

TDK dolgozat, 2011

Kódo olvasó eszköz illesztése vezeték nélküli növényfluoreszcencia-mérő rendszerbe



Almády Balázs

Fizika BSc. III. évfolyam

Intézmény: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Témavezető: Dr. Barócsi Attila, docens, Atomfizika Tanszék

Konzulens: Lenk Sándor

Kódolvasó eszköz illesztése vezeték nélküli növényfluoreszcencia-mérő rendszerbe

Tartalom

Bevezetés.....	3
A SPICY projekt bemutatása	3
A BME céljai a SPICY projektben	4
A projektben játszott szerepem	5
Az akkumulátortartó tervezése	7
Tervezési szempontok	7
Az elem realizálása	9
A QR kódolvasó elektronikája és mechanikája	11
A kódolvasó elektromechanikája	11
Az áramkör elméleti megtervezése.....	12
A tápegységek	12
A rádiófrekvenciás modul.....	13
Áram- és feszültségfigyelő áramkör	16
A kódolvasó elektronikájának doboza.....	19
A prototípus modell.....	19
A nyomtatott áramkör megtervezése	21
Az új doboz megtervezésének szempontjai	24
A doboz belső elrendezése.....	25
Konklúzió	27
Köszönetnyilvánítás.....	28
Források.....	29
Képek forrásai.....	29

Bevezetés

A SPICY projekt bemutatása

A BME Fizikai Intézet Atomfizika Tanszéke résztvevője a 2008-2012 időszakban futó műszerfejlesztési projektnek, a SPICY-nak [1]. Ez a „Smart tools for Prediction and Improvement of Crop Yield” („Intelligens Eszközök a Terméshozam Előrejelzésére és Javítására”) rövidítése. A projekt célja eszközpark kifejlesztése haszonnövények molekuláris nemesítéséhez a fenntartható és versenyképes mezőgazdaság érdekében. Az eszközök a nemesítőket segítik az egyes genotípusos (azonos fajon belül eltérő genetikával rendelkező fajták/variánsok) komplex jelleget mutató fenotípusos válaszában (külső jegyeinek, esetünkben a terméshozam) előrejelzésében különböző környezeti körülmények között. A modellnövény a paprika. A projekt elképzelése, hogy növény-növekedési modellt alkalmaz a genotípus fenotípusos válaszában előrejelzésére különböző környezeti feltételek mellett, valamint genetikai markereket, hogy megbecsülje a genotípus-specifikus modellparamétereket. Létező növekedési modellt adaptál a genotípus-specifikus információk befogadására.

A molekuláris nemesítés nem helyettesítheti teljesen a nagyszabású fenotipizálást (külső jegyek meghatározását). Ezért automatizált és nagy-átvitelű eszközöket kell alkalmazni a fenotipizáláshoz – pl. termések megszámlálásához, összes levélterület méréséhez – szükséges manuális munka csökkentése érdekében. A projekt keretében a résztvevők egy része kép- és fluoreszcencia analízáló eszközöket fejleszt nagyszámú fenotípusos jelleg (részben) automatikus mérésére.

A projekt az utolsó (jelen) évben minősítő kísérletsorozatot végez, hogy megmutassa a teljes koncepció potenciális alkalmazásait, valamint az egyes eszközök és módszerek által kínált lehetőségeket.

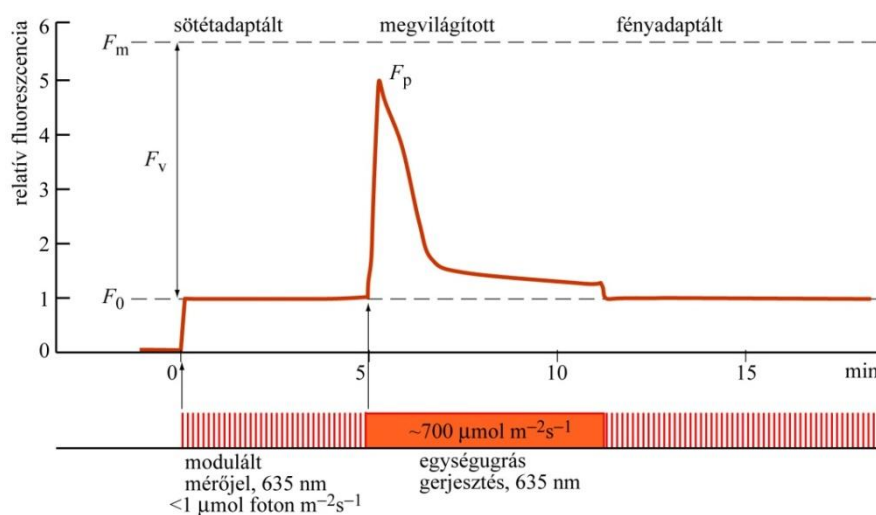
A növények egyik fő jellemzője a fotoszintetizálás képessége. Ezt a tulajdonságot csak korlátozottan alkalmazzák a genotípus válogatásban, mivel hosszadalmas méréseket igényel. A SPICY projekt keretében a BME Atomfizika Tanszéke olyan fluoreszcencia-mérő eszközt fejleszt, amely lehetővé teszi a fotoszintézis sebességével és hatásfokával összefüggő paraméterek gyors meghatározását. Az elképzelések szerint a mért fluoreszcencia adatok – bizonyos korrekciók után – a növénymodell bemeneti paraméterei lennének a fotoszintézis nehezen meghatározható paraméterei (pl. fényhasznosítás) mellett, illetve optimális esetben (megfelelő korreláció esetén) azok helyett. Ez a modell a válogatási eljárásban alkalmazva a produkció gyors indikátora lehet.

A BME céljai a SPICY projektben

A fenti nagyszabású projektbe 2011 júniusában (annak 4. évében) csatlakoztam be.

A SPICY mérőműszere a mintanövények fluoreszcenciáját vizsgálja. Ennek több előnye is van a fényvisszaverődés vagy sima fényképezéssel történő vizsgálatokhoz képest. A fluoreszcencia típusú mérésekkel a növény élettani jellemzőiről is információt gyűjtünk, elsősorban a fotoszintézis folyamatáról illetve az ezt végrehajtó rendszerről [2]. A növényen megfelelő mintalevelet kiválasztva az egész növényre érvényes információkat kaphatunk.

Fluoreszcenciát a növény megfelelő hullámhosszú – a növény abszorpciós tartományába eső – fénnel történő megvilágításkor kapunk. Erre több, különböző fényforrást is használunk, mivel a különböző hullámhosszak a fotorendszer különböző részeit gerjesztik és így különböző válaszokat kapunk. Amennyiben egy sötétbe alkalmazkodott levelet hirtelen fényhatásnak teszünk ki, akkor a klorofill fluoreszcenciában nagy változások mennek végbe, melyek az adott növény fiziológiai működésére jellemző időbeli lecsengéssel (1. ábra) rendelkeznek. Ezt a fluoreszcencia indukciót (azaz a fotoszintetikus rendszer egységugrás gerjesztésre adott válaszát) Kautsky effektusnak is nevezik. A növényfajta biofizikai háttéréről (magáról a fotoszintetikus rendszerről) pedig inkább a rendszer impulzus-gerjesztésre adott válasza ad információt. Általában a kétféle gerjesztést megfelelő mérési protokollban kombinálják.



1. ábra. A Kautsky-görbe

A BME eredeti célkitűzései a SPICY projektben [3]:

- Tömeges mérésre alkalmas mérőberendezés megtervezése
- Könnyen kezelhető intelligens adatbázis létrehozása

A legtöbb jelenlegi, a fent leírt fluoreszcencia indukció jelenség mérésére alkalmazott eszköz nem alkalmas tömeges mérésre. Ennek gyakoribb okai például, hogy az alkalmazott módszer lassú, vagy az adatok kiértékelése emészt fel sok időt. Gyakran az eszközök mérete is problémát okoz.

A SPICY keretében tervezett mérőműszer nem egy önálló eszköz, nem tartalmazza a teljes adatkiértékeléshez szükséges infrastruktúrát. Ez az eszköz elvégzi a mérést, majd ezeket az adatokat továbbítja egy központi rendszernek, mely elvégzi a kiértékelést. Ez az elrendezés alkalmas több mérőfej párhuzamos használatára is. A prototípus rendszerben a központi egységhez két mérőfej, azaz Intelligent FluoroSensor (IFS) tartozik.

A mérőrendszer része még egy QR-kód olvasó eszköz is. Ennek feladata a mérések automatikus kategorizálása. Mind az IFS műszereken és a vizsgált növények „cserepén” található egy QR-kód az azonosításhoz. A kódolvasóval ezeket a mérés előtt beolvasva a rendszerhez tartozó program legenerál egy egyértelmű nevet, mely tartalmazza az azonosítókat és a dátumot. Az azonosítókra nem csak a növények esetén van szükség, hanem a mérőműszereknél is, a kicsit eltérő karakterisztikák és offset hibák csökkentése érdekében.

A fent felvázolt rendszer jól kategorizálható adatbázist tud létrehozni, melyben az egyes elemek biztosan helyes címmel rendelkeznek (mivel ezeket a QR-kódok alapján automatikusan generáljuk). Így a rendszer képes az elvégzett nagyszámú mérést jól dokumentálni. A projekt részét képezi még ennek az adatbázisnak a kezelőprogramja is.

A projektben játszott szerepem

A SPICY projektben több külföldi partner is részt vesz. A mérőműszerek prototípus verzióival mostanra már nagy mennyiségű adatot sikerült begyűjteni. Az együttműködő partnerek méréseiket hatalmas üvegházakban végzik, haszonnövényeken (paprikán). Nagyszabású méréseket folytatnak Hollandiában és Spanyolországban. Az üvegházak, melyekben az eszközöket használják nagyok, jellemzően 40x60m nagyságrendbe esnek. Ilyen méretű, zsúfolt üvegházakban meglehetősen bonyolult és nem hatékony a vezetékes eszközök használata (2. ábra). A SPICY rendszer mindkét mobil eleme –az IFS és a kódolvasó – vezetékes volt eddig. A felhasználók igényeinek és a mérési körülményekhez igazítás végett szükséges volt a mérőrendszer rádiós változatának kifejlesztése. Ez mind mechanikai, mind elektronikai tervezéssel járt. Ezt a feladatot vállaltam el nyár elején.



2. ábra. Spanyolországi üvegház IFS készülékekkel

A rádiós rendszer kiépítéséhez szükséges alapvető eszközöket, mint rádiós áramköröket még azelőtt beszerezték, hogy én a projekten dolgoztam volna. Azonban egy teljesen mobil rendszernek sok eleme van. Szükség van akkumulátorra, vezetékes tápellátás híján. Mivel az eszközök eddig is helytakarékosra voltak tervezve, így az akkumulátornak új, külső dobozra volt szükség. Az IFS eszköznél az áttérés a rádiós változatra már gyakorlatilag készen volt, mire a projektbe bekapcsolódtam. Azonban a kódolvasó teljes apparátusa hiányzott, így ennek megtervezése lett a feladatom, az IFS akkumulátor tartójával együtt.

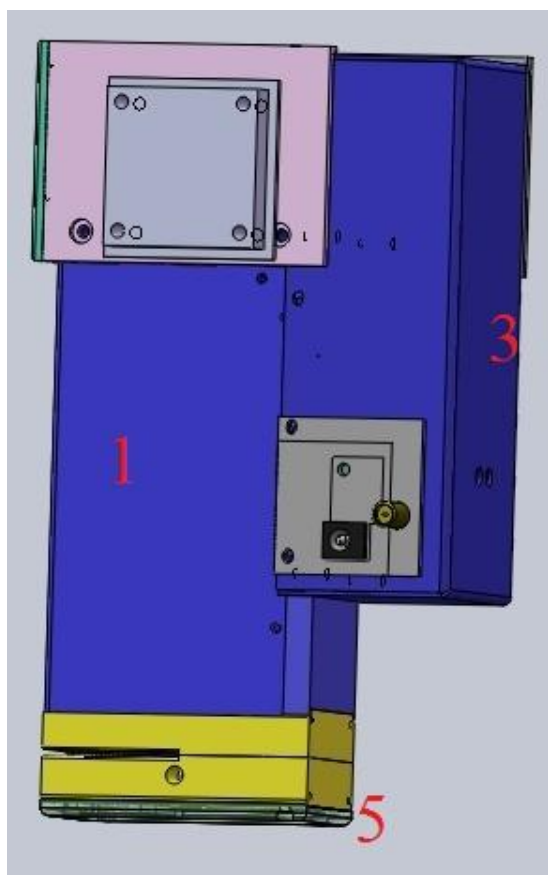
A dolgozatban összefoglalom a szükséges mechanikai tervezési lépéseket, kiemelve a kiindulási szempontokat és a felmerült problémákat, valamint ismertetem az alkalmazott tervezőprogramot (SolidWorks [4], [5]). Ezek mellett a kódolvasó és a rendszerszoftver közötti adatforgalmat biztosító, 802.15.4 RF protokollt alkalmazó elektronika (kettős tápegység, soros interfész és rádió) tervezési lépéseit is bemutatom az ehhez használt Altium Designer [6] programmal együtt.

Az akkumulátortartó tervezése

Tervezési szempontok

A rendszert alkotó házat ki kellett bővíteni a megváltozott feladatra. Mivel alapvetően vezetéken kapta a tápfeszültséget a műszer, így szükség volt a táp elhelyezésére a hordozható egységen belül. A mérőműszer doboza több helyen is bővíthető lett volna, először meg kellett határozni, hogy hol helyezkedjen el az elemtartó.

A mérőeszköz eredeti elrendezését az alábbi ábrákon láthatjuk, elől- és hátulnézetben.



3. ábra. SolidWorks kép az IFS készülékről



4. ábra. Fénykép az IFS műszerről (másik oldal)

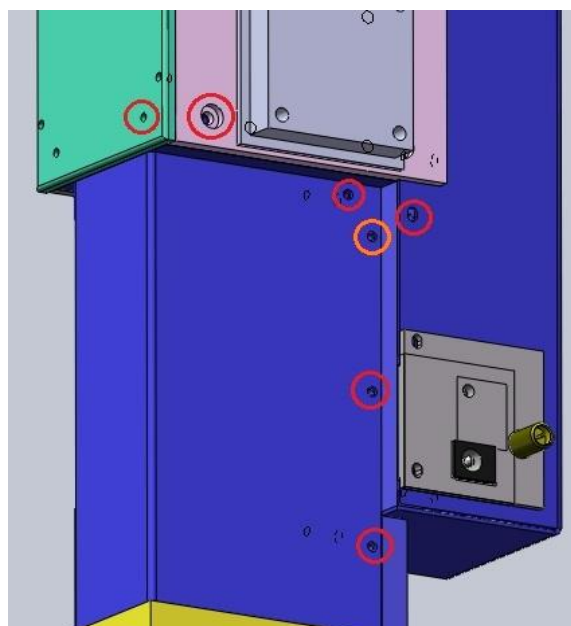
A 3. ábrán látszik a már átalakított bemeneti/kimeneti panel, melyen látható a tápfeszültség jackjének és az antennának a helye. A műszert a jobb oldal felől fogja a felhasználó. Láthatjuk, hogy a potenciálisan megfelelő helyek a következők:

1. A 3. ábrán közvetlenül a bemenet mellett – ez célszerű, mivel rövid vezetékkel is összeköttetést tudunk létesíteni, nem kell a vezetéket helyeztetni a házon kívül. Emellett a műszert fogó kezét nem zavarja különösebben, amennyiben az elemtartó nem lóg lejjebb a jobb oldali panelnél. Végül ezt a helyet ítéltük meg optimálisnak.

2. A 4. ábrán, átellenben az előbb vizsgálttal is lehetett volna az elemtartó, ez azonban több szempontból nem lett volna célszerű. Ha ebben az irányban bővítettük volna a műszert, akkor sokkal inkább nőtt volna az ilyen irányú kiterjedése, mivel ezen az oldalon nincsen különösebb kiemelkedő elem. Emellett a vezeték a dobozon kívül kellett volna elvezetni, ami nem célszerű, főként a vezeték sérülékenysége miatt.
3. A műszer kéz felőli lapjára hasonló okok miatt nem lehet az akkumulátortartó dobozt felhelyezni, de itt még az is közrejátsszik, hogy nincsen elég rögzítési pont. Így ilyen elhelyezésnél jóval nagyobb felesleges felületeket kellene használni csupán a rögzíthetőség elérése végett.
4. A műszer kézzel átellenes lapjára sem lehet megfelelően illeszteni az alkatetemet, az akkumulátor térbeli kiterjedései miatt: egyszerűen nem lenne esztétikus. Emellett nagyon gyenge egy ilyen rögzítés.
5. A műszer alja nem alkalmas rögzítésre, egyrészt a kisméretű csavarhelyek miatt, valamint a mintatartó nyitható alsó része nem bírja a terhelést.
6. A műszer felső részét ismét az akkumulátor dimenziói miatt nem lehet a dobozzal kiegészíteni, nem férne el a tetején illetve otromba lenne. Emellett az üvegházakban az eszközt felfogatják, ez is körülményessé válna.

A fentiekből látszik, hogy átgondolva a rendszer paramétereit a legoptimálisabb helyet választottuk ki az akkumulátor tartójának.

A következő lépés az illesztési helyek megkeresése. Ezt a helyválasztáshoz mérten az alábbi ábrán láthatjuk:



5. ábra. Rögzítési pontok a kiválasztott oldalon

Gyakorlatilag 6 szabad rögzítési pont volt található megfelelő helyen és egy olyan, amelyhez módosítani kellett egy már meglévő szerkezeti elemet: ez a bal oldali világoskék felületen lévő csavarlyuk. Ezt az elemet az illeszkedési pontnál elvékonyítottuk, oly módon, hogy az akkumulátortartó nélkül is résmentesen feküdjön a felületen. Így a házról leszerelhető az akkumulátortartó anélkül, hogy a belső részekhez hozzáférnénk. Ezek mellett még lehetett volna további 4 rögzítési pontot felszabadítani a már meglévő lyukakhoz, ezek azonban fontos külső elemeket tartottak, ilyen például a fenti szürke téglatesttel jelölt hűtőbordázat illetve a lenti szürke bemenet/kimenet panel. Az elkészült elem végül 5 ponton lett rögzítve (a narancssárgával jelölt furatot nem használtam fel).

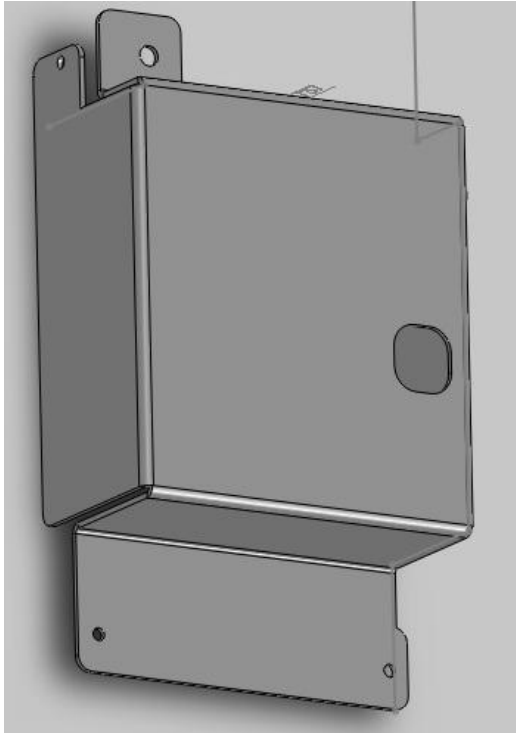
A rögzítési pontok meghatározása után már magának a doboznak a megtervezése következett. Első és legfontosabb szempont az, hogy maga az akkumulátor elférjen a házban és lehetőség szerint ne lötyögjön. A használt akkumulátor nem gyárilag pontosan meghatározott méretű, így viszonylag nagy tűrést kellett hagyni neki. Mivel a mérőműszert üvegházakban, párás és nedves környezetben használják így ésszerű, hogy a doboznak a lehető legzártabbnak kell lennie minden irányból. Így egy, a már meglévő felületre pontosan illeszkedő, kívülről jól záró alkatelemet kellett terveznem.

Az alapanyag adott volt: a már meglévő házzal egyező anyagú 1mm vastag alumínium ötvözet lemez (AlMgSi). Ez az ötvözet egy viszonylag erős anyag, mely ilyen méretű eszközök szerkezeti anyagának megfelelő, használata széles körben elterjedt. Ezt a lemezt kellett a program irányítása alatt formába szabnom. A SolidWorks támogatja a lemezből történő kivágást, külön eszköztárral rendelkezik erre a gyakori eljárásra. Miután elméletben körvonalazódott a kívánt alak, azt a tervezőbe bevitettem, majd következett az igazán nehéz rész: méretezni a meglévő dobozhoz, pontosan illeszteni a csavaroknak szánt lyukakat és lemezeket.

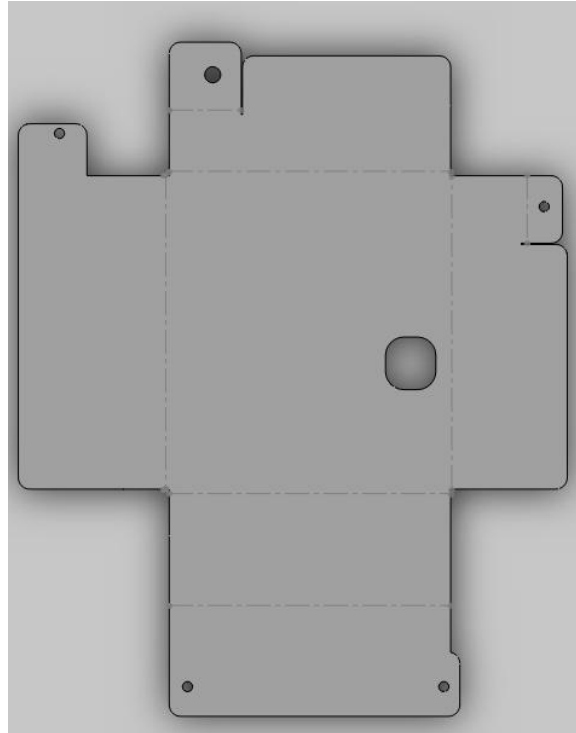
Az elem realizálása

A tervezés először síkban történt. Ennek elsődleges oka a gyártási technológiában rejlik: mivel a kész elemet egy sík lapból vágják ki, így vannak értelemszerű megszorítások a tervezésnél. Például az egyes részek –bár a térben jó helyen vannak – a síkba is kiteríthetőnek kell lenniük. Emellett az egyes oldalak hossza sem egészen egyezik meg a kívánt távolságokkal, mivel ebbe bele kell számítani a három dimenzióba történő hajtásokhoz szükséges görbületet. Így a pontos tervezés nagyon nehéz lenne, mivel azonban a SolidWorks egyszerre tudja vizsgálni és alakítani a kiterített és a térbeli alakzatot is, így a két problémát a megfelelő végéről tudjuk megfogni.

Végül az alkatelem a következő lett:



6. ábra. Akkumulátortartó behajlítások után



7. ábra. A síkba kiterített elem

Miután az elem tervezésével elkészültem, sor került az elem elkészítésére. Az 1mm-es lemezből lézervágóval vágták ki a körvonalakat (7. ábra) és speciális (kis rádiuszú) hajlító-gépen hajtogatták be a megfelelő éleknél a lemezt. Az egyes lapok behajtása után az elemet illesztettem a műszer házához. A kész összeállítás a 8. ábrán látható.



8. ábra. Rádiós IFS

Az elem legyártása után mindössze egyetlen probléma merült fel, amelyre nem gondoltam a tervezésnél. Ez az 5. ábrán látható alsó felület illesztési pontjainak típusából fakadt: a csavarok nem süllyesztettek (ilyen vékony lemezbe nem is lehetne süllyeszteni a fejüket), így azok a felületről kiálló külön részt alkotnak, ami miatt nem lehet a tervezett dobozt rendesen illeszteni. Ezt a hibát a prototípuson egyszerűen megoldottam, ráspollal lereszeltem a felesleges részeket a lemezből. Ezt a hibát ezután kijavítottam az elem modelljében és műszaki rajzában is. A kész elemet ezután feketére eloxáltattuk.

Ezzel az akkumulátort tartalmazó ház véglegesen elkészült (9. ábra).



9. ábra. A tartó belső oldala az akkumulátorral

A QR kódolvasó elektronikája és mechanikája

A kódolvasó elektromechanikája

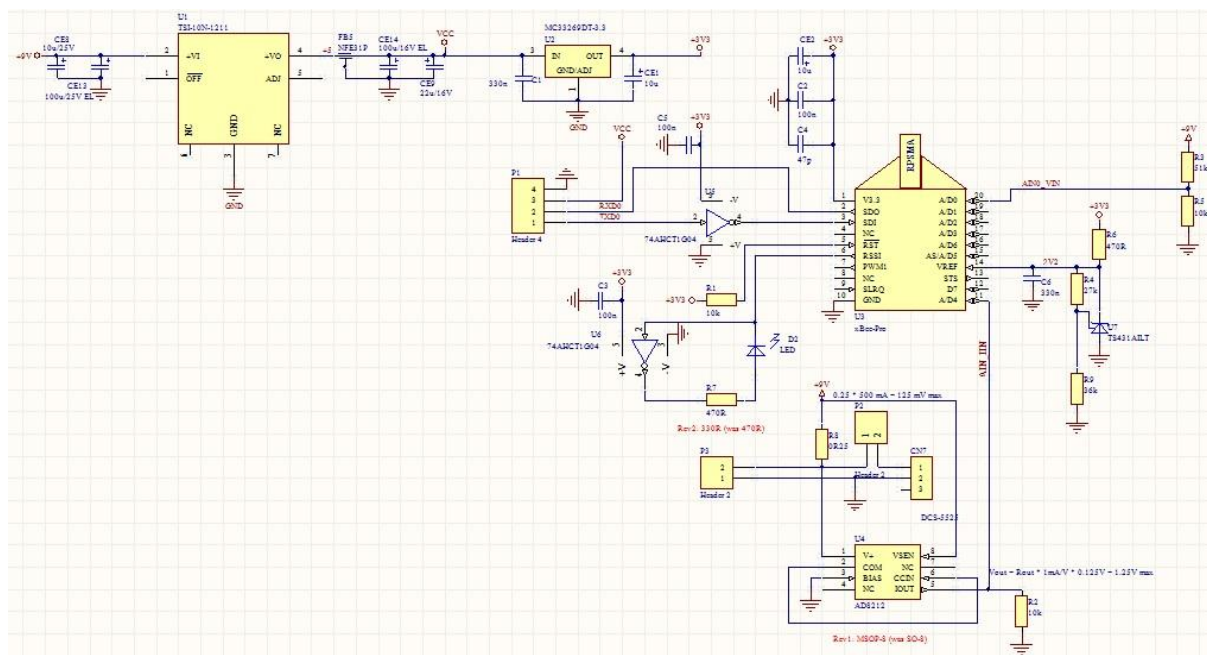
Ahhoz, hogy a kódolvasó rádiós változatát megtervezzem, előbb szükség volt a belső elrendezés megalkotására, arra, hogy ismert elemekből álljon. Így ezeket az elemeket bemodellezve megalkotható a teljes doboz is.

A dobozba helyezendő elektronikának a következő tulajdonságokkal kell rendelkeznie:

- Kell, hogy legyen benne tölthető akkumulátor. Erre ugyanazt a Li-elemet használtam, mint a mérőegységhez. Mivel ennek az akkumulátornak a feszültsége 9V, ezért tápegységet is kell behelyezni, mellyel a kódolvasónak szükséges 5V és a rádióknak szükséges 3,3V előállítható.
- Különbféle mérőegységeket kell a perifériális funkciókkal is rendelkező rádió-áramkör köré helyezni. Egyrészt célszerű jól láthatóan megjeleníteni a rádió által vett jel erősségét. Emellett a rendszer által felvett áramot, valamint az aktuális telepfeszültséget is érdemes mérni.
- Meg kell oldani a feszültségek zajsűrését.
- Célszerű az áramkörbe behelyezni egy kapcsolót.

Az áramkör elméleti megtervezése

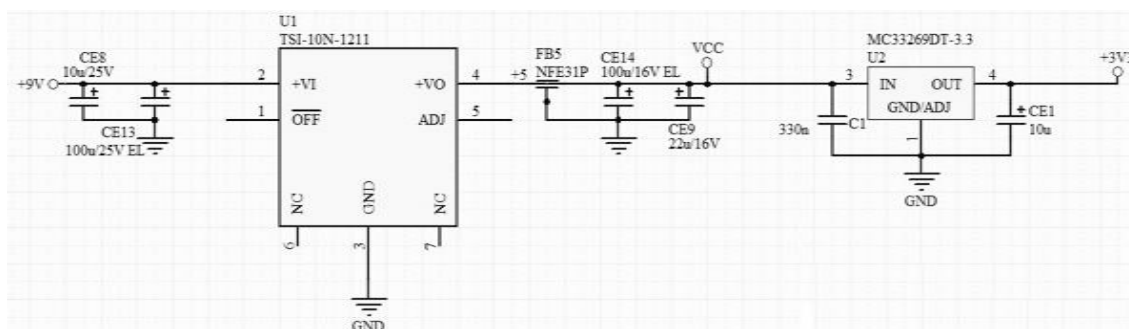
Az áramkör rajza a tervezés végére a következőképpen néz ki (10. ábra), ennek az egyes elemeit részletezem.



10. ábra. A teljes elektronika az Altium Designerben

A vezetékek nélküli eszközök az energiával történő ellátása és a rádiós kapcsolat létrehozása az elsődleges feladat. Először a tápfeszültséget szolgáltató áramköri részt elemzem:

A tápegységek



11. ábra. A tápellátást biztosító rész

Az 11. ábra bal oldalán lévő +9V jelképezi az akkumulátorhoz csatlakoztatott vezeték, mely nem szerves része a nyomtatott áramkörnek. Az U1-es komponens egy TSI-10N típusú kapcsoló



12. ábra. A TSI-10N fényképe

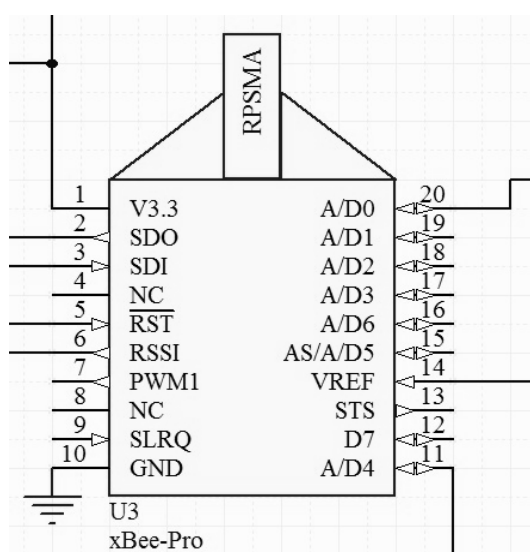
üzemű tápegység [7]. Ez a tápegység a bemeneti, kiszámított 9V-ból (illetve a bemeneten megengedett 6-16V tartományból) 5V feszültséget állít elő. Bemenetén és a kimenetén is zajszűrő kondenzátorok vannak, a kapcsolóüzemű működésből eredő extra zajok minimalizálására.

A jobb oldalon lévő kisebb feszültség szabályozó (MC33269-3.3, [8]) a bemenő szűrt 5V-t (V_{cc}) a kimenetén 3,3V-ként adja vissza. A rádiós áramkör legtöbb részéhez ez a feszültség szükséges. Ennek az elemnek a ki- és bemenetén lévő kapacitások az elem adatlapjában leírt fix kimenetű felhasználásnak megfelelő szűrő kondenzátorok.

Ez az összetett tápláló kör a kapott 9V-ból szabályozott 5V-ot és 3,3V-ot ad, mellyel az összes szükséges áramköri elem meghajtható.

A rádiófrekvenciás modul

Az elektronika további része a rádiós áramkör, az X-Bee rádiófrekvenciás (RF) modul köré épül [9]. Ez egy olyan gyári egység, amely alacsony fogyasztás mellett képes 30-100m távolságra továbbítani az RF jelet. A funkcionalitásához képest igen kompakt áramkör a megszokott WiFi protokoll helyett annak kis sávzélességű – és így alacsony fogyasztású – változatát (IEEE 802.15.4) használja. Az áramköri elemnek 20 lába van, ebből mindössze 9 lábat használtam fel. A minimális funkciókhoz 4 láb (2 táp, 2 adat) szükséges, a kezdetleges prototípus áramkörben mindössze ezek voltak bekötve. A minimális funkció szerint az eszköz nem más, mint egy RF/soros átalakító, amely a csatlakoztatott hardver legegyszerűbb RS232 soros protokollnak megfelelő kimeneti ('transmit', Tx) és bemeneti ('receive', Rx) kommunikációs jeleit RF csatornára képezi, amelyeket egy azonos csatornán működő másik RF egység alakít vissza soros RS232 protokollra. Így módon a hardverfejlesztőnek az RF csatorna kialakításával nem kell foglalkoznia, mind az adó, mind a vevő hardver úgy kezelhető, mintha közvetlenül soros vonalon lennének összekötve.



13. ábra. Az X-Bee lábainak kiosztása

A 13. ábrán látszik, hogy az alábbi lábak vannak csatlakoztatva:

- 1 – tápfeszültség, a 3,3V-os vezetékre
- 2 – SDO: Signal Output, az antennán beérkező jelet továbbítja a kódolvasónak (annak Rx vonalára)
- 3 – SDI: Signal Input, a QR kódolvasó által beolvasott információt kapja (annak Tx vonaláról)
- 5 – RST: Hardver Reset (alaphelyzet) funkció

6 – RSSI: Signal Strength Indicator, a vett jelerősséget vizsgálja. Ennek erősségének függvényében egy PWM (Pulse-Width Modulation) jelet bocsát ki.

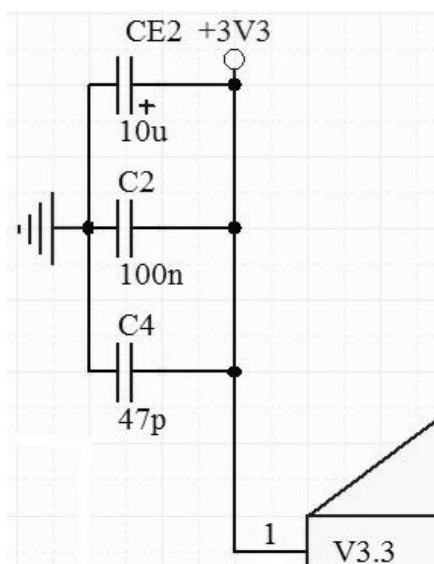
10 – GND: földelés, az áramkör földpontjához van kötve

11 – A/D4: programozható analóg/digitális be/kimenet. Ez a láb a rendszer áramfelvételének mérését végző áramkör része.

14 – VREF: az egységre kapcsolt referenciafeszültség

20 – A/D0: programozható analóg/digitális be/kimenet. Ez a láb a rendszer akkumulátor-feszültségének mérését végző áramkör része.

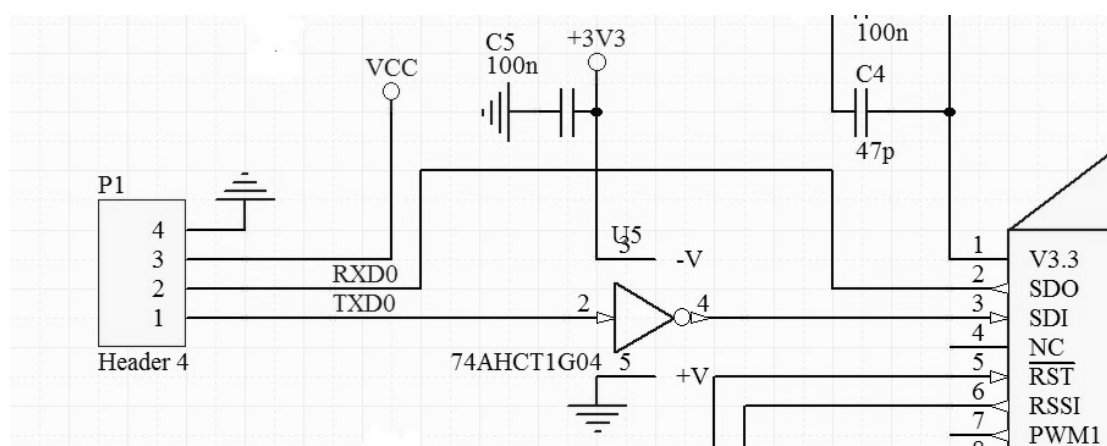
Az egyes lábakhoz tartozó áramköri részek:



Az első lábhoz a szűrt 3,3V-os tápfeszültséget kapcsoljuk. A szűrést az RF modul adatlapján ajánlott értékű és típusú szűrőkondenzátorokkal végezzük (14. ábra). A két polarizálatlan kondenzátor kerámia típusú és a nagyfrekvenciás (kHz...MHz) tartományban szűr, míg a polarizált elektrolitos kondenzátor a kisfrekvenciás (DC...kHz) tartományban működik.

A 2-es és 3-as lábakhoz tartozó áramkör közös, ez a QR kódolvasóval kommunikáló rész. Ennek áramköri rajza a 15. ábrán látható.

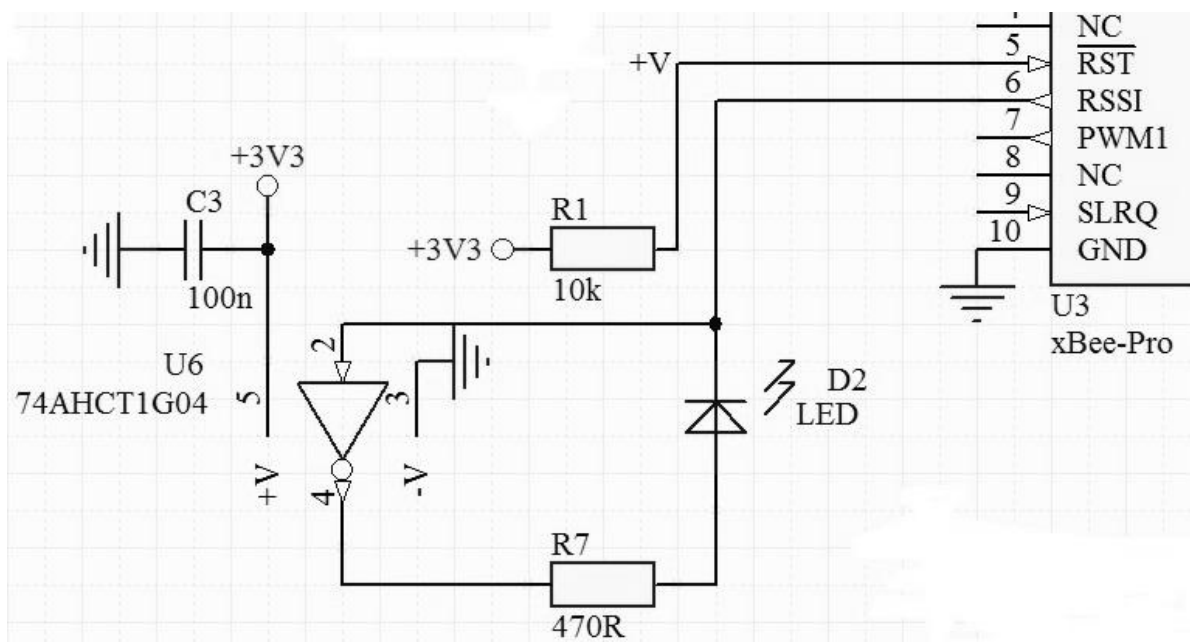
14. ábra. A tápfeszültség szűrőkondenzátorai



15. ábra. Az X-Bee - kódolvasó kommunikáció

A bal oldali P1-gyel jelölt 4-lábú elem egy csatlakozó (15. ábra), melyen keresztül az integrált áramkört a QR olvasóhoz kötjük (ethernet csatlakozó-szerű, de 10 pólusú, ún. RJ50 csatlakozón keresztül). Ennek 4-es lába a föld, 3-as lába pedig a kódolvasó szűrt 5V-os tápfeszültsége (Vcc). 2-es lábán várja a parancsokat az X-Bee 2-es lábától, azaz a rádióvevő outputjától. Az 'RxD0' a Received (fogadott) jelet jelenti. 1-es lábra a 'TXD0' Transmitted jelet küldi a QR kódolvasó. Ezt a jelet a kódolvasó protokoll (ún. RS232C) követelményei miatt invertálni kell (74AHCT1G04-es egykapus logikai inverterrel). Az inverternek más funkciója is van: a kódolvasó 5V-os jeleit átteszi az RF modul 3,3V-os jelszintjeire. Ezért ahogy láthatjuk, ez az elem is 3,3V feszültségről üzemel, bemenetén zajszűrő kondenzátor van.

Az 5-ös bemenet mindössze a hardver Reset végrehajtásához szükséges, amit nem használtunk (ez egyszerűen a készülék ki/bekapcsolását végzi), így a hamis Reset elkerülése érdekében 3,3V feszültségre kötöttük a soros ellenálláson (R1) keresztül.



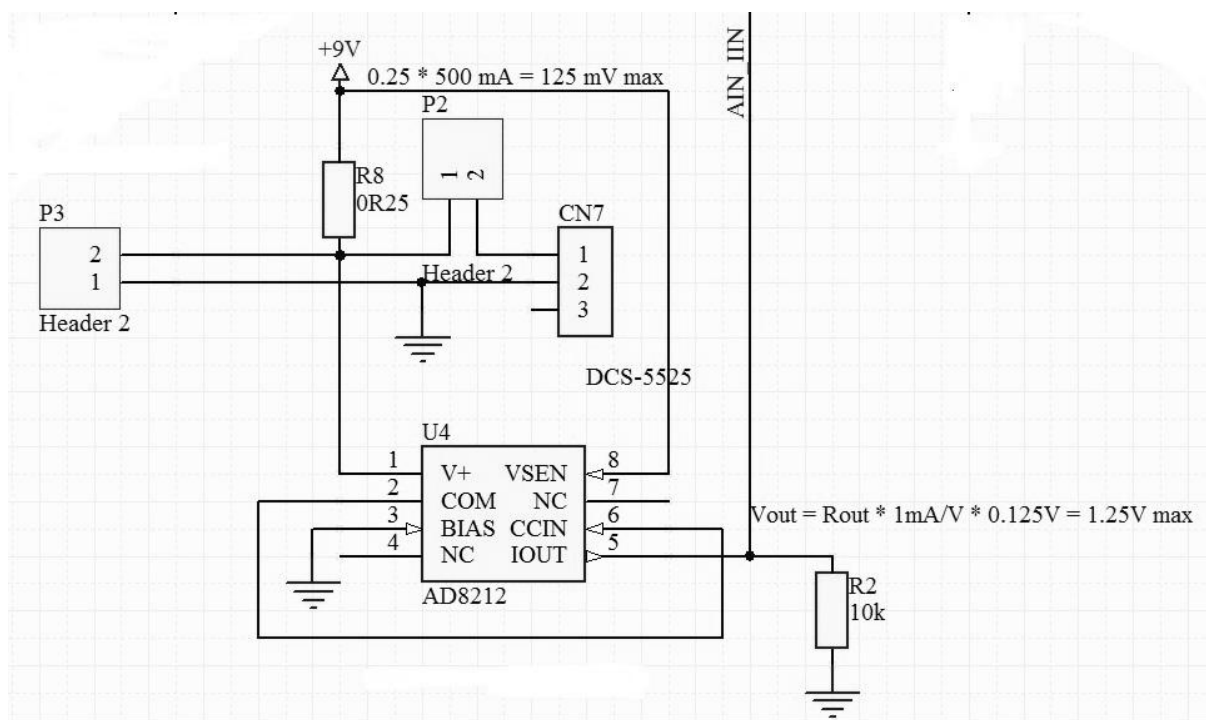
16. ábra. A jelerősség kijelző LED köre

A 6-os láb egy kimenő, impulzusszélesség-modulált (Pulse-Width Modulation, PWM) jelet szolgáltat. Ez a jel állandó frekvenciájú, de az X-Bee által vett jel erősségétől függő kitöltési tényezőjű négyszögjel. A 16. ábrán látható fényemittáló dióda valójában egy kétszínű LED. Ez azt jelenti, hogy az elem két, egymással ellentétes irányban kapcsolt, különböző színű (piros/zöld) LEDből áll. A nagyfrekvenciás bejövő jel esetén az ilyen kapcsolás egy kevert színt fog adni a piros/zöld között a kitöltési tényező függvényében. Alapértelmezés szerint minimális jelerősség esetén piros színt, maximális jelerősség esetén zöld színt láthatunk.

Mivel az RSSI kimeneten 0V vagy 3,3V feszültség jön ki, ezért a 0V-os esetben nem folya a LEDen áram. Ezen egy inverter bekötésével tudunk változtatni (hasonló tápláló áramkörrel, mint a Transmitted jel körében használt inverternél). Amennyiben az inverter bemenetén 3,3V feszültség jelenik meg (logikai 1), akkor a kimeneten 0V-ot ad (logikai 0), ha a bemeneten 0V a feszültség, akkor a kimeneten lesz 3,3V. Láthatjuk, hogy így egy szimmetrikus elrendezést kapunk, amelyben a kétszínű LED-en mindig folyik áram. A 470ohm-os ellenállás a LED túláram védelmét szolgálja.

A 16. ábrán láthatjuk, hogy az X-Bee 10. táplába közvetlenül a földre van kötve.

Áram- és feszültségfigyelő áramkör

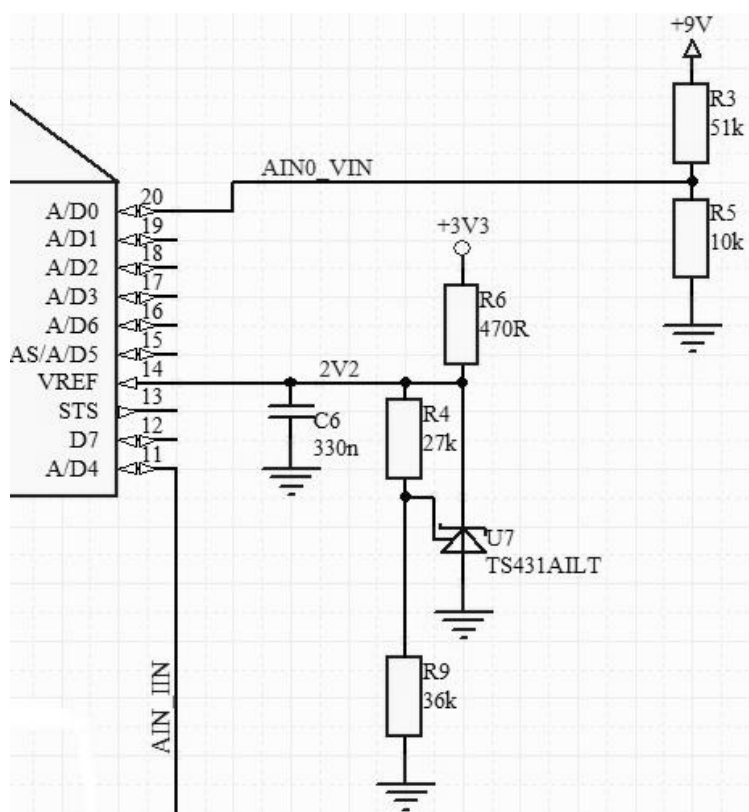


17. ábra. Felvett áram mérőköre

A 17. ábrán látható P2 és P3 csatlakozók a LED-es világítós kapcsoló kivezetéseihez csatlakoznak. P2-t a kapcsolóval tudjuk zárni, míg P3 a LED működéséhez szükséges feszültséget szolgáltatja. A LED elvileg 12V-ra van tervezve, de a kapott 9...11V-on is jól láthatóan világít. A CN7-es csatlakozó a tápfeszültséget szolgáltató akkumulátorral áll direkt összeköttetésben. Ez egy külső jack-en keresztül történik, mivel az akkumulátor alapvetően egy jack dugós kivezetéssel rendelkezik, mely a dobozon kívül helyezkedik el. Ezt a jack-et visszakötve a dobozba (a CN7-es csatlakozóba) ellátjuk a rádiós áramkörünket árammal, míg ugyanez a jack látja el az akkumulátor töltésének feladatát is.

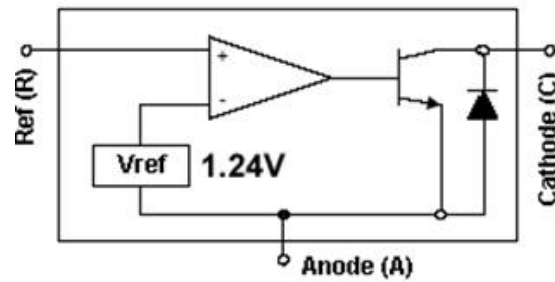
Ez az áramkör még a tápegység előtt helyezkedik el. A fenti 9V csatlakozóhely a TSI-10N tápegység bemenetére kerül. Láthatjuk, hogy előtte egy soros ellenálláson feszültséget ejt. Ezen az ellenálláson az áramkör teljes árama át fog folyni, azonban ez egy nagyon kicsi (sönt) ellenállás (0,25ohm), így kevés feszültség esik rajta. Az áramkör elemeinek elméleti áramfelvétele szerint maximum 500mA folyik a körön (ha a kódolvasó éppen leolvas), azaz az ellenálláson max. 125mV esik. Az ellenállás akkumulátor felőli vége az AD8212-es Current Shunt Monitor [10] tápfeszültség bemenetére kerül, míg a másik kivezetése az érzékelő (VSEN) bemenetre. A munkapont (Bias) földpotenciálra van beállítva. Ez az összeállítás teljes mértékben egyezik az AD8212-es áramköri elem adatlapjában található tipikus összeállítási utasítással. Az AD8212-esnek a kimenetén a sönt ellenálláson eső feszültséggel (azaz a teljes áramkör áramfelvételével) arányos áram jelenik meg. Ezt az áramot a nagy, 10k-s R2-n keresztül vezetjük el, az ezen eső feszültséget pedig az X-Bee 11-es bemenetére csatoljuk. Ez egy programozható bemenet, melyet úgy állítunk be, hogy az 10 bites analóg/digitális (A/D) átalakítóként funkcionáljon. Az AD8212 kimeneti karakterisztikája szerint az R2 ellenálláson max. 1,25V jelenik meg.

Hasonló funkcióra állítjuk az X-Bee 20-as lábát is, ahol a tápfeszültséget mérjük egy egyszerű ellenállásosztón keresztül. A 18. ábra adataival az osztási arány 1:6, vagyis 18V feszültségnél érné el a 3V-ot, ami felett (igazából 3,3V felett) az X-Bee modul bemenetei nem üzemelhetnek. Mivel esetünkben a feltöltött 3-cellás akkumulátor feszültsége maximum 12,5V, ez az osztás megfelelő.



18. ábra. A feszültségmérő és a referencifeszültség körök

Az X-Bee 14-es bemenetére referencia feszültséget kell kapcsolni. Ezt a fenti áramkörrel állítjuk elő (18. ábra).



19. ábra. A TS431AILT referencia belső felépítése

A TS431AILT nem más, mint egy kisfeszültségű (1,24V-os) precíziós vezérelhető referencia [11]. Vezérlés nélkül az eszköz olyan, mint egy Zener-dióda: záróirányba kapcsolva soros ellenálláson keresztül rajta a referenciafeszültség mérhető. Valójában az áramkör ennél bonyolultabb: egy referenciadióda és egy erősítő kombinációja (19. ábra). Vagyis az eszköz olyan feszültséget szolgáltat a kimenetén ('katódján'), hogy a referencia-bemenete és az 'anódja' között mindig 1,24V legyen. Így az eszköz kimeneti feszültsége egy olyan „fordított” osztóval állítható, aminek az osztópontján mindig ez a feszültség van. Ha a referencia bemenetbe folyó vezérlőáramot elhanyagoljuk, a kimenet:

$$U_{ki} = \frac{R9 + R4}{R9} U_{be} = \frac{63}{36} \cdot 1,24 = 2,17V$$

Ez egyben az A/D átalakítók maximális bemenő feszültsége.

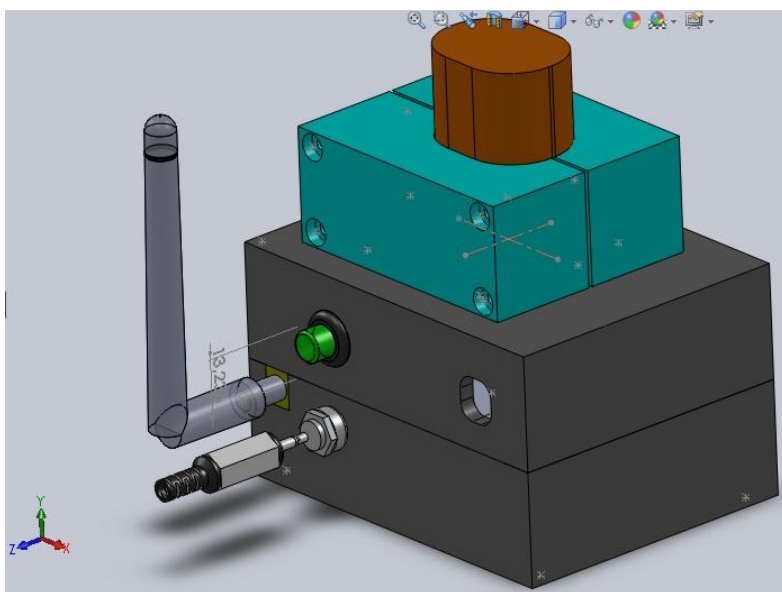
A kódolvasó elektronikájának doboza

A prototípus modell

A nyári projekt munkám során meg kellett terveznem a kódolvasó dobozát is. Ehhez egy kezdetlegesebb áramkört alkalmaztunk először, ebben nem szerepeltek a fent említett kiegészítő elemek, csak az alapvető kapcsolás. Ez az áramkör mindössze a két tápegységből, az akkumulátorból, egy kapcsolóból és az X-Bee egységből állt. Ehhez terveztem az első, prototípus dobozt. A tervezés szempontjai a következők voltak:

- Az elemet 30mm-es műanyag lemezből kell kivágni, így legalább egy dimenziója a doboznak kellően kötött volt. A másik két irányban a lemez bőven elég nagy volt, így az nem befolyásolta a szerkesztést.
- Az akkumulátornak a házban egy kellően rögzített helyet kellett hagynom
- A kezelő felület legyen lehetőleg egy oldalon. Ergonómiai okokból (többségében jobb kezes emberekkel számolva) ez a doboz bal oldalán kapott helyet. Itt van az antenna helye és a kapcsoló is.

A prototípus doboz a következőképpen néz ki:



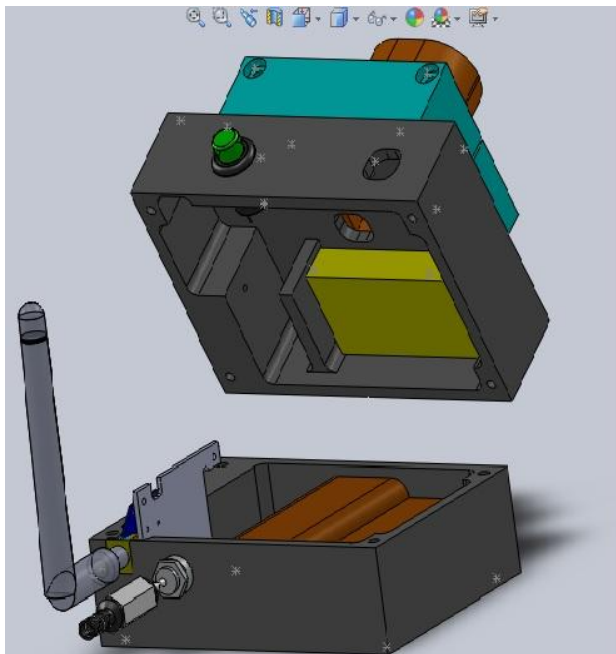
20. ábra. Prototípus doboz



21. ábra. QR kódolvasó

A 20. ábrán jól láthatjuk a bal oldali összes kimenetet és bemenetet. A doboz oldalán lévő lyukba egy nem bemodellezett elem kerül, amely törésmentesen kivezeti az akkumulátor vezetékét a dobozból. Ennek a vezetéknek a végén található a jack csatlakozó, melyet visszacsatolva a 20. ábrán látható módon árammal látja el az áramkört. A szürke színű doboz tetején világoskék színnel két műanyag

szorítópofát is terveztem. Ezekre azért van szükség, mivel a kódolvasó (Symbol DS6708, [12]) „dizájnos” kivitelezésű (21. ábra). Ez azt is jelenti, hogy az egész eszközön egyetlen egy csavarhoz tudunk hozzáférni, ahhoz is csak a műszer tetején, a markolatnál nincsen semmilyen rögzítési pont. Mivel az eszköz alját nem akartuk módosítani (a belső elrendezése nem ismert), így rögzítési megoldásként csak a szorító pofák maradtak.



22. ábra. Prototípus doboz belső elrendezése



23. ábra. A végül megvalósult kényszermegoldás

A 22. ábrán látható az elemek elrendezése a dobozban. Sárga színnel a tápegységeket jelöltem – illetve ezek befoglaló téglatestét. A doboz alsó részében barna színnel látható az akkumulátor modellje, jobb oldalon pedig az X-Bee egység és annak egyszerű áramköre, melyre köthetőek a vezetékek. Nem ábrázoltam a szükséges vezetékeket, melyek még a doboz belsejében találhatóak. Ez az elrendezés több szempontból nem elegáns: sok szabad vezeték van a rendszerben, valamint egyes elemek, például a tápegységek csak műanyag ragasztóval vannak rögzítve.

Ezt a dobozt, a szorítópofákkal együtt megterveztem és az utóbbiakat a tanszéki mechanikai műhelyben legyártották nekünk. A doboz legyártására már nem, csak egy kész műanyagdoboz átalakítására volt mód (23. ábra), mivel a műszert határidőre ki kellett küldeni külföldre mérésre. Ráadásul a tervezett kapcsolót sem tudtuk beszerezni. A mérőrendszer jelenleg is külföldön van.

Mivel ez az elrendezés meglehetősen kezdetleges volt – mind az elektronika, mind a doboz szintjén – így a rendszer további fejlesztését kaptam feladatul. Ehhez terveztem meg az eddigiekben ismertetett áramkört és annak új dobozát. Mivel eddigre már volt viszonyítási alapom a méretezéshez, így tudtam, hogy körülbelül mekkora a minimális és maximális mérete a doboznak. A

minimális méretet főként az akkumulátor határozza meg, bár a jelenlévő nagyobb áramkörök – az X-Bee és a két tápegység – is igényelnek helyet. Maximális méretként a prototípus doboz méreteit határoztam meg. Ez 100x80x60mm. Ennél mindenképpen kisebbet szerettem volna, egyrészt mivel túlságosan nagy volt a doboz a kódolvasóhoz képest, esztétikailag egy nem megfelelő rendszert alkotott. Emellett a helykihasználtsága is elég rossz volt.

Mivel a végleges változatban a dobozba egyetlen nyomtatott áramkörre helyeztem az összes elemet – X-Bee, tápegységek, általános elemek, csatlakozók – így elég nagyméretű panelre számítottam. Ezért alapvetően a maximális méretekhez, a régi dobozhoz méreteztem.

A nyomtatott áramkör megtervezése

Az elméletileg megalkotott áramkörnek még meg kellett alkotnom a valós, fizikai megfelelőjét is. Ebben is az Altium Designer program volt segítségemre. Az elméleti összeállítás minden eleméhez hozzá lehet rendelni annak a 2D-s lenyomatát (footprint), így azt, hogy mekkora helyet foglal a valóságban, és hogyan helyezkednek el a csatlakozói. A footprinteket szerencsére le tudtam tölteni internetes adatbázisokból, illetve utána tudtam igazítani őket a rendelkezésre álló (ill. megvásárolandó) elemeknek megfelelően. Ezek után a program – ismerve az összes elem méretét – legenerálta azokat, egy új munkalapon megjelenítve az összes elemet, névsorban. Az egyes elemek közötti szükséges összeköttetéseket vékony vonalakkal ábrázolta, mint a 24. ábrán látható.

Ez az ábra még egy kezdeti állapotban készült, jól látható, hogy több elemnek nincsen meg a footprintje, ezek nincsenek összekötve a többivel. Ennél a végső elrendezésben jóval több vonal volt.

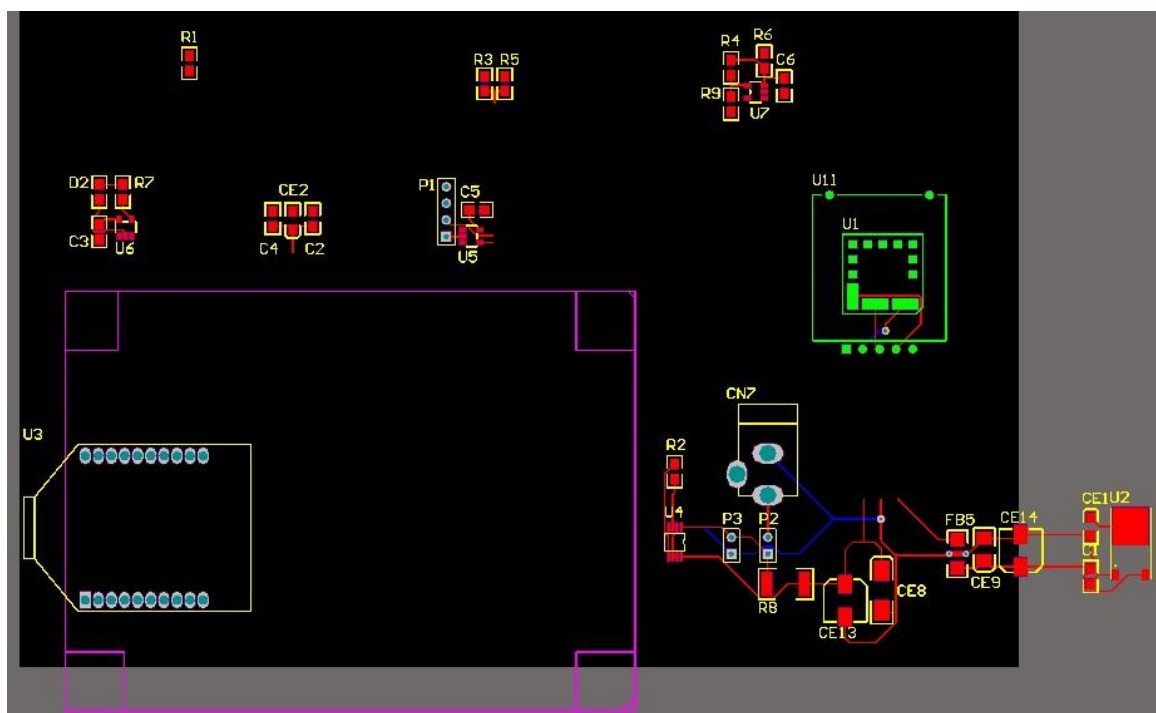
Miután az összes elemet legeneráltam, azokat funkció szerint elrendeztem. Gyakorlatilag ugyanazokat a csoportokat raktam össze belőlük, amiket az áramkör elvi leírásánál is külön-külön vettem. Így a jóval átláthatóbb 25. ábrát kaptam.

Mivel szerettem volna minimalizálni a panel méretét, így berajzoltam a maximális méretet, ez a kép bal alsó részén látható rózsaszín téglalap. A kisebb négyzetek jelölik a rögzítésre szolgáló furatoknak szükséges helyeket.

Láthatjuk az egyes nagyobb elemeket is: balra U3-ként jelölve az X-Bee egységet, zöld színnel pedig a tápegység helyét. Ezt jobban megfigyelve láthatjuk, hogy ez gyakorlatilag két külön elem egymásra téve, az U1 és U11-es tápegységek. A valóságban ez egyetlen tápot takar, azonban ilyen tápegységet többféle tokozásban is gyártanak. Az esetleges újr felhasználhatóság, ill. cserélhetőség érdekében így egy összetett footprintet alkalmaztam. Mivel a megfelelő lábak össze vannak kötve, így bármelyik tokozást is használjuk, az áramkör működni fog.



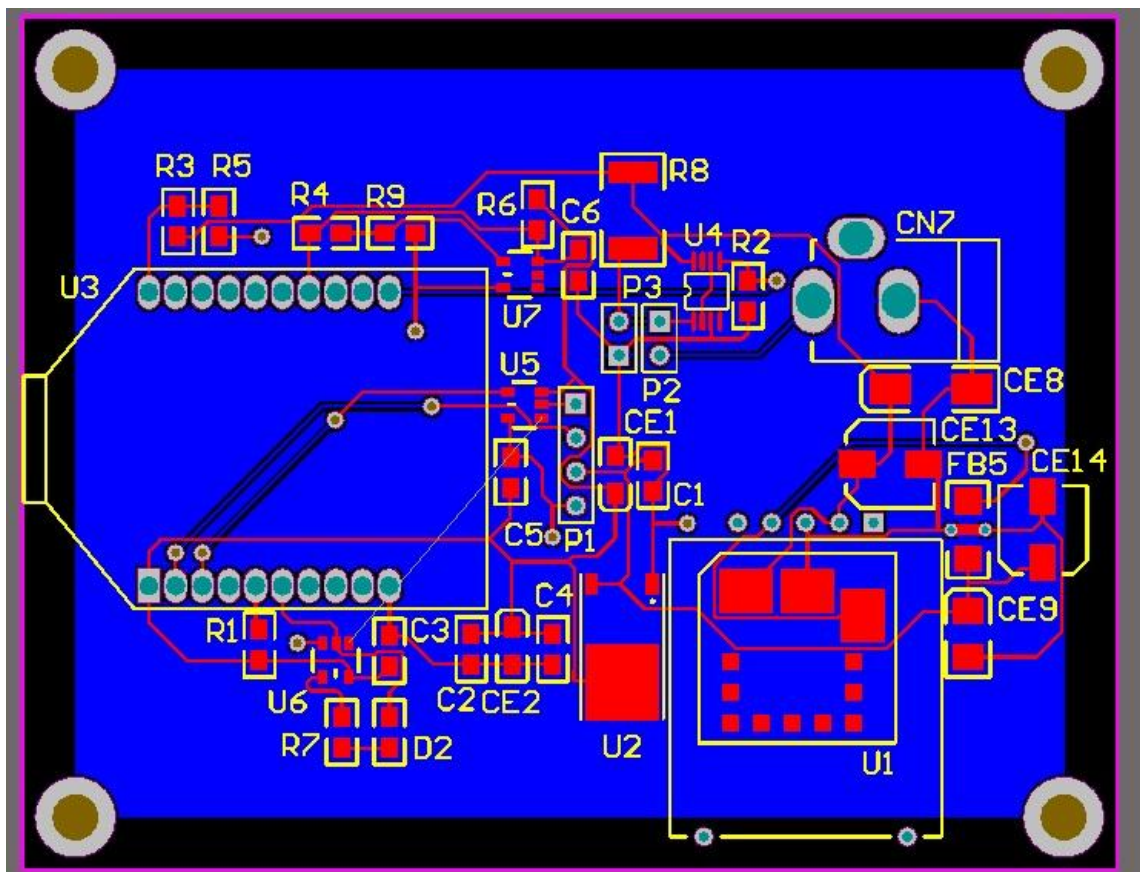
24. ábra. Altium NyÁK készítés 1. lépés



25. ábra. NyÁK szerkesztés 2. lépés

Két különböző színű vezetéket lehet alkalmazni az áramkör megtervezésénél, pirosat és kéket, ahol a piros a felső, míg a kék az alsó oldalon fut. Különböző érintkező részeket kétféle jelöléssel láthatunk az ábrán: piros négyszögek és szürke-kék körök (ellipszisek) alakjában. Ezeknek különbözik a fizikai realizálásuk: a kék körök furatok az áramköri lapkán, melyek mindkét oldalon érintkezők, míg a piros téglalapok csak a felső oldalon vannak jelen.

Kezdetben kétoldalasra terveztem az áramkört, mivel úgy biztosan elfér kisebb helyen is, de végül a témavezetőm javaslatára inkább egy nagyon tömör egy oldalas NyÁKot (PCB, Printed Circuit Board) csináltam. Az áramköri elemek rendezésével „kézi” huzalozással végül az alábbi, 26. ábrán látható áramköri elrendezést terveztem meg.



26. ábra. A végleges NyÁK az Altiumban

Erről fontos megjegyezni, hogy az eredetileg tervezetthez képest ez jóval kisebb, mindössze 82x64mm (a kezdeti, maximális méret 100x80mm volt!). Ez az áramkör magába foglalja az összes szükséges elemet és egyetlen oldalán vannak elemek. A huzalozás nagy része a felső oldalon található, csak az elkerülhetetlen esetekben alkalmaztam alsó oldali huzagolást. Az ábrán látható nagy kék téglalap az úgynevezett „Polygon Pour” paranccsal készült, ez egy összefüggő vezetőréteg, mely az áramköri földpotenciálra van. Mivel nagyon sok elemet kell sok helyen a földre kötni, így ez a réteg különösen célszerű, nagyon sok huzalozást megspórol, továbbá elektromos szempontból is ellátja a rendszer földreferencia-pontjának szerepét.

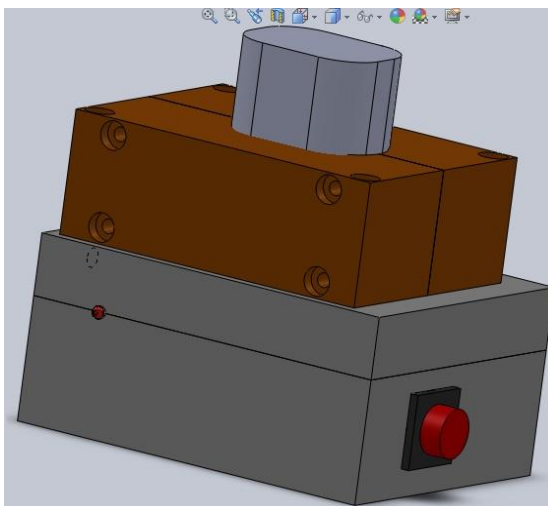
Ebből az elrendezésből már megalkothatóak az úgynevezett Gerber fájlok, melyek a gyártáshoz közvetlenül szükségesek. A program ezt gyorsan és egyszerűen legyártja a már megtervezett NyÁKból, így ezzel manuálisan nem kellett foglalkoznom.

Az új doboz megtervezésének szempontjai

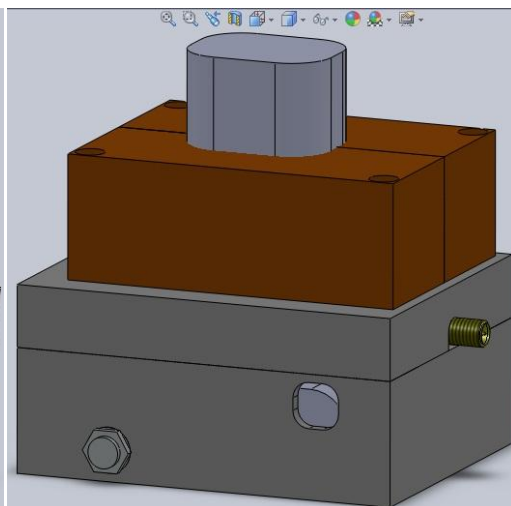
Miután a NyÁKot elküldtem a BME Nyáknak gyártásra, egy új doboz tervezésébe fogtam. Első lépésként ezt a nyomtatott áramkört modelleztem be, mivel gyakorlatilag eköré kellett építenem a házat. A modell nagyban egyszerűsített volt, csak az áramkörti lap méreteit és a rajta lévő két legnagyobb elemet – a tápot és az X-Bee-t – emeltem ki rajta, valamint jelzés szinten a ki- és bemenetek csatlakozóinak helyét.

A doboznál alapvetően az lett volna a célom, hogy az egyik oldalon (a belső, baloldalon) jól használható interfészt alakítsak ki a gomb és a LED elhelyezésével. Ez sajnos nem sikerült, ugyanis az előzetes tervekhez képest másmilyen, kicsit nagyobb méretű kapcsolót sikerült szerezni, mely pár milliméterrel nagyobb volt és így már nem illeszkedett az eredeti elképzelésekhez. Emiatt inkább a NyÁK belső struktúráját visszaadó dobozt terveztem. Ezt célszerűnek tartom többek között azért, mert így kell a lehető legkevesebb vezetékot használni, valamint jól áttekinthető.

Végül az elrendezés az alábbi alakot öltötte:



27. ábra. A doboz bal oldala



28. ábra. A doboz jobb oldala

A 27. ábrán a bal oldalt és a hátsó részt láthatjuk. A bal oldalon mindössze a jelerősséget jelző LED található, míg a hátsó oldalon (a felhasználó keze alatt) helyezkedik el a LED-es kapcsoló. A doboz tetején látható barna tömbök a fogópofák, mivel ennél jobb megoldást nem tudtam kitalálni a kódolvasóhoz való rögzítésre.

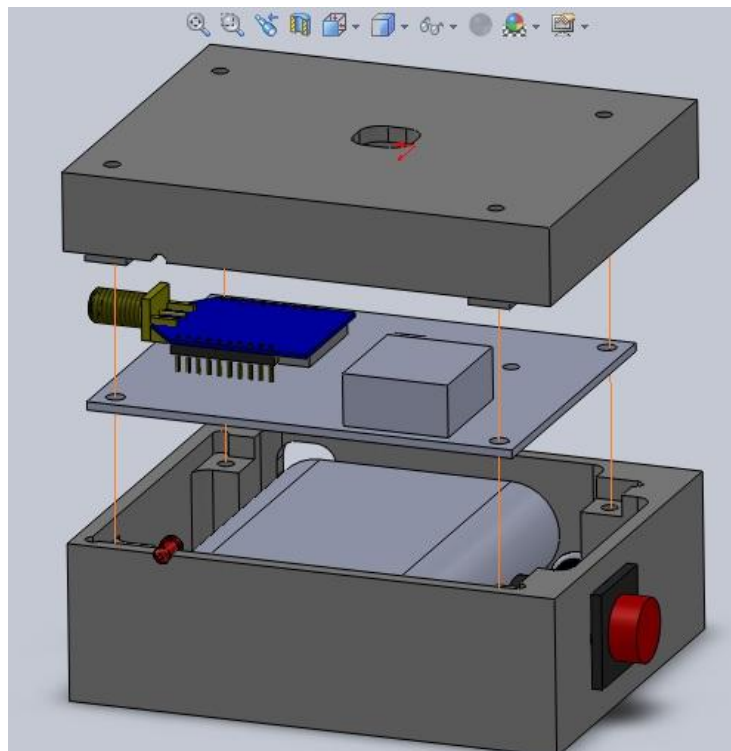
A doboz másik oldalán (28. ábra) található az akkumulátor kivezetése (jobb oldali lyuk a házon). Ezt a lyukat a kezdetleges doboznál is leírt törésgátló elemmel töltjük ki, mely egyrészt elzárja a rést, valamint nem engedi megtörni a vezetékot. A jack bemenete is ezen az oldalon található, balra lent. A műszer elülső lapján jól látható az antenna rögzítésére szolgáló menet.

A doboz belső elrendezése

Ez a doboz több szempontból is előnyösebb a réginél. Egyrészt nincsenek benne olyan részek, amelyeket esetleg ragasztani kellene ahhoz, hogy a helyükön maradjanak. Az összes elemnek jól definiált helye van, melyek alapvetően, a szerkezetből adódóan is jól összeillenek.

A 29. ábrán a rendszer összeállítása látható. A dobozba a neki kivájt helyre már be van illesztve az akkumulátor. Ez a ház legaljában helyezkedik el. Az akkumulátor felett látható a NyÁKot jelölő alakzat és annak rögzítéseinek helye. A lapot a dobozba kellően szorosan be lehet helyezni, ilyenkor a lap oldalirányban rögzítve van, gyakorlatilag nincs helye lötyögni. A NyÁK behelyezése után még egy 2,5mm-es pereme marad a doboz alsó részének. Ide helyezhető be a felső rész, melynek az alján úgy alakítottam ki az illesztések helyét, hogy azok 2,5mm-rel kinyúljanak a felső elem peremének síkjából. Így a két elem tökéletesen összeilleszthető és oldalirányban nem mozgatható, jól rögzített. Ez egyben kellő védelem az üvegházban esetleg lecsapódó pára ellen.

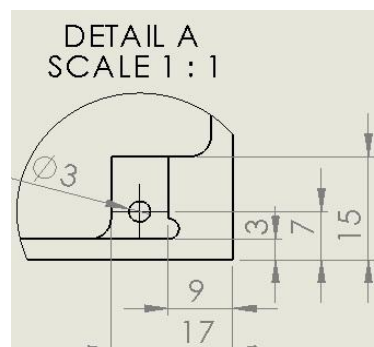
A felső részegységen lévő furatokra fentről még rá kell számolni a két szorítópofát is. A teljes elrendezést ez a 4 csavar tartja össze. Láthatjuk még, hogy a jelerősség kijelző LEDnek jól meghatározott helye van, amelybe ha betesszük, majd felhelyezzük a fedőt, a dióda rögzül.



29. ábra. Az új doboz belső elrendezése

A doboz felső része nem tartalmaz külön elemeket, az csak egy fedőréteg, melyre rögzítjük a szorítópofákat. Az alsó doboz tartalmaz még olyan részeket, amelyeket érdemes megvizsgálni.

Láthatjuk, hogy a belső sarkok lekerekítettek, ennek gyártástechnikai okai vannak: a dobozt 30mm-es erős műanyag lemezből készítették a műhelyben, marógéppel. Ennek a feje 6mm átmérőjű, így belső élénél ez a legkisebb görbületi sugár, amit létre lehet hozni. Egy tökéletes derékszög létrehozásához végtelenül kicsi fej lenne szükséges, ezzel a technikával nem lehet ilyesmit csinálni.

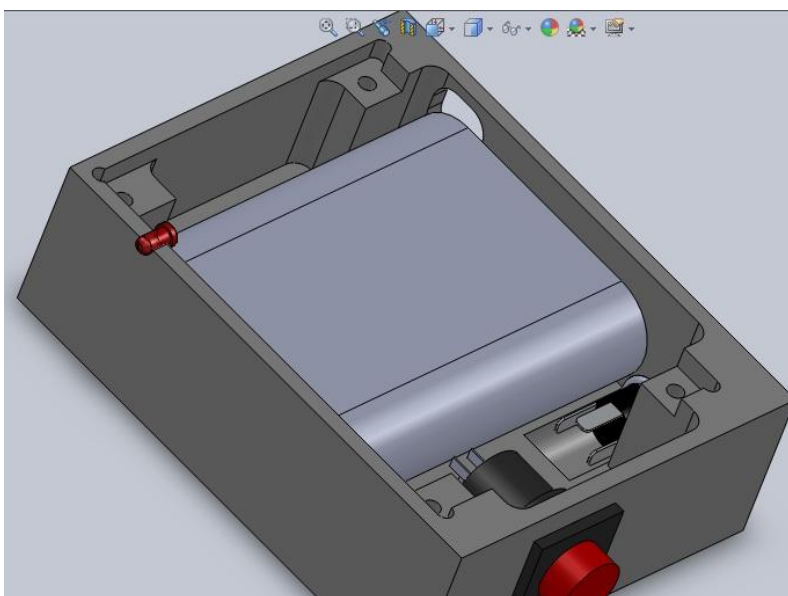


30. ábra. Műszaki rajz részlete

Erre láthatunk még példát a csavaroknak szánt furatoknál. Mivel itt a NyÁK miatt nem lehet befele csökkenteni a helyet, így a derékszögek helyett egy kicsit mélyebben bele kell vinni a maró fejét az oldalsó falba (30. ábra). Így a derékszögű hely a NyÁKnak használható lesz.

Az akkumulátor mellett, a vastag alsó falba süllyesztve található a jack csatlakozó belső része. Erre a besüllyesztésre azért van szükség, mivel ez az elem máshol nem fért volna el. Amennyiben az akkumulátor feletti részre vágtam volna a lyukat, úgy a NyÁKkal ütközhetett volna. Ahhoz, hogy az akkumulátor vezeték ne kelljen a doboz köré tekerni, szükséges a jack konnektor jobb oldali elhelyezése, így ez maradt az egyetlen lehetőség. Ez a 31. ábrán figyelhető meg.

A bekapcsoló gomb elhelyezése a hátsó lapon gyakorlatilag tetszőleges volt, a doboz többi része úgy lett kialakítva, hogy ez semmilyen módon nem tud ütközést okozni. Az, hogy a gomb a bal oldalon található kizárólag ergonómiai célokat szolgál. Az átlagos, jobb kezes felhasználóval számoltam. A kódolvasót a jobb kézben tartva a gomb jóval nehezebben benyomható, ha ehhez a másik kéz alá kell nyúlni, valamint így az eszközön jól látszik a LED, míg máshogyan pozicionálva a felhasználó keze könnyen kitakarhatná azt.



31. ábra. A doboz alja

Ahhoz, hogy el tudják a műhelyben készíteni a valós eszközt, szükség volt a műszaki rajzok megrajzolására. A SolidWorks – mérnöki tervezőprogram lévén – alkalmas erre is. Mivel fizikusként nem tanulunk ábrázoló geometriát illetve semmilyen tervezést, így ez a feladat még utólagos korrigálásra szorult. A műhelyben megtudtam, hogyan kell egyszerűen és szépen megrajzolni a műszaki rajzot, valamint betekintést nyerhettem a gyártási technika (marás) alapjaiba.

Konklúzió

A hollandiai mérési kampányban (2011. augusztus-szeptember) az egyik IFS készülék már a rádiós/akkumulátoros formában vett részt. A másik készülék biztonsági okokból vezetékes hálózatos maradt. Ennek oka, hogy a szűkös időkeretek miatt a rádiós rendszer tesztelése csak az „éles” mérések alatt történhetett, így bármilyen „fatális” rendszerprobléma esetén a többször kipróbált vezetékes rendszerrel még mindig lehetett volna mérni. Ugyanezen időkeret okokból a QR kódolvasó a próba-elektromechanikával vett részt a mérésekben. A rádiós mérőrendszer elemei a 32. ábrán láthatók. A végleges elektromechanika a dolgozatírás ideje alatt készült.

Szerencsére mindkét ismertetett eszköz kiválóan vizsgázott a méréseken, ahol 2 hét alatt a két IFS készüléket és 1 QR-kód olvasót tartalmazó rendszerrel 703 értékelhető adatsort lehetett felvenni (mindössze 8-10 olyan mellett, mely valamilyen más okból hibás volt és újra kellett mérni).



32. ábra. A teljes elkészült mérőrendszer

A nyár végére, határidőre készült műszer kivitelezéséhez is szükségesek voltak az általam tervezett modellek. A félév során az általam továbbfejlesztett elektronika és a hozzátartozó doboz kialakításával már egy kisebb, biztonságosabb és sokkal inkább felhasználóbarát mérőrendszert adhatunk a felhasználók kezébe. Ez a dolgozat írása alatt gyártás és szerelés alatt van.

Azzal, hogy ezeket a tervezési feladatokat átvettem, sok időt szabadítottam fel a projekten dolgozóknak, lehetővé téve ez idő alatt a szoftver és a mérési eljárás tökéletesítését.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Barócsi Attilának és Lenk Sándornak a nagyon sok segítséget és elektronikai ismeretet, amit tőlük kaptam együttműködésünk során. Mind az elektrotechnikai, mind a modelltervezési tudásom és szemléletem nagyban bővült általuk, valamint segítettek az egyes programok kezelésének elsajátításában. Azzal, hogy nagyon sok mindent meghagytak nekem a tervezési fázisokban az önálló, tudatos tervezésre tanítottak.

Szeretném még megköszönni Varga Dénesnek a türelmét és megértését a kezdeti gyenge minőségű és alig értelmezhető műszaki rajzok miatt. Úgy gondolom, útmutatásai és technikai tanácsai olyan tudáshoz juttattak hozzá, mellyel már jóval kevesebb fennakadással képes leszek megalkotni a jövőben egy megfelelő műszert vagy modellt.

Források

1. SPICY Grant Agreement KBBE-2008-211347, Annex I - "Description of Work"
2. Barócsi, Lenk, Kocsányi – „Lézerindukált fluoreszcencia mérése”, Fizika laboratórium 5 hallgatói mérésleírás
3. SPICY-D213-BME – „Flourescence prototype finalized to tool with software”, deliverable report, 2011
4. Matt Lombard, „SolidWorks 2009 Bible”, Wiley Publishing, USA, Canada, 2009, ISBN 978-0-470-25825-5
5. A SolidWorks 2009 beépített tutorialja
6. Az Altium Designer 2009 TRAININGcenter – oktató videóanyag és tutorial
7. TSI-10N – DC/DC Converter TSI-10 Series, TRACO Power,
8. MC33269/D, NCV33269 – 800mA, Adjustable Output, Low Dropout Voltage Regulator, ON Semiconductor, 2011.
9. XBee®/XBee-PRO® RF Modules Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol, Digi International Inc., 2009
10. AD8212 – High Voltage Current Shunt Monitor:, Analog Devices, 2007-2009
11. TS431 – Low Voltage Adjustable Shunt Reference, STMicroelectronics, 2002
12. Kódolvasó: Symbol DS6708 Digital Scanner Product Reference Guide, Motorola, Inc., 2009

Képek forrásai

1. Ábra: Barócsi Attila Edinburgh-i előadásából
2. Ábra: SPICY-D213-BME jelentés
- 4, 8, 9, 23, 32. Ábrák: Laborban készült fényképek
12. Ábra: TSI-10N adatlapja
19. Ábra: TS431 adatlapja
21. Ábra: DS6708 Digital Scanner Product Reference Guide, Motorola, Inc., 2009

Az összes többi képet az általam használt programokkal készítettem, az Altium Designerrel és a SolidWorkssal:

Altium: 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 24, 25, 26. Ábrák

SolidWorks: 3, 5, 6, 7, 20, 22, 27, 28, 29, 30, 31. Ábrák