

---

## Szakmai kiadvány a DNS-SW Kft. által végzett GINOP-2.1.2-8-1-4-16-2018-00462-as számú pályázathoz

### Tartalom

Tartalom .....	0
1. A szoftverkomponens fejlesztése .....	1
1.1. Fejlesztési tapasztalatok .....	1
1.2. Architektúra tervezési és megvalósítási folyamata .....	2
1.2.1. Tervezési célok és szempontok .....	2
1.2.2. Rendszerkomponensek.....	3
1.2.3. A létrejött Szoftver-architektúra .....	5
2. A hardverkomponens fejlesztése .....	6
2.1. Funkciótervezés .....	6
2.2. Konstruktíótervezés .....	6
2.3. Schematic tervezés .....	6
2.4. PCB tervezés .....	7
2.5. A PCB legyártása .....	7
2.6. Az alkatrészek beültetése .....	7
3. Mezőgazdasági tesztelés .....	8
3.1. Anyag és Módszer.....	8
3.2. Eredmények, értékelés .....	12
4. Városi körülmények közötti tesztelés:.....	14
4.1. Kitűzött céljaink .....	14
4.2. LoRa paraméterekre vonatkozó mérések.....	14
4.3. Antennamérések .....	15
4.4. Fogyasztásra vonatkozó mérések és számítások.....	15

Szervezetünk GINOP-2.1.2-8-1-4-16-2018-00462 azonosítószámú projektje 2021.05.29-én véget ért. A hardver és szoftverfejlesztéssel kapcsolatos információkat és tapasztalatokat (röviden) az alábbi összefoglalóban összegeztük.

## 1. A szoftverkomponens fejlesztése

### 1.1. Fejlesztési tapasztalatok

Az elsődleges külső adatforrásként jelölt LoRaWAN technológián alapuló eszközök integrációja során több probléma merült fel a szolgáltatók és szoftverek tekintetében.

Az elsőként kipróbált Antenna Hungária fejlesztés alatt álló LoRaWAN hálózata - a dokumentáció szerinti lefedettségétől eltérően - nem érhető el biztonságosan, ezért jelenlegi állapotában nem építhető rá üzleti alkalmazás.

A nemzetközi Lorient hálózat publikus hozzáférése jelenleg Budapesten kívül az ország más területein nem biztosított, ezért használata Budapest területére korlátozódik. Kereskedelmi megállapodást követően lehetséges saját gateway telepítése és privát hálózat létrehozása.

A közösségi formában elérhető The Things Network erős megkötéseket tartalmaz az adatforgalmat illetően, és kizárólag publikus hálózat csatlakoztatható, ezért lényegében csak fejlesztési és tesztelési célokra jöhetett számításba. Kereskedelmi változata, a The Things Industries nyújt lehetséges alternatívát a privát hálózatok építésére.

Egyedi kiépítésű, privát LoRaWAN hálózat létesítése megoldja a fent nevezett problémákat, de ebben az esetben saját LoRaWAN Gateway és saját network szerver szoftverek üzemeltetésére van szükség. Ezek beállítása és üzemeltetése szakértelmet igényel, ezért többletköltséget jelent. A projekt során saját tesztálózatokat építettünk ki a fejlesztés és a tesztek idejére.

A fentnevezett rendszerek integrációja megvalósult, a jelzett korlátozásokkal és lehetőségekkel.

A PostgreSQL adatbázis-kezelő rendszer telepítése és megfelelő konfigurálása bonyolult volt, de a kiválasztás szempontjai a gyakorlatban visszaigazolást nyertek. A táblapartíciók helyesen kerültek leképezésre, a keresések, lekérdezések megfelelően működtek.

A CitusData kiegészítő telepítése a manual segítségével sikeresen megtörtént, a data coordinator fogadja a kéréseket, és a workerek tárolják az adatokat.

A kiválasztott protokoll szerinti kommunikáció a gyakorlatban is megfelelt a támasztott követelményeknek. Az MQTT protokollt támogatják a LoRaWAN szolgáltatók (Lorient, Antenna Hungária, The Thing Network) és a ChirpStack szoftver is. A Mosquitto MQTT broker - megfelelő konfigurációt követően - az elvárások szerint szolgálta ki a különböző szolgáltatók felől érkező publikációkat és feliratkozásokat.

A fejlesztés folyamata alapvetően a tervek szerint haladt, de az adatszerkezetek, a HTTP alapú hívások és válaszok, továbbá a táblák és relációk tekintetében több iteráció után alakult ki a megfelelő, végleges struktúra. A kommunikáció az MQTT brókerrel sikeres volt.

A választott programozási nyelv (Java) és keretrendszer (SpringBoot) támogatta a tervezett funkciók megvalósítását, egyszerű és gyors fejlesztést tett lehetővé. A Java nyelv és környezet köré kiépült támogató

közösség gyors válaszokat adott a felmerülő problémákra, a SpringBoot keretrendszer pedig tartalmazta mindazokat a szükséges eszközöket, amelyek támogatják a rugalmas és átlátható kód létrehozását.

Mivel a kliens oldalon mind az Angular, mind pedig a React framework hasonlóan elterjedt, és fejlesztésük nagyvállalatok támogatását élvezzi, ezért a kiválasztás során a végső döntést az alapján hoztuk meg, hogy a munkaerő piacon aktuálisan melyik keretrendszerhez találunk a lehető leggyorsabban tapasztalt fejlesztőt, illetve a későbbi üzemeltetést támogató kollégát.

A frontend oldali fejlesztés során a funkcionális követelmények és oldal elrendezések prototípusok formájában kerültek a frontend fejlesztő elé, aki Angular + Material Design használatával valósította meg a felhasználói felületet. A fejlesztés során a hiányzó backend API-kat átmenetileg mock-ok helyettesítették, így párhuzamosan folyt a két oldal fejlesztése.

A fejlesztés során a közös kódbázis kezelését Git alapokon, Bitbucket szerveren valósítottuk meg. Mivel a fejlesztők mindannyian készség szinten használták a Git-et, nem jelentett problémát a használata.

A teszt környezet létrehozására és üzemeltetésére az Aruba Cloud szolgáltatását vettük igénybe. A rendszer telepítése és terjesztésre való előkészítése során problémát jelentett a licenc megkötések miatti függőségek kezelése, telepítő csomagok összeállítása. Mivel a függőségek egy része a megkötések miatt nem terjeszthető a szoftver részeként, gondoskodni kellett azok önálló eléréséről.

## 1.2. Architektúra tervezési és megvalósítási folyamata

### 1.2.1. Tervezési célok és szempontok

#### **High level concept**

A tervezés célja egy olyan réteges architektúra kialakítása, amely lehetővé teszi az okos mérők és környezeti érzékelők által biztosított adatok eszközből való kiolvasását, érkeztetését, tárolását, feldolgozását, adatszolgáltatását és megjelenítését.

#### **Karbantarthatóság és továbbfejleszthetőség**

Az architektúra tervezése során kiemelt szempont a rendszer költséghatékony üzemeltetése, a később megjelenő újabb technológiák gyors és egyszerű integrációjának lehetősége.

A fenti célok elérésben alapvető elvárás az iparági szabványok, ajánlások és "legjobb gyakorlatok" követése.

#### **Biztonság**

Az internetre kapcsolódó eszközök és rendszerek tervezésekor számolni kell biztonsági kockázatokkal. Az IoT eszközök és a kapcsolódó infrastruktúra esetén kiemelt kockázati tényezők:

- eszköz kompromittálódása (pl. titkosító kulcsok ellopásával)
- eszköz lehallgatása, adatlopás
- adatok meghamisítása az eszköz és a szerver között
- eszközök közötti kommunikáció zavarása
- adatvesztés
- eszköz blokkolása
- szerver túlterheléses támadása

- jogosultságok megszerzése
- szoftverhibából adódó leak (akár saját, akár 3rd party)
- eszköz fizikai károsodása

A biztonsági kockázatok mérséklése az architektúra tervezése során is kiemelt tervezési feladat. Rendelkezésre álló szabványos vagy ajánlott biztonsági megoldások:

- LoRaWAN esetén számláló bekapcsolása
- internetes kommunikációban TLS/SSL kötelező, akár proxy szerver beiktatásával
- rövid lejáratú Tokenek alkalmazása állapotmentes hozzáférések során
- jelszavas + SSL védelemmel ellátott M2M kommunikáció
- elosztott adatbázis
- redundáns adattárolás
- cache alkalmazása a lehetséges torlódási pontokon
- hozzáférések korlátozása szerepkörök, jogosultságok kialakításával

### 1.2.2. Rendszerkomponensek

A komponensek tervezése során fel kellett osztani a rendszer egyes összetevőit az adatáramlás egyes állomásainak megfelelően, figyelembe véve az egyes eszközök vagy eszköztípusok fizikai elhelyezkedését, adatformátumát, kommunikációs sajátosságait, adatvédelmi, biztonsági megoldásait.

A tervezéskor külön figyelmet kellett fordítani arra, hogy a rendszer mind saját eszközökön saját hálózatban, mind pedig felhőben is képes legyen működni, legyen felkészítve a különböző felhő-szolgáltatók által biztosított infrastruktúra használatára.

Ennek megfelelően kellett kompromisszumos megoldást találni a kommunikáció következő állomásaihoz, mérlegelve az adatbiztonsági, erőforrás igény és költséghatékonysági tényezőket, hogy mindezek megfelelő egyensúlyban maradjanak.

#### **Külső adatforrások**

Az architektúra legfelső rétegében elhelyezkedő komponensek azok az eszközök, amelyek egyedi vagy szabványos formában elérhetővé teszik a mérési adatokat. Ezek az eszközök alkotják a külső adatforrások rétegét.

A külső adatforrások előzetes számbavétele során lehetőséget kellett hagyni a már létező, de a rendszerhez utólag illesztendő, továbbá a még nem létező, de később megjelenő egyéb rendszerek illeszthetőségére is.

#### **LoRaWAN**

A napjainkban széles körűen terjedő LoRaWAN hálózat integrációja elsődleges feladata a projektnek, ezért az architektúrának teljes mértékben támogatnia kell mind a privát, mind a publikus, továbbá mind a saját üzemeltetésű, mind pedig külső szolgáltatók által biztosított LoRaWAN hálózati hozzáférést és kommunikációt. A LoRaWAN kommunikációs sémája lehetővé teszi számunkra a legelterjedtebb M2M kommunikációs technológiák használatát.

A LoRaWAN hálózat integrációjának tervezése során a LoRa Alliance specifikációiból kellett kiindulni, továbbá meg kellett ismerni az elterjedtebb LoRaWAN szolgáltatók és szoftverek API lehetőségeit is. A tervezés során vizsgált szoftverek és szolgáltatók:

- Lorient (Antenna Hungária, Lorient.io)
- The Things Network

- ChirpStack

## Staging area

Az adatok érkeztetése és tárolása hosszas mérlegelést igényelt. Több elterjedt technológiát kellett megvizsgálni, és a korábban ismertetett szempontok alapján kiválasztani a legmegfelelőbbet.

## Adatok érkeztetése

Az adatok érkeztetését valamely IoT alkalmazás rétegbeli protokoll szerint kellett megvalósítani.

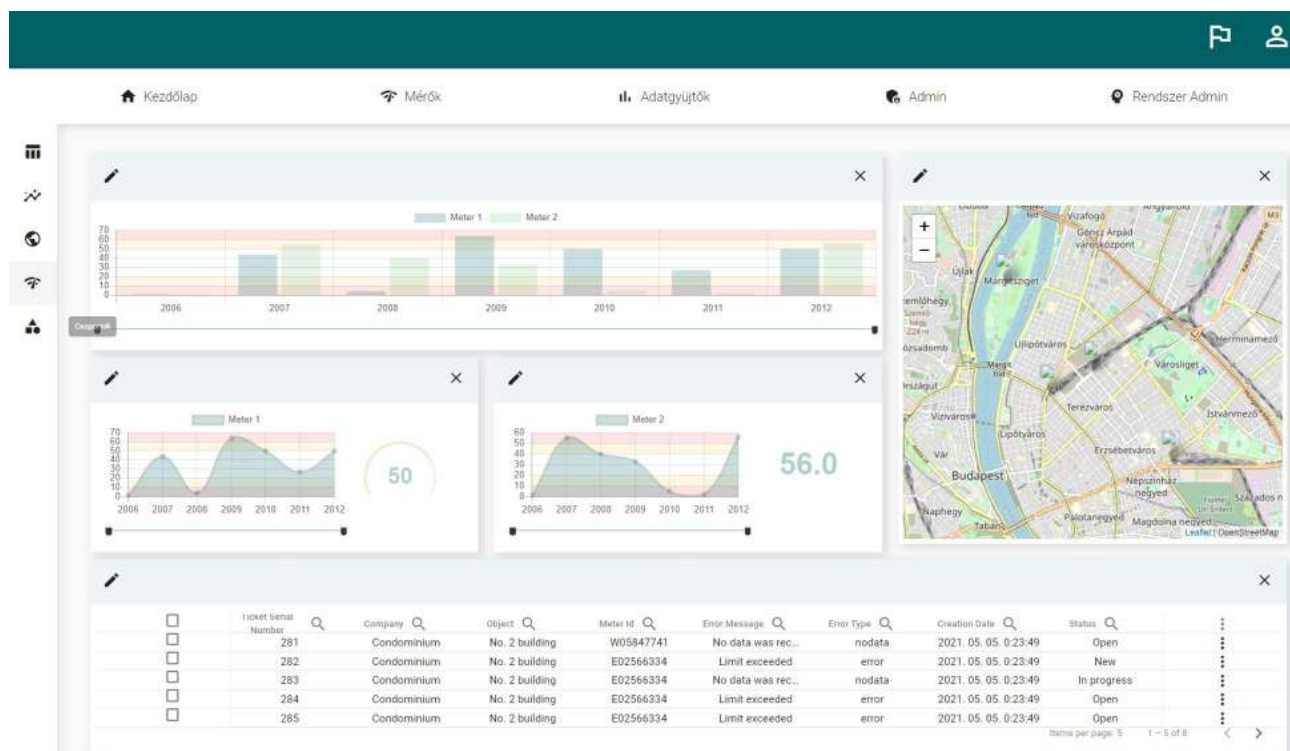
Az M2M kommunikációs technológiák közül többet is megvizsgálva végül az MQTT bizonyult hosszú távon is működőképes megoldásnak. A döntés alapját az egyes technológiák összehasonlítása adta.

## Adatok tárolása

A beérkező adatok ideiglenes végleges tárolásáról a cache-nek (Redis) és az elsődleges adatbázisnak (PostgreSQL) kell gondoskodnia, az architektúrát ennek megfelelően kellett megtervezni.

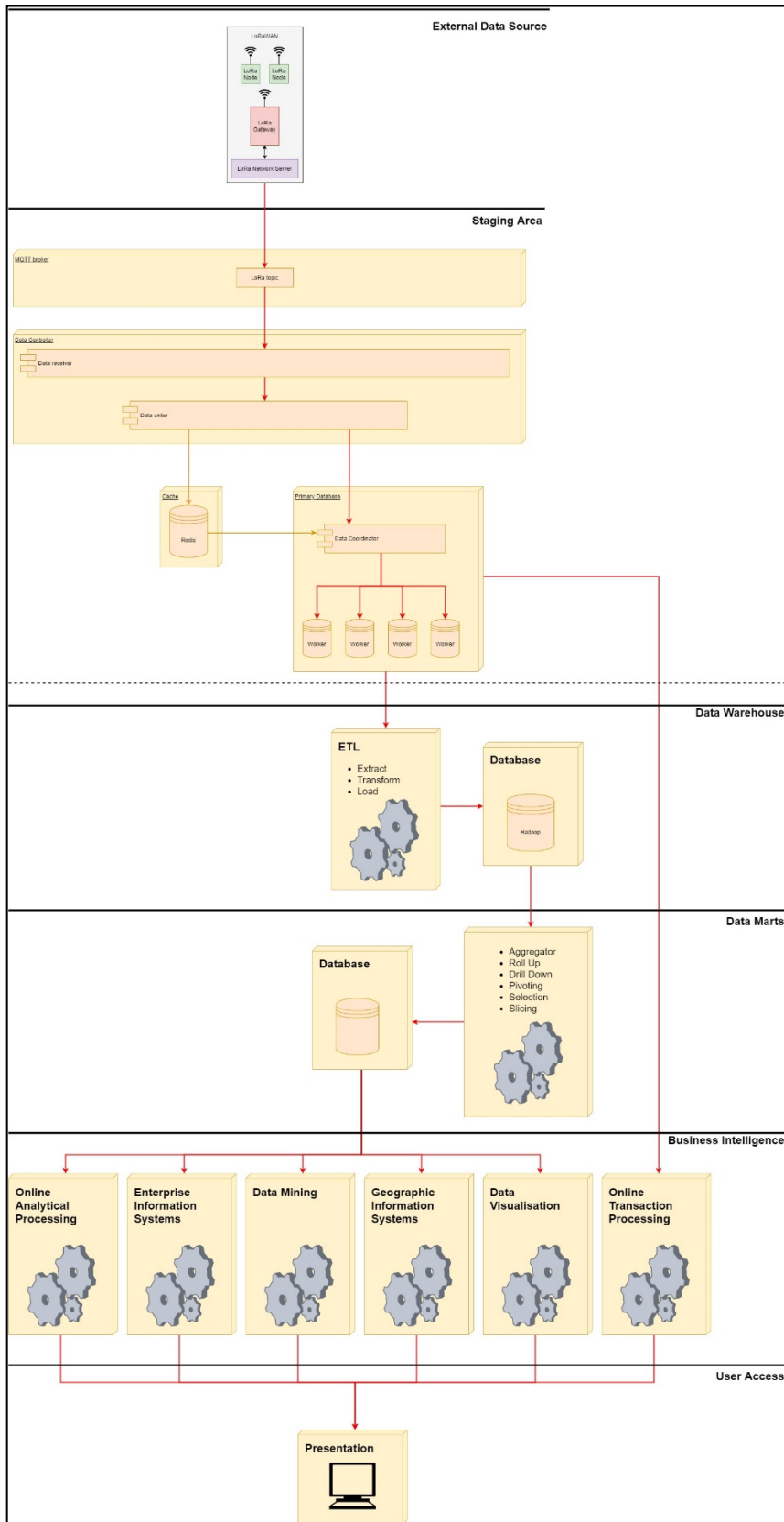
## Presentation (megjelenítés)

Az adatok elérése és megjelenítése saját fejlesztésű webalkalmazás (Angular) által történik:



1. ábra – A szoftver grafikus felülete

### 1.2.3. A létrejött Szoftver-architektúra



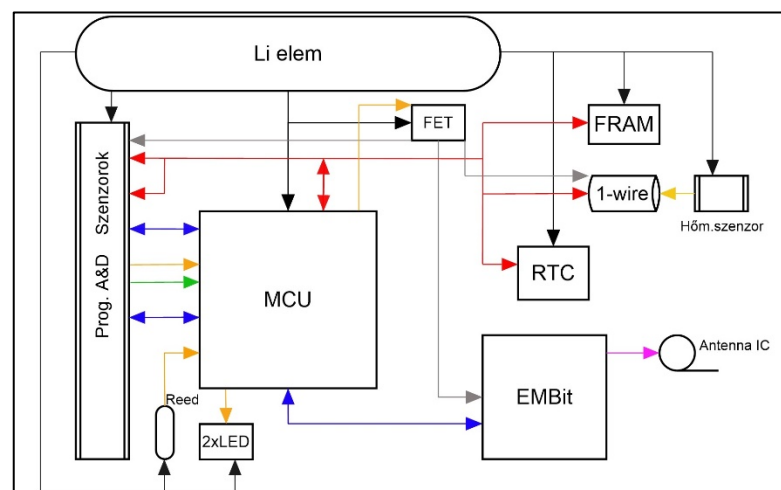
2. ábra - Szoftverarchitektúra

## 2. A hardverkomponens fejlesztése

### 2.1. Funkciótervezés

Első lépésként elkészítésre került a hardverspecifikáció, amely a pályázati leírásra támaszkodik. Ez tartalmazza a készítendő hardverünkre vonatkozó követelményeket. Egy IoT rendszernél meg kellett határozni, hogy a készüléknek mit kell mérnie, miként kell a mért adatokat összegyűjtenie, esetleg feldolgoznia, és milyen kommunikációs protokollon kell azokat továbbítani a hálózati szervernek. A feladatból általában leszűrhetjük azt is, hogy milyen külső tényezőknek kell megfelelnie a hardvernek: mennyire kell védeni a környezeti viszontagságoktól (időjárástól, más elektronikai készülékektől, villamos gépek elektromos zajától, vagy akár élőlényektől, emberi hanyagságtól/garázdaságtól stb.).

A fentiek tudatában már gondolkozhatunk azon, hogy milyen modulok fogják alkotni a hardverünket, és hogy ezek milyen kapcsolatban állnak majd egymással. Ekkor tervezzük meg, hogy milyen központi egységre és interfészekre lesz szükség, valamint milyen ki- és bemenetekkel lesz ellátva a hardverünk. Mindezt egy funkcionális blokkdiagramon vázoljuk fel, ahol az egyes modulok fekete dobozként kerülnek ábrázolásra.



3 - . ábra Funkcionális blokkdiagram

### 2.2. Konstrukciótervezés

A konstrukciótervezés során megtervezésre került a termék fizikai kialakítása. Ennek során megfelelő anyagú és méretű borítást választottunk a hardvernek, figyelembe véve az abba történő rögzítést is. Egy adott doboz kiválasztásánál gondolnunk kellett arra, hogy milyen orientációban kerül bele az áramkör, szükséges-e furatok és új csavarhelyeket kialakítanunk rajta. Az időjárással és az elektromos behatásokkal szembeni védelmet is itt kellett figyelembe vennünk. Fontos volt gondolni arra is, hogy a helyszínen hogyan kerül majd felszerelésre a termék, és hogy könnyen hozzáférhető, kibontható-e az a későbbi időszakos karbantartások alkalmával. Plusz előny, ha kisebb beavatkozásokat, pl. elemcserét, resetet az ügyfél is képes elvégezni a hardveren.

### 2.3. Schematic tervezés

Az áramköri rajtot az egyes alkatrész kiválasztása után kezdtük el. A funkcionális ábrából kiindulva egyre kisebb blokkok kapcsolási rajza világosodik ki, egyre apróbb részleteket terveztünk meg. Az áramkör tervezésével párhuzamosan történt az alkatrész kiválasztása is. Először az integrált áramköri elemeket

kellett kiválasztani, majd az azok működéséhez szükséges kapcsolás alkatrészeit. Az áramkörtervezés későbbi szakaszában terveztük meg az analóg áramköröket, a bizonyos feszültség szintek előállításához szükséges kapcsolásokat, a szűrőáramköröket és védelmi megoldásokat is.

#### 2.4. PCB tervezés

Ideális esetben a nyáktervezés megkezdésekor már minden elemhez kiválasztottuk a pontos alkatrészt, de a gyakorlatban ez nehezen valósult meg. Egyes elemek tokozásának megválasztása akár a PCB-n tervezett helyétől is függhet. A nyáktervezés során ugyanis számtalan fizikai hatást kellett figyelembe venni, amelyek például az alkatrészek formai kivitelétől, a huzalozástól és a szomszédos elemek távolságától, orientációjától függenek. Elektromos és mágneses erőterek, valamint a melegedés voltak a legfontosabb orvosolandó problémák. Ki kellett választani a nyák paramétereit: a rétegek számát és vastagságát, a dielektrikum vastagságát és anyagát, a lemez méreteit és be kell állítani a „szabályokat” a gyártó cég technológiai követelménye alapján.

Mindezek után kezdődhet el az alkatrészek elhelyezése a PCB rajzon, majd ezek összekötése a schematic szerint. A huzalozás végeztével ellenőrizni kell, hogy egyik beállított szabályt sem sértettük meg, majd legeneráltuk az áramkör legyártásához szükséges kimeneti fájlokat.

#### 2.5. A PCB legyártása

A gyártók számára olvasható dokumentumokat állítottunk össze az áramköri rajzból és a PCB layoutból, mely utóbbi a board különböző rétegeit teszi láthatóvá, a furatokkal, illetve az alkatrészek padjeivel és azonosító címkéivel együtt. Készült ún. BOM (Bill Of Material) lista, amely az alkatrészek tulajdonságait és azonosítójukat tartalmazza. A két legfontosabb dokumentum a Gerber fájlok és az NC Drill fájlok csomagja. Ezek tartalmazzák az egyes rétegek huzalozását, illetve a furatok és viák koordinátáit a gyártói berendezés számára, amely alapján elkészíti a nyáklemeszt.

#### 2.6. Az alkatrészek beültetése

Az alkatrészek beültetését erre szakosodott cég végezte. A nyáklemesz mellett mellékelni kellett a külön becsomagolt és azonosítóval címkézett alkatrészeket, illetve a beültetési rajzot, amelyet a tervező programmal generáltunk.

#### A hardver felélesztése

A board beültetését követően kezdetét vette az áramkör felélesztése. Az üzembe helyezés előtt minden egyes eszközön végre kell hajtani a bemérést. A következő lépések első nekifutásra szigorú sorrendben követik egymást, azonban később felváltva követhetik egymást:

1. Szemrevételezés
2. Feszültségmérés
3. Fogyasztásmérés
4. Funkcionális mérések
5. Tesztprogramok

A fent említett folyamatok a mezőgazdasági alkalmazásra szánt eszköz esetében négy (négy verzió: V1.1, V1.2, V1.3, V1.4), a városi/társasházi mérésre szánt eszköz esetében két iterációban (két verzió: V1.0, V2.0) készültek el.

### 3. Mezőgazdasági tesztelés

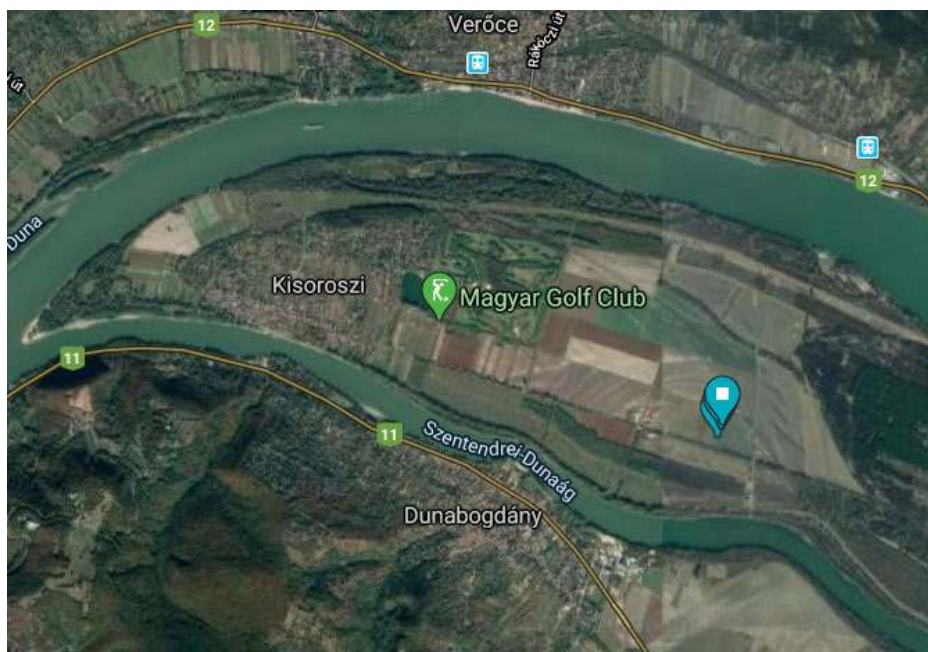
A szántóföldi kísérletben kerestük a választ arra, hogy a különböző talajfedettség hogyan hat a talaj bizonyos fizikai paramétereire, milyen következtetést lehet az adatokból levonni.

Hazánk klímája egyértelműen melegedő tendenciát mutat, nagy szélsőértékekkel, melyek komoly kihívások elé állítják a mezőgazdasági termelőket az alkalmazkodás terén. A változó környezeti viszonyok új gazdálkodási megoldásokat követelnek meg, amelynek nagyon fontos része a talaj termőképességének megőrzése és a talajélet megerősítése. Célkitűzés volt, hogy egy hagyományos, a főnövény után takaratlanul maradt talajt és két, többfajta növényi komponensből másodvetésként vetett talaj műszeres méréséből nyert értékeit összehasonlítsuk annak érdekében, hogy a kétféle (takart és takaratlan) művelési módnak a talaj fizikai jellemzőire gyakorolt hatását megértsük.

#### 3.1. Anyag és Módszer

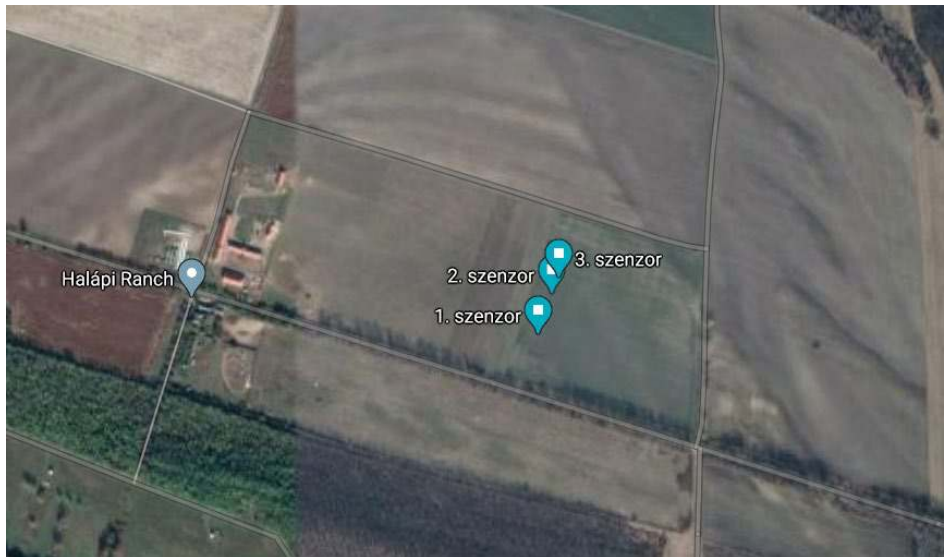
##### Mintaterület

A mintaterület Kisoroszi határában található (4. ábra), a kísérletet a 2020-as főnövény lekerülése után állítottuk be és az őszi talajmunkák kezdetéig folytattuk.



4. ábra. - Kisoroszi, kísérleti táblák elhelyezkedése kék jellel

A teljes tábla 8,55 ha nagyságú volt a Q15P4-2-16 fizikai blokkban (5. ábra), melyen három részben helyezkedtek el a kísérleti táblák.



5. ábra. - A kísérleti parcellák a mérőpontokkal

Az 1. mérőpont a főnövény utáni elszórt repce árvakelésben helyezkedett el, melynek 5 méter sugarú körében a talajt mindenkor takaratlanul tartottuk. A 2. számú mérőpont a Tillagemix „Emese álma” 8 fajtából álló magkeverékkel volt bevetve 15 kg/ha magnormával a maximális talajfedés biztosítása érdekében. A 3. számú mérőpont vöröshere/fehérhere másodvetést kapott 10 kg/ha magnormával, amely a közepes fedettséget szimulálta.

#### Mérőeszközök, fizikai vizsgálatok

A helyszínen azt tapasztaltuk, hogy az elérhető lefedettségi adatokkal ellentétben a Szentendrei-szigetnek ezen a részén nincs Antenna Hungária LoRaWAN lefedettség, tehát saját gatewayt és internetkapcsolatot kellett telepíteni. A végleges megoldás az lett, hogy a szántó föld sarkán lévő épületbe telepítettük a gatewayt, ami kb. 300 méterre van a szántó földtől. Az épületben nincs Internet, a gateway-be egy SIM kártyával biztosítottuk a folyamatos internetelérést.

A kísérleti táblákba a szenzorok kihelyezése a vetést követően 3 nappal történt. A szenzorok a talajban 30 cm mélyen kerültek elhelyezésre (6. kép), illetve a talaj felszíne fölött 30 cm magasságban zárt mérőállásban a levegő hőmérséklet és páratartalom érzékelők.



6. kép - Talajszenzor elhelyezése 30 cm mélyen

A kísérlet során az alábbi adatokat mértük a talajban: talajnedvességet, talajhőmérsékletet és konduktivitást, a piacról beszerzett eszközzel, egy Dragino LSE01 LoRaWAN Soil Moisture & EC Sensor-ral (1. táblázat).

Paraméter	Talaj nedvesség	Talaj konduktivitás	Talaj hőmérséklet
<b>Mérési tartomány</b>	0-100.00%	0-20000uS/cm (25°C)(0-20.0EC)	-40.00°C~85.00°C
<b>Mértékegység</b>	V/V %,	uS/cm,	°C
<b>Érzékenység</b>	0.01%	1 uS/cm	0.01°C
<b>Mérés pontosság</b>	±3% (0-53%) ±5% (>53%)	2%FS,	-10°C~50°C:<0.3°C All other: <0.6°C
<b>Mérési elv</b>	FDR, hőmérséklet és konduktivitás kiegyenlítéssel	Konduktivitás, hőmérséklet kiegyenlítéssel	RTD, kalibrálás

1. táblázat - Talajszenzorok mérési paramétere

A felszíni mérőállomás egy Dragino LHT65 Temperature & Humidity hőmérséklet és páratartalom mérőből állt, amelyek a mérődobozban, egy plusz hőmérséklet mérő szenzor pedig azon kívül volt elhelyezve (7. kép).



7. kép - Felszíni szenzorok

A teszt időszak 2020. július 1 – augusztus 11. között, a mérési időszak 2020. augusztus 14 – 2020. november 18. között volt. Az adatsorokat 2020. szeptember 20. – 2020. október 31. között jelenítettük meg, mivel eddigre volt a kísérleti parcellákon a talajborítottság elégségesnek mondható (8. kép).

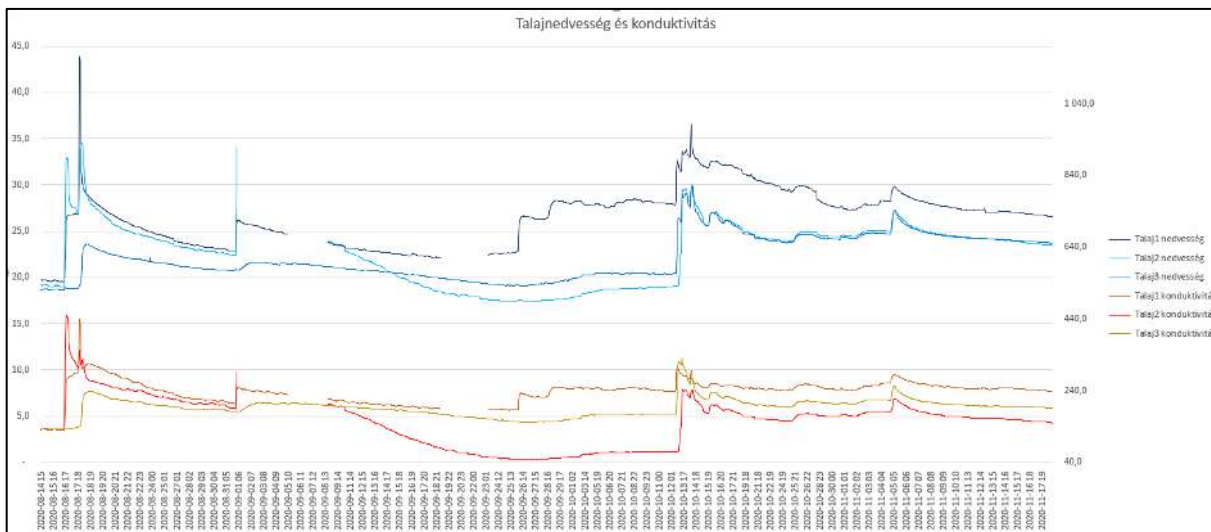


8. kép Takarónövényes tábla

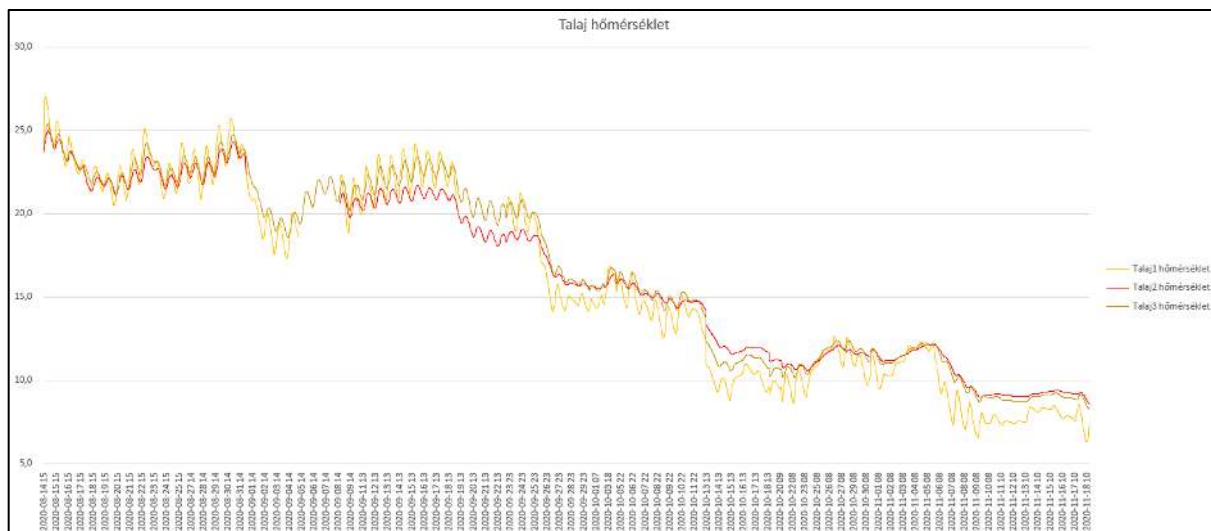
A szenzorok adatait egy LG308 LoRaWAN Gateway továbbította feldolgozásra. A mérési adatok öt percenként érkeztek, melyeket Excel táblázatban rögzítettünk. A cél nemcsak a talaj fizikai jellemzőinek a változás vizsgálata volt, hanem a rendszer éles tesztelése, alkalmazhatóságának vizsgálata valós mezőgazdasági körülmények között. A mérési adatokban az időnkénti adathiányt részben a LoRaWAN Gateway hibája, részben a mérőeszközökben lévő elemek lemerülése okozta, ekkor minden esetben a rendszer teljes újraindítása vált szükségessé.

### 3.2. Eredmények, értékelés

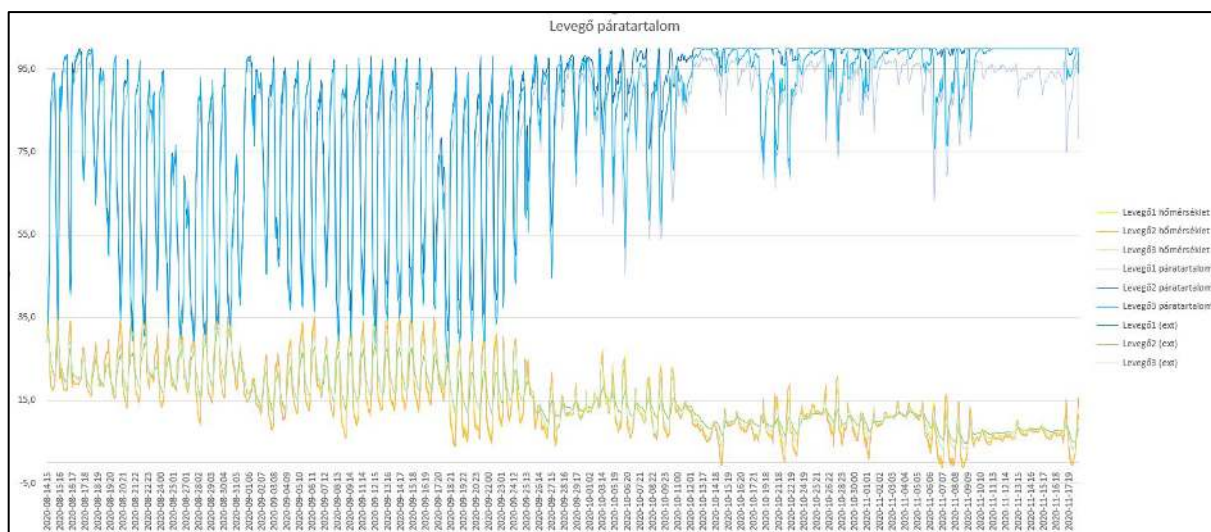
A kísérlet során arra kerestük a választ, hogy a különböző takarónövényes talajművelési rendszerek alkalmazásakor hogyan változnak meg a talaj fizikai jellemzői, ezek változása egyszerű mérőeszközökkel mérhető és kimutatható eredménnyel jár-e, milyen következtetéseket lehet levonni az adatokból a viszonylag rövid tesztidőszak alatt. A kísérlet során mértük a talaj hőmérsékletét, nedvességtartalmát és konduktivitási értékeit, illetve a talajfelszíni levegő hőmérsékletét és páratartalmát.



9. ábra - Talajnedvesség % és konduktivitás uS/cm diagramm



10. ábra - Talajhőmérséklet C0



11. ábra - Levegő páratartalom és hőmérséklet

Kezdetben problémát jelentett, hogy a szenzorok adatait nem sikerült továbbítani, mivel az eszközök (szenzor és gateway) „nem látták” egymást. A közvetlenül a talajfelszínen elhelyezett szenzorok és azok jeladóit kezdetben megbízhatatlanul továbbították az adatokat. Miután a szenzorokhoz kapcsolódó adót 1,7m magasságban helyeztük el (7. kép) a gateway-el való kapcsolat stabil maradt. Problémát jelentett az elemcsere, a kezdetekben többszöri újraindítás. (A kezdetben alkalmazott elemek élettartama a gyártói katalógus adatokkal ellentétben a szabványos beállítások mellett 5 perces mintavételezési és küldési időintervallumokkal nem haladták meg a 3 hetet.)

A kísérlet alapján az eszközök használatát inkább a nagyobb termelési értékkel (ültetvény, kertészet) bíró kultúrák esetében javaslom (fagyveszély elhárítás) és ott is inkább a hőmérséklet vizsgálatnak látom a jelentőségét az ültetvény több pontján. A hőmérséklet vizsgálat során az érzékelőket szabadon kell hagyni, az adatsorokból jól látható, hogy a dobozban lévő szenzor hőmérséklet értékei nem a valóságot tükrözik.

#### 4. Városi körülmények közötti tesztelés:

A városi/társasházi viszonyok közötti mérést már a saját fejlesztésű eszközökkel sikerült elvégezni. Az eszközeink rádiókommunikációs tulajdonságainak megismeréséhez különféle méréseket és számításokat végeztünk. A LoRa moduláció a szórt spektrumú adatátvitel egy speciális változata, amit CCS-nek (Chirp Spread Spectrum) nevezünk. A LoRa kommunikációhoz 125 kHz sávszélesség megfelelő (bár a legtömörebb kódoláshoz választható 250 kHz sávszélesség is, hogy tovább növeljük az átviteli sebességet). A LoRa-nak van egy FEC (Forward Error Correction) mechanizmusa, ami a CR (Coding Rate) paramétert használja. Saját méréseket végeztünk a terjedési tulajdonságokra vonatkozóan. A vételi érzékenység és a jel-zajviszony könnyen rögzíthető volt, mivel ezeket a saját telepítésű gateway hozzátámasztja a felküldendő csomaghoz.

##### 4.1. Kitűzött céljaink

A telepes végpontként működő szenzorillesztőre vonatkozólag a következő kérdésekre keressük a választ.

- Maximális adatközlési hatótávolságok városi körülmények között
- Adott hatótávolság mellett elérhető maximális mintavételezési gyakoriság (adatmátrix)
- Az autonóm egységekben alkalmazni kívánt elemek maximális élettartamának megállapítása, adott hatótávolság, mintavételezési gyakoriság és adatcsomag méret mellett (adatmátrix)
- Adott hatótávolság, végponti eszköz szám és adattovábbítási gyakoriság mellett elérhető maximális payload (adatmátrix készítése)
- Ideális hasznos teher (payload), azaz adatcsomag méret meghatározása a két alkalmazási területen
- Ideális adattovábbítási intervallum megállapítása, azaz milyen gyakran küldjön adatot a végponti eszköz
- Maximális adatközlési hatótávolság megállapítása adott végponti eszköz szám, adattovábbítási gyakoriság és ideális payload mellett (adatmátrix készítése)

##### 4.2. LoRa paraméterekre vonatkozó mérések

A mérések az SNR (jel-zaj viszony) és az RSSI (vett jelerősség) távolság gal való változásáról, az SF (kiterjesztési faktor) függvényében készültek. Ilyen méréseket végeztünk zárt térben és szabad ég alatt, esős és „tisztá” időben, valamint városi és vidéki környezetben is. A mért értékek alapján elmondható, hogy az első 10 méteren nagyot esik a jelerősség, majd az első pár 100 méteren lassan csökken -75-ről -100 dB alá. Ez jól mutatja a mikrohullámú technikában jól ismert tényt, miszerint az elektromágneses hullám intenzitása a távolság négyzetével csökken. A méréseket sík terepen, a saját telepítésű gatewayre történő közvetlen

rálátással végeztük, hideg, száraz időben. Ugyanezt a mérést elvégeztük párás időben is. A jel-zaj viszony szórása jóval nagyobb, kis és nagy távolságokban egyaránt. A jel-zaj viszony viszonylag egyenletesen csökken a távolsággal, de a görbe jellegét nehéz meghatározni, mert a nagy szórás nagy távolságokon is számottevő marad.

Az SNR-t és az RSSI-t könnyen lerontják a nagyméretű objektumok (épületek, födémek), amelyek keresztelik a gatewayt és a szenzorillesztő kártyát összekötő egyenest. Főleg a jó vezetőképességű, nagy permittivitású anyagból készült objektumok emésztenek fel sok energiát a rádiójelből. A mérések során azt tapasztaltuk, hogy két 30 méter vastag panelházon túl még éppen mérhető marad a jel, de a harmadik után már teljesen elvész. Városi környezetben tehát korlátozott a hálózat alkalmazhatósága, mivel a jelerősség gyengülését csak sűrűbben elhelyezett, nagyobb számú saját telepítésű gateway-el lehet biztosítani. Ennek gazdasági megtérülését a jövőben vizsgálni szükséges.

Az időjárás viszonyosságok szintén nagy hatással vannak a két paraméterre. Szemerklő esőben, magas páratartalom mellett, 3 °C-os hőmérsékleten alig 80 m távolsáig mérhető a rádiójel.

#### 4.3. Antennamérések

A hardvert többféle antennával szereltük fel a mérések során, hogy kiválasszuk a legjobbat, amellyel adott távolságból a legnagyobb vételi jelerősséghez jutunk. Az egyes antennák nem sokban tértek el egymástól, azonban egyértelműen az antenna IC (beépített antenna) szerepelt a legrosszabbul.

#### 4.4. Fogyasztásra vonatkozó mérések és számítások

Egy telepről működő LPWA eszköz egyik legfontosabb jellemzője a tápforrás cserék között eltelt idő vagy a tápforrás töltés nélküli élettartama. Törekedtünk a leghatékonyabb táp megtalálására, amely végül egy 19000 mAh kapacitású lítium-tionil klorid (Li-SOCL<sub>2</sub>) elem lett (EVE ER34615).

Általános tapasztalat, hogy a küldési gyakoriságot mindenképp optimalizálni kell az adott feladathoz/célhoz (üzleti alkalmazási esethez) annak érdekében, hogy az üzletileg is alkalmazható és értékesíthető minimum 1 éves elemcsere periódust tartani tudjuk.