoszfát akkumulátor

A lítium-vasfoszfát akkumulátor működési hőmérséklet-tartomány szempontjából a legalkalmasabb választás lenne a feladatra. Ebből az akkumulátortípusból elérhetőek kifejezetten a széles hőmérséklet-tartományban történő kültéri használatra szánt modellek. [11] [12]

Operating Temperature	-30 °C to +60 °C
Storage Temperature	-40 °C to +70 °C

5.18. ábra. ETZ lítium-vasfoszfát akkumulátor töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [11]

Discharge Temperature	-20~+65°C
Charge Temperature	-20~+45°C

5.19. ábra. LEADYO lítium-vasfoszfát akkumulátor töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [12]

5.6.2.4. Savas ólomakkumulátor

A savas ólomakkumulátor esetén az alkalmazás helyéből adódóan csak az SLA (sealed lead-acid), tehát zárt rendszerű, gondozásmentes akkumulátorok használhatóak. Azt tapasztaltam, hogy az ilyen típusú akkumulátorok esetében a nyilvánosan elérhető adatlap sok esetben nem tartalmaz minden információt a működési hőmérséklet határértékeire vonatkozóan, viszont több modellhez is megtaláltam a hőmérséklet és a kapacitás közötti összefüggést mutató táblázatokat.

Ezek alapján feltételezhető, hogy – ugyan jelentős kapacitás-csökkenéssel, de – alkalmasak a fagypont alatti működésre is.

Battery Type		-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
Battery	12V	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%

5.20. ábra. EMOS SLA akkumulátor hőmérséklet-kapacitás táblázata [13]

Capacity Affected by Temperature	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%

5.21. ábra. Ultracell SLA akkumulátor hőmérséklet-kapacitás táblázata [14]

5.6.2.5. Értékelés és választás

A megfelelő akkumulátor kiválasztásánál fontos tényező a vételár is, mert a használat körülményeitől függően néhány évente szükség lehet a cseréjére, így tehát nem csak egyszeri költséget jelent. Ezek miatt ár szerint is összehasonlítottam a különböző akkumulátor típusokat.

Akkumulátortípus	Ár [Ft/Wh]
Lítiumion	134,61
lítium-vasfoszfát	297,0
SLA	113,4

5.2. táblázat. Különböző típusú akkumulátorok összehasonlítása ár szerint ³

³Az összehasonlítás az <https://elektrohungary.com>-on feltüntetett bruttó árak alapján készült 2024.04.01-án.

A lítiumion cellák esetében az alacsony hőmérsékleten történő töltés problémáját csak akkumulátorfűtés beépítésével lehetne megoldani, ami a hidegebb téli napokon – amikor a napelem jellemzően kevesebbet termel – növelné meg a fogyasztást. Ezért a lítiumion akkumulátor használatát kizártam. A lítium-vasfoszfát technológia esetén már jóval kedvezőbb az alacsony hőmérsékleten történő töltés, azonban az ilyen típusú akkumulátorok jelentősen magasabb ára (5.2. táblázat) miatt ezt a lehetőséget is elvetettem.

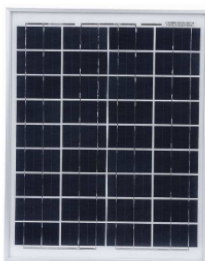
Végül az savas ólomakkumulátorra esett a választás, mert a specifikációban megadott teljes hőmérséklet-tartományban képes működni és a többi lehetőséghez képest alacsony áron beszerezhető. A kiválasztott akkumulátor egy EMOS E1270 típusú 12 V-os 7 Ah (84 Wh) kapacitású SLA. [13] Ez azt jelenti, hogy a számított energiaszükséglet (36,48 Wh) alapján, töltés nélkül, ideális körülmények között körülbelül 2 napig, a működési hőmérséklet-tartomány alsó határán pedig 1 napig képes üzemelni a rendszer.



5.22. ábra. EMOS E1270 12V/7Ah [13]

5.6.3. Napelem

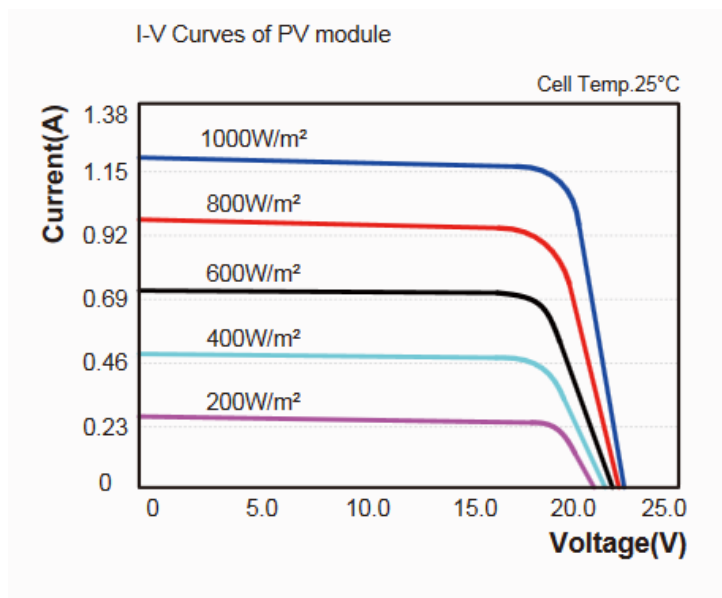
A tápellátásra egy 20 W maximális teljesítményű 22,6 V üresjárási feszültséggel rendelkező napelemet választottam ki.



5.23. ábra. A kiválasztott napelem

5.6.4. Töltésvezérlő áramkör

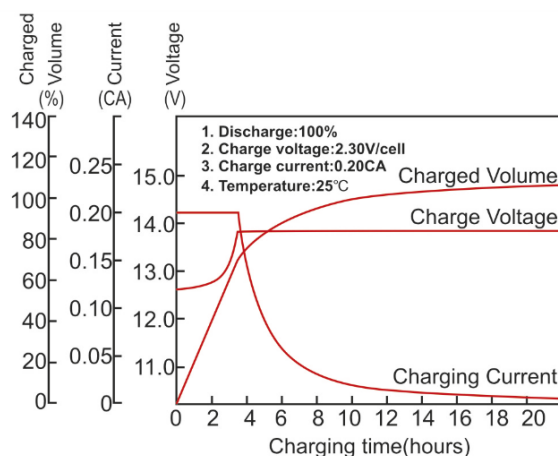
Az akkumulátor kiválasztása után következett a hozzá tartozó töltőáramkör tervezése. Ebben a legfőbb nehézséget az jelenti, hogy a napelem által leadott áram és az akkumulátor töltéséhez szükséges áram nincsen egyensúlyban.



5.24. ábra. Napelem U-I karakterisztikája

A napelem feszültség-áram karakterisztikáján jól látszik, hogy a besugárzott teljesítmény megváltozásával nagy mértékben változik a leadott áram. Ez azzal jár, hogy a napelemre kapcsolt terhelést – jelen esetben az akkumulátortöltő áramát – is úgy kell változtatni, hogy a napelem ideális munkapontban maradjon. Ha ezt nem tesszük meg és a napelemre a besugárzott teljesítményhez képest túl nagy terhelést kapcsolunk, akkor a napelem kapcsain visszaesik a feszültség – ez az akkumulátortöltés esetében a töltés teljes leállítását is okozhatja.

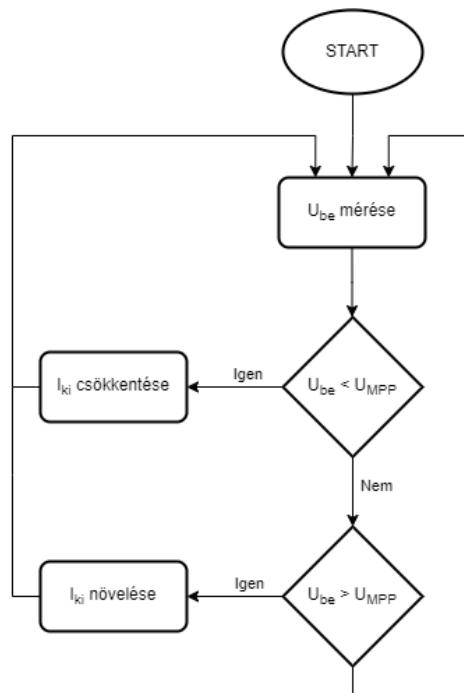
Ennek a problémának a megoldására szolgál az MPPT (Maximum Power Point Tracking, maximális munkapont követés) töltésvezérlő. Az áramkör feladata az, hogy a napelem mindig a lehető legnagyobb teljesítményű munkapontban üzemeljen úgy, hogy közben az akkumulátor lehetőség szerint az előírt töltési görbe szerint töltődjön. Az alábbi (5.25.) ábrán az általam használt SLA akkumulátor töltési karakterisztikája látható.



5.25. ábra. SLA akkumulátor töltési görbéje

A feladatra a Texas Instruments BQ24650 MPPT töltésvezérlő IC-jét választottam ki. Az IC alapvetően a lítiumion akkumulátorokkal működőképes, de az alapkapsolás módosításával alkalmassá tehető a savas ólomakkumulátor töltésére is. [15] A megvalósított kapcsolás a mellékletben látható.

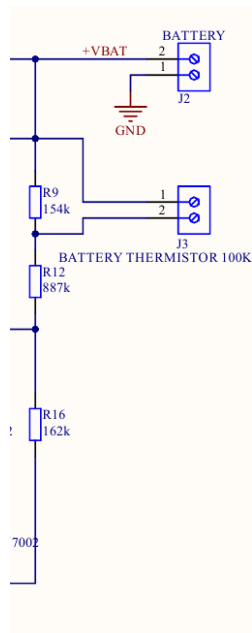
Az áramkör az alábbi folyamatábrán (5.26. ábra) látható egyszerű MPPT (Maximum Power Point Tracking, maximális munkapont követés) algoritmust használja. Az ilyen típusú egyszerűbb MPPT algoritmusok alacsonyabb hatásfokkal rendelkeznek mint egyes komplexebb változatok, az egyszerű áramköri megvalósítás viszont ilyen kis rendszerknél nagyobb jelentőséggel bír, ezért ez az algoritmus is teljesen megfelelő a feladatra. [16]



5.26. ábra. A BQ24650 által használt MPPT algoritmust szemléltető folyamatábra

Először megméri a napelem feszültségét, majd összehasonlítja a beállított U_{MPP} feszültséggel, ami helyes beállítás esetén a maximális teljesítményhez tartozik. Ha a mért feszültség kisebb mint U_{MPP} , az azt jelenti, hogy a napelem túl van terhelve: a töltőáramot csökkenteni kell. Ha a mért feszültség nagyobb mint U_{MPP} , akkor növelhető a terhelés, a töltőáramot meg lehet emelni.

Ahhoz, hogy a kapcsolás ólomakkumulátorral is működjön a következő módosításokat kellett végrehajtani az eredeti kapcsoláson. Az ólomakkumulátorok töltésekor az állandó feszültségű szakaszban használt feszültség értéke függ a környezeti hőmérséklettől. Ezen feszültségérték kompenzálására a feszültség visszacsatolást megvalósító feszültségosztóba egy NTC ellenállást kell beépíteni. Ez a megoldás azt eredményezi, hogy hőmérséklet csökkenésével a feszültségosztó alsó tagján érzékelt feszültség lecsökken, ezért az áramkör megnöveli a töltőfeszültséget.



5.27. ábra. NTC ellenállással megvalósított hőmérsékleti kompenzáció

5.6.5. DC-DC konverter

Az SLA akkumulátor 11,6 V-tól 12,9 V-ig terjedő feszültségéből elő kell állítani a mikrokontroller, a LoRaWAN modul és a szenzorok működéséhez szükséges stabil 3,3 V-os tápfeszültséget. Erre a problémára kétféle megoldás mutatkozott:

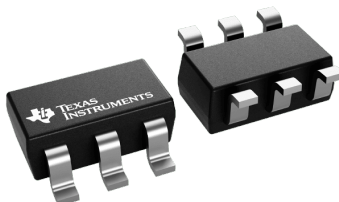
1. A lineáris feszültségstabilizátor a bemenet és a kimenet közötti ilyen nagy feszültségkülönbség esetén nagyon rossz hatásfokkal működik, ami akkumulátoros táplálásnál nem megengedhető, ezért ezt a megoldást elvetettem.
2. A kapcsolóüzemű step-down konverter esetén már jóval kedvezőbb hatásfokkal lehet számolni, így ezt a megoldást választottam.

A step-down konverter tervezéséhez először összegezni kellett a 3,3 V-os fogyasztók maximális áramfelvételét. A mikrokontroller áramfelvétele az órajelfrekvencia növelésével emelkedik, ezért a legmagasabb elérhető órajelfrekvenciával (72 MHz) számoltam. Az RN2483 esetében az adás közbeni maximális áramfelvétel a beállított adóteljesítménytől függ, így itt is a legnagyobb értékkel számoltam.

Eszköz	Maximális áram
STM32F103 mikrokontroller	50,3 mA
BMP390 légnyomás szenzor	720 μ A
RN2483 LoRaWAN modul	38,9 mA
AM2301 hőmérséklet és páratartalom szenzor	1,2 mA
Összeg	91,12 mA

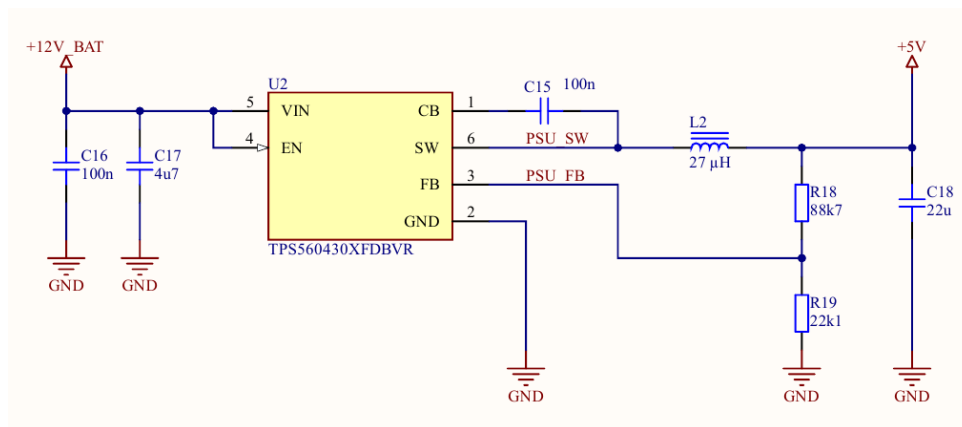
5.3. táblázat. A kiválasztott 3,3 V-os eszközök várható maximális áramfelvétele

Annak érdekében, hogy a rendszer később a tápegység megváltoztatása nélkül bővíthető legyen további szenzorokkal, a step-down konverter méretezésénél a szükségesnél nagyobb tartalékkal terveztem, így a maximális áram 300 mA lett. A feladatra a Texas Instruments TPS560430 szinkron step-down konverter IC-jét választottam ki.



5.28. ábra. TPS560430

Az eszköz egy SOT-23 tokozásban elérhető, szinkron step-down DC-DC konverter beépített áramkorláttal és rövidzárvédelemmel.



5.29. ábra. TPS560430 IC-vel megvalósított step-down konverter

A visszacsatoló feszültségosztó ellenállásait az adatlapban megtalálható táblázat segítségével választottam ki, ami tartalmazza a gyakran használt kimeneti feszültségekhez tartozó ellenállásértékeket. Ugyan ez igaz a kimeneti kondenzátorra is, viszont a táblázatban szereplő

induktivitások ebben az esetben nem voltak használhatók, mert azok a TPS560430 600 mA-es maximális áramához tartozó értékek.

f_{SW} (MHz)	V_{OUT} (V)	L (μH)	C_{OUT} (μF) ⁽¹⁾	R_{FBT} (kΩ)	R_{FBB} (kΩ)
1.1	3.3	12	22 μF / 10 V	51	22.1
	5	18	22 μF / 10 V	88.7	22.1
	12	33	10 μF / 25 V	243	22.1
2.1	3.3	6.8	10 μF / 10 V	51	22.1
	5	10	10 μF / 10 V	88.7	22.1
	12	18	10 μF / 25 V	243	22.1

5.30. ábra. A TPS560430 adatlapjában megtalálható táblázatos segítség a méretezéshez [17]

A szükséges minimális induktivitás meghatározása az adatlap alapján a következő képlet szerint történik [17]:

$$L_{min} = \frac{U_{be_max} - U_{ki}}{I_{ki} \times K_{ind}} \times \frac{U_{ki}}{U_{be_max} \times f_{SW}}$$

Ahol:

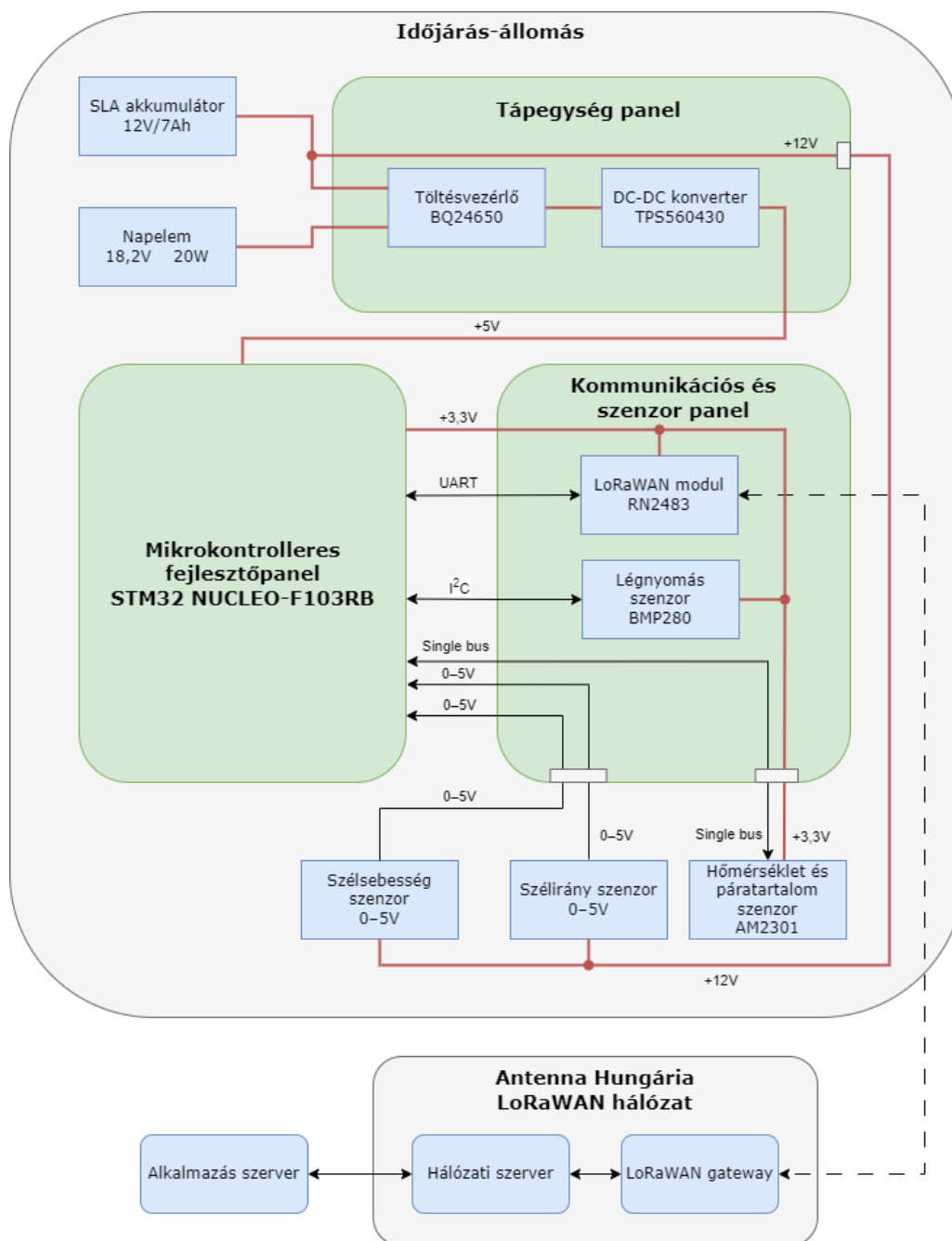
- L_{min} : a minimális szükséges induktivitás
- U_{be_max} : a maximális bemeneti feszültség
- U_{ki} : a kimeneti feszültség
- I_{ki} : a kimeneti áram
- f_{SW} : a DC-DC konverter kapcsolási frekvenciája
- K_{ind} : együttható, ami a tekercs Δi_L árama és a kimeneti áram közötti összefüggést adja meg; $K_{ind} = \Delta i_L / I_{ki}$

Az adatlap ajánlása alapján $K_{ind} = 0,4$ értékkel számolva, 22,6 V maximális kimeneti feszültség és 300 mA maximális kimeneti áram mellett az alábbi minimális induktivitást kaptam:

$$L_{min} = \frac{22,6 \text{ V} - 3,3 \text{ V}}{300 \text{ mA} \cdot 0,4} \cdot \frac{3,3 \text{ V}}{22,6 \text{ V} \cdot 1,1 \text{ MHz}} = 21,35 \mu\text{H}$$

Ezek alapján egy ferritmagos, árnyékolt 27 μH-s tekercset választottam ki 1,2 A szaturációs árammal. Az árnyékolt tekercs ára valamivel magasabb az árnyékolással nem rendelkező, de ezzel a megoldással csökkenthető a kisugárzott elektromágneses zavar. A kapcsolat bemeneti oldalára az ajánlott X7R dielektrikumú kerámia kondenzátorok kerültek.

6. Fizikai rendszerterv



6.1. ábra. Fizikai rendszerterv

7. NYÁK-tervezés és gyártás

Ahogy az a fizikai rendszerterven is látható, a NYÁK-tervezésnél egy moduláris elrendezés mellett döntöttem. A STM32 NUCLEO fejlesztőpanelhez az Arduino UNO kompatibilis tüskesor aljazton keresztül csatlakozik a tápegység és a kommunikációs panel is.

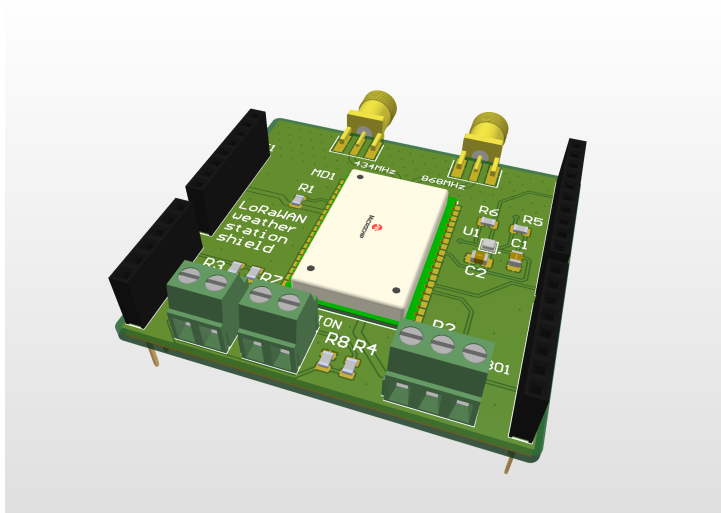
A NYÁK-ok FR4-es 1,6 mm vastagságú hordozóval és HASL (Hot Air Solder Leveling, tűziónozás) felületkezeléssel kerültek legyártásra. Az alkatrészek beültetését és forrasztását kézzel végeztem – a rossz forrasztásokból származó hibák elkerülése érdekében – hagyományos, ólomtartalmú forrasztanyaggal.



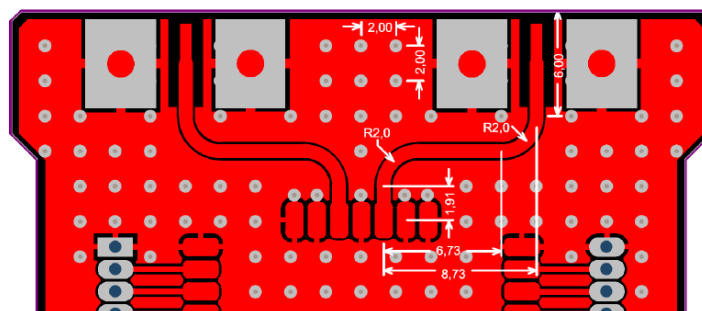
7.1. ábra. Elkészült NYÁK-ok összeszerelve

7.1. Kommunikációs panel

A kommunikációs panelen kapott helyt az RN2483 LoRaWAN modul a hozzá tartozó antenacsatlakozóval és a BMP390 légnyomás szenzor, valamint itt található a többi szenzor csatlakozója is. Ezen a panelen a legfőbb kihívást az RN2483 antenna kivezetései és az SMA (SubMiniature version A) antenna csatlakozók közötti vezetősávok megtervezése jelentette. A vezetősávokat úgy kellett megtervezni, hogy biztosítsák az impedanciaillesztéshez szükséges $50\ \Omega$ hullámimpedanciát. Ennek megvalósításához az eszköz adatlapján található segédletet vettem igénybe, ami külön foglalkozik a rádiófrekvenciás kialakítással. [7]



7.2. ábra. Kommunikációs panel



PCB Details:
Two layer, plated through hole
FR4
Thickness: 1.55 mm
Via stitching with 0.25 mm plated

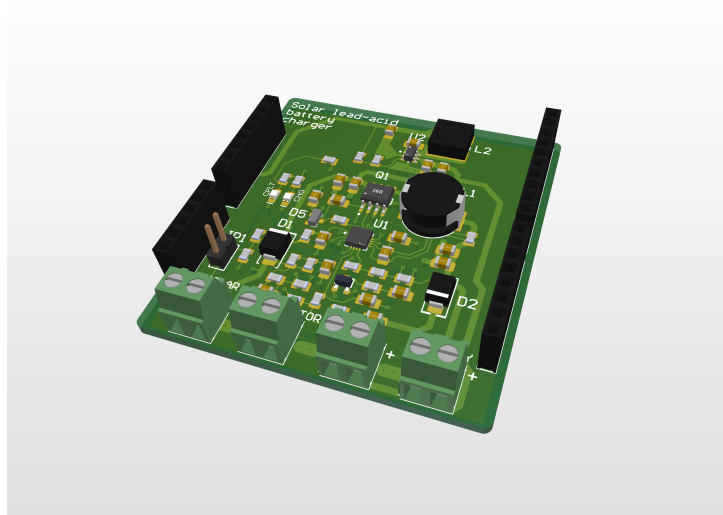
Trace Dimensions:
Trace width: 0.75
Trace gap: 0.15
Finished Copper Weight: 1 ounce

Dimensions are in millimeters

7.3. ábra. Segédlet az antenna kiveztések megtervezéséhez [7]

7.2. Tápegység panel

A tápegység panelen található a töltésvezérlő és a DC-DC konverter áramkör, valamint itt kaptak helyt a napelem és az akkumulátor csatlakozói is.



7.4. ábra. Tápegység panel

8. A tartószerkezet és a készülékház felépítése

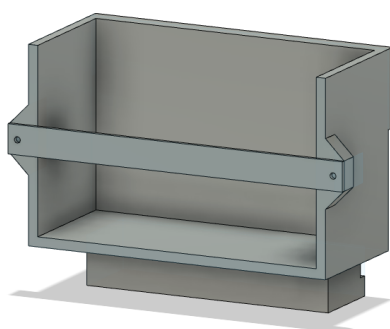
Az STM32 NUCLEO-F103 fejlesztőpanelből és a kommunikációs és tápegység panelek-ből létrejött összeállítás és az akkumulátor a készülékházban kaptak helyet. A feladatra olyan műszerdobozt kellett választani, ami kifejezetten kültéri alkalmazásra készült: ellenálló a csapadékkal szemben és az anyagát nem károsítja a napból érkező UV sugárzás. A választás egy Stilo, 300 mm × 250 mm × 120 mm méretű, polikarbonát anyagú, IP67¹ védettséggel rendelkező dobozra esett. (8.1. ábra)



8.1. ábra. Műszerdoboz

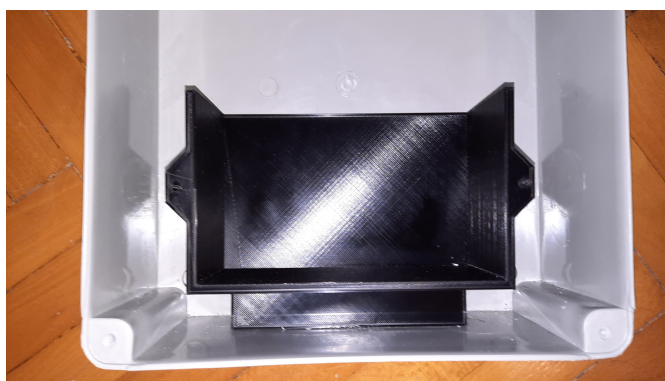
A készülékházban helyt kapott ólomakkumulátort – főleg a jelentős, 2,1 kg-os tömege miatt – rögzíteni kell az elmozdulás ellen. Erre a célra egy akkumulátortartót terveztem Autodesk Fusion segítségével. Az akkumulátort egyrészt a súrlódás, másrészt egy lezáróelem rögzíti a tartóban, ami két darab M3 × 10 mm csavarral és a hozzá tartozó csavaranyákkal kapcsolódik az akkumulátortartó fődarabjához. Az alkatrész fekete színű PLA műanyagból készült 3D nyomtatással.

¹IP67: teljes mértékben védett por ellen, és vízbe merülés ellen korlátozott ideig [18]



8.2. ábra. Akkumulátortartó

Az akkumulátortartót ragasztással rögzítettem a készülékházba kétkomponensű epoxigyanta segítségével.



8.3. ábra. Akkumulátortartó beragasztva a helyére

A napelem és a külső szenzorok kábeleinek dobozon való átvezetésére M12-es tömszelencék szolgálnak, amik IP68² védettséggel rendelkeznek.

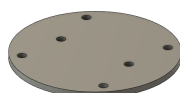


8.4. ábra. Beépített tömszelencék

²IP68: teljes mértékben védett por ellen, és víz alatt 1-3 méter mélységben folyamatosan használható 30 percen [18]



8.5. ábra. Összeszerelt panelek beépítve a helyükre



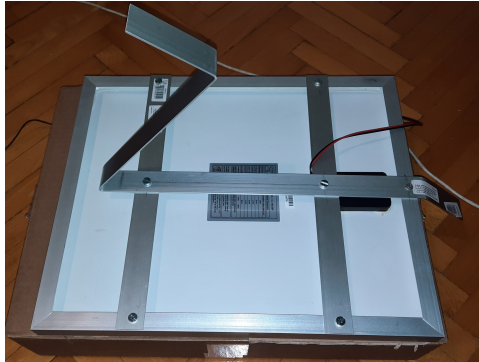
8.6. ábra. Alátétlemez a szélsébség és szélirány szenzorokhoz

A szélsébség és szélirány szenzorok felfogatásához egy alátétlemezt készítettem PLA műanyagból 3D-nyomtatással. Ezek az alkatrészek M4×15 mm csavarokkal rögzülnek a szenzorok házához és egy 1 m hosszúságú alumíniumprofilhoz, ami a két szenzor közötti szükséges távolságot biztosítja.



8.7. ábra. Szélsébség szenzor rögzítése

A napelempanel felfogatásához tartószerkezetet készítettem 3 mm×30 mm-es alumínium laposrúdból. A szerkezet három alkatrészből áll össze, amik egymáshoz és a napelempanelhez M6×16 mm csavarok és csavaranyák segítségével kapcsolódnak.



8.8. ábra. Napelemtartó

A hőmérséklet szenzor árnyékolójának kialakításakor a következő szempontokat kellett figyelembe venni:

- „a védőberendezés védje az eszközt a direkt, reflektált sugárzástól,
- a védőberendezés levegője gyorsan cserélődhessen a külső levegővel,
- a védőberendezés körüli szél minimálisan tudjon befújni,
- a védőberendezés ne cseréljen hőt a mért levegővel.
- a védőberendezés a hőmérsékleti változásokat a lehető leggyorsabban kövesse le.”[19]

[4]

Az árnyékoló elkészítéséhez azt találtam a legjobb megoldásnak, ha egy már bevált árnyékolótípust valósítok meg és nem kezdek saját alkatrész tervezésébe. Ennek megfelelően egy lemezes árnyékolót választottam ki a feladatra és 3D-nyomtatással le is gyártottam. ³ Az alkatrész fekete PLA műanyagból készült és a külső része az előírásoknak megfelelően fehér festést kapott. A szenzor az érintkező felületek és ezáltal a hőátadás minimalizálása érdekében egy távtartóval rögzül a szerkezethez.

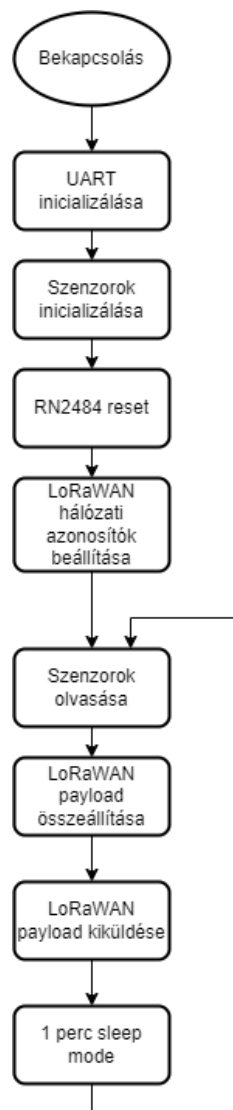
³A 3D modell forrása: <https://www.thingiverse.com/thing:2970799>



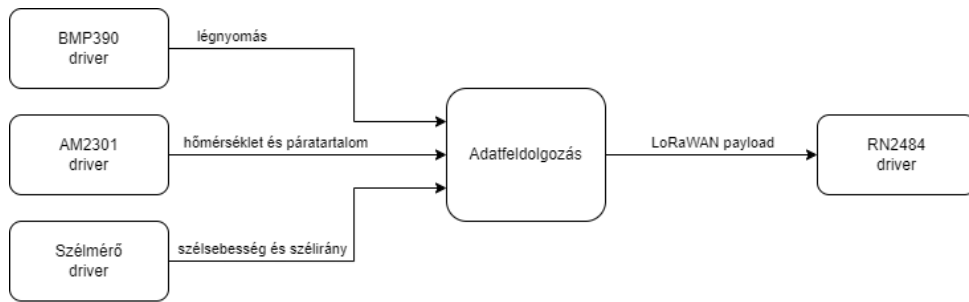
8.9. ábra. A hőmérséklet és páratartalom szenzor árnyékolója

9. Szoftver

A mikrokontrolleren futó szoftver az alábbi folyamatábra szerint működik. A bekapcsolás után megtörténik az UART interfész és a szenzorok inicializációja. Ezek után a mikrokontroller reset jelet küld a LoRaWAN modulnak, majd megtörténik a csatlakozáshoz szükséges hálózati azonosítók beállítása hálózati azonosítók beállítása. Miután befejeződött a beállítás elkezdődik a szenzorok olvasása. A beolvasott adatokból feldolgozás után a mikrokontroller összeállítja a kiküldendő adatokat, majd utasítást ad a LoRaWAN modulnak a csomag kiküldésére.

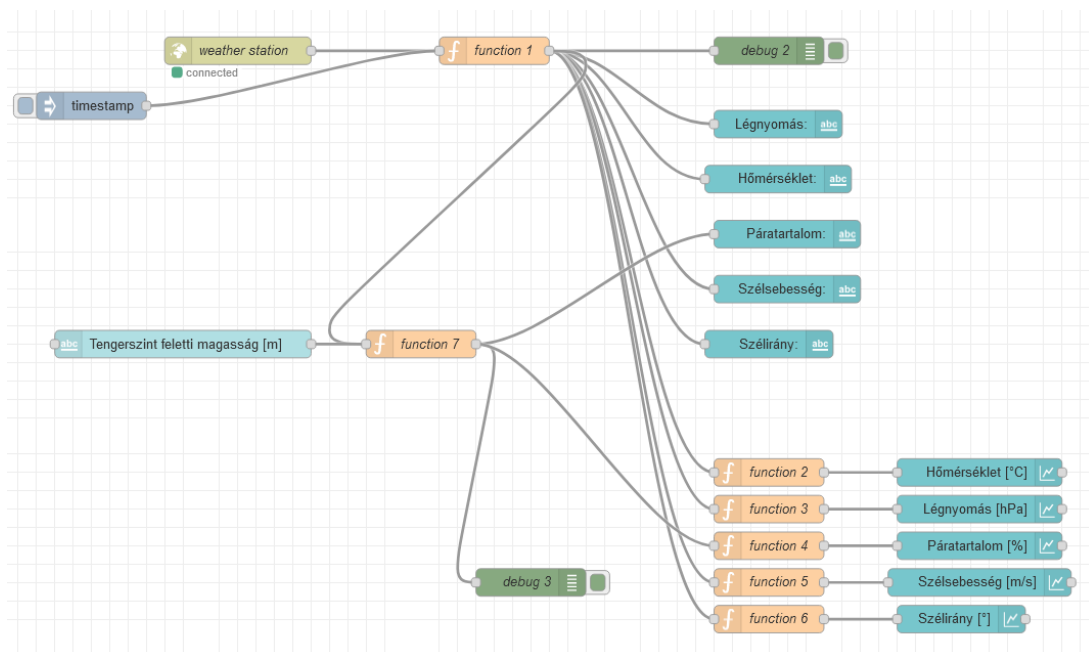


9.1. ábra. A mikrokontrolleren futó szoftver működése



9.2. ábra. A mikrokontrolleren futó szoftver moduljai

A hálózati szerver a megkapott adatokat MQTT protokollon eljuttatja a NodeRED alkalmazás szerverhez. A NodeRED alkalmazás a következő felépítéssel rendelkezik.

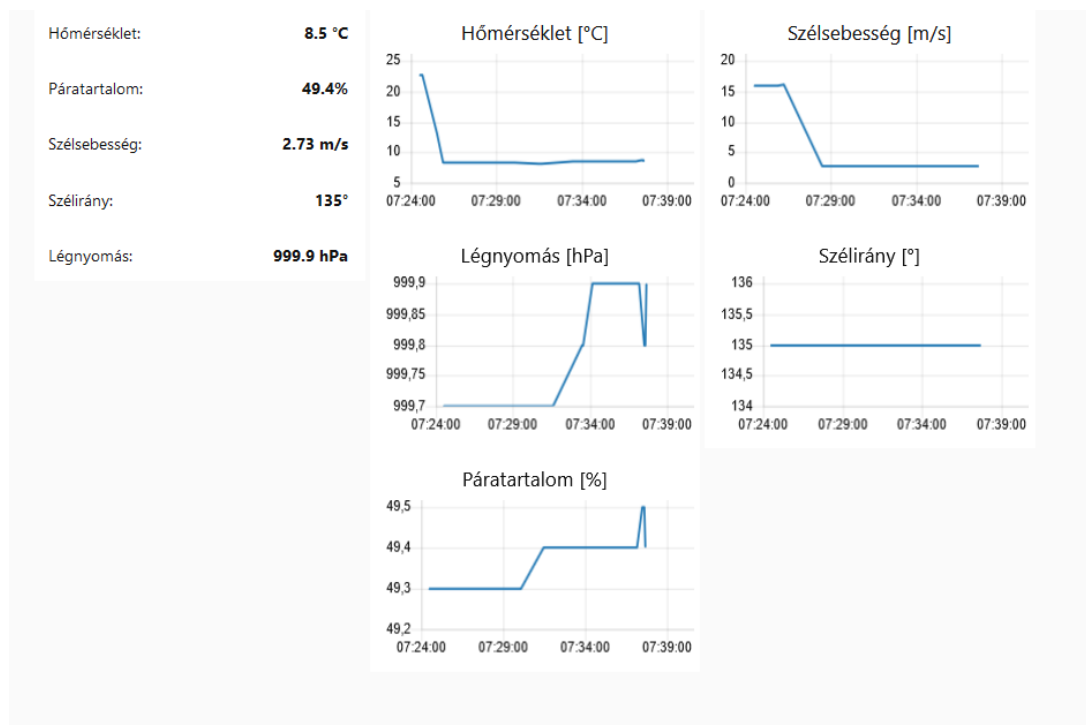


9.3. ábra. A NodeRED alkalmazás felépítése

A MQTT-n bérkezett üzenet először szétválasztásra kerül a különböző mért adatokra. A légnyomás esetén szükség van még a nyomásérték tengerszintre való átszámítására. Ehhez egy beviteli mezőben kell megadni az állomás tengerszint feletti magasságát. A feldolgozás után minden adat kikerül a felhasználói felületre.

10. Tesztelés

A tesztelés során a mért adatok a vártaknak megfelelően megjelentek a NodeRED felhazsnálói felületen.



10.1. ábra. NodeRED dashboard

Azt tapasztaltam azonban, hogy előfordulnak olyan esetek, amikor az adott mérési ciklusban kimaradnak az adatok. A LoRaWAN modul által küldött üzenetek alapján ezt a jelenséget az okozza, hogy a kiküldött csomagok többszöri újraküldés után sem jutnak el a gateway-hez. Ez azért történhet meg, mert a tesztelés helye a lefedettség határán található és a hálózati szerver kezelőfelületete szerint is nem túl kedvező $-18,5$ dB-es jel-zaj viszonyal kell számolni.

Last Seen	Feb 17, 2024, 1:43:03 PM
RSSI	-119.00 dBm
SNR	-18.50 dB
Frequency	868.500 MHz
SF	12
Bandwidth	125 kHz
Gateway	024B0BFFFF03118A

10.2. ábra. Az utolsó fogadott csomag paraméterei

11. A továbbfejlesztés lehetőségei

A tervezés és a tesztelés során jónéhány lehetőség felmerült az időjárás-állomás továbbfejlesztésére.

- A jelenlegi szenzorok is értékes adatokat szolgáltatnak, de hasznos lenne további érzékelőkkel bővíteni a rendszert a következő mennyiségek mérésre: csapadékmennyiség, talajhőmérséklet, talajnedvesség, besugárzott teljesítmény.
- A mikrokontrolleres fejlesztőpanelre épített bővítőpanelek a prototípus elkészítéséhez megfelelőek voltak, de megmutkoztak ennek a kialakításnak a hátrányai is. A csatlakozó egyes tűskéi sérülékenyek, a csatlakoztatáskor könnyen meghajlanak. A NUCLEO fejlesztőpanelen túl kevés (és nem ideális módon elhelyezett) rögzítőfurat található, így a stabil rögzítéssel problémák adódnak. Ezért érdemes lenne a teljes kapcsolást – beleértve a mikrokontrollert is – egy NYÁK-on elhelyezni.
- Az akkumulátor feszültség figyelésére a hardveres kialakítás elkészült, a szoftver azonban még nem képes ezen adatok kiküldésére. A funkció megvalósítása hasznos lehetne a tápellátó rendszer működésének megfigyelésére és alkalmas lenne az akkumulátor elhasználódásának detektálására is.
- Az alkalmazás szerveren futó szoftver a beérkezett időjárási adatokat jelenleg csak rövid ideig tárolja. Érdemes lenne a mért értékeket egy adatbázisban tárolni, így azokat nem csak az aktuális helyzet monitorozására lehetne használni, hanem alkalmasak lennének hosszabb távú elemzések készítésére is.

12. Összefoglaló

Dolgozatom célja az volt, hogy megtervezzek és megvalósítsak egy LoRaWAN kommunikációt használó mezőgazdasági időjárás-állomást, amely önműködően, hálózati tápellátás nélkül szolgáltat időjárási adatokat a felhasználó számára.

Bemutattam az eszközzel szemben támasztott követelményeket és kialakításának logikai felépítését. Ismertettem a felhasznált alkatrészek kiválasztásának lépéseit és a napelemes tápellátó rendszer méretezését a várható fogyasztásra. Az elkészült kapcsoláshoz NYÁK-ot terveztem és gyártattam és elkészítettem a specifikációnak megfelelő készülékházat és a szenzorok tartószerkezetét.

Ábrajegyzék

2.1. LoRa és LoRaWAN az OSI modellben [1]	5
3.1. Az Antenna Hungária LoRaWAN hálózatának jelenlegi lefedettsége (2024.04.06.) [2]	6
4.1. Logikai rendszerterv	8
5.1. STM32 NUCLEO-F103RB	9
5.2. AM2301 hőmérséklet és páratartalom szenzor [3]	10
5.3. AM2301 bekötése [3]	10
5.4. AM2301 a felhúzó ellenállással	11
5.5. A szenzor által használt "single bus" kommunikációs protokoll [3]	11
5.6. A single bus protokoll adatbitjei [3]	11
5.7. BMP390 légnyomás szenzor [5]	12
5.8. BMP390 légnyomás szenzor bekötése (részlet a kapcsolási rajzból)	13
5.9. Szélsebesség és szélirány szenzorok	13
5.10. Az AD átalakítót meghajtó maximális ellenállás meghatározásához használt modell [6]	14
5.11. T_S lehetséges értékei [6]	15
5.12. Szélsebesség és szélirány szenzorok feszültségosztói	16
5.13. RN2483 LoRaWAN modul [7]	16
5.14. RN2483 LoRaWAN modul belső felépítése [7]	17
5.15. Panasonic lítiumion-cella töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [10] . . .	19
5.16. Samsung lítiumion-cella töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [9]	20
5.17. LG lítiumion-cella töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [8]	20
5.18. ETZ lítium-vasfoszfát akkumulátor töltési és kisütési hőmérséklet határértékei [11]	20
5.19. LEADYO lítium-vasfoszfát akkumulátor töltési és kisütési hőmérséklet határ- értékei [12]	20
5.20. EMOS SLA akkumulátor hőmérséklet-kapacitás táblázata [13]	21
5.21. Ultracell SLA akkumulátor hőmérséklet-kapacitás táblázata [14]	21
5.22. EMOS E1270 12V/7Ah [13]	22

5.23. A kiválasztott napelem	22
5.24. Napelem U-I karakterisztikája	23
5.25. SLA akkumulátor töltési görbéje	24
5.26. A BQ24650 által használt MPPT algoritmust szemléltető folyamatábra	25
5.27. NTC ellenállással megvalósított hőmérsékleti kompenzáció	26
5.28. TPS560430	27
5.29. TPS560430 IC-vel megvalósított step-down konverter	27
5.30. A TPS560430 adatlapjában megtalálható táblázatos segítség a méretezéshez [17]	28
6.1. Fizikai rendszerterv	29
7.1. Elkészült NYÁK-ok összeszerelve	30
7.2. Kommunikációs panel	31
7.3. Segédlet az antenna kiveztések megtervezéséhez [7]	31
7.4. Tápegység panel	32
8.1. Műszerdoboz	33
8.2. Akkumulátortartó	34
8.3. Akkumulátortartó beragasztva a helyére	34
8.4. Beépített tömszelencék	34
8.5. Összeszerelt panelek beépítve a helyükre	35
8.6. Alátétlemez a szélsébség és szélirány szenzorokhoz	35
8.7. Szélsébség szenzor rögzítése	35
8.8. Napelemtartó	36
8.9. A hőmérséklet és páratartalom szenzor árnyékolója	37
9.1. A mikrokontrolleren futó szoftver működése	38
9.2. A mikrokontrolleren futó szoftver moduljai	39
9.3. A NodeRED alkalmazás felépítése	39
10.1. NodeRED dashboard	40
10.2. Az utolsó fogadott csomag paraméterei	40

Táblázatjegyzék

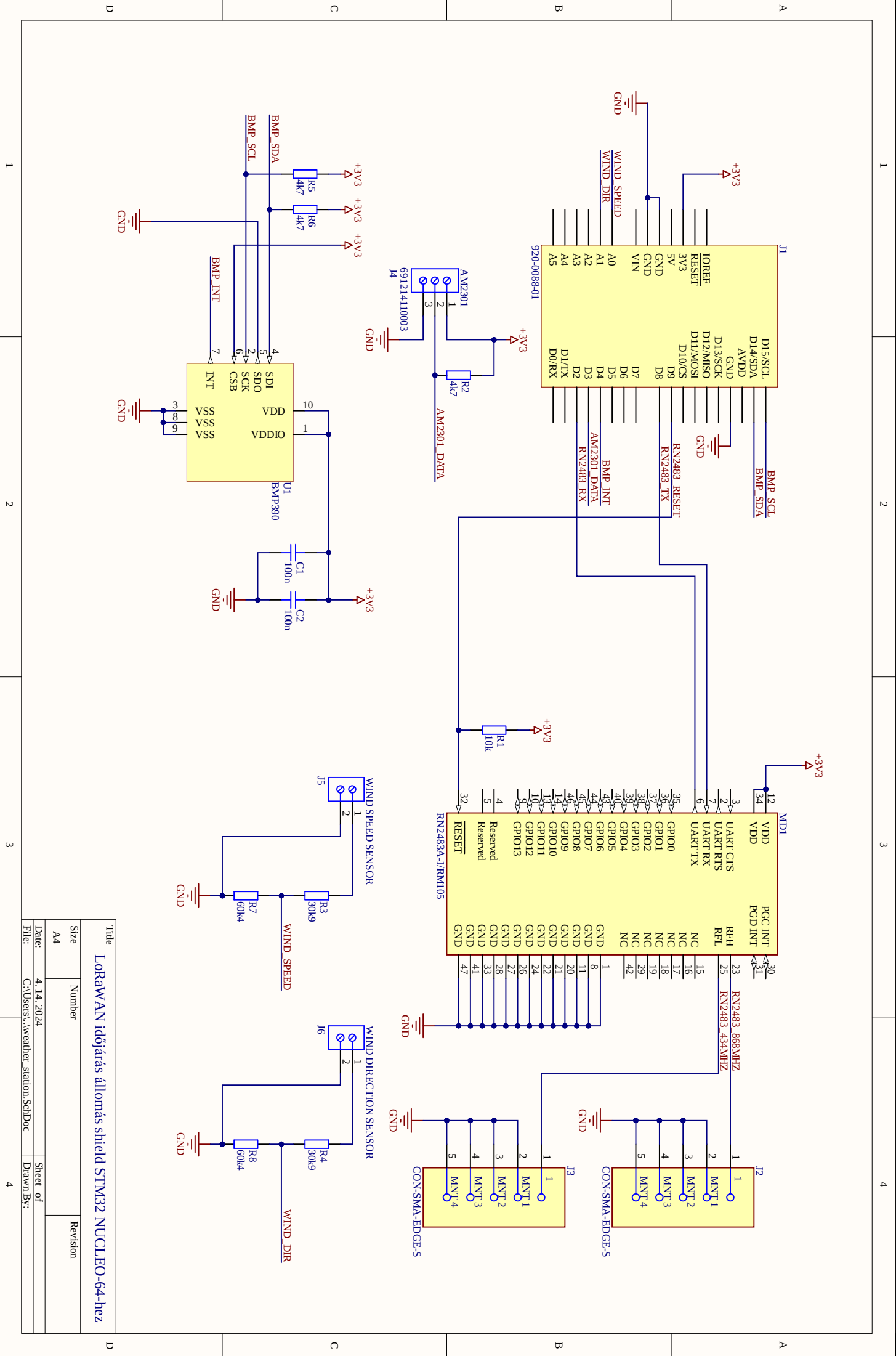
5.1. A kiválasztott eszközök várható átlagos teljesítményszükséglete	19
5.2. Különböző típusú akkumulátorok összehasonlítása ár szerint ¹	21
5.3. A kiválasztott 3,3 V-os eszközök várható maximális áramfelvétele	27

Irodalomjegyzék

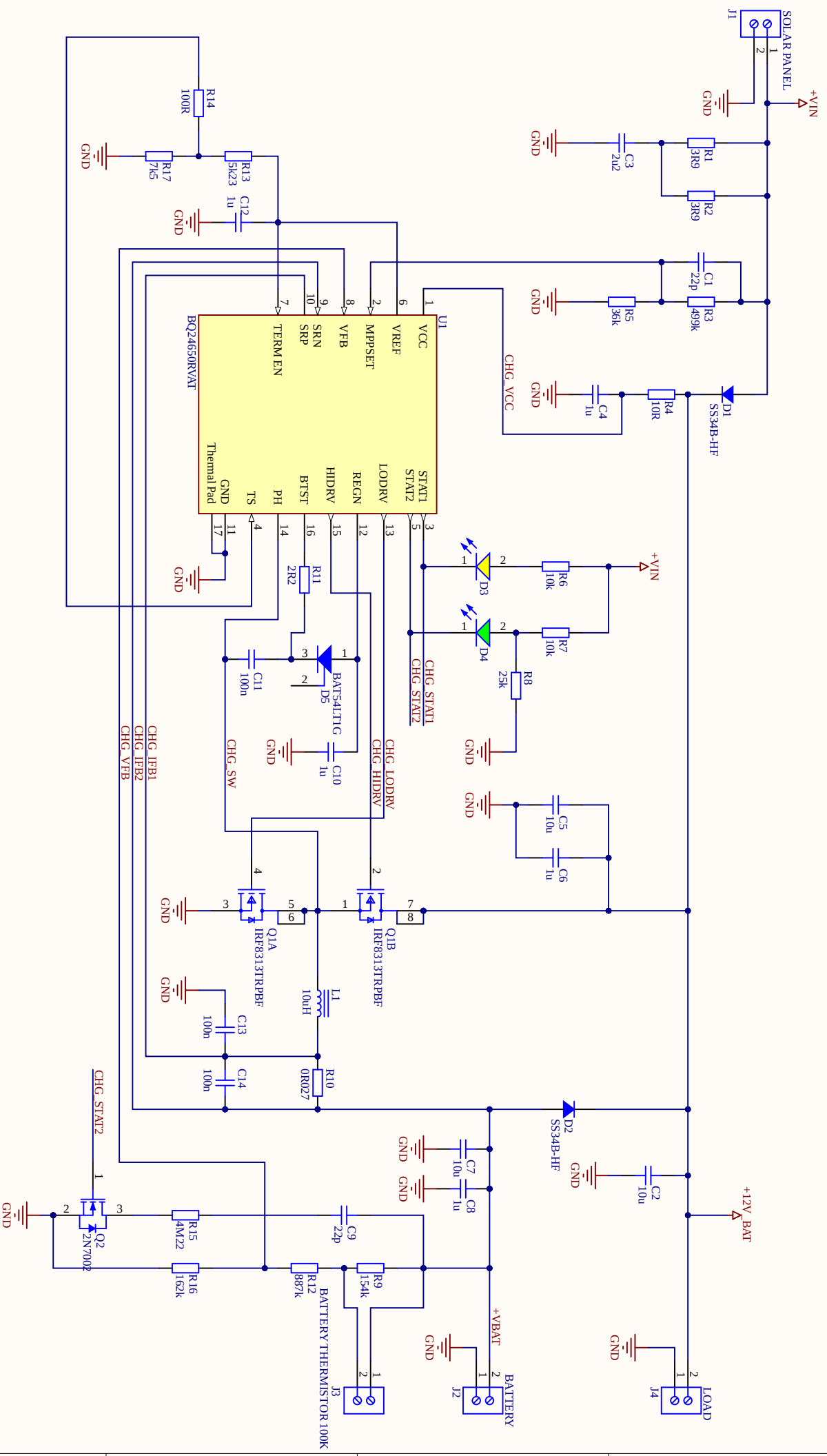
- [1] *A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™*, LoRa Alliance, 11 2015, <https://www.tuv.com/content-media-files/master-content/services/products/1555-tuv-rheinland-lora-alliance-certification/tuv-rheinland-lora-alliance-certification-overview-lora-and-lorawan-en.pdf>.
- [2] *AH LoRaWAN hálózat fejlesztőknek*, Antenna Hungária, <https://www.ahrt.hu/hu/fejlesztoknek>.
- [3] *AM2301 Product Manual*, ASAIR, <https://www.haoyuelectronics.com/Attachment/AM2301/AM2301.pdf>.
- [4] M. Krisztián, „Az árnyékolók hatása a léghőmérséklet-mérések és a hosszú távú adatsorok megbízhatóságára,” 2010.
- [5] *BMP390 – Datasheet*, Bosch Sensortec, 3 2021, <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp390-ds002.pdf>.
- [6] *Medium-density performance line Arm®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. interfaces*, STMicroelectronics, 9 2023, <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>.
- [7] *Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module*, Microchip, 2021, <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/RN2483-Low-Power-Long-Range-LoRa-Technology-Transceiver-Module-DS50002346F.pdf>.
- [8] *Rechargeable Lithium Ion Battery*, LG, INR18650 MJ1 3500mAh, 8 2014, <https://www.nkon.nl/sk/k/Specification%20INR18650MJ1%2022.08.2014.pdf>.
- [9] *Lithium-ion rechargeable cell for power tools*, Samsung, INR21700-40T, 12 2017, <https://dnkpower.com/wp-content/uploads/2019/02/SAMSUNG-INR21700-40T-Datasheet.pdf>.
- [10] *Rechargeable Lithium Ion Battery*, Panasonic, NCR18500A, 2022, <https://www.dnkpower.com/wp-content/uploads/2022/09/Panasonic-NCR18500A-Data-Sheets.pdf>.

- [11] *ETZ Series Lithium Batteries*, ETZ, ETZ5G, 2022, https://earthxbatteries.com/wp-content/uploads/2022/04/ETX_Manual_111017_AC.pdf.
- [12] *Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) Battery for Cold Weather*, Leadyo, 2022, <https://www.nettbutikk.solcellespesialisten.no/media/multicase/documents/12v200ah%20lfp%20lifepo4%20battery%20for%20cold%20weather%20.pdf>.
- [13] *OT7-12*, EMOS, https://www.emos.hu/file/915293/1201004300_61-b9691.pdf.
- [14] *UL 7 - 12*, Ultracell, 2008, <http://zselesakkumulator.shoprenter.hu/custom/zselesakkumulator/image/data/leirasok/Ultracell-12V-7Ah.pdf>.
- [15] *Using the bq24650 to Charge a Sealed, Lead-Acid Battery*, Texas Instruments, 2011, application Report SLVA437A.
- [16] J. Ma, K. Man, T. Ting, H. Lee, T. Jeong, J.-K. Sean, S.-U. Guan, and P. W. H. Wong, „Insight of direct search methods and module-integrated algorithms for maximum power point tracking (mppt) of stand-alone photovoltaic systems,” vol. 7513, 09 2012, pp. 463–471.
- [17] *TPS560430 SIMPLE SWITCHER® 4-V to 36-V, 600-mA Synchronous Step-Down Converter*, Texas Instruments, 2018, https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps560430.pdf?ts=1713268919743&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
- [18] „Degrees of protection provided by enclosures (ip code),” International Electrotechnical Comission, Geneva, CH, Standard IEC 60529, 2001.
- [19] *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations*, World Meteorological Organization, 2008.

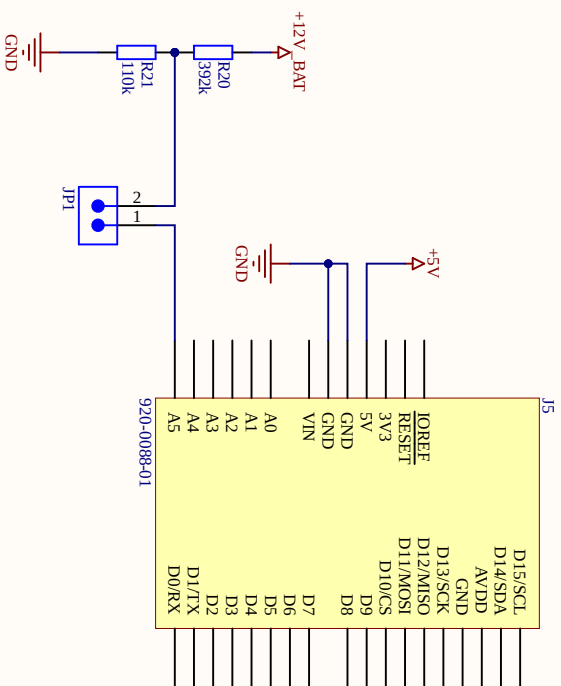
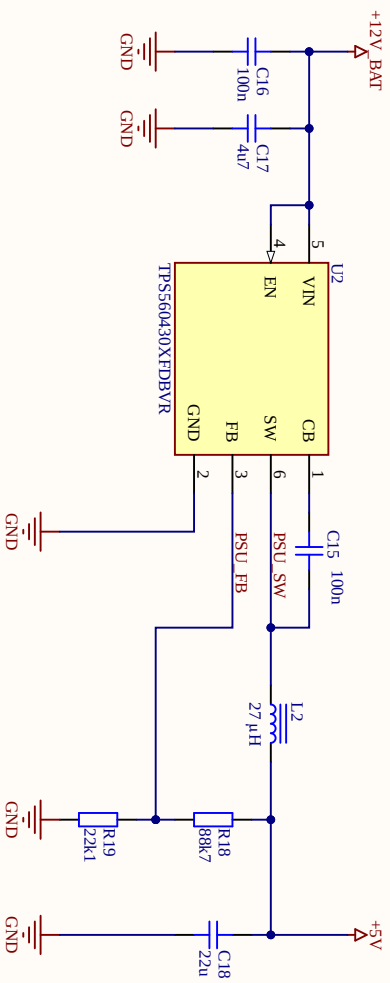
Mellékletek



Title		
LoRaWAN időjárás állomás shield STM32 NUCLEO-64-hex		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4. 14. 2024	Sheet of
File:	C:\Users\...\weather_station\SchDoc	Drawn By:



Title		
Napélemlés SLA-akkumulátorrólő shield STM32 NUCLEO-64-hez		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4. 17. 2024	Sheet 2 of 2
File:	C:\Users\...\charger.SchDoc	Drawn By: Horváth Benedek



Title		
Napelemes SLA-akkumulátoröltő shield STM32 NUCLEO-64-hez		

Size	Number	Revision
A4		
Date:	4. 17. 2024	Sheet 1 of 2
File:	C:\Users\regulator\SchDoc	Drawn By: Horváth Benedek