



DIPLOMADOLGOZAT

Csepregi Tamás

Gépészmérnök MSc

Gödöllő

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Műszaki Intézet

Gépészmérnök

Meteorológiai Adatgyűjtő Rendszer Tervezése
és Építése

Belső konzulens:	Erdélyi Viktor Ferenc egyetemi tanársegéd
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Műszaki Intézet Mechatronika Tanszék
Készítette:	Csepregi Tamás HMJAVI nappali tagozat
Intézet:	Műszaki Intézet
Tanszék:	Gépszerkezet-tani Tanszék

Gödöllő

2025

Tartalom

1.	Bevezetés és célkitűzés	1
1.1.	A téma jelentősége	1
1.2.	A fejlesztés helye	2
1.3.	Célkitűzés.....	2
2.	Irodalmi áttekintés	3
2.1.	A meteorológia és története	3
2.2.	A mezőgazdasági adatok gyűjtésének fontossága	3
2.3.	A meteorológiai mérőeszközök	5
2.4.	A mezőgazdaság számára hasznos mérendő mennyiségek	9
2.4.1.	A hőmérséklet	9
2.4.2.	A páratartalom	9
2.4.3.	A csapadékmennyiség.....	10
2.4.4.	A szélirány és szélereősség.....	10
2.4.5.	A talajhőmérséklet	10
2.4.6.	A talajnedvesség	11
2.5.	Additív gyártástechnológia	12
2.5.1.	FDM vagy FFF	13
2.5.2.	LOM (Laminated Object Manufacturing)	14
2.5.3.	SLA (Stereolitography).....	14
2.5.4.	DLP (Digital Light Processing)	14
2.5.5.	SLS (Selective Laser Sintering).....	15
2.6.	FFF 3D nyomtatásra alkalmas műanyagok fajtái és jellemzői	16
2.6.1.	PLA.....	17
2.6.2.	PETG.....	17
2.6.3.	ABS.....	18

2.6.4.	ASA.....	18
2.6.5.	PA6 (Nylon).....	18
2.6.6.	TPU	19
2.7.	A szükséges elektronikai eszközök és alkalmazásuk.....	20
2.7.1.	A hőmérséklet mérése.....	20
2.7.2.	A nyomás mérése.....	21
2.7.3.	A páratartalom mérése	21
2.7.4.	A talajnedvesség mérése	22
2.7.5.	A Hall-effektus és Hall-szenzorok.....	22
2.8.	Az állomáshoz szükséges informatikai és adatkezelő rendszerek	23
2.8.1.	Mobilhálózati kommunikáció, GPRS	23
2.8.2.	Adatbázisok.....	24
2.8.3.	Grafikonkészítés és elemzés	25
3.	Anyag és módszer.....	26
3.1.	Az adatgyűjtő állomáshoz felhasznált elvek és technológiák.....	26
3.2.	Az állomás vázlata	27
3.3.	Az állomás ötletének gazdasági elemzése és validációja	28
3.3.1.	Davis Instruments Vantage VUE.....	28
3.3.2.	Davis Instruments Vantage Pro 2	29
3.3.3.	Ambient Weather KestrelMet 6000 AG	30
3.3.4.	A saját állomás jellemzői és költségei	31
3.4.	A felhasználandó technológiák és eszközök meghatározása	32
3.4.1.	A hőmérséklet, páratartalom és légnyomás mérése.....	32
3.4.2.	A csapadékmennyiség mérése	33
3.4.3.	A szélsébség mérése	34
3.4.4.	A szélirány mérése	35

3.4.5.	A talajhőmérséklet és talajnedvesség mérése	36
3.4.6.	A szenzorokat összekötő development board	39
3.4.7.	Az állomás tápellátása.....	40
3.5.	A szenzorok működéséhez szükséges alkatrészek megtervezése	40
3.5.1.	Hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő	41
3.5.2.	Csapadékmérő.....	42
3.5.3.	Talajszenzorok	43
3.5.4.	Szélesség és széliránymérő.....	44
3.5.5.	Egyéb alkatrészek	46
3.6.	Az alkatrészek legyártása és finomítása	47
3.6.1.	Hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő	49
3.6.2.	Csapadékmérő.....	49
3.6.3.	Talajszenzorok	51
3.6.4.	Szélesség és széliránymérő.....	51
3.6.5.	Egyéb alkatrészek	55
3.7.	Az érzékelő elemek tesztelése, kalibrálása	55
3.7.1.	Hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő	55
3.7.2.	Szélirány érzékelő.....	56
3.7.3.	Szélesség mérő	56
3.7.4.	Csapadékmérő.....	57
3.7.5.	Talajszenzorok	57
3.8.	A kész és tesztelt alkatrészek összeépítése	59
3.9.	Tesztprogram írás, egybefűzés, hibák megszüntetése.....	61
3.10.	Az állomás blokkdiagramja	64
3.11.	Az adatok útja	65
3.12.	A teljes állomás tesztelése	65

3.13.	Következtetések és javaslatok.....	68
4.	Gazdasági elemzés.....	69
5.	Összefoglalás	71
6.	Summary.....	72
7.	Nyilatkozatok.....	73
8.	Irodalomjegyzék	77
9.	Ábrajegyzék	79
10.	Melléletek	82

1. Bevezetés és célkitűzés

Ebben a fejezetben bemutatom a szakdolgozatban tárgyalt problémát, illetve annak jelentőségét.

1.1. A téma jelentősége

A mezőgazdaságban az egyre szélsőségesebb időjárási viszonyok és a növekvő piaci verseny miatt szemléletváltásra van szükség. Az eddigi tapasztalatok és próbálkozások alapján hozott döntések már nem megfelelőek, adatalapú döntéshozás vált szükségessé, ezt részben magában foglalja a precíziós gazdálkodás fogalma is, amely igen sok területet felölel. A mezőgazdaságban egy kiszámíthatatlan faktor az időjárás, amely könnyedén felülírhatja a tervezett munkákat, illetve hirtelen nagy károkat is okozhat, mind indirekt, hosszútávú hatásokkal (például aszály), mind direkt, rövidtávú károkozásokkal (például jégeső). A mezőgazdasági munkálatok egy részének kivitelezhetősége és hatékonysága nagyban függ az időjárási viszonyoktól, amelyek gyors változása miatt nem minden esetben tudnak a gazdák megfelelően alkalmazkodni, és megszabni azt, hogy melyik műveletet kellene prioritásba helyezni. Ilyen művelet például a permetezés, melynek hatékonysága nagyban függ a szél erősségétől, illetve a vetés is, amely akkor ideális, ha megfelelő hőmérsékletű talajba történik, hiszen a melegebb talaj elősegíti a csírázást és kelést. A csapadék mennyiségétől, illetve annak eloszlásától pedig a betakarítás is függ. Ahhoz, hogy ezek a műveletek hatékonyan és megfelelő körülmények között legyenek elvégezve, szükséges egy folyamatos visszacsatolás az időjárási viszonyokról, akár kisebb távolságon belül is több térségből. A jelenleg piacon levő meteorológiai állomások vagy nem nyújtanak megfelelő adatot (például talajadatokat nem gyűjtenek), vagy, ha minden szükséges adatot gyűjtenek, akkor a kitelepítésük jelentős összeget igényel, amely jelentősen több mint amennyibe maga az állomás kerülhet, ezen felül teljesen zárt rendszerek, sokat kell várni a javításukra, és még éves díjat is fizetni kell a szolgáltatóknak. Ezeket a felmerülő problémákat szeretném megoldani a saját rendszeremmel. A rendszer kulcsfontosságú adatokat gyűjt, mint a hőmérséklet, páratartalom, a csapadék, a talajhőmérséklet és a talajnedvesség, amelyek a tudatos döntéshozásban segítik a gazdálkodókat. A tervezés és kivitelezés alatt kiemelten figyelmet fordítok arra, hogy egy egyszerű műhelyben, közönséges szerszámokkal és egy 3D nyomtató segítségével az egész adatgyűjtő rendszer elkészíthető legyen, illetve, hogy minden 3D modell és összeszereléshez

szükséges információ, kapcsolási rajz, program elérhető legyen díjmentesen, vagyis nyílt forráskódú legyen.

1.2. A fejlesztés helye

A meteorológiai állomás fejlesztését és a prototípus tesztelését a saját őstermelő családi gazdaságomban végzem, ez Felsőszentivánon található, Bajától 20km-re, Szegedtől 80km-re, az őket összekötő 55-ös főútvonal mentén. Szántóföldi haszonnövények termesztésével foglalkozunk, a termesztett növények az árpa, búza, repce, napraforgó, kukorica, állattartással nem foglalkozunk. 110 ha saját tulajdonú területet és további közel 200 ha bérelt területet, művelünk. A földterületek viszonylag közel helyezkednek el egymáshoz képest, a legnagyobb távolság két földterület között körülbelül 8 kilométer, azonban ezen a viszonylag kis távolságon belül is nagy eltérések mutatkoznak az időjárásban. A gazdálkodás hatékonyságának növelésére nagyapám a környéken elsőként alkalmazott centiméter pontosságú, RTK alapú sorvezető rendszert, ezzel gyorsítva a munkát, illetve megkönnyítve a gépkezelők dolgát, sokszor emlegette, hogy haladni kell a technológiai fejlődéssel, mert aki lemarad az nagyon hirtelen kerülhet rossz helyzetbe, ezért is döntöttem úgy, hogy az időjárási jellemzők mérését szeretném valamilyen módon megoldani, ezzel gyorsítva és könnyítve a döntéshozatalt. A piacon megoldások egy ekkora méretű gazdaságnak túlságosan nagy kiadást jelentettek volna, ezért elkezdtem nyílt rendszerű mérőállomásokat keresni, de egy olyat se találtam, amihez átfogó dokumentáció tartozik, és mindent mérni képes amire szükségem van. A saját gazdaság nagyon fontos az állomás fejlesztése szempontjából, hiszen így pontosan ismerem milyen viszonyokkal kell megküzdenie a mérőberendezésnek, illetve azt is tudom, hogy jellemzően milyen felszereltségű műhely áll rendelkezésre az ilyen vállalkozásokban, így olyanra tudtam tervezni az eszközt, hogy elkészíthető legyen ezekben a műhelyekben, és a már kialakult kapcsolatrendszerrel használva.

1.3. Célkitűzés

A munkám célja, hogy elérhetővé váljanak lokális adatgyűjtési lehetőségek a kisebb gazdaságok számára is, és nagy költségek nélkül is tudatos döntést tudjanak hozni a gazdálkodók.

2. Irodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben a témához kapcsolódó technológiákat és eszközöket mutatom be a hozzájuk kapcsolódó szakirodalmak felhasználásával.

2.1. A meteorológia és története

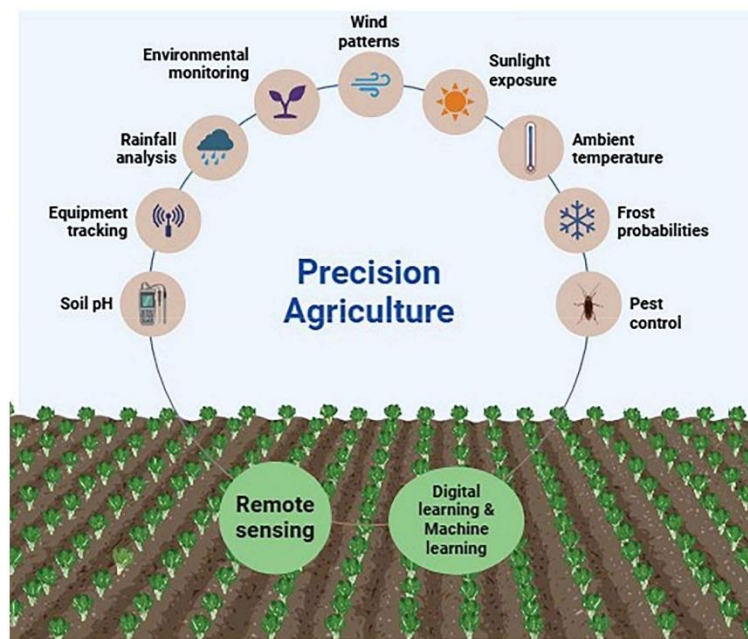
Az éghajlat és a bennünket körülvevő környezeti hatások vizsgálata az ókori Görögországban kezdődött, ahol Arisztotelész a „Meteorologica” című könyvében különféle spekulációkkal és filozófiai magyarázatokkal próbálta értelmezni az időjárást. A részletesebb magyarázatok és a különféle mérési eljárások ezután csak jóval később, a kora újkorban kezdtek el kialakulni, az 1600-as években hőmérsékletet és légnyomást mértek, majd a technológia fejlődésével egyre több meteorológiai jellemzőt voltak képesek mérni. Később a távíró feltalálásával ezeket az adatokat nagyobb távolságokon keresztül is képesek voltak megosztani. A meteorológiai mérések egységesítésének és szabványosításának céljával az 1800-as évek végétől kezdve több konferencia is lezajlott, majd 1878-ban megalakult az IMO (International Meteorological Organization), amely az 1950-ben alapított és ma is működő WMO (World Meteorological Organization) elődje volt (Ioannou et al. 2021). A meteorológiai mérések és kutatásokhoz szükséges feltételeket és elvárásokat a WMO alakítja ki, illetve a ma legtöbbit használt automatikus meteorológiai állomások beszerelése, csoportosítása, feltételei is a WMO munkája révén jöttek létre. A meteorológiai eszközök fejlődésével és a különféle elektronikai érzékelők és mikrokontrollerek tömeges elterjedésével a meteorológiai mérések fajlagos költsége alacsony, ezért lehetőség van egyre pontosabb adatgyűjtésre, amely pedig hozzájárul a pontosabb előrejelzésekhez az egyre kiszámíthatatlanabb időjárási viszonyok között is. A meteorológia jelentősége nem csak egyénekenként értékelhető, hiszen az időjárás a teljes társadalomra hatással van, befolyásolja az élelmiszertermelést és bizonyos ipari folyamatokat, illetve szinte teljes mértékben lehetetlen a befolyásolása a jelenlegi eszközeinkkel, ezért a legjobb, amit tehetünk, hogy mérünk és prediktív módon megpróbáljuk előre jelezni, mi fog történni.

2.2. A mezőgazdasági adatok gyűjtésének fontossága

A mezőgazdaság egy kifejezetten érzékeny terület a döntések megfelelő időben történő meghozatalára, manapság az egyre szélsőségesebb időjárás miatt egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetni arra, hogy a lehető legjobban kihasználjuk az időjárási viszonyokat, amelyek minden műveletet, és az összes termesztett növényt befolyásolják. Kritikus időszakokban rövid idő

alatt is szükséges lehet döntést hozni, akár úgy is, hogy nagyon sok változót nem ismerünk a döntés tényleges meghozatalához. Ahhoz, hogy minél kevesebb ilyen eset forduljon elő, a precíziós mezőgazdaságban jelentős mennyiségű érzékelő, felmérő eszköz, adatgyűjtő szolgáltatás alakult ki, amelyek együttesen egy hatalmas adatmennyiséget képesek szolgáltatni a környezetről, a munkaeszközökről, gazdasági mutatókról. Az adatok gyűjtése után azok feldolgozásával képesek vagyunk informált döntést hozni arról, hogy milyen irányban kellene lépést tenni következőnek (http1). A gazdaságok számára az adatgyűjtés ezelőtt nem volt sem egyszerű, sem megfizethető, sok adat gyűjtéséhez komplex mérőrendszerekre lett volna szükség, és az adatok feldolgozása is jelentősebb emberi és anyagi ráfordítást igényelt. Az Internet of Things (IoT) világában azonban az adatgyűjtési lehetőségek exponenciálisan nőnek, és az adatok feldolgozására is számos automatikus szoftver áll rendelkezésre, amelyek segítségével gyorsan és hatékonyan jutunk olyan, mindenki által értelmezhető kimutatásokhoz, amelyek a döntéshozási folyamatban a gazdálkodók számára hasznosak lehetnek. A precíziós gazdálkodás és a meteorológiai adatok kapcsolatát az 1. ábra szemlélteti. Jelenleg a mezőgazdasági adatgyűjtés éllovasai a nagyobb gazdaságok, hiszen itt lehet jelentős mennyiségű tőkét lekötteni arra, hogy információkhoz jussunk. A tőkén kívül azonban egy fontosabb vonzata is van az adatok gyűjtésének, ez pedig az emberi erőforrás, illetve a rászánt idő. A kisebb gazdaságokban a gazdaság vezetője és az alkalmazottak nem csak azokat a feladatokat látják el, ami szigorú értelemben a feladatuk, hanem más tevékenységeket is el kell végezniük, például a gazdaságvezető ilyen esetekben általában egyben az értékesítésért is felel, ő tervez meg a beruházásokat, a tápanyaggazdálkodási tervet stb., ezek mellett pedig kevés idő jut arra, hogy az adatgyűjtéssel is foglalkozni tudjon valaki. Jellemző még erre a szektorra, hogy a feladatok nagyon periodikusan, egyenetlen eloszlásban zúdulnak a munkavégzőkre. A téli időszakban a felújítási munkákon kívül esetlegesen értékesítés az, amely szükséges lehet, ilyenkor lehetne lehetőség adatot gyűjteni, azonban ilyenkor a növények vegetációs folyamatai is lelassulnak, és vannak olyan kultúrák, amelyek még elvetésre sem kerültek. A téli időszakon kívül azonban a vetési munkálatoktól a permetezésen át a betakarításig, minden folyamat idő és energiaigényes, így nem jut idő foglalkozni az adatokkal. Ezért is fontos kiemelni, hogy nem csak, hogy adatokat érdemes gyűjteni a döntéshozatalhoz, de amennyiben lehetséges, automatizált módon célszerű ezeket az adatokat gyűjteni és feldolgozni, hogy bármikor elérhetőek legyenek és ne kelljen rendszeresen foglalkozni velük. A részben automatikus adatgyűjtés, például drónokkal a növények vegetációs állapotáról, nem teljesen automatizáltak, ezért időbefektetés szükséges ahhoz, hogy hasznuk is legyen. A növényeken kívül a talaj és a környezet adatainak gyűjtésére is lehetőség van, erre rendelkezésre állnak automata

meteorológiai állomások, melyek a mért jellemzőket egy központi szerverre továbbítják, ahol az egy adatbázisba rendezi őket és akár grafikonokat is le tudunk kérni ezekből. Az ilyen meteorológiai adatok több előnnyel is járnak, egyrészt minden pillanatban tudhatjuk, hogy milyen időjárás van az állomás környezetében, másrészt nem csak pillanatképet kapunk, hanem a visszamenőleg gyűjtött adatokból grafikonokat is tudunk készíteni, illetve adott esetben algoritmusok segítségével lokalizált előrejelzést is lehetséges csinálni. A pillanatnyi adatok egyértelműen megmondják, hogy például lehetséges-e betakarítani az adott területen, vagy a szélereősség alkalmas-e elsodródás mentes permetezésre. A visszamenőleg rendelkezésre álló adatok pedig többek között azt is megmondják, hogy régióként mennyi csapadék esett, és



1. ábra: A precíziós gazdálkodás és adatgyűjtés
 Forrás: <https://www.frontiersin.org>

melyik régióban lehet a leghamarabb elkezdni majd például a betakarítást. Nem csak a betakarítás függ az ilyen környezeti jellemzőktől, hanem a tavaszi vetés is a talajhőmérséklettől (Sonam et al. 2017). Amennyiben rendelkezésünkre állnak talajhőmérsékleti adatok, mindig pontosan tudhatjuk, mikor és hol érdemes elkezdni a vetést. A mezőgazdasági adatok automatizált gyűjtése tehát a döntéshozásban tud segíteni, illetve képesek vagyunk ezek alapján tendenciákat megfigyelni, ezzel növelve a felkészültségünket a jövőben.

2.3. A meteorológiai mérőeszközök

A meteorológiában alkalmazott mérőeszközök a kezdetekben kézi beállítású, emberi közreműködéssel használható mérőeszközök voltak, amelyek az adatokat a mérést végző

szakember közvetítésével juttatták papírra. Egy régebbi félig automatikus adatjegyzésű rendszert a 2. ábrán láthatunk.

A hőmérséklet kézi mérésére lehetőség volt gázhőmérőkkel, folyadék hőmérőkkel, majd ezeket váltotta ki a fokozott automatizálás hatására az elektromos működési elvű hőmérők sokasága, mint például a termoelem hőmérők, az ellenálláshőmérők és a termisztorok. A termográf, amely egy bimetall szalagból és egy áttételező szerkezetből áll, amely végére egy tollat erősítenek, volt az egyik első megoldása a hőmérséklet adatok automatikus feljegyzésének. Az elektromos mérési elvű mérőeszközök már képesek az automatikus adatrögzítésre, így nem csak a hőmérséklet mérésének folyamata igényel kevesebb emberi beavatkozást, de az adatok feljegyzése is. Az ilyen mérőeszközök nagy mennyiségű adatot képesek tárolni és továbbítani feldolgozásra.

A légnyomás kézi mérésére folyadékbarométerek, folyadék nélküli barométerek, forrásponthőmérők álltak rendelkezésre. A folyadékbarométereknél a folyadék szintje van valamilyen kapcsolatban a légnyomással, annak leolvasása adja a mért nyomásértéket. A



2. ábra: Régi meteorológiai mérőház
Forrás: www.met.hu

folyadék nélküli barométernél a légnyomással szemben egy kisméretű vékonyfalú fémszelence tart egyensúlyt, melynek összenyomódása a különböző légnyomások hatására megváltozik. Ezt a kismértékű alakváltozást megfelelő áttételező szerkezettel többszöröse nagyítják. A forrásponthőmérők a nevéből is evidensen a víz forráspontjának változását használják ki a

nyomás függvényében. A kézi mérőeszközökön kívül itt is lehetőség van elektromos mérésre, amely nagyon sokféle módon történhet, az egyik módszert, amelyet a dolgozatban tárgyalt szenzor is használ, részletesen ismertetni fogok.

A levegő nedvességtartalma az éghajlat kialakulásában jelentős szerepet játszik, mérésére adszorpciós, hajszálas, kondenzációs nedvességmérőket és pszichrométereket használhatunk. Az adszorpciós nedvességmérők működése a különböző anyagok nedvszívó képességén alapszik, míg a hajszálas nedvességmérők a nevéből is adódóan emberi vagy állati hajszálak segítségével működnek, mégpedig úgy, hogy a hajszálak a nedvesség hatására a hosszukat változtatják meg. A kondenzációs nedvességmérők esetén a harmatpont mesterséges előidézése után, a lecsapódott folyadékmennyiség alapján határozzák meg az eredeti levegő nedvességtartalmát. A pszichrométerek esetén a víz párolgásából adódó hőveszteség mérésével jutunk a nedvességtartalom értékére. A nedvességtartalom mérésére elektromos úton is lehetőség van, különféle módokon, a specifikus eszköz, amelyet használok, egy egybeépített hőmérséklet, légnyomás és páratartalom mérésére alkalmas szenzor, ezért erről is ott fogok részletesebben beszámolni, minden módszert nem ismertetek.

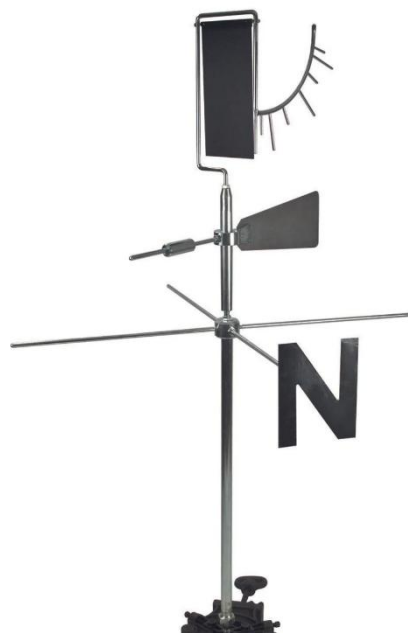
A csapadék mérésére sokáig csak manuálisan volt lehetőség, hiszen a gyűjtés és leolvasás után fizikailag is ki kellett önteni a felfogott csapadékot. Az ilyen mérésekre a Hellmann-féle csapadékmérőt (3. ábra), illetve a Mougin-féle csapadékgyűjtőt használták. A csapadékmérők



3. ábra: Hellmann-féle csapadékmérő
Forrás: <http://www.rfuess-mueller.de>

elhelyezésének fontos szerepe volt, hiszen a szél megváltoztathatja a csapadék pályáját, ezzel torzíthatja a mérést, ha például túl közel helyezkedik el a mérőberendezésünk egy fához vagy egyéb tereptárgyakhoz. A technológia fejlődésével lehetőség nyílt öníró csapadékmérők alkalmazására, amelyek a lehullás idejét és a lehullás intenzitását is megadták a mennyiség mellett és az adatrögzítésük sem manuálisan történt. A legelterjedtebb a Hellmann-féle csapadékiró volt, amely a hasonló nevű csapadékmérő fejlesztett változatának mondható. A csapadékiró ráadásul 10 mm begyűjtése után automatikusan ürítette a gyűjtőedényét, ezért még kevesebb személyes jelenlétet igényelt. A modern csapadékmérő egységek legtöbbször úgynevezett „billenő edényes” működési elvű, amely során egy begyűjtő tölcseren keresztül a lejutó csapadék egy labilis billenő edénybe jut, amely egy adott térfogatú vízmennyiség elérésekor átfordul, és a folyadék ezután a másik felére kezd el gyülekezni. Az átfordulás pontja jó közelítéssel minden időpontban azonos, ezért kiszámítható az átfordulásonkénti csapadékmennyiség.

A szélesség és szélirány mérésére már az ókori görögök is építettek olyan szobrot, amely egy tengelyen elfordulva a mindenkori szélirányt mutatta, azonban az újkorban kialakult kézi mérőberendezések ehhez hozzátették a szél intenzitásának mérését is. Az egyik régebbi elven működő kézi leolvasású mérőműszer a Wild-féle nyomólapos szélzászló (4. ábra), amelyen a



4. ábra: Wild-féle nyomólapos szélmérő
Forrás: <https://meteorologyshop.eu>

szélirányt egy nyílra hasonlító iránymutatóról olvashatjuk le, a szélességet pedig a nyomólap mögé szerelt skála segítségével tudjuk meghatározni. A későbbi fejlesztések során a szélesség mérését egyre inkább kanalas vagy propelleres anemométerekkel végzik,

amelyek forgási sebessége arányos a közeg sebességével. Ezek fordulatszámát általában valamilyen elektromos rendszerrel mérjük, amely aztán a fordulatszámából kiszámolja a közeg sebességét. A szélirány mérésére jellemzően valamilyen forgásszög érzékelőt tesznek egy iránymutató tengelyére, amely aztán az irányváltozásokat szögértékké alakítja, ezzel meghatározva a szél irányát.

2.4. A mezőgazdaság számára hasznos mérendő mennyiségek

Az adatgyűjtés megkezdéséhez nagyon fontos tudni, hogy mit és milyen céllal kívánunk gyűjteni, így elkerülhető a feleslegesen nagy adatmennyiség, de mégis minden olyan jellemzőről tudni fogunk információt, ami lényeges. Az agrometeorológiai felhasználású mérések kis mértékben eltérhetnek a szabványos mérési javaslatoktól, hiszen bár az akadálymentes „valós” szélesebesség méréséhez legalább 10 méter magasan kell elhelyezni az anemométert, a mezőgazdasági tevékenységek nem ebben a magassági tartományban játszódnak le, így számunkra fontosabb tudni a talajhoz közelebbi szél sebességét (Bussay, 1994). Ezért is fontos kiegészíteni a jellemzők leírását olyan peremfeltételekkel, amelyeket a mezőgazdasági alkalmazás határoz meg. A mezőgazdasági tevékenységhez szorosan kapcsolódó jellemzők közül a legfontosabbak a következők:

2.4.1. A hőmérséklet

“A hőmérséklet a levegő fizikai állapotának termodinamikai jellemzője. A levegő hőmérsékletében annak hőtartalma fejeződik ki.” (Makra 2002: 17). A hőmérséklet az egyik legfontosabb ökológiai tényező, mivel nagymértékben befolyásolja a növények anyagcsere- és életfolyamatait. Mivel a növényeknek nincs önálló hőtermelésük, ezért hőmérsékletüket a környezetük határozza meg, a szervezetük hőmérséklete pedig meghatározza a biológiai és kémiai folyamataik sebességét. A hőmérséklet érzékelés elsősorban azért lényeges, mert bizonyos növényvédelmi kezelések csak bizonyos hőmérséklet alatt és/vagy felett végezhetőek el, illetve amennyiben öntözésre van lehetőség egy területen, a hőmérséklet függvényében is lehet tervezni az öntözés intenzitását és gyakoriságát.

2.4.2. A páratartalom

A légköri vízgőz jelentősen befolyásolja a hőmérséklet alakítását, hiszen tekintélyes mennyiségű energiát képes elnyelni vagy épp felszabadítani. A biológiai szerepe is fontos, hiszen hatást gyakorol a növények párologtatására, illetve meghatározó szerepe van a növényi gombabetegségek kialakulásában. A páratartalom mérése elsősorban a gombabetegségekre

való potenciál szempontjából fontos, azonban következtetni lehet belőle csapadék után a növények víztartalmára, vagyis arra, hogy mikor lehetséges egy esőzés után folytatni a betakarítást.

2.4.3. A csapadékmennyiség

A víz a legfontosabb tényező a mezőgazdaságban, semmi mással nem helyettesíthető, a növények teljes tömegének 60-80%-a víz. A talaj tápanyagai vízdoldott formában vehetők fel a növény számára, illetve a fotoszintézishez is szükség van rá. A napsugárzás energiájának jelentős része fordítódik a víz párologtatására, ezzel hűtve is a növényt. „Csapadékmennyiségen azt a számot értjük, amely megmutatja, hogy valamely t időtartam alatt a vízszintes sík 1m^2 -ére mikrocseppek kiválásából vagy csapadékhullásból hány liter vízmennyiség jut. A mm-ekben kifejezett csapadék tehát 1m^2 területen mm-enként 1 liter vizet jelent. A csapadékadatok eloszlása kis területen belül is jelentős ingadozásokat mutat. A csapadékadatok értékelésénél nagy óvatossággal kell eljárunk, ha egy helyen adott időpontban mért csapadékot nagyobb területre kívánjuk vonatkoztatni.” (Makra, 2002: 52). A csapadékmennyiség mérése tehát hasznos a tápanyaggazdálkodás meghatározásához, és az esőzés utáni betakarítás megkezdésében való döntéshozatalhoz, hiszen mivel kis területen belül is jelentős eltérések lehetnek, mind tápanyagutánpótlásban, mind a betakarítás menetében változtatásokat tudunk eszközölni a mért érték függvényében.

2.4.4. A szélirány és szélereősség

“A levegő vízszintes irányú mozgását szélnek nevezzük. A szél irányának és nagyságának (sebességének) meghatározásával jellemezhető, tehát vektormennyiség. A szélesebesség mérésére szolgáló műszereket anemométereknek nevezzük, a szélesebességet folytonosan regisztrálókat pedig anemográfoknak.” (Makra, 2002: 61). A szélesebesség mérése elsősorban a permetezési munkálatok elvégzéséhez szolgáltat extra információt, azonban mivel egy vegetációs időszak alatt sokszor kell permetezést végezni, így nagyon sokszor alkalmazható lehet. A szélirány meghatározásából következtetni lehet a közeledő felhők mozgására, így akár megbecsülhetjük a csapadék lehetséges eloszlását.

2.4.5. A talajhőmérséklet

A talaj jelentős mennyiségű hőt nyel el napközben, és hőt ad le éjjel, egyfajta hőakkumulátorként is lehet rá tekinteni, amely elsősorban a szélsőséges meleg vagy hideg esetén fontos. A talajhőmérséklet vizsgálatának a legnagyobb szerepe a tavaszi vetések

alkalmával van, hiszen ilyenkor a vetés megkezdéséhez a talajnak megfelelően át kell melegednie. A különböző táblákban különböző hőmérsékletű lehet a talaj mind az összetételtől, mind a nedvességtartalomtól függően, ezért előfordulhat, hogy valahol megkezdhető már a vetés, valahol azonban még nem.

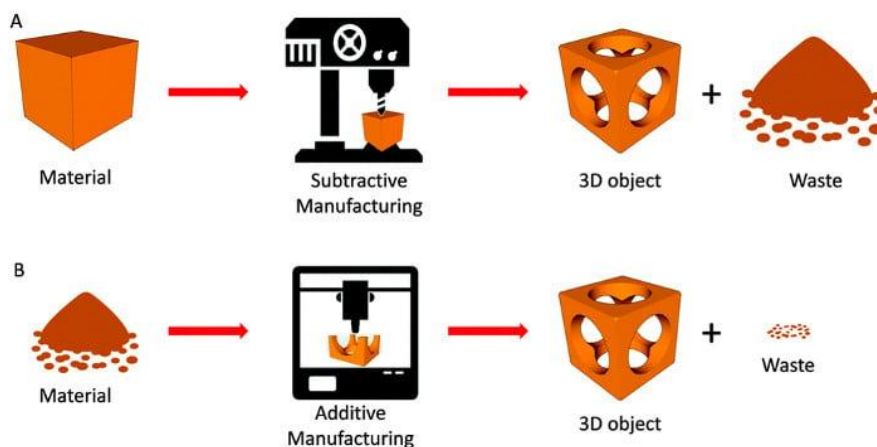
2.4.6. A talajnedvesség

A talaj nedvességtartalma alatt a talajban található víz és szilárd fázis közti arányt értjük, amelyet kifejezhetünk tömegszázalékban, illetve térfogatszázalékban. A talajban található nedvesség, főként a felső rétegben a növények számára elérhető víztartalom nagyrészt magában foglalja, így a talajnedvesség ismeretében következtethetünk arra, hogy meddig képesek még aszály esetén kibírni a növényeink, illetve, hogy érdemes-e az őszi vetést elkezdeni adott talajnedvesség mellett.

A felsorolt mennyiségeken kívül természetesen specifikus esetekben lehetséges, hogy egyéb jellemzőket is mérni szükséges, azonban a legtöbb szántóföldi növénykultúrához ezek az adatok elegendők. Az egyik legáltalánosabb jellemző például a légnyomás, azonban a légnyomás kevésbé van hatással a mezőgazdasági folyamatokra, mint a többi felsorolt jellemző, ezért sem részleteztem. Fontos kiemelni még, hogy a mennyiségeket nem szükséges laborban elvárt pontossággal mérni, egy közelítő érték is megfelelő lehet, hiszen például a szélirányban nem feltétlenül fontos fokra pontosan tudni az értéket, már 8 irány is elegendő lehet, a csapadékmennyiség esetén pedig igaz, hogy szinte minden mérőeszköz képes akár tized mm-ek mérésére is, de a fél mm-nél kevesebb csapadék annyira elhanyagolhatóan kevés, hogy nem befolyásolja jelentősen a döntéseket a mezőgazdaságban. A hőmérséklet esetében sem érdemes például század °C pontossággal mérni, hiszen a keléshez ideális hőmérsékletnél pár századdal kisebb hőmérséklet sem jelent még problémát. Azért is fontos kiemelni, hogy mekkora pontosság szükséges, mert kevésbé nagy felbontású mérőeszközök alkalmazásával költségeket lehet csökkenteni így szélesebb körben elérhetőbbé válik az adatgyűjtés lehetősége. Ezen felül pedig a feleslegesen nagy pontosságú adatok nagyobb adatátviteli sebességet igényelnek, nagyobb az eltárolandó adatmennyiség, és feldolgozásuk is lassabb. Célszerű ezért egy ésszerű mérési pontosságot választani és nem „túlméretezni” a mérési rendszert.

2.5. Additív gyártástechnológia

Az additív gyártástechnológia az elmúlt évtizedben talán a legtöbbet emlegetett gyártási technológia, alapja, ahogy a nevéből is adódik, hogy a legyártandó alkatrészt anyag hozzáadásával formáljuk meg, nem pedig a felesleges anyag elvételével (szubtraktív). Az



5. ábra: A gyártási technológiák összehasonlítása
Forrás: <https://bitfab.io>

additív gyártás során a felhasznált anyagokat valamilyen befektetett energia segítségével egyesítjük, összerögzítjük, összeolvasztjuk, az anyag pedig lehet huzalos formában, granulálva, pellettálva, por és folyékony formában is (Abdulhameed et al. 2019). A gyártási folyamatok összehasonlítását az 5. ábrán láthatjuk. Az additív gyártási folyamathoz szorosan kötődő fogalmak még a 3D nyomtatás és a rapid prototyping. Előbbi elnevezés szinonímája az additív gyártásnak és a technológia elvéből adódik, hiszen tulajdonképpen egy háromdimenziós objektumot digitális formából fizikai formába képes átvinni, ennek pedig a kétdimenziós megfelelője a nyomtatás. A másik fogalom, a rapid prototyping pedig a hagyományos gyártással szembeni egyik előnyét domborítja ki ennek az új megoldásnak, mégpedig azt, hogy egy számítógépen készített CAD (Computer Assisted Design) modell alapján rögtön legyárthatóvá válik a tárgy, és rövid időn belül tesztelésre kész prototípust kapunk, amelyen azután módosításokat elvégezve ismét gyorsan készíthetjük el a következő iterációját a gyártandó alkatrésznek (Ahmadifar et al. 2021). Leegyszerűsítve és fogalmakat kölcsönözve az informatikából az mondható az additív gyártásra, hogy alacsony a válaszáideje a hagyományos gyártáshoz képest, válaszáidő alatt pedig azt értjük ebben az esetben, hogy mennyi idő telik el az alkatrész modelljének elkészülte és a prototípus elkészülése közt. Míg hagyományos gyártás esetén ez napokba, de akár hetekbe is telik, additív gyártás esetén ez lerövidülhet órákra, vagy kisebb alkatrészek esetén akár percekre is. Az additív

gyártástechnológia legfontosabb előnye, hogy szinte bármilyen alkatrész elkészíthető vele, általában kevesebb hulladékanyag felhasználásával, mint a hagyományos gyártás esetén, hátránya azonban, hogy közepes és nagy sorozatgyártásra kevésbé alkalmas, lassabb, hiszen rétegenként épül fel vele az alkatrész. Az additív gyártáshoz jellemzően sztereolitográfia (.stl) fájlformátumba kell átkonvertálni a meglévő modelleket, majd ezt a szeletelőszoftverbe importálni. Számos szeletelőszoftver létezik, jellemzően minden berendezés gyártója fejleszt egyet, de léteznek nyílt forráskódú alternatívák is, amelyet a felhasználók fejlesztenek. A szeletelőszoftver az előre beállított paraméterekkel és a nyomtató képességeinek beállításával beolvassa az stl modellt, majd a geometria kialakításához szükséges g kódot is legenerálja. Ez a g kód hasonló a CNC gépeken megszokotthoz, azonban itt a hozzáadandó anyagot kell ezzel leképezni, nem pedig az eltávolítandót. A szeletelőszoftverek automatikus zsugorodási kompenzációval és automatikus alátámasztás generálással is rendelkeznek, illetve a több színű és több anyagú nyomtatás terjedésével egy részük már különböző anyagokat és színeket is képes kezelni. A szoftverekből exportált g-kódot valamilyen formában (fizikailag vagy hálózaton keresztül) a nyomtatóhoz kell juttatni, ahol azután az beolvassa azt és végigfuttatja. Az additív gyártási technológiáknak sok fajtája van, ezek közül a legismertebbek a következők:

2.5.1. FDM vagy FFF

Az FDM vagy FFF (Fused Deposition Modeling vagy Fused Filament Fabrication) nyomtatási technológia esetén az alapanyag huzalban van feltekercselve, általában műanyag és az energiaforrás egy villamosan melegített fűvóka, illetve nyomtatófej. A műanyag szál adagolása egy görgős huzaladagoló segítségével történik, majd ahogyan a huzal (más néven filament) beérkezik a nyomtatófejbe, a növekvő hőmérséklet hatására megolvad, folyékonyvá válik, és a többi érkező még szilárd huzal nyomásának hatására a nyomtatófej fűvókáján keresztül áramlik ki. A nyomtatófej mozgatásával elérhető, hogy bármilyen geometriájú alkatrészt ki lehessen nyomtatni, azonban itt az alámetszésekhez támasztó struktúra szükséges, amely aztán hulladékként jelentkezik a teljes folyamat végén. A technológia segítségével közepesen jó felbontással lehet alkatrészeket készíteni, a limitáló faktor a minimális fűvókaméret és a minimális rétegvastagság. A pontosság jó, azonban bizonyos anyagok esetén a zsugorodással számolni kell az anyag hülése során. Ez a legelterjedtebb és legkönnyebben beszerezhető 3D nyomtatási technológia, akár sajátkezűleg is lehet építeni ilyen nyomtatási technológiájú nyomtatókat. A nyomtatási méretet limitáló tényező a stabilitás, azonban megfelelően stabil fűvókamozgatással akár több méteres alkatrészek is nyomtathatók. Általában a kész alkatrészekhez utómunka szükséges. Egy érdekes hasonló elvű nyomtatási módszer a

folyékony beton fúvókával és robotkarral való nyomtatás, amellyel egész épületeket is lehet nyomtatni (Sunpreet et al. 2020).

2.5.2. LOM (Laminated Object Manufacturing)

A LOM technológia során valamilyen anyag vékony lapjainak összerögzítése kerül sorra, ultrahangos rezgetéssel vagy valamilyen ragasztóanyag segítségével. Az alapanyag lehet fa, fém, műanyag, bármilyen anyag, amit valamilyen módon össze lehet rögzíteni. Az energiaforrás vagy az ultrahangos rezgetésből keletkező hő, vagy pedig kémiai, a ragasztóanyag révén. Ez a technológia eléggé limitált abban, hogy milyen alkatrészeket érdemes vele készíteni, hiszen komplex geometriákra kevésbé alkalmas, azonban egyszerűbb alkatrészek gyorsan és olcsón elkészíthetők vele. A technológia előnye, hogy jó szilárdságú alkatrészek hozhatók létre, kicsi az anyag és gépköltség (Abdulhameed et al. 2019).

2.5.3. SLA (Stereolitography)

Az SLA technológia az első additív gyártástechnológia volt, alapanyaga UV fényre szilárduló gyanta, energiaforrása pedig egy UV lézer. A gép munkalapja a gyantakádban helyezkedik el, és a lézertény mozgatásával azokon a helyeken világítják meg a gyantát, ahol az alkatrész fog elhelyezkedni. Így rétegről rétegre süllyed egyre lejjebb a gyantakádban a munkalap, mindig egy kis réteg gyanta az alkatrész helyén megvilágításra kerül és kialakul a kívánt geometria. A technológiával kiváló felbontás érhető el, hiszen a lézertény igen jól fókuszálható, kis területet is meg tud világítani, illetve a rétegvastagság is csak a munkalapot mozgató mechanizmus pontosságától függ. Jó pontosságú alkatrészek készíthetők, azonban utólagos feldolgozást igényel ez a nyomtatási forma, hiszen az alkatrésztől le kell mosni a felesleges gyantát, majd UV kamrába helyezni, ahol aztán teljesen megszilárdul. Egy másik hátrány pedig az, hogy jellemzően kisebb a nyomtatásra rendelkezésre álló tér a többi technológiához képest. Az alámetszésekhez itt is támaszanyag szükséges, illetve sok esetben a pontos méretekhez, illeszkedéshez utókezelés szükséges (Ömer C et al. 2024).

2.5.4. DLP (Digital Light Processing)

A DLP nyomtatási technológia nagyon hasonlít az SLA-hoz, itt is fényérzékeny gyanta az alapanyag és ugyanolyan limitációi és előnyei vannak, azonban itt az UV fényforrás egy kijelző, amelyen azokon a pontokon villannak fel pixelek, ahol az alkatrész is lesz majd. Előnye, hogy nem szükséges lézer, amely veszélyes is lehet, illetve, hogy a munkalapnak nem kell teljes egészében gyantában lennie, elég, ha az épp aktuális réteg van gyantában, épp ezért

ezeknél a nyomtatóknál a képernyő a gyantakád alján található és a munkaasztal mozog a nyomtatás során letről felfelé.

2.5.5. SLS (Selective Laser Sintering)

Az SLS technológia során az alapanyag műanyag vagy fémpor, az energiaforrás egy nagy teljesítményű lézer, amely fix pozícióban van, és egy tükrös rendszer segítségével mozgatják a nyalábot. A por a munkalap mellett található és egy porterítő rendszer viszi azt fel a munkalapra, rendszerint ez egy görgő, amely a felesleges port eltávolítja, a hiányzó helyekre pedig port juttat. A nyomtatás során a lézernyaláb szinterezi vagy megolvasztja a port azokon a helyeken, ahol az alkatrésznek geometriája van, majd, ha minden helyen megtörtént ez, akkor a munkalap lejjebb kerül és egy új réteg port terít el a görgő. Az alámetszésekhez nem szükséges alátámasztás, hiszen a por megtartja azokat, azonban zárt geometriákban a megolvasztatlan por beszorul, ezért ilyen esetekben biztosítani kell furatokat, amelyeken keresztül a por visszanyerhető. A felbontás kiváló, hiszen a lézernyaláb itt is kis mennyiségű anyagot olvaszt meg, illetve a rétegvastagság is alacsony lehet, hiszen a por részecskéinek mérete az, ami tulajdonképpen korlátozó tényező. A technológiával viszonylag kisméretű alkatrészek nyomtathatók egy lézerrel, azonban új fejlesztésű nyomtatóknál több lézer együttes munkájával nagyobb méretű alkatrészek is elkészíthetők. Előnye, hogy akár fémnyomtatásra is alkalmas, illetve, hogy a felületi minősége sokkal jobb, mint a FDM technológiáé. Hátránya, hogy drága gép és infrastruktúra kell hozzá, hiszen nagy áramfelvételű, és a por révén a szellőztetést is meg kell oldani. Fémnyomtatás esetén ráadásul a kihüléshez is jelentős idő lehet szükséges. Utókezeléssel nagyon jó felületi minőség érhető el, elégséges egy rövid, párával való kezelés a kisebb hibák eltüntetésére ([http 2](http://2)).

A legkönnyebben elérhető ezek közül a műanyaghoz hasonló FDM vagy más néven FFF technológia. Amennyiben alacsony költséggel, kis terhelésekkel és nem egészen apró alkatrészekkel van dolgunk, ez a technológia tökéletes megoldás lehet. Segítségével készíthetők pótalkatrészek, célszerszámok, tárolódobozok, dekorációk. Ennél a technológiánál a gyártási módszerből eredendően fontos odafigyelni az elkészíteni kívánt alkatrész orientációjára. Megfelelően forgatott és nyomtatott alkatrészeknél egyrészt támaszanyagot spórolhatunk, másrészt az alkatrész szilárdságát is tudjuk növelni, hiszen a rétegek közti tapadási erő mindig kisebb feszültséget képes csak elviselni, mint a rétegek normál irányú folyamatos anyaga. A rétegek nem minden esetben tapadnak össze teljes egészében, mindig vannak köztük kisebb nagyobb üres terek, amelyekben levegő van, a rossz rétegtapadást

elkerülendő, megfelelő sebességet és hőmérsékletet kell választani az adott anyaghoz és nyomtatóhoz. A megfelelő beállításhoz számos kalibrációs lehetőség áll rendelkezésre, könnyen elvégezhetőek és elvégzésükkel jelentős javulás tapasztalható az elkészített alkatrészek minőségében. Ilyen kalibrációs folyamat például a hőmérséklet kalibrálása (leggyakrabban úgynevezett „temperature tower-el”), az átfolyás vagy huzaltovábbító kalibrációja („flow rate” és „e-steps”), a maximális térfogatáram meghatározása adott fúvóka, hőmérséklet és anyag esetén („max volumetric flow”), illetve a huzal nyomás-előtolás („pressure advance”) (http 3). Ezeknek a kalibrációknak elengedhetetlen szerepe van, nem csak hogy az alkatrészek vizuálisan kielégítően nézzenek ki, hanem hogy mechanikai tulajdonságaikban is a lehető legjobbak legyenek. Összességében tehát számos technológia elérhető, ezeket összegezve a 6. ábrán láthatjuk. Az FFF technológia a könnyű elérhetősége és költséghatékonysága miatt az adatgyűjtő állomás számára is megfelelő választás.



6. ábra: Az additív gyártási folyamatok fajtái
 Forrás: <https://www.symmetryelectronics.com>

2.6. FFF 3D nyomtatásra alkalmas műanyagok fajtái és jellemzői

Az FFF additív gyártás anyaga, ahogy már említve is volt, műanyag, azonban nagyon sokféle összetétel és variáció van ezekből az anyagokból, mindegyik más alkatrészekhez alkalmas. A műanyagok közti legfőbb különbséget az őket felépítő polimerek különbözőségei adják, azonban azonos polimerekből álló alapanyagok között is lehet jelentős eltérés adalékanyagok hozzáadása miatt. A felhasznált anyagok hatékony nyomtatásához a már korábban említett kalibrációk elvégzése is kulcsfontosságú. A nyomtatási paraméterek pontos beállítása egyénileg történik, függ a nyomtatótól, a környezeti viszonyoktól, ugyanakkor minden

anyaghoz a gyártó megad egy intervallumot, amelyen belül egyénileg lehet finomítani, így nem kell minden esetben teljesen a legelejéről kezdeni a kalibrációt. Ezek közül a paraméterek közül a leglényegesebbek a következők: fúvóka hőmérséklet, tárgyasztal hőmérséklet, átfolyási ráta, maximális térfogatáram, nyomás-előtolás, hűtési paraméterek, rétegek maximális és minimális ideje. Ezeket a beállításokat a nyomtatáshoz használatos szeletelőszoftverekben egyszerűen beállíthatjuk és elmenthetjük, egy alkalommal szükséges csak megcsinálni minden konfigurációhoz (http 4). A rendelkezésre álló anyagok közül a legjelentősebbeket fogom röviden jellemezni és néhány előnyüket és hátrányukat említeni:

2.6.1. PLA

A legelterjedtebb és legkönnyebben nyomtatható polimer, biológiailag lebomló, kemény, azonban kissé rideg is. A legfőbb előnye, hogy olcsón elérhető, gyorsan lehet nyomtatni és viszonylag gyorsan lebomlik az UV sugárzásnak és egyéb környezeti hatásoknak kitéve, így viszonylag környezetkímélő, illetve nem zsugorodik nagymértékben, nincs torzulás nagyméretű alkatrészek esetén sem. A legfőbb hátránya a ridegsége és az érzékenysége a hőmérsékletre, ugyanis viszonylag alacsony hőmérsékleten is meglágyul már. Jó mérettartása van és apró, részletgazdag nyomtatásokhoz is jól használható. Összességében dekorációs tárgyakhoz, és egyszerű, nem nagy igénybevételű, rövid élettartamú tárgyak alapanyagául a legalkalmasabb. Számos adalékolt verziója elérhető, karbonszálastól kezdve, fémporral, faporral keverten át a fluoreszkálóig.

2.6.2. PETG

A PETG egy szintén könnyen nyomtatható anyag, amely erős, szívósabb, mint a PLA, így nagyobb terhelést is elvisel repedés nélkül, csak kis mértékben károsítja az UV sugárzás, hosszú kitétség esetén elszíneződés és ridegedés tapasztalható. Jól bírja a magasabb hőmérsékleteket, nem veszi fel a levegőből a párát, így nem szükséges hozzá szárító. Hátránya, hogy viszonylag hajlamos a „stringing” nevű felületi hiba fellépésére, ami akkor lép fel, amikor a nyomtatófej átmozog egyik alkatrész területéről a másikra. Ilyenkor kis mennyiségű anyag kiszivárog még a fúvókán, vékony, cérnyszerű felületi hibát okoz. Nehéz vele nagyobb alámetszéseket kinyomtatni támasz nélkül, a támaszanyag pedig nagyon erősen hozzátapad az alkatrészhez, így eltávolításakor károsíthatjuk a felületet. (http 5) Ezek miatt kevésbé alkalmas kis méretű alkatrészekhez, inkább nagyobb, mechanikailag jobban igénybevett tárgyakhoz érdemes használni. PETG-ből is elérhetők adalékolt verziók, például karbon és üvegszálal,

azonban kisebb választékkal, mint PLA esetén. Hasonló áron kapható, mint a PLA, így jó alternatíva, ha kicsit nagyobb tartósságot igénylünk.

2.6.3. ABS

Az ABS az egyik első 3D nyomtatáshoz használható anyag volt, nehezen nyomtatható, zárt nyomtatóteret igényel, és jellemzően segít a nyomtatásban, ha a nyomtatótér fűthető is. Kiváló szilárdságú és szívós anyag, igénybevett alkatrészeknél is alkalmazható, azonban ez a tulajdonsága UV fénynek kitéve hosszútávon jelentősen romlik, nagyon rideggé válik. Hátránya még, hogy a nyomtatás során és utána is jelentősen zsugorodik, ezért hajlamos felválni a munkalapról (Arup et al. 2021). Előnye, hogy acetonnal utókezelhető, így simább felületeket lehet vele elérni, illetve, hogy még a PETG-nél is jobban bírja a magasabb hőmérsékleteket. Elérhető adalékolt változata, hasonló lehetőségekkel, mint PETG esetén. Kissé drágább, mint a PETG, de még mindig könnyen elérhető árú filament.

2.6.4. ASA

Az ASA az ABS egyfajta továbbfejlesztése, minden előnyét megtartotta, mint a szívósság, nagy szilárdság, azonban UV rezisztens, illetve még nagyobb hőmérsékletet képes elviselni lágyulás nélkül, ezért kiválóan alkalmas kültéri alkatrészek, tárgyak alapanyagául. A nyomtatása azonban ennek az anyagnak sem egyszerű, felválásra és zsugorodásra hajlamos, mindenképp zárt nyomtatótér szükséges hozzá, már csak a nyomtatáskor keletkező veszélyes gázok miatt is (http 6). Részletgazdag alkatrészeket lehet nyomtatni vele, nem hajlamos a „stringing”-re és jó a kopásállósága. Hátránya, hogy viszonylag könnyen felveszi a környezetből a nedvességet, ezért szükséges lehet filament szárító alkalmazása, illetve magas hőmérséklet szükséges mind a fűvóka esetén, mind a munkalap esetén, amely lekorlátozza, hogy mely nyomtatókkal használható hatékonyan. Közepesen drága alapanyag, viszonylag nagy szórás van a különböző gyártók árazása között.

2.6.5. PA6 (Nylon)

A PA6 és PA12 nylon filamentek nem nyomtathatók minden nyomtatóval, sok különleges kitétel van a nyomtatásukhoz, a magas fűvóka és munkalaphőmérséklet, a zárt és fűtött tér, illetve a filament szárító. Akár a súlya 10% -ának megfelelő mennyiségű vizet is képes felvenni a környezetből, amely nyomtatási problémákhoz vezet. Felválásra hajlamos és erős szaga van nyomtatáskor, illetve mikrorészecskék válhatnak ki, ezért mindenképp jól szellőző térben, zárt nyomtatótérrel érdemes nyomtatni. Nagyon jó mechanikai tulajdonságai vannak, jó a

kopásállósága és az egyik legjobb vegyszerállósággal bíró anyag. Erős és kemény, ugyanakkor kevésbé rideg, mint a PLA. Nagyon jól ellenáll a magas hőmérsékletnek, akár 100 °C feletti tartós meleget is képes elviselni meglágyulás nélkül. Jellemzően adalékolva használják, karbonszálakkal vagy üvegszállal erősített verziói elterjedtek, leginkább nagy mechanikai és kopási igénybevételű helyeken alkalmazzák (http 7). Drága alapanyag, sok egyedi formula is elérhető Nylonból, amelyek mind nagyon különböző árkategóriába tartoznak.

2.6.6. TPU

A TPU anyag igen különleges, hiszen kihűlés után is rugalmas marad, emiatt igen tartós. Kis zsugorodása van és jól ellenáll a vegyszereknek és mechanikai hatásoknak, azonban nem minden nyomtató képes a nyomtatására, és kiemelten nehéz megfelelően nyomtatni. Nagyon hajlamos „stringing”-re és csak lassan lehet nyomtatni, nehezen eltávolíthatók róla a támaszok, hiszen azok is rugalmasak maradnak. Különböző keménységű fajtái elérhetők az egészen lágytól kezdve (Shore 60A) az egészen keményig, szinte szilárdig (Shore 68D) (http 8). A TPU egyik legjobb alkalmazása egyedi méretű gumigyűrűk, tömítések nyomtatása, azonban nagyon fontos jól eltalálni a kívánt keménységet a szivárgások elkerülése miatt. Közepesen drága filament, emiatt és hátrányai miatt csak olyan esetekben éri meg alkalmazni, ahol mindenképp szükséges a rugalmasság, például az említett tömítések.

A nyomtatáshoz leggyakrabban használt adatok összehasonlítását a 7. ábrán láthatjuk.

	ABS Learn More	Flexible Learn More	PLA Learn More	PETG Learn More	Nylon Learn More	ASA Learn More
Compare Selected Show All	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ultimate Strength ?	40 MPa	26 - 43 MPa	65 MPa	53 MPa	40 - 85 MPa	55 MPa
Stiffness ?	5 / 10	1 / 10	7.5 / 10	5 / 10	5 / 10	5 / 10
Durability ?	8 / 10	9 / 10	4 / 10	8 / 10	10 / 10	10 / 10
Maximum Service Temperature ?	98 °C	60 - 74 °C	52 °C	73 °C	80 - 95 °C	95 °C
Coefficient of Thermal Expansion ?	90 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$	157 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$	68 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$	60 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$	95 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$	98 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$
Density ?	1.04 g/cm^3	1.19 - 1.23 g/cm^3	1.24 g/cm^3	1.23 g/cm^3	1.06 - 1.14 g/cm^3	1.07 g/cm^3
Price (per kg) ?	\$ 10 - \$ 40	\$ 30 - \$ 70	\$ 10 - \$ 40	\$ 20 - \$ 60	\$ 25 - \$ 65	\$ 38 - \$ 40
Printability ?	8 / 10	6 / 10	9 / 10	9 / 10	8 / 10	7 / 10
Extruder Temperature ?	220 - 250 °C	225 - 245 °C	190 - 220 °C	230 - 250 °C	220 - 270 °C	235 - 255 °C
Bed temperature ?	95 - 110 °C	45 - 60 °C	45 - 60 °C	75 - 90 °C	70 - 90 °C	90 - 110 °C

7. ábra: FFF nyomtatáshoz használt anyagok összehasonlítása
 Forrás: <https://www.simplify3d.com>

2.7. A szükséges elektronikai eszközök és alkalmazásuk

Az állomás működéséhez jelentős mennyiségű szenzor és ezek adatait feldolgozó elektronikai eszköz szükséges. A felhasznált szenzorok egy része az első prototípusban más, mint a később készített állomásokban, hiszen a jobb eszközök keresését az állomás építése közben is folytattam, azzal a céllal, hogy még egyszerűbb és könnyebben megépíthető legyen a mérőeszközcsoport. Elsőként az már említett mérni kívánt mennyiségekhez kapcsolódó szenzorokat jellemzem röviden, azonban csak később pontosítom, hogy egészen pontosan melyik szenzor és hova lett használva.

2.7.1. A hőmérséklet mérése

A hőmérséklet mérésére nagyon sokféle szenzor áll rendelkezésünkre, ellenálláshőmérőktől kezdve a termisztorokon át a hőkamerákig, azonban ezek egyike sem közvetlenül a hőmérsékletet méri, hiszen azt közvetlenül nem lehet, ehelyett olyan jellemzőket mérünk, amelyek közvetlen összefüggésben állnak a hőmérséklettel, például az elektromos ellenállás, térfogatnövekedés vagy az infravörös sugárzás. A mérési elv alapján is különbözőek lehetnek, invazív és nem invazív mérők, vagyis olyanok, amelyeket a mérendő közegbe vagy környezetbe kell helyezni és olyanok, amelyekkel távolról is lehet mérni. A környezeti

hőmérséklet (Magyarországon például jellemzően -20 és +40 C közt) mérésére a legtöbbször ellenállás alapú hőmérséklet mérést alkalmazunk. Léteznek pozitív és negatív hőmérsékleti együtthatóval rendelkező szenzorok, amelyek a hőmérséklet növekedésére rendre magasabb és alacsonyabb ellenállással reagálnak (Childs 2001).

2.7.2. A nyomás mérése

A légköri nyomás mérését többféle módon is végezhetjük, történhet ez optikai úton interferometriai módszerrel, amely leginkább szélsőséges körülmények között alkalmazható hiszen jól tűri az ilyen viszonyokat, azonban a hátránya a komplexitása és költsége. Mérhetjük még kapacitív úton is, ilyenkor a mérésre használt kondenzátor kapacitása változik a nyomás hatására. Előnye, hogy alacsony energiafelhasználású azonban felbontása rosszabb, mint a harmadik elterjedtebb módszeré, a piezorezisztív, amely során piezorezisztorok vannak Wheatstone-hidas bekötéssel elhelyezve, ezeknek pedig mechanikai feszültség hatására változik az ellenállása. A mechanikai feszültséget pedig a légkör fejt ki egy vékony membrán nyomásával. A piezorezisztív mérési módszer a legelterjedtebb, hiszen költséghatékony, pontos és jó felbontású (Sudarsana, Ankur 2021).

2.7.3. A páratartalom mérése

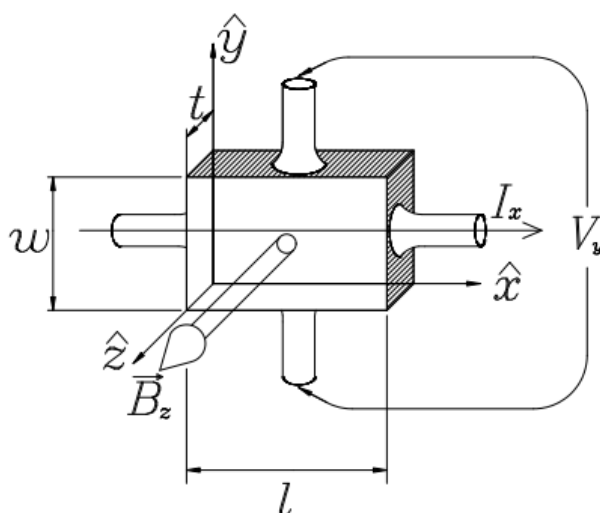
A páratartalom mérése könnyen elérhető ipari és hobbi felhasználásra is, a mérési módszerek kiforrottsága és a gyártás hatékonyságának növekedése miatt. A páratartalom mérők között abszolút és relatív páratartalom mérésére alkalmas eszközöket különböztetünk meg. Az összehasonlíthatóság miatt célszerű a relatív páratartalmat mérni hiszen minden más elérhető mérőrendszer is ezt méri. A relatív páratartalom mérésére félvezető alapú, organikus polimer alapú és hibrid érzékelők elérhetők. Mindhárom esetben a mérésre használt anyag elektromos jellemzőinek változása van közvetlen kapcsolatban a páratartalommal, és ennek a jellemzőnek a mérésével tudjuk egy átviteli függvény segítségével meghatározni a páratartalom értékét. A legelterjedtebb szenzorokban egy polimerréteg van egy kondenzátorba helyezve, amely polimer anyag dielektromos jellemzője változik a páratartalom hatására, ezzel a kondenzátor kapacitása is változik. Az ilyen elvű páratartalom mérés a legtöbb alkalmazási területre elegendő pontosságú, illetve elterjedtsége miatt könnyen elérhető bárki számára (Hamid et al. 2014).

2.7.4. A talajnedvesség mérése

A talajnedvesség mérésére számos módszer ismeretes, a klasszikus gravimetriás mérés, neutron elnyelődés alapú, tenziométeres és elektromágneses alapú. Az automatikusan gyűjtött adatokhoz elektromágneses alapú szenzorokat alkalmazunk, ezek közül pedig létezik rezisztív amely két pont közt méri a talaj vezetőképességét, ebből számítva nedvességet, kapacitív, amely a talajnedvességtől függő dielektromos állandójának változása alapján mér. Léteznek még más, komplexebb mérési elvek, azonban az egyszerűen beszerezhető talajnedvességmérők az említett két elv közül használják valamelyiket. A rezisztív elv alapú szenzorok pontatlanabbak és a korrózió miatt hosszabb távú mérés esetén kiszámíthatatlanok. A kapacitív szenzorok sem olyan pontosak, mint egy hagyományos gravimetriás nedvességmérés, de észrevehetően jobbak, mint a rezisztív és a korrózióra is kevésbé érzékenyek (Fedro, Jiannong 1994).

2.7.5. A Hall-effektus és Hall-szenzorok

A Hall-effektus egy mágneses effektus, amely során a töltéshordozókra a mágneses térben ható Lorentz-erőt használjuk ki, mely hatására kialakul egy szög, az úgynevezett Hall-szög az elektromos mező vektorai és az áramsűrűség vektor között. Maguk a Hall szenzorok félvezetőből készült elemek (lapok) amelyeknek négy csatlakozása van. A Hall-effektus elvét a 8. ábrán láthatjuk. A tápfeszültség kerül a négy közül kettő pólusra (I_x áram), a másik két póluson pedig mágneses mező (B_z) hatására fog megjelenni a Hall-feszültség (V_y) (Popovic,



8. ábra: A Hall-effektus elve
Forrás: <https://courses.washington.edu>

1989). A beszerezhető Hall-szenzorok általában azonban 3 pólussal rendelkeznek, azért, mert

a tápfeszültség és Hall-feszültség közös nulla potenciálú pontra (föld) van kötve. Az ilyen szenzorokat bekötve az érzékelő láb és a föld közt mindig a Hall feszültség mérhető analóg módon, tehát mágneses térerősségtől függően változva. A mágneses térerősség függ a mágnes és a szenzor távolságától, így a Hall-szenzorok távolságérzékelésre is alkalmasak. Kaphatók azonban ilyen szenzorok beépített jelátalakítóval, amely a kialakuló Hall-feszültség értékétől függően kapcsol be vagy ki, ezzel digitalizálva a jelet. Az ilyen szenzorok tökéletesek például fordulatszámérzékelésre, hiszen abban az esetben csak arra vagyunk kíváncsiak, hogy hányszor haladt el a mágnes a szenzor előtt, nem kell minden esetben tudnunk a mágnes pontos távolságát. A Hall-effektus feltalálása óta (1879) nagyon sok helyen és különböző körülmények közt alkalmazták, folyamatos törekvések vannak a továbbfejlesztésére, elsősorban a mikroelektronikában, a klasszikus érzékelők azonban a kiforrott gyártástechnológia és tömeggyártás következtében nagyon alacsony költséggel beszerezhetők, így ideálissá teszik költséghatékony rendszerekben való alkalmazásra.

Az adatgyűjtéshez azonban a szenzorokon kívül azok feldolgozását, továbbítását és tárolását is különféle elektronikai eszközök végzik, elsősorban development boardok, amelyek az érzékelőkből érkező adatokat egy beprogramozott algoritmus és átviteli függvény alapján a mérni kívánt mennyiségekké alakítják. Ezeket az adatokat ezután tároljuk és elemzéseket készítünk belőlük.

2.8. Az állomáshoz szükséges informatikai és adatkezelő rendszerek

A meteorológiai állomások elsődleges céljának megvalósításához számos adatkezelési és informatikai rendszer alkalmazása szükséges, ezek egyike sem kifejezetten erre a célra készített rendszer vagy szoftver, mindegyik általánosan alkalmazható bármely területen. A három legfontosabb felhasznált technológia az adatok továbbításához, kezeléséhez és kijelzéséhez kapcsolódik.

2.8.1. Mobilhálózati kommunikáció, GPRS

Az adatgyűjtő állomás elkészítésében az egyik kihívás az, hogy lokálisan elérhető energiaforrás és lokális hálózati kommunikáció nélkül is képes legyen adatokat szolgáltatni. Előbbi megoldását egy napelemes energiaellátó rendszerrel megoldhatjuk, azonban az utóbbi nagyobb kihívás, hiszen valamilyen módon tudnunk kell továbbítani az adatokat a központi adatgyűjtő rendszerhez. Ehhez több technológia is rendelkezésre áll, a két legismertebb a LoRA és a

GPRS. A LoRa (Long Range) a CSS (Chirp Spread Spectrum) utódjának tekinthető és kifejezetten nagy távolságú, viszonylag kis adatátviteli sebességű kommunikációt jelent. A LoRa kommunikáció alacsony energiafelvételű és nem szükséges előfizetés hozzá, azonban bázisállomást kell kialakítani és nagy távolságok esetén vagy országos LoRa szolgáltatóval kell szerződést kötni, vagy irányított antennákat kell használni, amelyek pontos beállítása nehézkes. (Martin et al. 2016) A GPRS (General Packet Radio Service) a mobilhálózatok egyik szolgáltatási típusa, ez adatküldésre és fogadásra használható a meglévő mobilhálózatokon keresztül. A GPRS célja, hogy mobilkészülékek segítségével lehessen csatlakozni a globális hálózatra, ahol pedig már bármilyen szerver, adatbázis vagy weboldal elérhető. A szolgáltatás integrálásához a meglévő GSM hálózatba módosításokat kellett végezni az adó oldalon, illetve újabb GSM kommunikációs modemeket kellett kifejleszteni, hogy ezt a nagyobb adatátviteli sebességű kommunikációt képesek legyenek lebonyolítani (Sanders et al. 2003). Az első GPRS (2G) Szolgáltatás 2000-ben indult, ezután a növekvő adatátviteli sebesség és jobb válaszidő elérése érdekében gyors fejlődésnek indult a mobilkommunikáció, ma már az ötödik generációs (5G) mobilkommunikációs szabványt használjuk, amely az eredeti szabvány több százszorosára képes. A GPRS azonban kis adatátviteli sebességű esetekben és költségoptimalizált alkalmazásoknál még mindig jó választás lehet, hiszen már meglévő hálózatra tudunk támaszkodni, elegendő egy előfizetést vásárolni, amelyek között kedvező árú, limitált adatátviteli opciók is léteznek, illetve elterjedt és bármelyik országban elérhető. Hátránya viszont, hogy fajlagosan jelentősen több energiát igényel és a külső szolgáltatók hálózatára való támaszkodás egyfajta rizikófaktor is, hiszen, ha az a hálózat nem működik, a saját eszközünk sem fog tudni kommunikálni.

2.8.2. Adatbázisok

Az adatok kezelésére adatbázisokat használunk, két jelentős csoportjuk az RDBMS és a TSDB. Az RDBMS tulajdonképpen információk halmaza, amelyek valamilyen kapcsolatban állnak egymással, egyszerű adatbázis például a telefonkönyv is, ahol személyekhez telefonszámok vannak kötve. A különbség a rendszerezés rugalmasságában és a kereshetőségben rejlik, hiszen az elektronikus adatbázisokat rendszerezhetjük akármelyik tulajdonság alapján, illetve a keresés bennük sokkal gyorsabb, mint például az említett telefonkönyvben (Alan, 2009). Az RDBMS adatbázisok jellemzően SQL nyelvet használnak, így bármelyik RDBMS adatbázis szoftvert használjuk, az adatok lekérdezése mindegyikben egységesen ugyanolyan paranccsal hajtható végre. Az RDBMS és SQL alapú adatbázisok egyszerűen kezelhetők és elterjedtek, jól strukturált adatok tárolására a legalkalmasabbak, így

például meteorológiai adatok tárolására is. A noSQL adatbázisok nem az összes információ közti kapcsolatokra, hanem típusuktól függően például egy kulcsérték általi összekapcsolásra épülnek. Ilyen módon tárolják például a weboldalak online vásárlási felületei a kosárba helyezett termékeket. Ezek az adatbázisok az óriási cégek, mint például az Amazon fejlesztésével kezdtek elterjedni, hiszen ezekkel gyorsabban lehet specifikus paraméterekre keresni, és számítási kapacitást, időt takarítanak meg gyorsabb adatbázisok alkalmazásával (Sourav 2020).

2.8.3. Grafikonkészítés és elemzés

Az internet világában, illetve a mérés technológia fejlődésével a kutatások által generált és mindenki számára elérhető adatok mennyisége drasztikusan megnövekedett, azonban a hatalmas adathalmazból a megfelelő információk kinyeréséhez könnyebben érthető ábrákat, grafikonokat érdemes készíteni, erre a célra pedig elérhető számos grafikonkészítő szoftver, amelyek a számítógépes számítási kapacitás növekedésével akár több millió adatpontból képesek egy egyszerűen átlátható ábrát készíteni. A grafikonok készítése lehetőséget ad korábbi adatokkal való összevetésre, többféle adatgyűjtési módszer összehasonlítására és egyszerű következtetések levonására. Az adatelemző szoftverek közül szinte mindegyik támogatja a legelterjedtebb adatbázisokat, így az adatbázisba bekerült adatokból utána könnyedén kiválasztható, hogy melyiket és hogyan akarjuk vizualizálni. A vizualizációra többféle mód is van, vonal, kördiagramok, ezek pedig színekkel, feliratokkal személyre szabhatók, hogy a lehető legjobban hasznosíthatók legyenek (Matthew et al. 2016). A grafikonok elemzését az agrometeorológiai állomások esetén manuális áttekintéssel végezzük, viszont fontos követelmény, hogy szabadon megválasztható időpontok között, akár több adatsor együttes vizualizációját is meg lehessen valósítani.

3. Anyag és módszer

Ebben a fejezetben az általam az építés során felhasznált technológiákat és módszereket írom le, illetve felsorolom és jellemzem a felhasznált eszközöket, végül az elkészült mérőrendszer és az azzal mért adatokat ismertetem.

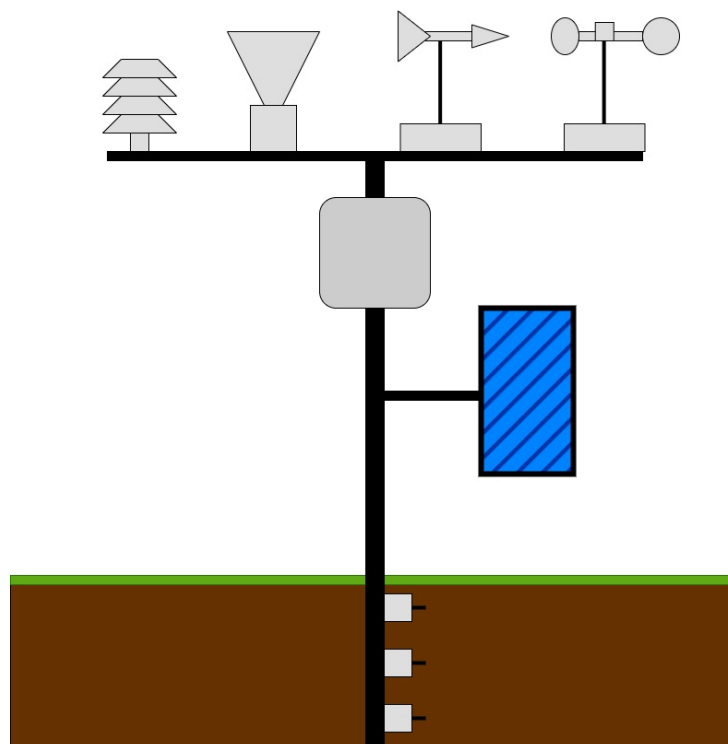
3.1. Az adatgyűjtő állomáshoz felhasznált elvek és technológiák

A fejlesztés célja tehát egy meteorológiai adatgyűjtő állomás létrehozása, amely alkalmas a releváns meteorológiai jellemzők mérésére és továbbítására, azonban a jelenleg elérhető rendszereknél kevesebb ráfordítással is elkészíthető. További cél, hogy nyílt rendszer legyen, amelyet bárki elérhet és elkészíthet, moduláris legyen, tehát minden mérhető elem lekapcsolható legyen, ha az adott helyzetben úgy ítélik meg hogy nincs szükség rá. A létrehozandó állomást elsősorban a már említett Kite Zrt. által forgalmazott PGR rendszerbe integrált Davis Instruments Vantage 2 Pro-hoz hasonló képességekkel kívánom ellátni, kisebb különbségekkel, illetve jelentősen alacsonyabb bekerülési költséggel. Fontos megjegyezni még, hogy az állomás elkészítéséhez törekedtem kizárólag olyan eszközök használatára, (Az FFF technológiájú nyomtatón kívül) amelyek egy mezőgazdasági vállalkozás műhelyében elérhetők, vagy ha nem, például az egyetemes eszterga esetén, akkor van valamilyen ismerősi, beszállítói kapcsolat, amely teljesíteni tudja ezt. Az állomás vázának építéséhez valamilyen hegesztő szükséges, a szélirány és szélességmérők tengelyeihez szükséges az egyetemes eszterga, a vezérléshez egyszerű development boardok (Arduino, Raspberry Pi), illetve szükséges egy SIM kártya, megfelelő internetes előfizetéssel, azonban a további alkatrészekhez azonban elegendőek egyszerű kéziszerszámok, például villáskulcsok, imbuszkulcsok, kalapácsok, forrasztópáka, illetve az állomás kihelyezéséhez egy ásó vagy lyukfúró. A megvalósításhoz szükséges tehát még egy FFF technológiájú 3D nyomtató és hozzá nyomtatáshoz használt filamentek. Az összes alkatrész összeépítéséhez pedig csavarok, kábelek, forrasztanyagok, csapágyak, és ragasztó szükséges, melyek akár egy barkácsboltból is könnyen beszerezhető, szabványos alkatrészek. Az állomáson az energiaellátás napelemes rendszerrel és akkumulátorral van megoldva, ezeknek elég csak teljesítményben egyeznie azokkal, amelyeket én felhasználtam. Az állomás működéséhez szükséges programkód bárki számára elérhető lesz, és bármilyen módosítás szabadon végezhető rajta. Az adatok továbbítása GSM mobilhálózaton keresztül történik, és egy választott, internetkapcsolattal rendelkező helyen (pl lakás, tanyaház) elhelyezett központi adatgyűjtőre érkeznek be. A beérkezéskor az adatok egy adatbázisba kerülnek, időpont is hozzájuk lesz rendelve, majd egy vizualizációs

szoftverbe kerülnek, ahol a felhasználó kiválaszthatja, hogy milyen időtartamra vonatkozóan szeretne adatokat lekérdezni, és mely adatsorokat kívánja látni a grafikonon. A fogadóállomás bármennyi gyűjtőállomás adatát képes fogadni, ezen a téren csak az internetkapcsolat és esetlegesen a fogadóállomás számítási kapacitása a limitáló tényező. Az adatok áramlása a folyamatábrán is látható, azonban a módosíthatóság miatt ez is szabadon variálható. Az állomás megvalósítása előtt árajánlatot kértem a Kite Zrt-től egy meteorológiai állomás telepítésére és üzemeltetésére, illetve összegeztem a várható összes költséget, amely egy állomás építéséhez szükséges. A fogadóállomás és az FFF nyomtató az első állomás terhére kerül megvételre, azonban minden további állomás építése ezután, jelentősen csökkenteni tudja a fajlagos költségeket, hiszen azoknál ezek az extra költségek már nem merülnek fel. Az állomás egyik hátránya a piacon kapható megoldásokhoz képest az, hogy több időt kell befektetni, hiszen míg máshol egy kész állomást kapunk, itt bár dokumentáció alapján, de nekünk kell megépíteni azt.

3.2. Az állomás vázlatja

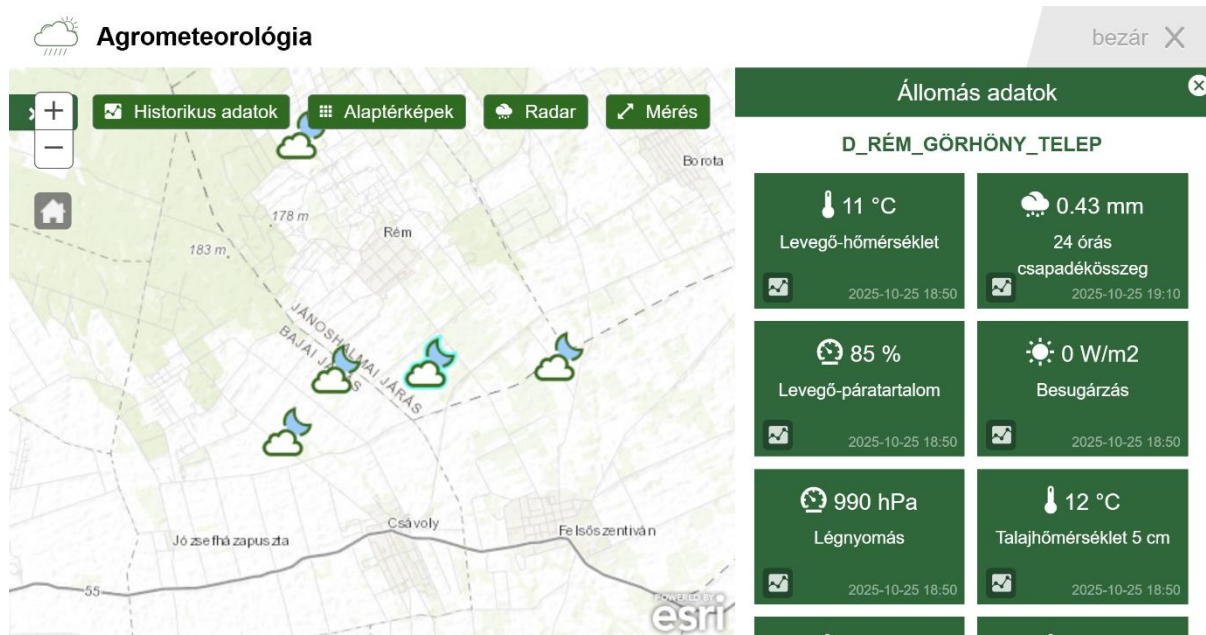
Az állomás kezdeti vázlatához képest a ténylegesen kikerült berendezés sok helyen eltérő, azonban funkcióiban azonos, és az eltérések a prototípusgyártás során szerzett tapasztalatoknak köszönhetőek. A vázlat a 9. ábrán látható.



9. ábra: Az állomás első vázlatja

3.3. Az állomás ötletének gazdasági elemzése és validációja

Az állomás elkészítésére az ötletet és indíttatást a Kite Zrt. PGR precíziós rendszere adta, amely sok száz állomásból áll, és mindenki számára elérhető adatokat szolgáltat az ország sok



10. A Kite PGR webes felülete

Forrás: <https://app.pgr.hu/hu>

pontján, ezzel megkönnyítve a gazdák számára a döntést az elvégzendő munkákkal kapcsolatban. A PGR rendszer felülete a 10. ábrán látható. Nagy hátránya viszont a rendszernek, hogy bár sok állomás van kihelyezve, és egyre bővül ezek száma, az időjárási jelenségekben lokálisan is akkora különbségek lehetnek, amelyek indokolják a mérési pontok sűrítését. Természetesen van lehetőség, hogy kihelyezzenek általunk választott helyre meteorológiai állomást, azonban a kitelepítéssel és minden beállítással együtt ennek a költsége állomásonként egymillió forint felett van, emellett pedig éves díjat is fizetni kell a működésért. A kisebb gazdaságok számára tehát elérhetetlenül nagy költséget jelent ez, így nem tudnak olyan minőségű adatokhoz jutni, mint a nagyobb gazdálkodók, ezért megkezdtem az elérhető meteorológiai állomások felmérését, amely során azt tapasztaltam, hogy a professzionális állomások között, szinte domináló jelleggel a Davis Instruments nevű cég eszközei találhatók meg. Ezek közül hármat emelnék ki részletesen is.

3.3.1. Davis Instruments Vantage VUE

A legegyszerűbb állomás, minden mérőegység egy egységbe integrálva, rádiós adattovábbítással. Az állomás szélességet, szélirányt, hőmérsékletet, páratartalmat, légnyomást, és csapadékmennyiséget is mér. A talajnedvesség és talajhőmérséklet mérése

hiányzik az állomásból, ezért kevésbé ideális mezőgazdasági felhasználásra, illetve a teljesen vezeték nélküli kommunikációhoz fogadó oldali infrastruktúra kiépítése is szükséges, amely vagy egy 300 méteren belüli internettel rendelkező pont lehet, amely viszonylag ritka a mezőgazdasági területeken, vagy egy SIM kártyát fogadni képes továbbító bázis, amely bárhova fel tudja tölteni már az adatokat. Az állomás energiaellátása egy napelem cellával és akkumulátorral van biztosítva. Maga az állomás viszonylag kedvező áron szerezhető be, a magyarországi viszonteladók között sajnos csak egy extra konzollal érhető el, amellyel az ára 400000 Ft, viszont ebből levonva a konzol árát, körülbelül 200000 Ft-ra jön ki egy állomás ára (mindenféle továbbítás és fogadás nélkül). Ezen felül persze valamilyen továbbítási opció megvásárlása is szükséges, illetve annak a továbbítási opciónak is éves előfizetési díja van. Összességében tehát egy elég zárt rendszer, amely magán az adatgyűjtőn kívül sok más extrát is igényel a megfelelő működéshez, ahhoz, hogy megfelelő szintre hozzuk a teljes mérőrendszert körülbelül még 300000 Ft-ot kell kifizetni különféle hardverekért és szoftveres aktivációkért.

3.3.2. Davis Instruments Vantage Pro 2

Professzionális felhasználású állomás, a Kite PGR rendszere is ezekre épül, szélesség, szélirány, hőmérséklet, páratartalom, légnyomás és csapadékmennyiség mérésére képes, illetve



11. ábra: A Davis Instruments Vantage Pro 2 állomás
Forrás: <https://www.davisinstruments.com>

opcionálisan kérhető hozzá talajszonda készlet, amellyel különböző mélységekben képes mérni

a talajhőmérsékletet és talajnedvességet. Az állomás a 11. ábrán látható Az energiaellátás itt is napelemes és akkumulátoros megoldással történik. Ideális mezőgazdasági felhasználásra hiszen minden jellemzőt képes mérni, amely szükséges lehet, viszont az adattovábbítási rendszere hasonló a korábban tárgyalt Vantage VUE-hoz, így itt is jelentős extra költséget jelent ez. Nagy előnye a VUE-hoz képest a fejlesztetőség, ez adja az alapot arra, hogy talajszenzorokat is csatlakoztatni lehessen, azonban zárt rendszer révén, csak a gyártó által forgalmazott szenzorokkal képes működni. Az állomás ára 350000 Ft, és erre jön rá még a korábban is említett minimum 300000 Ft extra költség a teljes funkcionalitás eléréséhez.

3.3.3. Ambient Weather KestrelMet 6000 AG

Ez az állomás kifejezetten mezőgazdasági felhasználásra van tervezve, szélsőségeket, szélirányt, hőmérsékletet, légnyomást, páratartalmat és csapadékmennyiséget képes mérni, azonban itt is elérhetőek extra szenzorok a talajadatok méréséhez. Az állomást a 12. ábrán láthatjuk. Az állomás mobiladat szolgáltatással rendelkezik, amely a gyártó hálózatára küldi az



12. ábra: Az Ambient Weather KestrelMet 6000 AG állomás
Forrás: <https://kestrelmet.com>

adatokat, és azok onnan elérhetőek a felhasználó számára, ehhez természetesen előfizetésre van szükség. Az energiaellátás azonosan az eddigiekhez, napelem és akkumulátor együttes alkalmazásával van biztosítva. Az állomás ára a talajszondákkal és SIM kártyás kapcsolódási

lehetőséggel együtt 700000 Ft, azonban az előfizetés csak évi 16000 Ft-ba kerül. Összességében Ez az állomás a leginkább optimális a gyűjtött adatok és az adattovábbítás tekintetében, azonban ahogyan azt láthatjuk egy ilyen rendszerhez jelentősen többet kell fizetni, mint egy egyszerű, talajszonda nélküli és mobilkapcsolat nélküli állomásért.

3.3.4. A saját állomás jellemzői és költségei

A saját állomásom teljesen egyedi módon készül, semmilyen külön megvásárolható kifejezetten meteorológiai szenzort nem használ, ezek helyett, általános, a kívánt mennyiségek mérésére szolgáló szenzorokat alkalmazok. Az állomás által mért adatok, a hőmérséklet, a páratartalom, a légnyomás, a csapadékmennyiség, a szélirány, a szélesség, illetve 3 különböző mélységben a talajnedvesség és talajhőmérséklet. Az állomás központi egysége egy development board, amely begyűjti az adatokat, majd egy SIM kártya és mobil adatkapcsolat révén továbbítja azokat egy tetszőleges szerverre. Az adatok fogadására egy hálózathoz kapcsolt miniszámítógép szolgál, saját fejlesztésű kóddal, ezen történik az adatok fogadása, adatbázisba helyezése és grafikonok készítése is. Megfelelő hálózati háttér esetén bárhol elérhetők a grafikonok és az adatok, illetve bármilyen időtartamra generálható egyedi grafikon. Az állomás tápellátása hasonlóan a piacon kapható opciókhoz egy fotovoltatikus cella, és egy megfelelő kapacitású akkumulátor segítségével történik. A tápellátás jelentősen nagyobb terhelést is képes ellátni, mint amit az állomás jelent, így, ha esetleg fejlesztésre kerül sor és növekszik az energiaigény, az sem okoz problémát. A modularitás fontos része a kialakításnak, hiszen amennyiben nincs szükség talajadatokra, az a része elhagyható az állomásnak, ugyanígy akármelyik mérendő jellemző elhagyható módosítások nélkül, illetve igény esetén hozzáadható más szenzor is, akár saját fejlesztéssel, akár valamely felhasználó által fejlesztve, hiszen a szoftveres háttér és a teljes állomás nyílt forráskódú, bárki elkészítheti a megfelelő alkatrészek beszerzése után. Az állomáshoz folyamatban van a részletes dokumentáció készítése, azonban még zajlik a véglegesítése a használt szenzoroknak, így a végleges dokumentáció is akkor készülhet el, amikor az állomás is biztosan megfelelőnek bizonyul. A koncepció egyik hátránya az időbefektetés szükségessége, azonban úgy gondolom, hogy ahogyan sok területen, itt is meg kell adni a lehetőséget a választásra a felhasználóknak, hogy inkább drágábban akarnak egy kész rendszert vásárolni, vagy olcsóbban akarnak összerakni egyet maguknak. Az állomás elkészítéséhez szükséges egy 3D nyomtató is, amely zárt terű kell legyen, ezért annak a költsége legalább 150000 Ft azonban a gépnek a mezőgazdasági vállalkozásban is sok alkalmazási lehetősége van, bármilyen műanyag alkatrészt lehet készíteni vele, így gyors javításokat lehet eszközölni a gépeken. A gyártás költsége egy állomásra körülbelül 230000 Ft,

ebbe beleszámolva esetleges nem várt kiadásokat és elrontott szenzorokat. A költség viszonylag magas, hiszen nem sorozatgyártott termékről beszélünk, azonban még így is jelentősen olcsóbb, mint a piacon kapható megoldások azonos funkcionalitással. A fogadó oldal legegyszerűbb megoldása összesen 40000 forint, amelyhez korlátlan mennyiségű állomás csatlakozhat. Az összeszereléshez szükséges idő nagyban függ a felhasználó jártasságától, például szükséges alapvető forrasztási tudás, illetve a nyomtató üzemeltetéséhez kell egy kis tapasztalat, de ezek nagy valószínűséggel a mezőgazdasági vállalkozásban is kamatoztatható készségek lesznek. Az elkészítés alapvető forrasztási tudással, illetve kezdő 3D nyomtató felhasználóként körülbelül 36 óra, ebbe nem beleszámolva a nyomtatási időt, azonban a nyomtatási idő sok esetben mutathat átfedést az összeszereléssel. Összességében a saját tapasztalatom alapján tudok beszélni, a fejlesztést leszámítva az állomás összeszerelése kevesebb ráfordított idővel is össze lehet rakni, nekem a nyomtatási időn kívül körülbelül 20 óra volt a forrasztások elvégzése, kábelek elkészítése, illetve az alkatrészek összecsavarozása és bekötése.

3.4. A felhasználandó technológiák és eszközök meghatározása

A mérőállomáshoz már ismertetett jellemzők méréséhez konkrét szenzorokat, feldolgozó elektronikát kerestem, ezek kiválasztásakor a mérésre való alkalmasságon kívül az elérhetőség is fontos szempont volt. A kiválasztott eszközök mérendő mennyiségek szerint rendezve a következők lettek.

3.4.1. A hőmérséklet, páratartalom és légnyomás mérése

A hőmérséklet, páratartalom és légnyomás mérésére számos kombinált szenzor létezik, ezek jelentős része kis méretű, mikroelektronikai elem, azonban ezek üzemeléséhez megfelelő bekötés és feszültség szükséges, illetve a rögzítésük is nehézkes. Ezeknek a kis szenzoroknak általában elérhető valamilyen gyártó által a hobbi felhasználásra készített verziója is, amely tápelektronikával, kivezetett egyszerű csatlakozással, illetve csavaros rögzítési lehetőséggel is rendelkezik. Ilyen szenzor például a DHT-22-M, az AHT20 + BMP280 két egységes kombinált szenzor és a BME280-as mindhárom jellemzőt mérni képes szenzor. A DHT-22-M szenzor a legelterjedtebb, de csak hőmérséklet és páratartalom mérésére képes, így egy külön szenzort kellene felhasználni a nyomás mérésére, amely bonyolítaná az elkészítendő házat és a bekötést is. Az AHT20+BMP280 szenzorkombináció mindhárom mennyiséget képes mérni, de úgy véltem, hogy felesleges két érzékelő modulost vásárolni, hiszen elérhető olyan is amely egyben képes mindhárom mennyiség mérésére. Ez a szenzor, a BME280-as, szintén

könnyen elérhető, és mindhárom mennyiség mérését egy érzékelővel végzi, így a lehető legegyszerűbb. A szenzorhoz ezen kívül egyszerű programot írni hiszen szabványos I²C



13. ábra: A BME 280-as szenzor
Forrás: <https://www.hestore.hu>

kommunikációt használ. Az érzékelőt a 13. ábrán láthatjuk. További előnye, hogy egyszerűen I2C interface-en keresztül kommunikál a választott development boarddal, így bekötése egyszerű és problémamentes. A hőmérséklet mérése a szenzorban egy termisztorral történik, amelynek ellenállása változik a hőmérséklettel, ezt a változást pedig egy beépített analóg digitális átalakító digitális jellé alakítja. A hőmérséklet érzékelés +/- 0,5 °C-os pontosságú a -40 és +85 °C közti tartományon, az éghajlati viszonyok pedig ezen bőven belülré esnek. A nyomás érzékelése piezorezisztív módon történik, tehát a nyomás hatására változik a piezorezisztor ellenállása, amelyet hasonló módon a hőmérsékletéhez, digitális jellé alakít egy átalakító. A nyomás mérése +/- 1 hPa pontosságú a 300-1100 hPa tartományon belül. A páratartalom mérése egy apró kondenzátorba helyezett polimerréteg dielektromos állandójának mérésén alapul, ez a jellemző változik a relatív páratartalom hatására, és ezt alakítjuk át ugyanolyan módon digitális jellé, a mérés pontossága +/- 3% a 0-90%-os tartományon belül. A három mért mennyiség mind megfelelő pontosságú a mezőgazdasági alkalmazáshoz, ennél pontosabb adatokra nincs szükség. A három jellemző kombinált mérésével alacsonyan tudom tartani a költségeket, illetve nem szükséges minden mennyiséghez külön érzékelő tartó egységet tervezni.

3.4.2. A csapadékmennyiség mérése

A csapadékmennyiség mérését egy egyedi tervezésű szenzorral végzem, ez a szenzor egy hall-érzékelőre alapul, amely a mágneses mezőt érzékeli. A konstrukció kialakítása a WMO által is leírt „tipping bucket” azaz billenő edényes csapadékmérőhöz hasonló. Adott méretű felületről gyűjtöm a csapadékot, majd ez a csapágyazott billenő edény egyik felére érkezik, amikor a ráérkezett csapadék súlya elegendő, átfordul az edény és a másik felébe kezd el gyűlni a csapadék. A szenzor automatikusan ürül, és egyszerűen kalibrálható hiszen adott

mennyiségű víznél fordul csak át, az átfordulások számából pedig egyszerűen megkapható a csapadékmennyiség. Az átfordulásokat a Hall érzékelővel mérem, a billenő edényen egy kis mágnes található, amely átforduláskor elhalad a Hall érzékelő előtt, így minden átfordulásról egy pulzust küldve. A hall érzékelők önmagukban vagy feldolgozó elektronikával is megvásárolhatók. Önmagukban vásárolva fontos tudni, milyenre van szükségünk, hiszen három fajtájuk van, lineáris, unipoláris és bipoláris. A felhasználási módokra az unipoláris a legalkalmasabb, azonban önmagában a kis méretű szenzort rögzíteni nehézkes, és az érzékenysége sem változtatható. A 14. ábrán látható egy ilyen egyszerű Hall-szenzor.



14. ábra: Egyszerű Hall-szenzor
Forrás: <https://www.hestore.hu>

Ezért döntöttem egy olyan egység mellett, amely egy komplett Hall-érzékelő modul, segítségével állítható az érzékenység, illetve a szenzor rögzítése is egyszerűbb. A használt Hall-érzékelő a 15. ábrán látható.



15. ábra: A felhasznált Hall-érzékelő
Forrás: <https://www.hestore.hu>

3.4.3. A szélesség mérése

A szélesség mérése nagyon hasonló a csapadékmennyiség méréshez, hiszen ez is egy hall-érzékelőre és pulzusok számolására alapszik. A saját tervezésű mérőeszközben a tengelyen egy mágnes található, amely minden körfordulásnál egy pulzust ad, a közeggel azonos sebességet

pedig kanalak biztosítják. A kanalak középvonalának távolsága ismert és fontos, hiszen a sebesség méréséhez szükségünk van az időn kívül egy úthosszra, amely jelen esetben 0,973 méter (15,5 cm-es középvonal sugár). Ebből kétféle módon is számolhatok sebességet, a pillanatnyi legnagyobb szélesebséghez elég megfigyelni, hogy mennyi idő telik el a pulzusok között, majd ebből az úthossz segítségével kapok sebességértéket, vagy ehelyett az adott idő alatt beérkezett pulzusokat számolom meg, így kapva az adott időre érvényes átlagsebességet.

3.4.4. A szélirány mérése

A szélirány mérésére az első mérőeszköz prototípusnál 8 darab hall érzékelőt használtam, azonban gyorsan rájöttem, hogy ez nagyon megbonyolítja a kábelezést és a kiolvasást is, arról nem is beszélve, hogy nagyobb kiterjedésű maga a mérőeszköz is, a nagyobb kiterjedésű ASA-ból nyomtatott alkatrészek esetén pedig jelentős probléma szokott lenni a felválás vagy a deformáció, így úgy döntöttem hogy elvetem a hall-érzékelőket és azok helyett egy forgóérzékelőt használok, amellyel egyszerűbb is a jel továbbítása, illetve kisebb lehet az eszköz, ezzel kiküszöbölve a deformációs hibákat. Az egyszerű forgójeladók között sok csak egy körbefordulást enged meg, ezek tehát nem alkalmasak számomra, mivel nem garantálható, hogy a széljárás sosem lesz olyan, hogy teljesen körbefordítja a szélkakast. A 16. ábrán egy ilyen egyszerű forgójeladót láthatunk. Ilyen kinézetű érzékelőből is előfordulhatnak olyanok, amelyek több körbefordulást is megengednek, azonban a rögzítésük is nehezebb és az élettartamuk is rövidebb.



16. ábra: Egyszerű forgójeladó
Forrás: <https://www.aliexpress.com>

A megoldást az olyan forgójeladók jelentik, amelyek bármennyi körbefordulást megengednek. Ezek között lehetnek mágneses alapon működők, kapacitívak és optikai jeladók is. Mindhárom

elvű jeladóból különbözők érhetők el, attól függően, hogy átfordulásonként hány jelet adnak. A számomra legalkalmasabb az, amelyik körfordulásonként 360 pulzust ad, így a felbontása 1° , gyártói megjelölése „E38S6G5-360B-G24N”. A forgójeladó a 17. ábrán látható.



17. ábra: A felhasznált forgójeladó
Forrás: <https://www.hestore.hu>

A forgójeladóval való tesztelést még nem sikerült elkezdni, mag az egység a fejezet írásakor még nincs is egészen készen, a tengely elkészülésére várok. A régi megoldás is megfelelő lehetett volna hiszen a 8 irány is teljesen elegendő számomra, azonban az egyszerűbb építés, nyomtatás és kábelezés miatt sokkal előnyösebb ez a megoldás. Egyetlen hátránya, hogy pár ezer forinttal drágább egy ilyen szenzor mint 8 darab Hall-érzékelő, azonban a szükséges befektetett időben ez szerintem megtérül. Az optikai jeladóból egyedi program segítségével olvasom ki a szélirányt, egyetlen bemeneti paraméter szükséges azonban hozzá, a szenzor orientációja, hiszen ez hiányában fals eredményt kapok az irányokra.

3.4.5. A talajhőmérséklet és talajnedvesség mérése

A talajban mért jellemzők mérésére elsősorban tokozott, direkt erre a célra kihelyezett szenzort akartam felhasználni, amely az SHT10-es jelölésű hőmérséklet és nedvességmérőre alapszik, azonban ez a szenzor az állomás építésekor nem volt elérhető, ezért a prototípusban egyelőre nem ezt használom. A megérkezését követően szeretném erre cserélni a szenzorokat, hiszen ezek előre kalibrálva érkeznek, ezért egyszerűbb a beüzemelésük, és hosszútávon biztosan időtállóbbak, mint az acélrudas érzékelők, melyeknél a korrózió hosszútávon probléma lehet. Az SHT10-es szenzort a 18. ábrán láthatjuk.



18. ábra: Az SHT10 érzékelő
Forrás: <https://www.hestore.hu>

Szintén egy kombinált érzékelő, amelyet tesztelési céllal használtam is már a SOIL-H-T-EC-RS485 típusú szenzor, amely egyszerre mér hőmérsékletet, nedvességet és vezetőképességet a talajban. Az érzékelőt a megérkezése után kipróbáltam, de valamilyen okból ezzel valótlánul magas nedvességértékeket mértem, az is előfordulhat, hogy maga az érzékelő hibásodott meg, ezért az SHT 10-es elérhetővé válása után rendeltem azzal együtt még egy ugyanilyen szenzort is. A későbbiek során a további fejlesztés célja, hogy ezeket a szenzorokat részletesebben is összemérjem és megállapítsam melyik a legpontosabb. A SOIL-H-T-EC-RS485 szenzort a 19. ábrán láthatjuk. Az eddig említett két szenzor további előnye hogy digitálisan továbbítják a jelüket, ezért a z összekötő vezeték nincs befolyásoló hatással a mérésre.



19. ábra: A SOIL-H-T-EC-RS485 szenzor
Forrás: <https://www.hestore.hu>

A talajhőmérséklet és talajnedvesség mérésére jelenleg két különböző szenzort használok, egy rezisztív talajnedvességmérőt, amelynek a típusa LM393, illetve egy digitális tokozott hőmérséklet érzékelőt mely típusa DS18B20. Az érzékelők a 20. és 21. ábrán láthatók.



20. ábra: A talajhőmérséklet érzékelő
Forrás: <https://www.hestore.hu>

Ez a talajnedvességmérő kalibrációt igényel, meg kellett határoznom az átviteli függvényt, amellyel a szenzor által mért analóg értéket nedvességtartalom százalékká tudom alakítani. A talajhőmérséklet mérésére alternatívaként PT100 vagy PT1000-es érzékelőket is használhattam volna, de minél kevesebb analóg jelet szerettem volna továbbítani, amennyiben ez lehetséges ezért esett a választás a DS18B20-ra, amely egyszerű „onewire” buszon kommunikál.

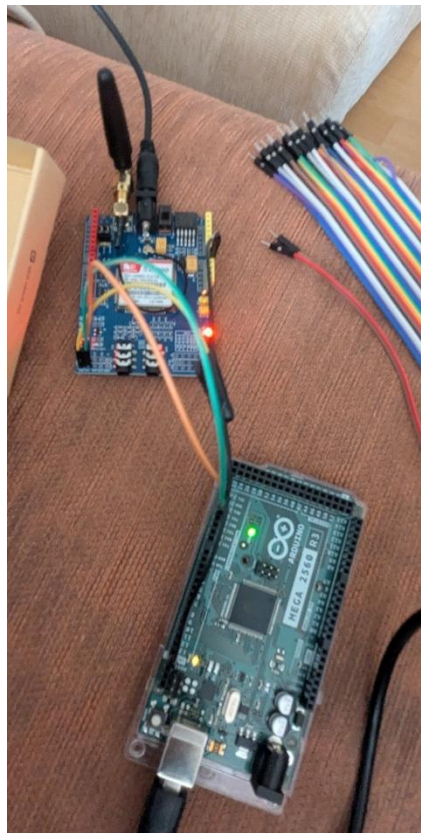


21. ábra: A talajnedvesség érzékelő
Forrás: <https://www.hestore.hu>

A kiválasztott digitális hőmérséklet érzékelő ellenőrzése következett, ez pedig ahogyan érkezett, tökéletesen pontosan mérte az értékeket a hozzá tartozó kóddal, így ezen nem változtattam semmit. A két szenzor adatait olvasó programot végül egybefűsültem és elkészült az első verzió, a tesztmérések során azonban körülbelül 4-5%-os eltérés is mutatkozott a talajnedvességben, így még inkább indokolt a már említett, valószínűleg pontosabb érzékelőkkel való további tesztelés. A jelenleg használt érzékelő ugyan jelentősen olcsóbb, mint a digitális verziók, de ez mégsem akkora különbség, amely indokolná, hogy megelégedjek a rosszabb mérési eredményekkel.

3.4.6. A szenzorokat összekötő development board

A szenzorok adatait az állomáson elhelyezett development board gyűjti össze és továbbítja, ez a development board esetében az Arduino Mega, vagy annak utángyártott változata. Azért esett erre a választás, mert az eredeti tervek szerinti nagy mennyiségű Hall érzékelő és a talajszenzorokból adódott komplikáció miatt nagy mennyiségű bemeneti pinre volt szükségem. A development board ezen kívül több hardveres soros porttal is rendelkezik, ezért olyankor is lehetőség van monitorozni számítógép segítségével, amikor a továbbító SIM modul egy másik soros portra van kötve.



22. ábra: A felhasznált Arduino és GSM modul

A szóba került SIM modul pedig az AR-GSM-S2 névre hallgató modul, amely fő eleme egy Simcom SIM900 modem, mely mobilhálózaton keresztüli adatküldést tesz lehetővé az Arduino számára, természetesen egy megfelelő előfizetéssel rendelkező SIM kártya segítségével. A két említett eszköz helyett eredetileg egy Lilygo T-call nevű eszköz lett volna használva, amely egy ESP32 development boardot és egy SIM800 modemet kombinál össze egy egységgé, azonban a dokumentáció hiányossága miatt ezt nem tudtam működésre bírni a magyarországi GSM hálózatokkal, így elkezdtem keresni alternatív lehetőségeket és találtam a SIM900 modult, amely bármely Arduinoval kompatibilis, és ezután a nagy mennyiségű interrupt bemenet

szükségessége miatt esett a választás végül a Megára. A felhasznált Arduino kontroller és GSM modul a 22. ábrán látható. Az állomáshoz szorosan kapcsolódik a fogadó oldal is. Ehhez bármilyen számítógép vagy single board computer használható. Amennyiben régi nem használt számítógép vagy laptop is rendelkezésre áll, az is alkalmazható fogadó oldalként. Az én választásom egy Raspberry Pi 4 model B 4Gb-ból és a hozzá tartozó tápegységből áll. Azért erre esett a választás mert nagyon elterjedt, könnyedén használható és megfelelő számítási kapacitási tartalékkal rendelkezik ahhoz, hogy a későbbiekben további adatfeldolgozási algoritmusokat futtassak rajta. A Raspberry-n Ubuntu operációs rendszer fut, de bármilyen Linux környezetben futtathatók a szükséges docker containerek.

3.4.7. Az állomás tápellátása

A tápellátást egy napelem és egy akkumulátor kombinációja, illetve az ezeket összekötő napelem töltésvezérlő adja. A napelem egy 30W teljesítményű Cellevia Power CL-SM30M, amely bőven túlteljesíti az állomás energiaigényét, amennyiben a hosszabb távú tesztelés után indokolt, kisebb teljesítményűre fogom cserélni a további állomások esetén. A napelem és akkumulátor kiválasztása kizárólag az elérhetőségen alapult, bármilyen azonos teljesítményű használható. Az akkumulátor egy gondozásmentes ólomsavas 12 voltos, 12 Ah kapacitású egység, azonban nagy valószínűséggel ezt is kisebb méretűre lehet majd cserélni a tesztek után. A napelem és az akkumulátor közti kapcsolatot, illetve az energiaforrások közti váltást a napelem töltésvezérlő végzi, melynek gyártója Volt Polska, típusa pedig 3IPSSOLD20. Ezek a könnyű beszerezhetőség miatt kerültek kiválasztásra azonban bármilyen energiaellátó egység alkalmazható, amely 12 voltos egyenfeszültséggel látja el a tápellátó dobozt. A tápellátó dobozban pedig két DC-DC lefelé konvertáló modul van, amelyek közül egyik 4,95 voltot állít elő az Arduino és a szenzorok egy része számára, a másik pedig 8,5 voltot állít elő a SIM modul és a szélirányt mérő optikai jeladó számára. A DC-DC konverterek XLSEMI XL4015-5A-M típusúak, 5A folyamatos áram leadására képesek és túláram elleni védelemmel vannak ellátva.

3.5. A szenzorok működéséhez szükséges alkatrészek megtervezése

A szenzorok kiválasztása után, a következő lépés az azokat rögzítő, illetve védő házak és funkcionális alkatrészek megtervezése volt, ezeket mind úgy terveztem meg, hogy a lehető legkevesebb anyagot használjam, hiszen ezzel nem csak a költséget, de a nyomtatási időt is csökkenteni tudtam. A szenzorok házainak azonban rögzítést is ki kellett találnom, erre a

legalkalmasabbnak egy egyszerű 60mm-es cső és egy 30x30mm-esas zártszelvény kombinációját találtam a legalkalmasabbnak, hiszen, ezek bármelyik tűzéptelepen beszerezhetőek. A cső végén keresztben, egy T alakot formálva tehát el is készült az állomás vázának terve, a T alakon felül a cső egyik oldalára felhegesztettem egy zártszelvényt, amelyre csavarral rögzíthető volt a napelem is. A napelemek különbözősége és a hosszabb távú tesztelés hiánya miatt ez még nem feltétlenül a végleges rögzítési módja a napelemnek, ha kisebb méretű is elég lehet, akkor valószínűleg máshogyan lesz megoldva a véglegesített állomáson. A szenzorházak rögzítését ehhez ezután már két egyszerű nyomtatott pánntal meg tudtam oldani, az egyik a 60mm-es csőre rögzíti az oda tartozó alkatrészeket, a másik pedig a 30x30-as zártszelvényre fogja fel a szenzorokat és controller dobozt.

3.5.1. Hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő

A BME280-as szenzor rögzítése egy csavarral történik, azonban nem lehetett csak egyszerűen felcsavarozni a vázra, ehhez a meteorológiai állomásokon Stevenson-féle műszerszekrényeket alkalmaznak, amelynek célja, hogy az általa védett eszközt ne érje csapadék, nagy sebességű szél esetén sem, de mégis átjárja a levegő, hogy megfelelő mérési adatokat tudjon szolgáltatni.



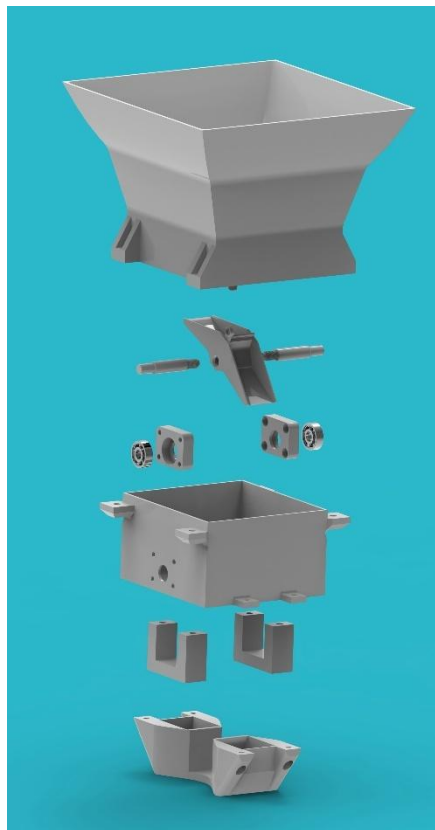
23. ábra: A hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő összeállítása

A hőmérséklet, páratartalom, és nyomás szenzorokat általában kör alakú, egymásra helyezett tányérra hasonlító házba szokták tenni, ezért én is ehhez hasonló házat terveztem a szenzornak.

Fontos volt tehát hogy jól védjen a csapadéktól, de mégse blokkolja teljesen a levegő áramlását, illetve, hogy bele tudjam rögzíteni a szenzort az egy csavarral, amelynek hely van az áramköri lapján. Fontos jellemző volt még hogy fehér színű legyen a ház, vagy maga az alapanyaga is, vagy fehérre legyen festve, hiszen a fekete ház annyira sok energiát nyel el, hogy nagyon sokat torzítana az eredményeken. A mérőeszköz összeállítása a 23. ábrán látható.

3.5.2. Csapadékmérő

Az esőmérő szenzor házának alapvetően 3 funkciót kell ellátnia, védenie kell a szenzort a csapadéktól, azonban megfelelő helyen át kell engednie a csapadékot a billenő edényhez, adott méretű területről kell gyűjtenie a csapadékot, hogy könnyedén számítani lehessen mennyi esett és végül védenie kell a billenő edényt a széltől, ugyanis erős szél hatására csapadék nélkül is átfordulhat az edény, vagy ugyanilyen alapon csapadék hatására sem fordul át mivel a szél ereje ellentart.



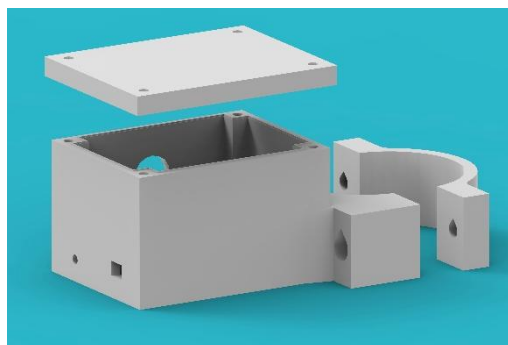
24. ábra: A csapadékmérő összeállítása

A szenzor házának teteje tehát a funkció ellátása érdekében egy tölcser, amely megfelelően kicsi, esetünkben 3mm átmérőjű furaton keresztül engedi átfolyni a vizet, így biztosítva, hogy minden csepp a billenőedénybe kerül. A szenzor házának alja pedig védi a szenzort a nem kívánt csapadéktól, illetve a széltől, ezen felül pedig ehhez rögzülnek a csapágyak, amelyek a

billenőedény könnyű átfordulását biztosítják. A mérőeszköz szíve egy billenőedény, amely adott méretű, és az elhelyezéséből adódóan bistabil állapotú, vagyis 2 állásban is stabilan marad külső behatás nélkül. Ezen két végállapot között akkor vált át, amikor elegendő mennyiségű csapadék, esetünkben 0,17125mm hullik, ezzel átfordul, kiöntve az eddig gyűjtött mennyiséget és egy pulzust adva az érzékelővel a központi adatgyűjtőnek. A billenő edény csapágyazva van a házban, hiszen az átforduláshoz kis mennyiségű víznek is elégnek kell lennie. A billenő edény miatt ez a mérőeszköz érzékeny az elhelyezésére, felszereléskor a lehető legvízszintesebben kell, hogy álljon. A csapadékmérő összeállítása a 24. ábrán látható.

3.5.3. Talajszenzorok

A talajszenzorok, tehát a talajhőmérséklet és talajnedvességmérő elhelyezése egyedi volt az állomás szempontjából, hiszen ezek viszonylag messze találhatók a központi vezérlődoboztól, és az érzékelők vezetékai közvetlenül nem érnek el odáig. Ennek a problémának a megoldására egy kis dobozt terveztem, amelyet a 60mm-es csőre lehet rögzíteni egy pánttal, és körülbelül 10 cm-rel a föld felett van elhelyezve, innen már egybekötve mehet a két szenzor kábelezése fel a vezérlődobozba, idáig pedig már könnyedén elérnek az érzékelők vezetékai, még akkor is, ha mélyre tesszük őket. Az érzékelők elhelyezése az állomás vázának elhelyezésekor történik meg, egy ásó segítségével is ki lehet ásni megfelelő mélységű lyukat, amelybe a víz kerül, azonban mivel számomra elérhető volt, így egy motoros lyukfúrót használtam. Ennek az átmérője jelentősen nagyobb, mint a 60mm-es cső, ezért a fúrás után, ahogy behelyeztem az állomás vázát, a visszatemetés közben mértem a talaj felszínétől számított mélységet, és 25, 15, 5 cm mélységbe helyeztem el 3 pár érzékelőt, ez szabadon választható, én azért ezekben a mélységekbe helyeztem mert számomra a legtöbb információt ez a felszínhez közeli réteg szolgáltatja.



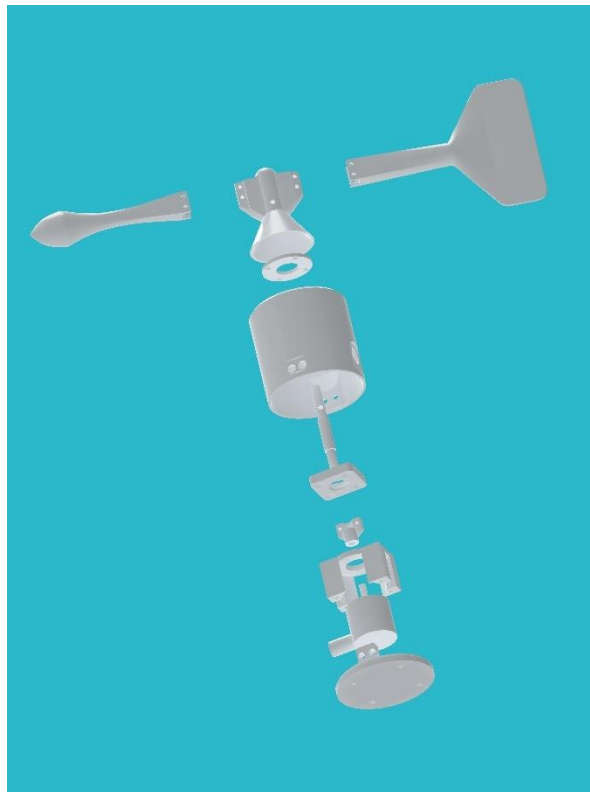
25. ábra: A talajszondák házának összeállítása

A szenzorok kábelei tehát a váz aljára rögzített dobozokba futnak, melynek összeállítása a 21. ábrán látható. Innen, közös kábellel indulnak tovább a központi egységbe. A dobozt úgy

terveztem meg hogy a lehető legpontosabban illeszkedjen a teteje, és átfedés is van a fedél és a doboz között, ezért eddig gumitömítés nélkül is vízhatlannak bizonyult, azonban a dobozon körbe kialakítottam helyet egy tömítésnek, ha mégis szükség lenne rá a jövőben, ha erre kerül sor akkor a 3d nyomtató segítségével TPU rugalmas anyagból egyszerűen kinyomtatható ez az egyedi alakú tömítés, még egy szintű biztonságot adva a doboz vízhatlanságával kapcsolatban.

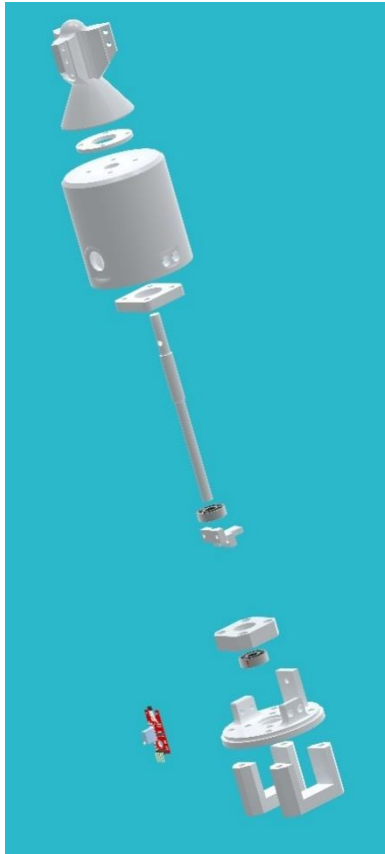
3.5.4. Szélesség és széliránymérő

A szélességmérő és szélirányt jelző mérőeszközöket hasonlóságuk miatt egy alapra terveztem, kisebb eltérésekkel közöttük. Az összeállításuk a 26. és 27. ábrán látható. Mindkettőnek része az alap, amelyre a szenzorokat, a csapágyakat rögzítettem, ez egy 200mm átmérőjű kör alakú alkatrész, amelyen így kényelmesen elfér minden szenzor.



26. ábra: A szélirány mérő összeállítása

Közös elem még a tengely, amely fémből készített alkatrész, erre pedig egy kis kapoccsal rögzül a mágnes tartó egység, amelyben egy kis 6x2mm-es mágnes található. A mérőegységek teteje egy azonos méretű kör alakú alkatrész, amely leginkább egy tányérra hasonlít, ezen különböző furatok található, egyrészt a csapágy rögzítésére, másrészt a tengely számára, az oldalán pedig az alsó alaphoz való rögzítéshez használt csavaroknak és egy nagyobb furat az ipari csatlakozónak, amelyen keresztül a vezetékek jönnek majd ki.



27. ábra: A szélesség mérő összeállítása

Az első különbség az alapon található szenzorok száma, hiszen a szélességmérő esetén 1 darab szenzorról van szó, a szélirány esetén azonban 8, egymáshoz képest 45 fokban elhelyezett szenzor található. A következő jelentős különbség a tengely tetejére kerülő alkatrész, amely a forgórész központi eleme, ez a széliránymérő esetén két rögzítési pontot, szélesség esetén viszont három irányban teszi lehetővé alkatrészek rögzítését. A következő különbség pedig ezen alkatrészek, hiszen a szélirányhoz egy egyszerű nyíl szükséges csak, a szélességhez viszont a kanalas anemométer jellegzetes elemei, a kanalak. A tervezés során többféle verziót is készítettem a kanalakból, először is a kanál méretét akartam meghatározni, a kis kanalak előnye, hogy kicsi a tehetetlenségük, de azokat kis energiájú légmozgás nehezebben fogja megmozdítani, lehetséges, hogy túl alacsony szélesség esetén nem fognak forogni. A nagyobb kanalak előnye, hogy kis légmozgástól is viszonylag nagy erők keletkeznek, hiszen nagy a felületük, de nagyobb a tehetetlenségük így a légmozgás megszűnése esetén is tovább forognak még egy kis ideig, ezzel kissé torzítva az átlagos szélességet. Ez utóbbi számomra nem probléma, hiszen nem szükséges tized pontosságú szélesség, ezen felül pedig változó szélességek esetén szoftveresen is korrigálni lehet a mért értéket. A kanalak tervezése először ugyanígy történt, mint a többi alkatrész, de azután kipróbáltam generatív tervezéssel is, mellyel anyagot lehet megtakarítani egyenszilárdság

mellett. A generatív tervezéshez elkészítettem a csatlakozófelületet, amellyel a kanál a középső „agyhoz” csatlakozik, majd elkészítettem a megfelelő méretű félgömböt. A félgömbre terhelést tettem abból az irányból amerről a szél terhelni fogja, és megkötöttem, hogy mely részeknek kell fixnek maradni, tehát hogy hova ne tervezzen anyagot a rendszer. Több iteráció és kis módosítások után véleményem szerint egy elegáns megoldás született, körülbelül 20 gramm filamentet takarítottam meg kanalanként ezáltal. A generatív tervezett alkatrész a 28. ábrán látható.



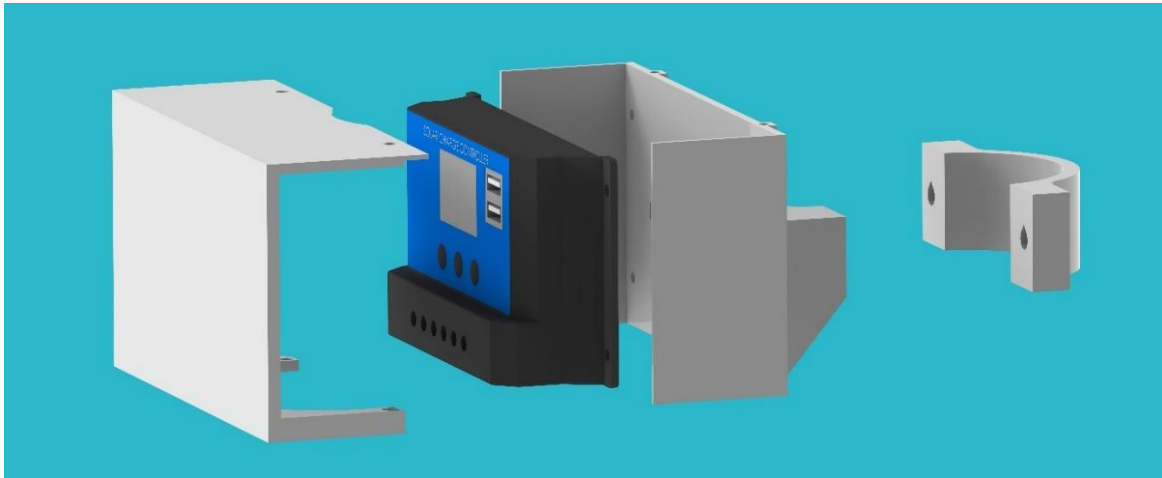
28. ábra: A generatív tervezéssel készített kanál

3.5.5. Egyéb alkatrészek

Az állomáshoz a mérőeszközökön kívül egyéb alkatrészek megtervezése is szükséges volt, ilyen például a development board doboza, amelybe az összes kábel befut, és megvédi az elektronikát a külső behatásoktól. Ezt a dobozt a Lilygo T-Call-hoz terveztem, megfelelő távolságú rögzítőpontok találhatóak benne, amelyekhez oda lehet csavarozni a nyáklapot, illetve összesen 8 furat található az oldalán, amelyekbe pontosan passzolnak az ipari csatlakozók megfelelő elemei. A doboz teteje a talajszenzorokéhoz hasonló megoldású, megfelelő átfedés van, ezért tömítés nélkül is vízhatlan, de itt is lehetőség van egyedi tömítés behelyezésére a kialakított helyre.

Egy újabb elkészítendő alkatrész egy védőburkolat a napelem töltésvezérlőjének. A vezérlő 4 csavarral rögzíthető a védőházhoz, és egy egyszerű fedő takarja le, ezzel megakadályozva, hogy közvetlenül csapadék érje, illetve, hogy a hosszútávú használat során az UV sugárzástól károsodjon. A burkolat alján megfelelő méretű kivágás van, így könnyen elérhetők a ki és bemenetek az egyszerű csatlakoztatás és feszültségmérés érdekében. A töltésvezérlő ezzel a

burkolattal együtt rögzül a 60mm-es csőre egy pánt segítségével. A töltésvezérlő és burkolata a 29. ábrán látható.



29. ábra: A töltésvezérlő és háza

Szintén elkészítettem az állomáshoz tartó akkumulátortartó alkatrészt. Ez egy egyszerű tartó, amely a 60mm-es csőre rögzül, és ráhelyezhető az akkumulátor. Egy fedődarabot is készítettem, amely nem olyan erős, de ugyanilyen méretű, hogy az eső és napfény ne érje közvetlenül az akkumulátor tetejét.

Az utolsó szükséges alkatrész pedig egy védőház a DC-DC átalakítóknak, amelyek a töltésvezérlőből és akkumulátorról érkező 12 voltos feszültséget 5 voltra konvertálják. A ház szinte ugyanaz, mint a talajszenzorok háza, ugyanúgy rögzíthető és ugyanúgy van megoldva a vízhatlansága, annyi különbséggel, hogy ezen egy csatlakozó helyett kettő van.

3.6. Az alkatrészek legyártása és finomítása

Az alkatrészek tervezésekor és legyártásakor az additív gyártásra való alkalmasságot is figyelembe kellett vennem, ez elsősorban azt jelentette, hogy a lehető legtöbb helyen el kellett kerülnem az alámetszést, vagy olyan orientációban nyomtatni az alkatrészt, hogy az alámetszések száma minimális legyen. A szeletelő szoftver ugyan képes az alámetszéseket alátámasztani, de az hulladékanyag keletkezéséhez vezet, növeli a nyomtatási időt és az ott elkészült felület is sokkal kisebb pontosságú lesz, mint máshol. Az alámetszést a program sötétkék színnel jelöli, jól elkülöníthetően mutatja hol vannak ilyenek, ezért az azonosítás könnyű volt. Sok alámetszést meg lehetett oldani vagy alátámasztani azonban a furatok estén van egy ennél elegánsabb megoldás is, amellyel könnyedén kiküszöbölhető a furatok oválissá válása vagy az esetleges támaszanyag használat. A furatokat át kellett szerkesztenem a

nyomtatási orientációnak megfelelően és 45 fokos dőlésűvé tenni a felső felület, így csak egy pontban érnek össze és pontosabban nyomtathatók. A megoldást a 30. ábrán lehet megfigyelni.



30. ábra: A furatok közötti különbségek

A problémák gyors megoldásában nagy segítség volt, hogy a megtervezett alkatrészt, legkésőbb pár órán belül a kezemben tudtam fogni és összeépíteni. Ez a rapid prototyping sokat könnyít a tervezésen hiszen nem kell attól tartani, hogy a drága és hosszadalmas gyártás után hibás lesz egy alkatrész, hanem folyamatosan iterációkkal tesztelni lehet a modelleket és addig javítani rajtuk a hibákat amíg megfelelőek nem lesznek.

Az additív gyártáshoz használt FFF technológiájú Creality K1 típusú eszköz 220x220x250mm-es építési térrel rendelkezik, zárt munkaterülettel rendelkezik, a fúvóka maximális hőmérséklete 300°C, a munkalap maximális hőmérséklete 100°C.



31. ábra: A használt Creality K1 típusú nyomtató

A nyomtató számos fejlesztésen átesett, kezdve egy Microswiss Flowtech Hotend fejlesztéssel, illetve az X és Y irányú lineáris csapágyakat kicseréltem lineáris sínekre, ezzel javítva a méretpontosságot és a nyomtatási sebességet. A későbbi problémák felmerülése során egy nyomtatótér fűtő egységet is beépítettem, így magasabb hőmérsékleteket elérve, csökkentve a zsugorodásokból adódó torzulásokat. A nyomtató a 31. ábrán látható.

3.6.1. Hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő

Ezt a szenzorházat viszonylag egyszerű volt legyártani, a megtervezett alkatrészekon minimális alámetszés volt, amelyet támaszanyaggal megoldott a szeletelőszoftver, az orientációt pedig úgy állítottam be, hogy a tányér kisebb átmérőjű fele legyen alul, így a 45 fokos oldala is támaszanyag nélkül kinyomtatható.



32. ábra: A legyártott hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő

Az egyetlen alakítandó dolog a furatok mérete volt, mely a zsugorodás miatt egy kicsit kicsi lett. A zsugorodás miatti toleranciák minden alkatrésznél többször is előjöttek, hiszen minden alkatrész más kiterjedésű és ezért máshogyan zsugorodik, de kis kompenzációval (ráhagyással) ez könnyen orvosolható. Ez a szenzorház elsőre is megfelelőre sikerült, az egyik apró javítás a furatok voltak, a másik pedig az ipari csatlakozó tartóeleme, amely túl vékonynak bizonyult és könnyen eltört, ezt csináltam kicsit vastagabbra ezután. A legyártott házat a 32. ábrán láthatjuk.

3.6.2. Csapadékmérő

A csapadékmérő szenzorház első verziójában megpróbáltam elhagyni a csapágyazást, hátha elegendő, ha egy tengelyen a műanyag billenő edény átfordul, azonban nem volt konzisztens, hogy mikor fordult át, sőt volt, hogy jobban megszorult a felületi egyenetlenségek miatt, ezért

elvettem ezt az ötletet és mindkét oldalon megcsapágyaztam a billenő edényt. A csapadékmérő első verziója a 33. ábrán látható.



33. ábra: A legyártott csapadékmérő

A második probléma a billenőedény és az alsó szélvédő „szoknya” toleranciájával volt, egészen egyszerűen beleszorult az edény vége, mert túl hamar kezdett el csökkenni a keresztmetszet a szoknyában. Ez abból adódott, hogy a billenőedény nem feltétlenül kerül pontosan középre a csapágyak között, hiszen abból a célból, hogy ne szoruljanak a csapágyak nem tökéletesen van kiszámolva a tengely hossza és a vállak távolsága. A probléma a szoknya kis kibővítése után meg is oldódott. Egy új gondot jelentett azonban a teszteléskor, hogy az első tölcseren az éles sarkok miatt könnyen megragadt jelentős mennyiségű víz a tölcseren, így például hiába „esett” a teszteléskor már 0,4mm csapadék, még éppen, hogy elkezdett csak lecsorogni egy kevés a billenőedénybe. Ezt azzal oldottam meg hogy lekerekítettem a tölcser belső sarkait, illetve kicsit módosítottam a geometrián, hogy meredekebb szögben álljon a vízszinteshez képest, ezzel elősegítve a víz lejutását. Ennek ellenére még mindig jelentős mennyiségű víz kellett, hogy benedvesítse a tölcser, mire elindultak a vízcseppek az edénybe, ez pedig azért volt mert mint minden nyomtatott alkatrészen, itt is a rétegek között apró egyenetlenségek vannak, amelybe könnyen beletapad a víz és nehezen jön ki onnan a felületi feszültsége miatt. Az ideális az lenne, ha más orientációban nyomtatnám az alkatrészt, azonban akkor még nagyon sok más helyre kellene támaszanyag, így a következő legjobb megoldás az a kémiai felületkezelés lett. A kémiai felületkezelés során adott kémiai anyag párájával (gőzével) az alkatrész felületét feloldjuk, így az apró egyenetlenségek eltűnnek rajta. A használt anyag, az ASA esetén a kémiai oldószer az acetone, amellyel papírtörölköt beitatva és egy átlátszó dobozba helyezve, azt lezárva történik a felületkezelés. A legfontosabb itt a kamrában tartás ideje, amely meghatározza a felületkezelés mértékét, ha túl kevés ideig marad a kamrában akkor nem lesz

elégé kisimulva a felület, ha azonban túl sokáig akkor a mélyebb rétegekbe is behatol a pára és az egész alkatrészt eldeformálhatja. A hatás további szabályozására változtatni lehet még az aceton hőmérsékletét és ventilátort tenni a kamrába az egyenletesebb eredmény érdekében. A megfelelő időtartam meghatározására először a már említett, nem lekerekített sarkú alkatrészt használtam, mivel szinte ugyanúgy viselkedik az is mint a lekerekített, azonban, ha véletlenül túl sokáig marad a párában akkor sem keletkezik felesleges selejt. A felületkezelés után sokkal kevesebb vízcsepp képes megmaradni a tölcséren, így csökkenteni sikerült a minimálisan mért csapadék mennyiségét. Az utolsó módosítás, amely még csak tervben van kész pedig egy háló felszerelése a tölcsér tetejére, erre csak azért van szükség, hogy a lehulló levelek miatt ne teljen meg a tölcsér és le tudjon folyni a víz. Fontos volt még, hogy megfelelő orientációban nyomtassam ki a billenőedényt, hogy abba is minél kevesebb víz tapadjon bele.

3.6.3. Talajszenzorok

A talajszenzorok házának legyártásakor szerencsére nem kellett sokat módosítanom a modellen, összesen két apró probléma került elő, az egyik, hogy az egyik szenzor vezetékén található csatlakozó nem fér át az annak készített furaton, így azt 1mm-rel nagyobbra kellett vennem, a másik pedig a doboz alja és teteje közti szoros kapcsolat toleranciája volt. Ez a zsugorodás miatt kicsit túlságosan is szűk illesztés lett, ezért a doboz tetejét két tized milliméterrel mindkét irányban nagyobbra méreteztem, így a következő kinyomtatott tető már megfelelően illeszkedett a dobozra, rá lehetett nyomni kézzel is, de mégsem volt túl laza. A legyártott házak a 34. ábrán láthatók.

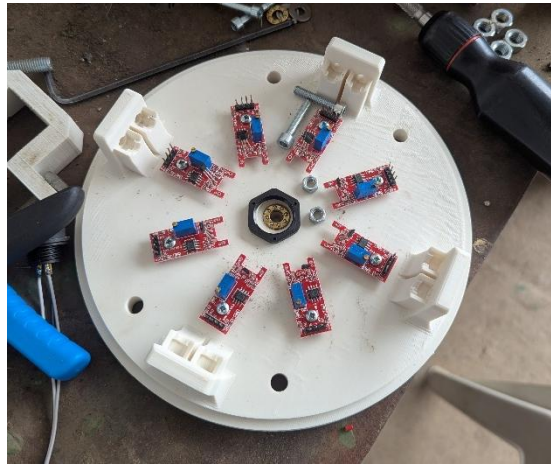


34. ábra: A legyártott talajszondák házai

3.6.4. Szélsebesség és széliránymérő

A szélsebességmérő, kanalas anemométer elkészítésekor sok probléma felmerült, elsőként a kanalakat és az azokat összekötő középső elemet nyomtattam ki, azonban a kettőt összekötő

csavarok furatai nem értek megfelelően össze, ezért változtatnom kellett kis mértékben a furatok elhelyezkedésén.



35. ábra: A széliránymérő első verziója legyártva

Ezután a kanalas részt össze is tudtam rakni már, de a következő probléma az volt, hogy szintén az anyag zsugorodása miatt, illetve a tengely kis túlmérete miatt nem tudtam rácsúsztatni ezt az összeszerelt részt a tengely végére, annak ellenére, hogy két tized mm-rel nagyobbak kellett volna lennie, mint a tengely. Ebben az esetben megoldottam egyszerűen annyival, hogy megfelelő méretű fúróval kifúrtam, de persze a modellen is nagyobbra vettem a két tized ráhagyást négyre. A következő probléma a tengely csapágát tartó alkatrész volt, itt elsőre kicsit túlságosan is laza lett az illesztés és könnyedén megforgott a csapágykülső is a helyén, ezért itt egy tizeddel kisebbre kellett vennem a méretet. Összességében sok helyen adódott tehát a zsugorodás miatt probléma, ezt egy bizonyos szintig képes kompenzálni a szeletelőprogram, azonban a geometriák változatossága miatt ez nem mindig elegendő. A gyártás során talán a legnagyobb probléma és a legtöbb selejtért felelős a szélsébség és széliránymérők alaplapjainak nyomtatása volt, ugyanis az eredeti terv szerint ez szinte az egész nyomtatóteret kihasználta, egy 200mm átmérőjű, alacsony henger. Az alaplap első verziója a 35. ábrán látható. Elsőként a probléma abból adódott, hogy nem tudtam kinyomtatni, mert minden egyes alkalommal felvált a munkalapról, annak ellenére, hogy a nyomtató teljesen zárt terű és a munkalap hőmérséklete a maximális 100°C-ra volt állítva. Ezt sikerült egy úgynevezett Z-offset kalibrációval és egy kis előmelegítéssel megoldani, megvártam, hogy a nyomtató a munkalaptól átvegye a hőt és körülbelül 45 fokra legyen. A letapadási problémák ezzel megszűntek, azonban más jelent meg helyette, mostmár nem a lapról vált fel az alkatrész, hanem az egész fém munkalapot felváltotta a mágneses fűtött asztalról. Ezt a viselkedést a 36. ábrán lehet megfigyelni.



36. ábra: A fűtött asztalról felvált munkalap

Ezután szereztem be egy nyomtatótér fűtő egységet, remélve, hogy a nagyobb fenntartott hőmérséklet javít a problémán, ezek mellett pedig folyamatosan változtattam a beállításokat, mind a nyomtatandó alkatrész falvastagságában, mind a kitöltés mértékében. Sajnos minden próbálkozásom ellenére, bár sikerült végigfutnia a nyomtatásnak, a torzulás miatt a tengely sem forgott megfelelően szabadon és a tetőt és alapot rögzítő csavarok helye sem volt megfelelő. A hibás alkatrész a 37. ábrán látható.



37. ábra: A hibás alkatrész felülete

Az így elkészült első verziók közül a szélirányt mérő egység viszonylag jól végezte a feladatát, de a szélesség mérő rendszeresen megszorult, és nem forgott megfelelően, érezhető légmozgás hatására sem. Ráadásként egy olyan probléma is előkerült a tesztelés során, hogy a tervezett alkatrészek nem biztosítottak elég védelmet a csapágyaknak ezért azok már ez alatt a rövid idő alatt is elkezdtek megszorulni. Az utolsó javítandó probléma pedig a 8 darab szenzor és azok bekötése volt. Nagyon megbonyolította mind a kábelek elvezetését, mind a csatlakozóra való forrasztást, hiszen így a széliránymérőhöz 10 eres vezetékkel kell vezetni és 10 lábcsatlakozókat kell beépíteni. A megoldás a szélesség és széliránymérők teljes

újratervezése volt, ekkor döntöttem el, hogy egyszerűbb lesz hall érzékelő helyett egy optikai forgójeladót használni, hiszen azzal a kábelek száma is lecsökken és egyszerűbb is lesz kompaktabbra építeni az érzékelőházat. Az új alap a 200mm helyett 80mm átmérőjű lett, ez a nyomtatás során minden probléma és torzulás nélkül hibátlanul elkészült. További fejlesztés volt, hogy hagyományos anyagok helyett műanyagba illeszthető bronz menetes perselyeket használtam fel, így egyszerűsítve a szerelést. A szélességmérő esetén megmaradt az egy darab hall érzékelős megoldás, azonban megváltoztattam az orientációját, illetve kicsit átterveztem a mágnes tartó alkatrészt, így lehetőség van akár arra is, hogy fordulatanként két pulzust is adjon a készülék, erre azonban eddig nem volt még szükség. Az új mérőegységek a csapágyak védelmében is jelenetős előrelépést jelentenek, a forgórész közepének újratervezésével és egy kis nyomtatott tárcsa segítségével a mérőeszközre eső csapadék semmiképp nem tud bejutni a csapágyhoz, így annak megszorulása is csak az élettartama lejártával következik be. A szélirány mutató nyíl első és hátsó része közt kis tömegkülönbség volt az első nyomtatás során, így változtattam a beállításokat, hogy közelebb legyenek egymáshoz, nehogy véletlenül a súlybeli különbség befolyásolja a mérést. A nyomtathatósági előrelépéseken kívül a kialakítások optimalizálásával és zsugorításával körülbelül 30% filament megtakarítást is sikerült elérni. A 38. ábrán láthatók az új sebességmérő alkatrészei.



38. ábra: Az új szélességmérő alkatrészek legyártva

3.6.5. Egyéb alkatrészek

A tesztprogram írásakor egy komoly hibába futottam, amelyet a programokról szóló fejezetben fogok kifejteni, de emiatt nem használhattam a már kiválasztott Lilygo kombinált modult, ezt lecseréltem egy Arduino Mega development boardra, kiegészítve egy SIM900 alapú GSM modullal. A méretbeli különbségek miatt azonban az új alkatrészekhez új házat is kellett tervezek, ennek összeállítása a 39. ábrán látható.



39. ábra: A development board és GSM modul új háza

Az új alkatrészek közül kettőnek is, a SIM900 modulnak és az optikai forgójeladónak nem elegendő az 5 voltos feszültség a stabil működéshez, ezért a DC-DC tápegység dobozt is módosítanom kellett. Ez csak egy egyszerű elválasztó fal beépítését jelentette, így a két konverter semmilyen körülmények között nem tud összeérni.

Az utolsó módosítandó alkatrész a napelem töltésvezérlő burkolata volt, ez egy általam elkövetett mérési hiba miatt nem lett megfelelő méretű ezért összeszerelés után a fedő egy kicsit feszült, ezért kicsit hosszabbra hagytam ezután a burkolat mindkét felét, kinyomtattam és lecseréltem az állomáson a régire erre a módosított verzióra.

3.7. Az érzékelő elemek tesztelése, kalibrálása

3.7.1. Hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő

A hőmérsékletérzékelő BME280-as elem gyárilag kalibrálva van, ezért ezzel a szenzorral nem sokat kellett foglalkozni, a dokumentáció alapján egyszerűen meg lehetett írni hozzá a kódot, amellyel a development board a három mért jellemzőt kiolvassa és eltárolja. Az elemet még a beépítés előtt le is teszteltem, ez még a tél folyamán történt, megmértem vele a házban a paramétereket és a kinti paramétereket és a hőmérsékletben és páratartalomban rögtön látni is lehetett a változást, a nyomásban azonban ahogyan az várható is volt nem történt jelentős

változás, ezért a nyomásértéket a telefonom nyomásérzékelőjének adatával hasonlítottam össze, illetve az esti mérés után reggel is elvégeztem egy mérést, így már látni lehetett, hogy megfelelően működik.

3.7.2. Szélirány érzékelő

A szélirány érzékelésre használt optikai forgójeladó 360 pulzust ad egy átfordulásra, vagyis 1 pulzus 1° szélirányváltozásnak felel meg. A kód ebben az esetben is egyszerű, hiszen csak a már elérhető forgójeladó könyvtárat ([http9](http://9)) kell felhasználni, amelynek, ha megadom a forgójeladóról beérkező két vezeték bekötési lábát akkor a könyvtárat felhasználva egyből egy fok értékhez jutok. A kalibráció ebben az esetben csak annyit tesz, hogy meg kell mondani, hogy pontosan merre is áll a szenzor, így ezután már beazonosítható lesz, hogy például 142 fokos szélirány milyen égtájnak felel meg.

3.7.3. Szélsébség mérő

A szélsébség esetén 5 percenkénti frissítés esetén az 5 perc alatti átfordulások számát használva. A szélsébség mérést ellenőrizni sajnos nem tudtam hiszen kanalas anemométerrel nem rendelkezem, a nem messze található Kite PGR állomáshoz hasonló adatokat kaptam a nap folyamán, illetve úgy gondolom, hogy a pár km/h-s szélsébség eltérés még nem okoz hibás döntés a mezőgazdaságban, hiszen a permetezésre alkalmas szélsébség egy átmeneti tartomány, nem egy éles határ. A prototípus további tesztelése során be fogok szerezni egy mérőeszközt, amivel validálni tudom a mért eredményeimet. A szélsébség mérő teszteléséhez és kalibrálásához a forgási sugár lemérése a 36. ábrán látható.



40. ábra: A szélsébségmérő forgási sugarának mérése

3.7.4. Csapadékmérő

A tervezés során az átfordulásonkénti csapadékmennyiség $0,17125\text{mm}$ -re jött ki, amely bőven elegendő felbontás. Az eszköz kalibrációjához esőt szimuláltam, a mérőeszköz alá gyűjtőedényt helyeztem és 100 átfordulásig engedtem a vizet a tölcsérbe. A 100 átfordulás után a gyűjtőedényből megmértem a víz tömegét és elosztottam 100-zal, vagyis megkaptam az átfordulásonkénti víz tömegét. Ezt ezután már egyszerű mértékegység átváltással és sűrűség segítségével térfogatszámítással át tudtam számolni mm-ben mért csapadékmennyiséggé. A kalibrációs mérések utáni ellenőrző mérés során a hiba ± 1 átfordulás volt, illetve kisebb mennyiségű valós csapadék esetén is mértem egy átfordulásnyi hibával, azonban a kihelyezés óta nem esett sajnós nagyobb mennyiségű csapadék, így az azzal való ellenőrzés még várta magára. A csapadékmérő első verziójának tesztelése a 41. ábrán látható.



41. ábra: A csapadékmérő átfordulásának tesztelése

3.7.5. Talajszenzorok

A rezisztív talajnedvességmérőt az elérhetősége miatt választottam, azonban a használatához először kalibrációt kellett végezzek, ezt 5 talajmintával csináltam, először begyűjtöttem a mintákat, megmértem a szenzorral, kaptam egy állandósult analóg értéket, ezeket feljegyeztem

mind az 5 minta esetében, majd megmértem egy mérleg segítségével a minták tömegét nedvesen. A mérési folyamatot a 38. ábrán láthatjuk.



42. ábra: A talajnedvességmérő kalibrációjához használt elrendezés

A kalibráció következő lépése a talajminták 24 órás szárítása volt, amelyet egyszerűen a sütő 110 °C-on való tartásával végeztem, majd a szárítás után ismét megmértem a talajminták tömegét. A szárítást a 43. ábrán láthatjuk. A kapott nedvesséérték azonban m/m% azaz tömegszázalék volt, a szenzor azonban térfogati alapon méri a nedvességet, és a növények számára is a térfogati nedvesség az, amely lényegesebb, így át kellett számolnom térfogatszázaléokra (V/V%). Az átszámoláshoz szükségem volt a talaj száraz sűrűségére, amelyet úgy mértem meg, hogy adott, 500 cm³-es edényt töltöttem fel a mintával (10x10x5 cm, nyomtatott edény) és lemértem a tömegét, illetve kivontam az edény tömegét a mért értékből. Az összes minta sűrűségét lemérve és átlagolva 1,15 g/cm³ érték adódott sűrűségre. A V/V%-ra való átszámolás után az adatokat táblázatba vittem és diagramot készítettem belőlük, majd regressziós függvényt illesztettem rájuk, mely során a legjobban illeszkedő a logaritmikus függvény volt. Az adódott függvény egyenlete:



43. ábra: A talajminták szárítása

$$TN(\%) = -15,64 \cdot \ln(x) + 111,55$$

ahol,

TN (%): Talajnedvesség V/V%-ban, a keresett érték

x: A szenzor által mért analóg érték

A kalibrált szenzor tesztelése a 44. ábrán látható.



44. ábra: A kalibrált szenzor tesztelése

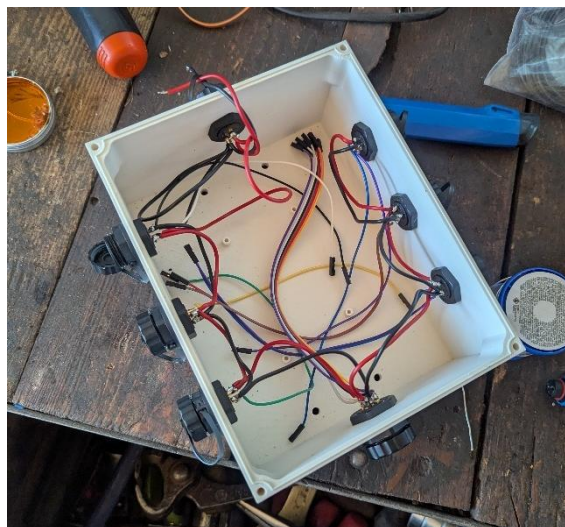
3.8. A kész és tesztelt alkatrészek összeépítése

A nyomtatott elemek tesztelése után az érzékelőházakat felszereltem a vázra, ügyelve, hogy a szélesség és széliránymérők megfelelő szabad térrel rendelkezzenek, ezzel elkerülve a mérési eredmények torzítását. A beépítés előtt a dc-dc konverterek feszültség szintjét a megfelelő értékekre (5V és 8,5V) állítottam, majd beépítettem őket a nekik készített házba és bekötöttem a hozzájuk tartozó kábeleket. Az alkatrészek előkészítése a 45. ábrán látható.



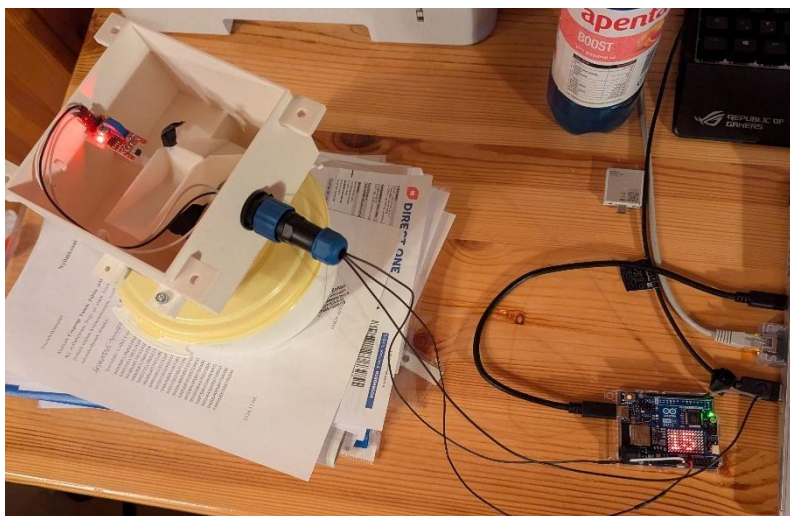
45. ábra: Érzékelők előkészítése az összeszereléshez

A felszerelés után lemértem a szükséges kábelek hosszát, majd méretre vágtam az 5 és 3 eres kábeleket, illetve a végükre forrasztottam az ipari csatlakozókat, amelyeknek a párja a szenzorházakon van. A kábelek elkészítése után bekötöttem őket és multiméter segítségével leellenőriztem a szenzorházakban, hogy minden szükséges jel eljut-e a vezérlőtől a szenzorig és vissza, illetve a tápellátás megfelelő-e. Az összeszerelés során a legfontosabb a csapadékmérő vízszintes felszerelése volt, hiszen annak mérését a dőlésszöge befolyásolja. Az összeszerelés megkönnyítésére készíteni fogok egy eszközt, amelyet a vázra lehet rögzíteni és bele lehet tenni vízmértéket, ezzel folyamatosan ellenőrizni lehet az állomás telepítésekor a dőlést. A központi vezérlő kábelezése a 46. ábrán látható.



46. ábra: A központi vezérlődoboz bekötése

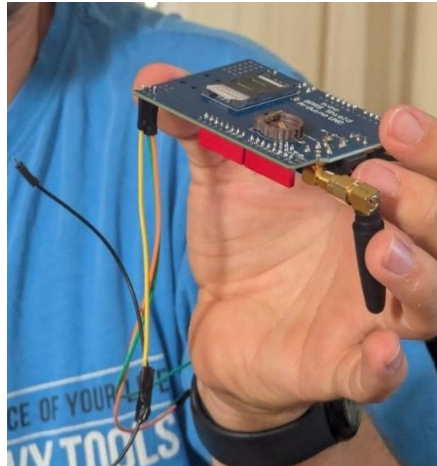
3.9. Tesztprogram írás, egybefésülés, hibák megszüntetése



47. ábra: A pulzusszámláló kód tesztelése

Az elterjedt szenzorokhoz, mint a BME280 és az optikai forgójeladó tudtam használni ezekhez való könyvtárakat, például a szélirányhoz az „Encoder” könyvtárat, amelynek csak meg kell adni a forgójeladó bekötési pinjeit és a kimeneti változóban már fokban írja az aktuális pozíciót. A Hall szenzoros pulzusszámláláshoz nem használtam fel könyvtárat mivel ez egy viszonylag egyszerűen megírható kód, a lényeg itt az volt, hogy a mágnes elhaladását egyetlen pulzusnak érzékelje, ne számoljon közben többet is, ugyanakkor viszonylag rövid pulzusokat is érzékelni tudjon. A kód tesztelése a 47. ábrán látható. A talajhőmérsékletet mérő szenzorhoz szintén rendelkezésre állt könyvtár és példakód, így abból könnyedén lehetett dolgozni, a nedvességmérőhöz azonban nem volt semmi, ehhez bevittem az előbb már ismertetett átviteli függvényt és így már, a mért analóg jelből közvetlenül talajnedvességet tudok számolni. A szenzorokhoz írt adatgyűjtő kódok külön-külön már a teszteléskor is működtek, azonban ezek összefésülésekor fontos volt ellenőrizni, hogy a fizikai bekötést a szoftverben írt bemeneti pinnek is tükrözzék, tehát minden érzékelőről beérkező adat oda kerüljön, ahova annak kell. A bemenetek ellenőrzése után a teljes kód lefutott, ezután már csak a GSM kóddal kellett összerakni. A GSM kód alapvetően a TinyGSM könyvtárra épül, az Arduino által mért értékeket képes elküldeni a megadott szerverre. A megadott hálózati adatok (APN) segítségével felcsatlakozik a mobilhálózatra, ahol egy http POST request segítségével elküldi az adatokat a fogadó szervernek. A GSM kód működésre bírása már a teszteléshez is nagyon nehézkes volt, mint kiderült a vásárolt GSM modul gyári dokumentációjában nem jól van feltüntetve, hol kell az UART csatlakozást létesíteni, ezért sokáig egyáltalán el sem értem a SIM900-as modemem, a rossz bekötés miatt. A bekötés diagnosztizálása és kijavítása után már a modem is úgy viselkedett ahogyan kell, választ adott a küldött AT parancsokra, és sikerült

vele a mobilhálózatra is csatlakozni. A következő probléma a választott Yettel szolgáltatással volt, eldöntöttem, hogy a Yettel Track nevű, 32kbit-re limitált adatsomag is elegendő lesz, de ezzel a csomaggal a modem nem tudott csatlakozni, hibát dobott ki, annak ellenére, hogy telefonba helyezve a kártyát, minden probléma nélkül fel tudott kapcsolódni. Egy másik Telekomos mobilinternet kártyával végül sikerült az első működő adatkapcsolatot létrehozni, és ezután a megfelelő konfigurálásokat elvégezve sikerült a mobilhálózaton keresztül próba adatsort küldeni a szerverre. A SIM kártya cseréje a 48. ábrán látható.



48. ábra: SIM kártya csere a GSM modulon

A GSM kód működésre bírása után a szenzorok adatgyűjtő kódja és a GSM kód összeállítása bizonyult a legnehezebbnek, hiszen itt megfelelő interrupt pinekre kell csatlakoztatni a szenzorokat, és a programnak képesnek kell lennie, hogy az idő alatt is mérje a jellemzőket, amíg a GSM kód elküldi az adatokat. A szenzorok programkódját sikerült teljes egészében működőképesre elkészíteni azonban az említett GSM kód végleges verziója nem készült el idáig. Egy felhasznált kódrészlet a 49. ábrán látható.

```

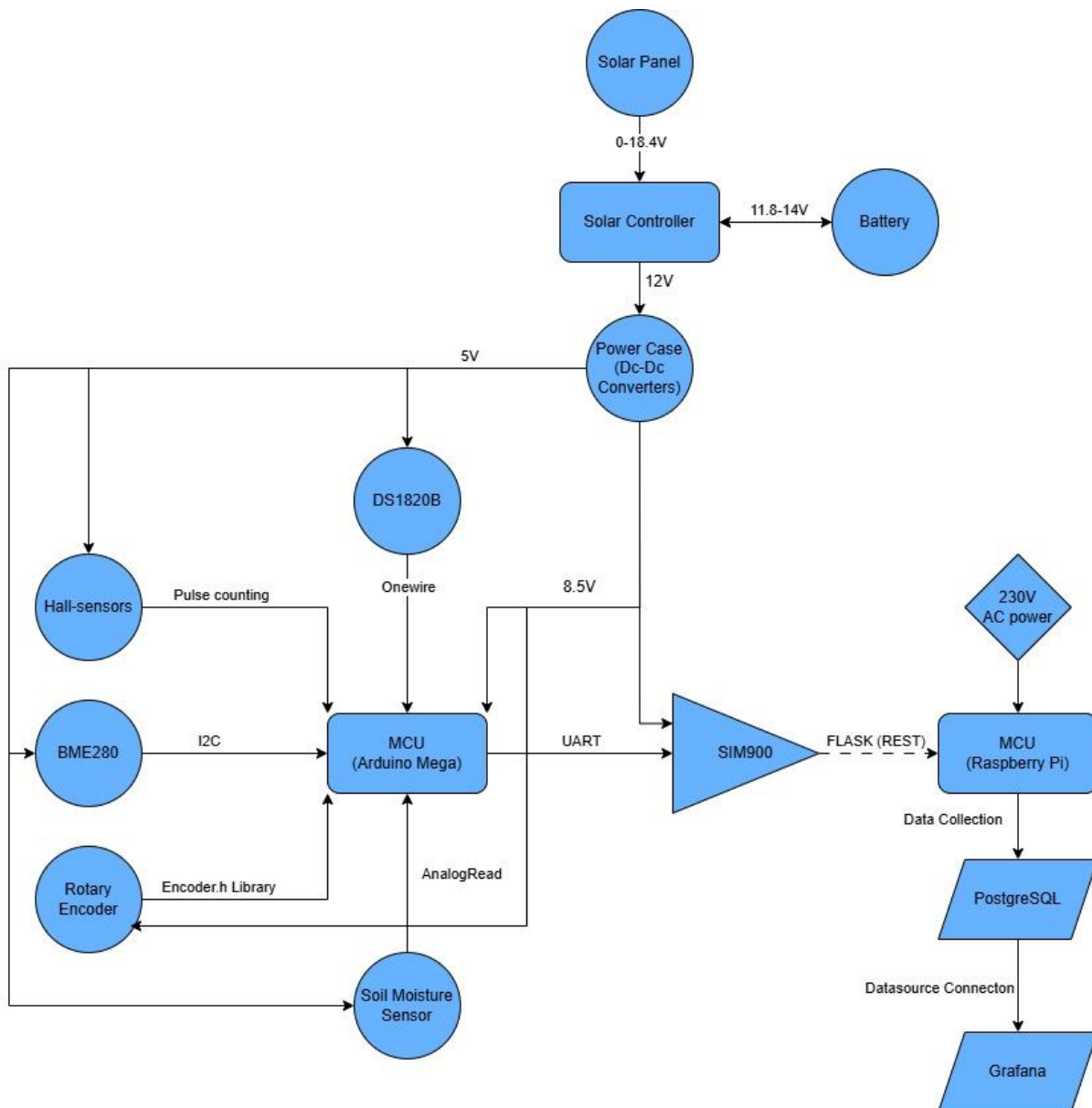
1 #include <ArduinoGraphics.h>
2 #include "Arduino_LED_Matrix.h"
3
4 ArduinoLEDMatrix matrix;
5 int hallSensorPin = 2;
6
7 int state = LOW;
8 int lastState = LOW;
9 int counter = 0;
10
11 unsigned long lastDebounceTime = 0;
12 unsigned long debounceDelay = 20; // Adjust if needed, 50ms is typical for debouncing
13
14 void setup() {
15   Serial.begin(115200);
16   matrix.begin();
17   matrix.loadFrame(LED_MATRIX_EMOJI_HAPPY);
18   delay(1500);
19   pinMode(hallSensorPin, INPUT);
20 }
21
22 void loop() {
23   int reading = digitalRead(hallSensorPin);
24
25   if (reading != lastState) {
26     lastDebounceTime = millis();
27   }
28
29   if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
30     if (reading != state) {
31       state = reading;
32       if (state == HIGH) {
33         counter++;
34       }
35     }
36   }
37
38   lastState = reading;
39
40   matrix.textFont(font_5x7);
41   matrix.beginText(0, 1, 0x000000);
42   matrix.println(counter);
43 }

```

49. ábra: Az egyik alkalmazott kód részlete

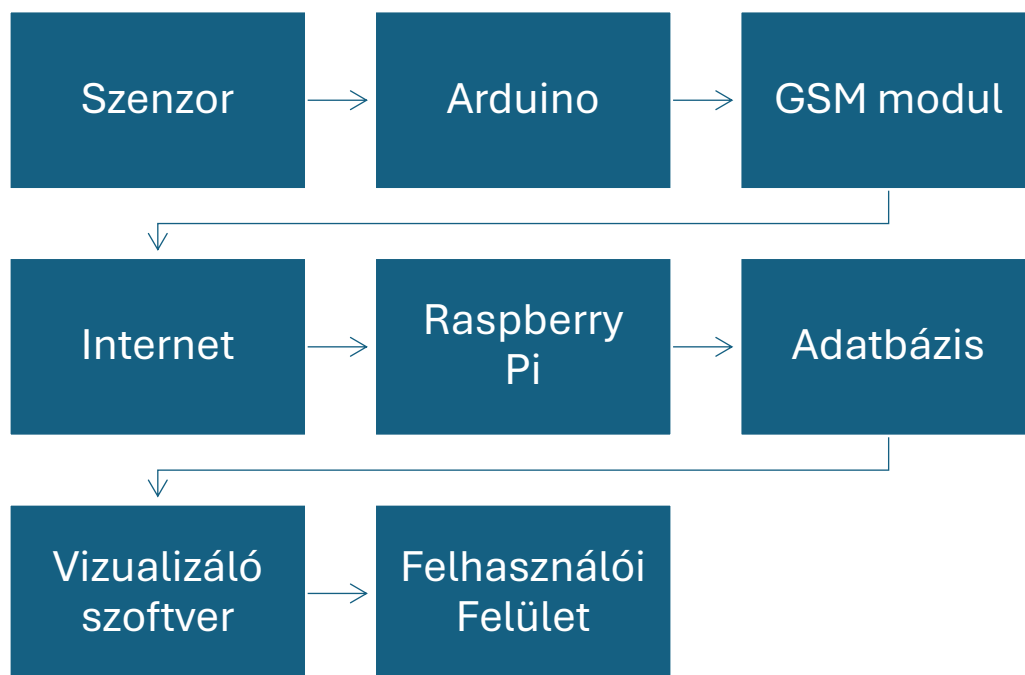
A program írásában Acsai Gergely, ELTE programtervező informatikus MSc hallgató volt segítségemre, külön köszönet neki a befektetett időért és energiáért.

3.10. Az állomás blokkdiagramja



50. ábra: Az állomás blokkdiagramja

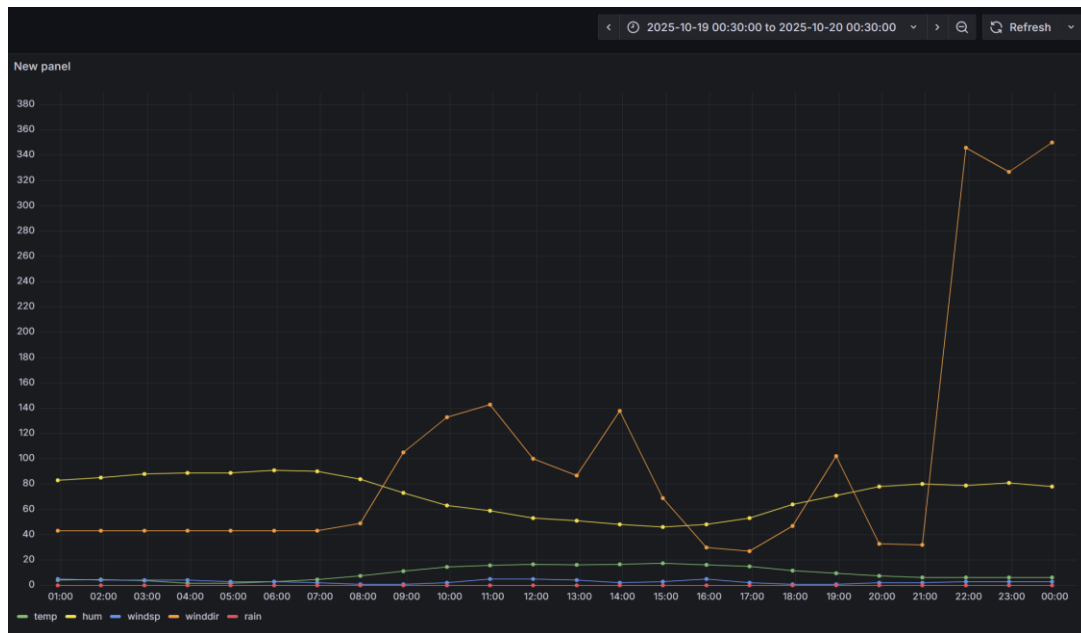
3.11. Az adatok útja



51. ábra: Az adatok útja

3.12. A teljes állomás tesztelése

Sajnos az előbb említett program hibás működése miatt a távolról való adattovábbítás egyelőre még nem működik, azonban egy másik kód írásával a szenzorok adatait óránként rögzítettem az Arduino EEPROM memóriájába, majd egy nap mérés után kiolvastam azokat, egy táblázatba gyűjtöttem és manuálisan felküldtem az adatbázisba, ugyanazzal a módszerrel, mint ahogyan a GSM-en keresztül történe. A vizualizáló szoftver segítségével diagramot is tudtam készíteni a különböző jellemzőkből, ezt a 52. ábrán láthatjuk.



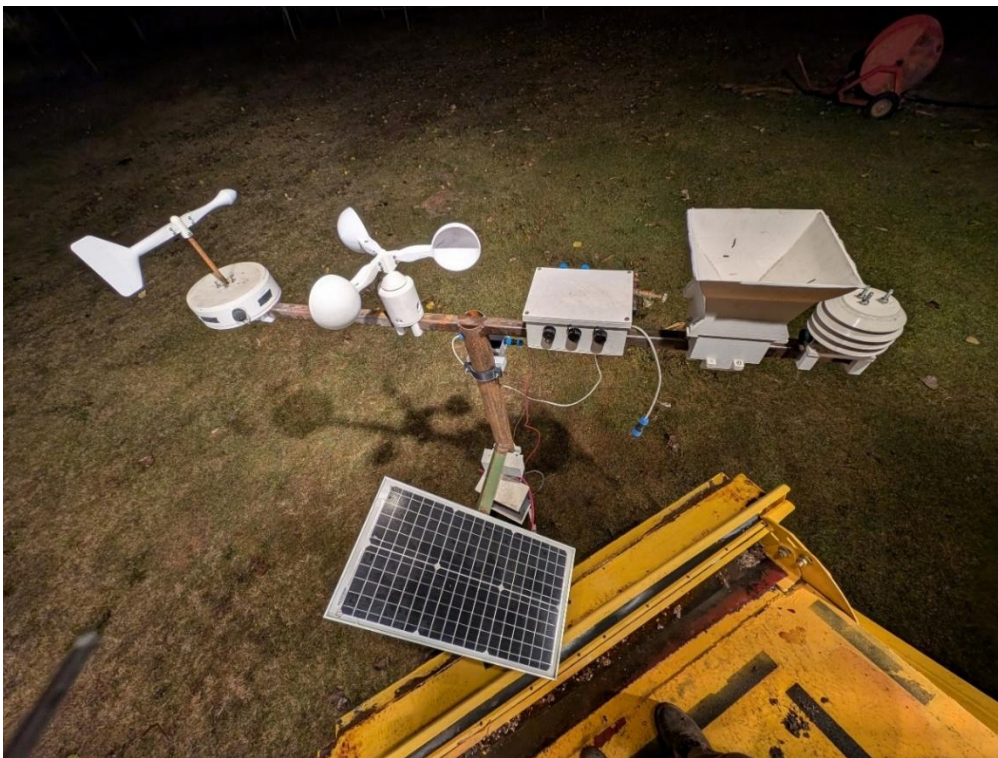
52. ábra: A lokális adatokból készített diagram

A beérkező adatok nagyon sokféle módon kijelezhetőek a vizualizációs szoftver segítségével, szabad időválasztással tekinthető meg a mindenkori adathalmaz és havi vagy akár évi átlagokat is könnyedén lehet készíteni vele.

A teljes állomás egy régebbi állapotában a 53. ábrán látható, a jelenlegi állapota pedig a 54. ábrán tekinthető meg.



53. ábra: A teljes állomás régebbi alkatrészekkel



54. ábra: A teljes állomás jelenlegi állapotában (2025. 10. 23.)

3.13. Következtetések és javaslatok

Az állomás teljes működéséhez ki kell javítani a hibás programkódot, majd miután működik az adattovábbítás további ellenőrzéseket kell végezni, hogy minden szenzoradat megfelel a valóságnak.

Az állomás 3d modelljeit és a hozzá írt kódot, illetve a szükséges alkatrészek listáját (BOM) mind elérhetővé fogom tenni online, hiszen az egész tervezés célja egy olyan állomás létrehozása volt, amelyet bárki el tud készíteni, ezért teljesen nyílt forráskódú az egész. Ha valamely gazdálkodó olyan helyzetben van, hogy szeretne adatokat gyűjteni, de nem tud nagy összeget szálni erre, akkor lehetőség nyílik ez által egy komplett rendszer felépítésére, kisebb ráfordítási költséggel és teljes rálátással az egész folyamatra.

Az állomás teljes tervezett funkcionalitásának működése után sem szeretném abbahagyni a fejlesztést, célom, hogy egy mobilapplikációt is fejlesszek, amelyen az adatszervert megadva bárhonnán egyszerűen követhetők a mért mennyiségek. További cél, hogy a beérkező adatok sokaságán valamilyen adatelemző algoritmust futtassak, ha lehetséges egy prediktív modellt is létrehozzak, amely a sokéves adatokból képes becsült előrejelzéseket adni, ezzel még inkább növelve az állomások hozzáadott értékét a gazdasághoz.

4. Gazdasági elemzés

Az állomás elkészítésének gazdasági elemzését a saját szituációmra, vagyis egy teljes mérési rendszer elkészítésére 6 állomással. Az összehasonlítást a leginkább azonos állomással, a Kestrelmet AG6000 felhasználásával és a rendelhető Kite PGR állomás teljeskörű állításával végeztem el. A saját állomás költségeit az 1. táblázatban láthatjuk.

1. táblázat: A saját állomás költségei

Megnevezés	ft/db	db	Összesen [Ft]
Csavarok	50	100	5000
3 erű kábel	450	5	2250
5 erű kábel	830	5	4150
Egyéb szerelési anyagok (pl vas)	1800	10	18000
Mega2560	9000	1	9000
Sim900	6000	1	6000
Dc-Dc konverter	1000	4	4000
BME280	1500	1	1500
Hall-szenzor	400	4	1600
Forgójeladó	7500	1	7500
Napelem	11000	1	11000
Akkumulátor	10000	1	10000
Napelem vezérlő	7500	1	7500
DS1820B	3000	3	9000
Talajnedvesség szenzor	6000	3	18000
3 lábás ipari SD16 csatlakozó	2500	10	25000
5 lábás ipari SD16 csatlakozó	2500	10	25000
Formfutura rApollo ASA	14190	2.4	34056
GSM előfizetés 1 évre			
		Összesen	198556
	ft/db	db	Összesen
Fogadó oldal			
Rpi	22000	1	22000
Rpi tápegység	5000	1	5000
		Összesen	27000
Munkaóra	3000	30	90000
Teljes költség / állomás			288556

A táblázatban a GSM előfizetést üresen hagytam, hiszen ez változó attól függően hol milyen csomagok elérhetők, esetemben a Telekom Domino Maraton feltöltőkártyájával éves szinten 3000 forint a költség állomásonként.

Az állomások közötti összehasonlítást pedig a 2. táblázatban láthatjuk.

2. táblázat: A megoldások közötti összehasonlítás

Megnevezés	ft/db	db	Összesen[Ft]
KestrelMet AG 6000	724000	6	4344000
Munkaóra 6 állomásra	3000	30	90000
			4434000
Saját Állomás	198556	6	1191336
Fogadó oldal	27000	1	27000
Munkaóra 6 állomásra	3000	180	540000
Creality K1			200000
			1958336
Megnevezés	ft/db	db	Összesen
Kite PGR állomás állíttatás	1400000	6	8400000
Előfizetés 1 évre	100000	6	600000
			9000000

Mint ahogy a táblázatból is látható, a Kestrelmet állomáshoz képest is jelentősen alacsonyabb költségen lehet elkészíteni a rendszert, a Kite rendszeréhez képest pedig még nagyobb a különbség, azonban meg kell jegyezni, hogy a Kite rendszere esetén az időbefektetés közel 0, illetve a később felmerülő problémák és költségek is őket terhelik.

5. Összefoglalás

A meteorológiai adatok gyűjtése mindig is fontos volt, az egyre szélsőségesebb időjárási viszonyok miatt pedig a lokális adatok gyűjtésének jelentősége egyre nagyobb. A mezőgazdaság számára a kritikus időszakokban való döntésekhez minden elérhető segítségnek fontos szerepe van, így az időjárási adatoknak is. A segítségükkel növelhető a hatékonyság és könnyedén számon lehet tartani a területi viszonyokat, sokéves adatokkal akár előrejelzéseket is lehet létrehozni a várható körülményekre.

Diplomamunkám célja egy olyan adatgyűjtő állomás létrehozása volt, amely költséghatékony, könnyen elérhető azonban ezek elérése érdekében nem áldozza fel a pontos adatszolgáltatást és az adatok kényelmes, központi elérhetőségét, illetve teljesen személyre szabható. A munkám során felmértem melyek a legfontosabb mérendő jellemzők, meghatároztam milyen érzékelők a legalkalmasabbak a meghatározott jellemzők mérésére, illetve eldöntöttem, hogy a költséghatékony és elérhető előállítás érdekében additív gyártástechnológiával fogom elkészíteni az alkatrészek lehető legnagyobb hányadát. A rendelkezésre álló additív gyártáshoz használt anyagok közül kiválasztottam azt, amely a legjobban képes elviselni a hosszantartó kültéri viszonyokat. A kiválasztott érzékelők működéséhez szükséges alkatrészek számítógépes modelljét elkészítettem, majd legyártottam és átfogó tesztelésnek vettem alá őket. A felmerülő problémákat kijavítottam és a végleges elemeket elkészítve megépítettem az állomást. A különböző szenzorelemek és a központi egység összekötésére elkészítettem az időjárásálló vezetékeket. Az adatok gyűjtéséhez használatos programkódokat elkészítettem és teszteltem, illetve elkészítettem az adatok fogadására alkalmas fogadó oldali környezetet is. A lokálisan gyűjtött adatokból grafikont készítettem, a mért eredményeket pedig összevettem a közelben található más meteorológiai állomás adataival, ellenőrizve, hogy a mért jellemzők megfelelnek a valóságnak.

Az általam kidolgozott tervek, a felhasznált anyagok listája és a használt programok szabadon elérhetőek maradnak, az összeszereléshez és elkészítéshez dokumentációt készítek, amely alapján bárki képes elkészíteni a mérőrendszert. Az végleges befejezéshez még dolgoznom kell az állomáson, illetve a javasolt funkciókat is szeretném elkészíteni, hogy a leírtaknál is egyszerűbb és problémamentesebb adatgyűjtési rendszert hozzam létre.

6. Summary

The collection of meteorological data has always been important, and due to increasingly extreme weather conditions, the significance of gathering local data is growing. For agriculture, every available aid plays a crucial role in decision-making during critical periods, including weather data. The usage of this data can increase efficiency, allowing easy monitoring of local conditions, and with data from multiple previous years, even predictions can be made for expected weather.

The goal of my thesis was to create a data collection station that is cost-effective and easily accessible, but without sacrificing accurate data provision, convenient central access to the data, or full customizability. During my work, I assessed the most important characteristics to measure, determined which sensors are best suited for measuring these specified characteristics, and decided that for cost-effective and accessible production, I would manufacture the largest possible portion of the components using additive manufacturing technology. From the available materials for additive manufacturing, I selected the one best able to withstand prolonged outdoor conditions and UV exposure. I created 3D models of the components required, then manufactured them and subjected them to comprehensive testing. I fixed the problems that arose and, after producing the final parts, I built the station. I also created weatherproof cables to connect the various sensor elements to the MCU.

I developed and tested the program codes used for data collection and also created a server-side environment suitable for receiving the data. From the locally collected data, I created graphs and compared the measured results with data from another meteorological station nearby, verifying that the measured weather data corresponds to reality.

The plans I developed, the list of materials used, and the programs used will remain freely available. I am preparing documentation for the assembly and construction, based on which anyone will be able to build the weather station. To reach final completion, I still need to work on the code, and I would also like to implement the suggested features to create a data collection system that is even simpler and more trouble-free than described in its current state.

7. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: _____ Csepregi Tamás Zoltán _____
A Hallgató Neptun kódja: _____ HMJAVI _____
A dolgozat címe: Meteorológiai Adatgyűjtő Rendszer Tervezése és Építése
A megjelenés éve: _____ 2025 _____
A konzulens intézetének neve: _____ Műszaki intézet _____
A konzulens tanszékének a neve: _____ Mechatronika Tanszék _____

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlanul állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.


A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: Gödöllő, 2025. év 10. hó 28. nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

___Csepregi Tamás Zoltán___ (név) (hallgató Neptun azonosítója: ___HMJAVI___)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: ___2025___ év ___10___ hó ___28___ nap


belső konzulens

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Csepregi Tamás Zoltán
Neptun-kódja:	HMJAVI
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomamunka Készítés
A munka címe:	Meteorológiai Adatgyűjtő Rendszer Tervezése és Építése

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
A programkódok hibáinak magyarázata	Grok 4	Tesztprogram írás, egybefűtés, hibák megszüntetése
Az irodalomjegyzék betűrendbe rendezése	Gemma3 27b (Ollama)	Irodalomjegyzék
Néhány angol kifejezés pontos magyar fordítása	GPT-OSS 20b (Ollama)	

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....
.....
.....
.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt:⁶⁰⁰⁰⁰⁰....., 2025.10..... hó ...28. nap

.....
.....

Hallgató aláírása

.....
.....

Konzulens/Témavezető aláírása

8. Irodalomjegyzék

- Abdulhameed, O. (2019). Development of a low-cost wireless soil moisture sensor network. *Measurement and Control*, 52(3–4), 314–323. <https://doi.org/10.1177/1687814018822880>
- Ahmadifar, M. (2021). A hybrid method for enhancing sensor data transmission reliability in IoT-based systems. *Archive of Applied Mechanics*, 91, 401–417. <https://doi.org/10.1007/s10443-021-09933-8>
- Arup, D. (2021). Additive manufacturing technologies: A comprehensive review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 5(3), 69. <https://www.mdpi.com/2504-4494/5/3/69>
- Bussay, A. (1994). *Meteorológia*. Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó.
- Childs, P. R. N. (2011). *Practical Temperature Measurement*. London: Butterworth-Heinemann. <https://books.google.com.sb/books?id=VTep8ik2-7gC>
- Ioannou, K. (2021). Information theory and signal processing in remote sensing applications. *Information*, 12(4), 146. <https://www.mdpi.com/2078-2489/12/4/146>
- Jena, S. (2021). Review on pressure sensors: A perspective from mechanical to micro-electro-mechanical systems. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/353749129_Review_on_pressure_sensors_a_perspective_from_mechanical_to_micro-electro-mechanical_systems
- Makra, L. (2002). *Meteorológiai műszertan*. Szeged: JATEPress.
- Martin, B., & Vidler, J. (2016). LoRa for the Internet of Things. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/297731094_LoRa_for_the_Internet_of_Things
- Ömer, C. (2024). Stereolithography (SLA): An innovative additive manufacturing process. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/385620327_StereolithographySLA_An_Innovative_Additive_Manufacturing_Process
- Popovic, R. S. (1989). Hall-effect devices for magnetic sensor applications. *Sensors and Actuators*, 17(1–2), 39–53. [https://doi.org/10.1016/0250-6874\(89\)80063-0](https://doi.org/10.1016/0250-6874(89)80063-0)
- Sanders, G., Thorens, L., & Reisky, M. (2003). *GPRS Networks*.
- Sourav, M. (2019). Data analysis and visualization techniques for IoT sensor networks. *SSRN Electronic Journal*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3393986

Sunpreet, S. (2020). A review of recent advances in additive manufacturing process monitoring. *Progress in Additive Manufacturing*, 5(4), 349–360. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101271>

Tenzin, S. (2017). Sensor network design for agricultural monitoring applications. *IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7886085>

Zazueta, F. S. (1994). *Introduction to sensors for agricultural and environmental monitoring*. North Carolina: P2 InfoHouse. <https://p2infohouse.org/ref/08/07697.pdf>

Hivatkozott weboldalak:

http1 – <https://www.pgr.hu/hu/szolgalatasok/5/agrometeorologia>

http2 – https://formlabs.com/eu/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/?srsltid=AfmBOoru6TeoHz_0zA_Gu0WxGwgCaclZu49pp1lg2N_h0Sv8hP4ug0Kg

http3 – <https://github.com/SoftFever/OrcaSlicer/wiki/Calibration>

http4 – <https://github.com/SoftFever/OrcaSlicer/wiki#material-settings>

http5 – https://help.prusa3d.com/article/petg_2059

http6 – <https://bambulab.com/en-eu/filament/asa>

http7 – <https://www.bcn3d.com/everything-you-need-to-know-about-nylon-filament-for-3d-printing/>

http8 – https://help.prusa3d.com/article/flexible-materials_2057

http8 – https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Encoder.html

9. Ábrajegyzék

1. ábra: A precíziós gazdálkodás és adatgyűjtés.....	5
2. ábra: Régi meteorológiai mérőház	6
3. ábra: Hellmann-féle csapadékmérő.....	7
4. ábra: Wild-féle nyomólapos szélmérő	8
5. ábra: A gyártási technológiák összehasonlítása.....	12
6. ábra: Az additív gyártási folyamatok fajtái.....	16
7. ábra: FFF nyomtatáshoz használt anyagok összehasonlítása.....	20
8. ábra: A Hall-effektus elve.....	22
9. ábra: Az állomás első vázlat.....	27
10. A Kite PGR webes felülete	28
11. ábra: A Davis Instruments Vantage Pro 2 állomás	29
12. ábra: Az Ambient Weather KestrelMet 6000 AG állomás	30
13. ábra: A BME 280-as szenzor	33
14. ábra: Egyszerű Hall-szenzor	34
15. ábra: A felhasznált Hall-érzékelő.....	34
16. ábra: Egyszerű forgójeladó	35
17. ábra: A felhasznált forgójeladó.....	36
18. ábra: Az SHT10 érzékelő.....	37
19. ábra: A SOIL-H-T-EC-RS485 szenzor.....	37
20. ábra: A talajhőmérséklet érzékelő.....	38
21. ábra: A talajnedvesség érzékelő.....	38
22. ábra: A felhasznált Arduino és GSM modul.....	39
23. ábra: A hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő összeállítása.....	41

24. ábra: A csapadékmérő összeállítása.....	42
25. ábra: A talajszondák házának összeállítása.....	43
26. ábra: A szélirány mérő összeállítása.....	44
27. ábra: A szélesség mérő összeállítása.....	45
28. ábra: A generatív tervezéssel készített kanál.....	46
29. ábra: A töltésvezérlő és háza.....	47
30. ábra: A furatok közötti különbségek.....	48
31. ábra: A használt Creality K1 típusú nyomtató.....	48
32. ábra: A legyártott hőmérséklet, páratartalom és légnyomásmérő.....	49
33. ábra: A legyártott csapadékmérő.....	50
34. ábra: A legyártott talajszondák házai.....	51
35. ábra: A széliránymérő első verziója legyártva.....	52
36. ábra: A fűtött asztalról felvált munkalap.....	53
37. ábra: A hibás alkatrész felülete.....	53
38. ábra: Az új szélességmérő alkatrészek legyártva.....	54
39. ábra: A development board és GSM modul új háza.....	55
40. ábra: A szélességmérő forgási sugarának mérése.....	56
41. ábra: A csapadékmérő átfordulásának tesztelése.....	57
42. ábra: A talajnedvességmérő kalibrációjához használt elrendezés.....	58
43. ábra: A talajminták szárítása.....	58
44. ábra: A kalibrált szenzor tesztelése.....	59
45. ábra: Érzékelők előkészítése az összeszereléshez.....	60
46. ábra: A központi vezérlődoboz bekötése.....	60
47. ábra: A pulzusszámláló kód tesztelése.....	61
48. ábra: SIM kártya csere a GSM modulon.....	62
49. ábra: Az egyik alkalmazott kód részlete.....	63

50. ábra: Az állomás blokkdiagramja	64
51. ábra: Az adatok útja	65
52. ábra: A lokális adatokból készített diagram.....	66
53. ábra: A teljes állomás régebbi alkatrészekkel.....	67
54. ábra: A teljes állomás jelenlegi állapotában (2025. 10. 23.).....	67

10. Mellékletek

A nyomtatott modellek megnevezései, filamentszükséglete és nyomtatási beállításai

V1 Modellek

Name	Weight [g]	Notes
TEMP_HUMID_PRES		
temp_humid_pres_case_bottom	25	7% infill, AUTO Tree support
temp_humid_pres_case_mid X3	111	4 walls, 7% infill, AUTO Tree support
temp_humid_pres_case_top	37	4 walls, 7% infill, AUTO Tree support
universal_clamp_3b X2	25	
	198	
SOIL SENSOR		
soil_case_bottom X3	183	2 walls, 8% infill, 3 top shell layers
universal_case_top X3	57	8% infill
universal_post_clamp X3	28	
	268	

V2 Modellek

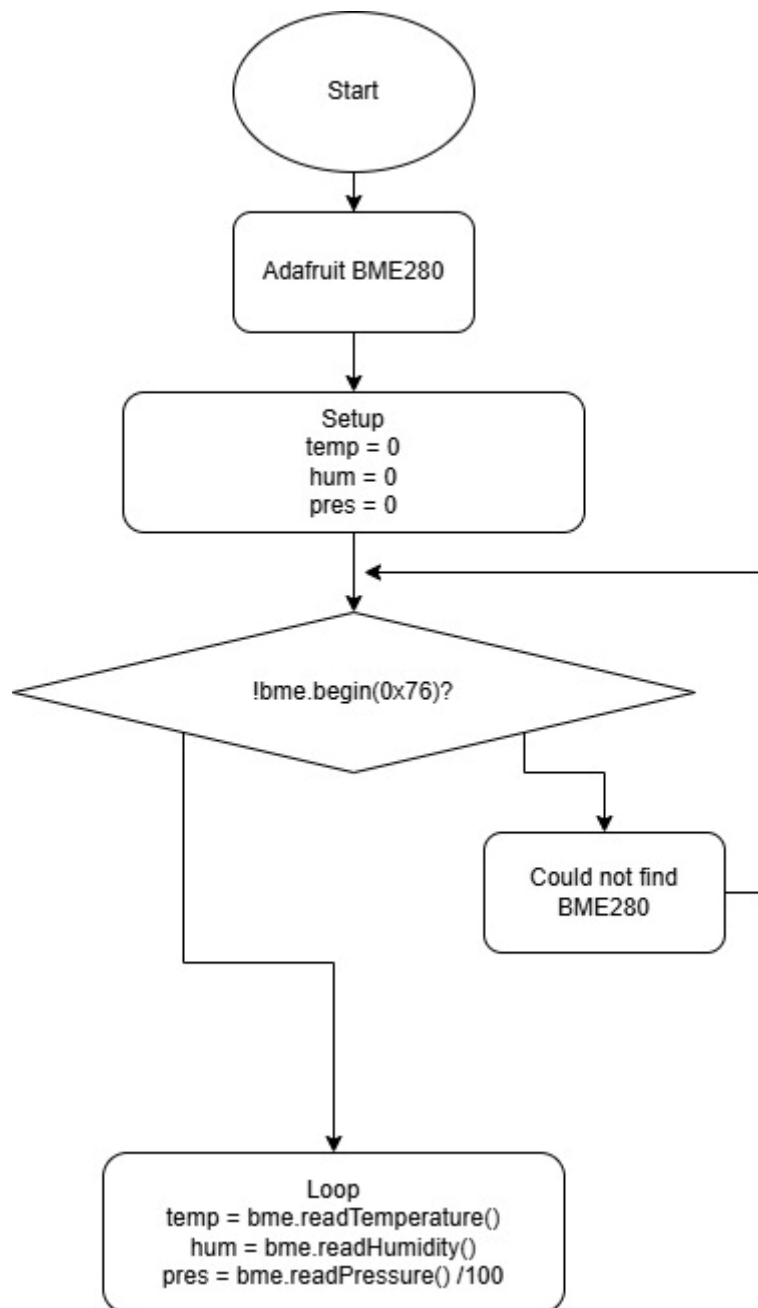
Name	Weight [g]	Notes
AR CASE		
AR_Case	180	2 walls, variable infill, 0-5.6mm 4% and wall overlap 3%, 5,6-top 6% and 15%
AR_Case_pin_ X4	5	
AR_Case_Sim900	25	13% infill
AR_Case_Top	83	2 walls, 7% infill
universal_clamp_3 X2	25	
	318	
SOLAR CONTROLLER		4walls, 10% infill, NO support
solar_controller_case	67	2walls, 10% infill, NO support
solar_controller_case_top	49	
universal_post_clamp	14	
	130	
BATTERY HOLDER		
battery_holder_bottom	130	3 walls, 12% infill, NO support
battery_holder_top	63	2 walls, 6% infill, 3 top shell layers
universal_post_clamp X2	28	
	221	
POWER CASE		
dc_cage_bottom	69	2 walls, 8% infill, NO Support
universal_case_top	19	8% infill
universal_post_clamp	14	
	102	

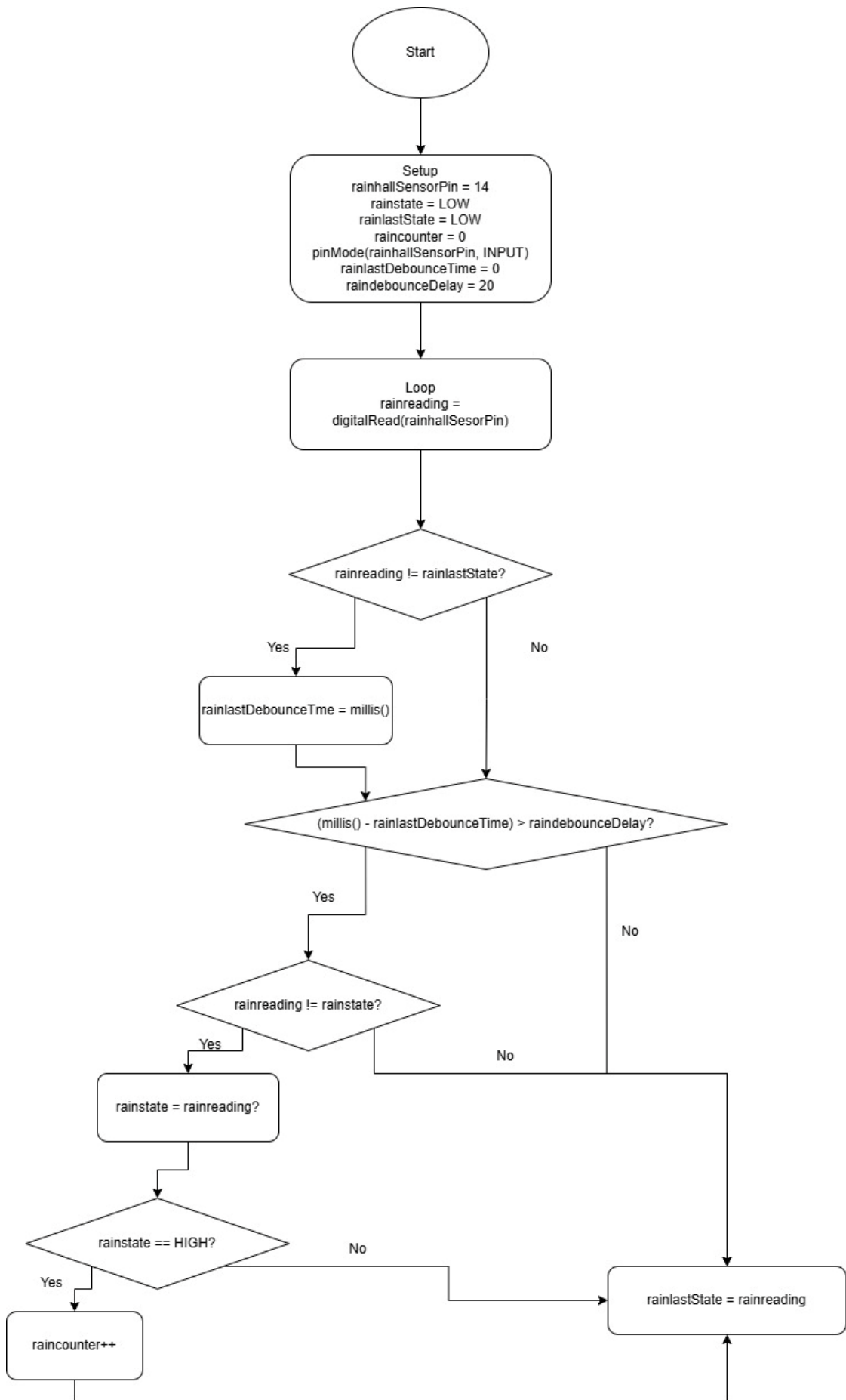
RAIN GAUGE		
rain_housing	113	Manual support painting
rain_bearing_cover X2	12	AUTO Tree support
rain_skirt	45	2 walls, 7% infill
rain_tilty_boi	19	2 walls, 7% infill, 3 top shell layers
rain_tilty_boi_arms X2	6	30% infill, NO support
rain_top	312	0.1 layer, 5 walls, 4% infill, AUTO Normal support
universal_clamp_3 X2	25	
	532	

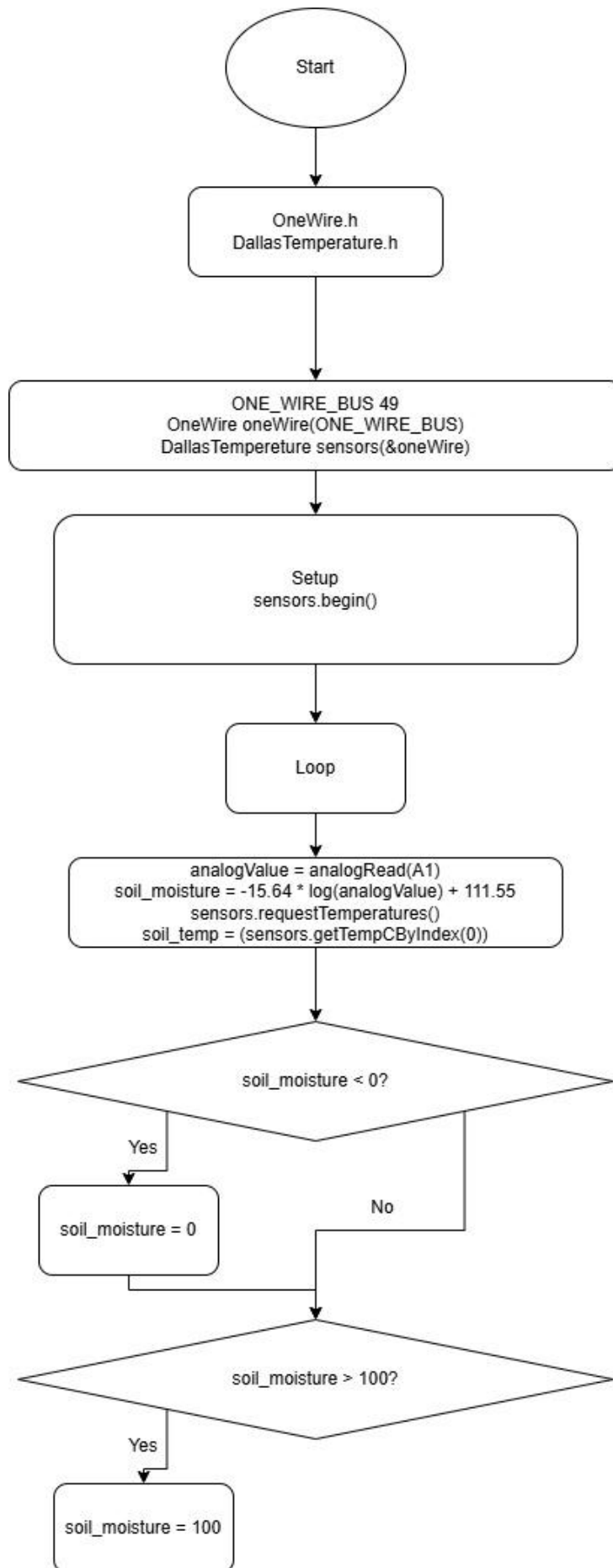
V3 Modellek

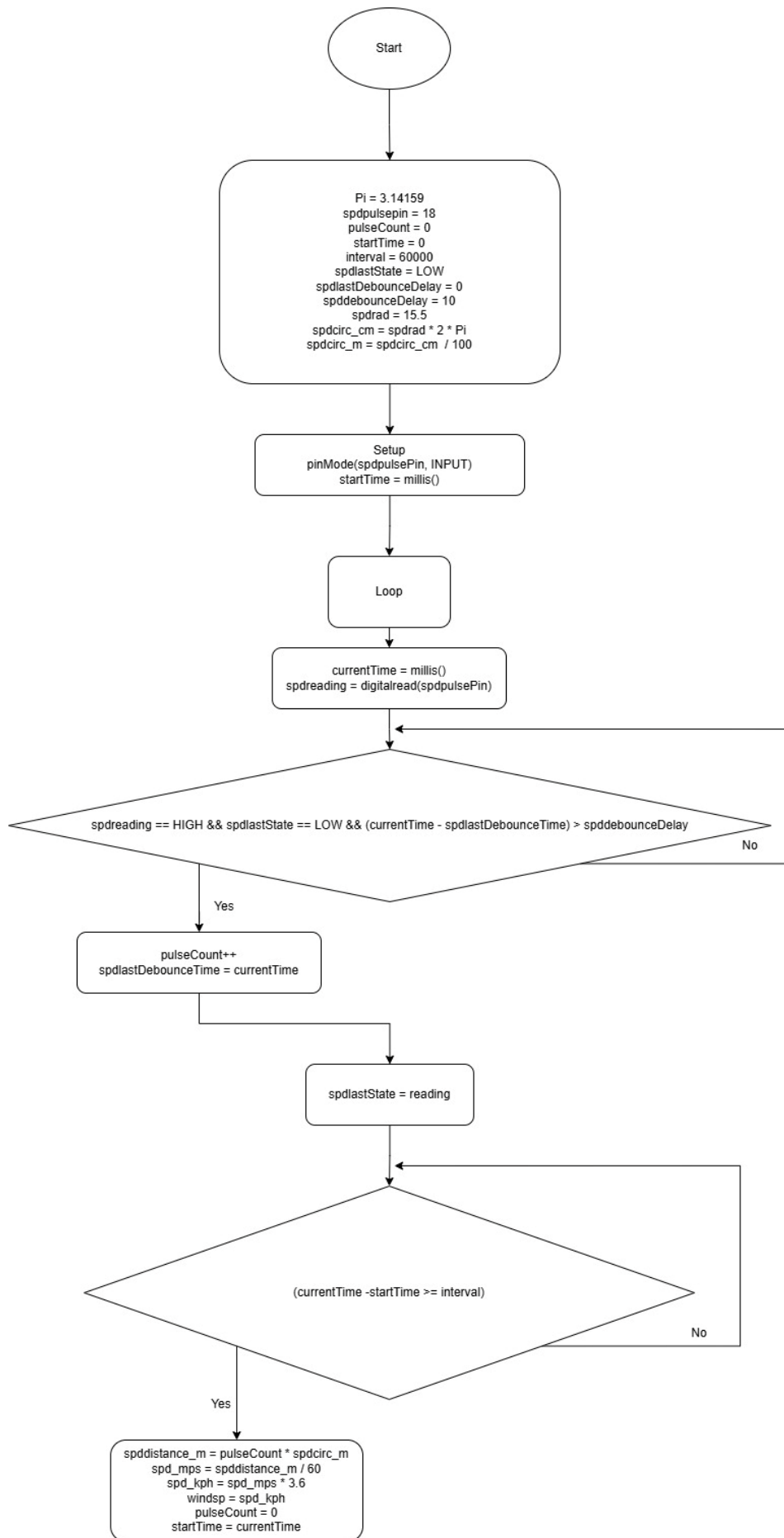
Name	Weight [g]	Notes
WIND DIR		
wind_dir_base_3	26	4 walls, 25% infill
wind_dir_top_3	66	
wind_dir_bearing_cover_3a	7	
wind_clamp_mag_3b	1	
wind_dir_mid_3	26	
wind_dir_sensor_clamp_3	18	
wind_dir_shaft_interconnect_3	3	
wind_dir_rain_deflector_plate_3	3	
universal_clamp_3b --- X2	25	
dir_head_3	25	7 walls, 13% infill
dir_tail_3	25	2 walls, 7% infill
	225	
WIND SPEED		
wind_speed_base_3	27	4 walls, 25% infill
wind_speed_top_3	62	
wind_clamp_mag_3	2	100% infill
wind_clamp_mag_3b	1	
wind_speed_mid_3	28	
universal_clamp_3b --- X2	25	
wind_speed_rain_deflector_plate_3	3	
wind_speed_bearing_cover_3a	7	
wind_speed_bearing_cover_3b	8	
Good_big_spoon --- X3	200	AUTO Tree support, 25% infill
	363	

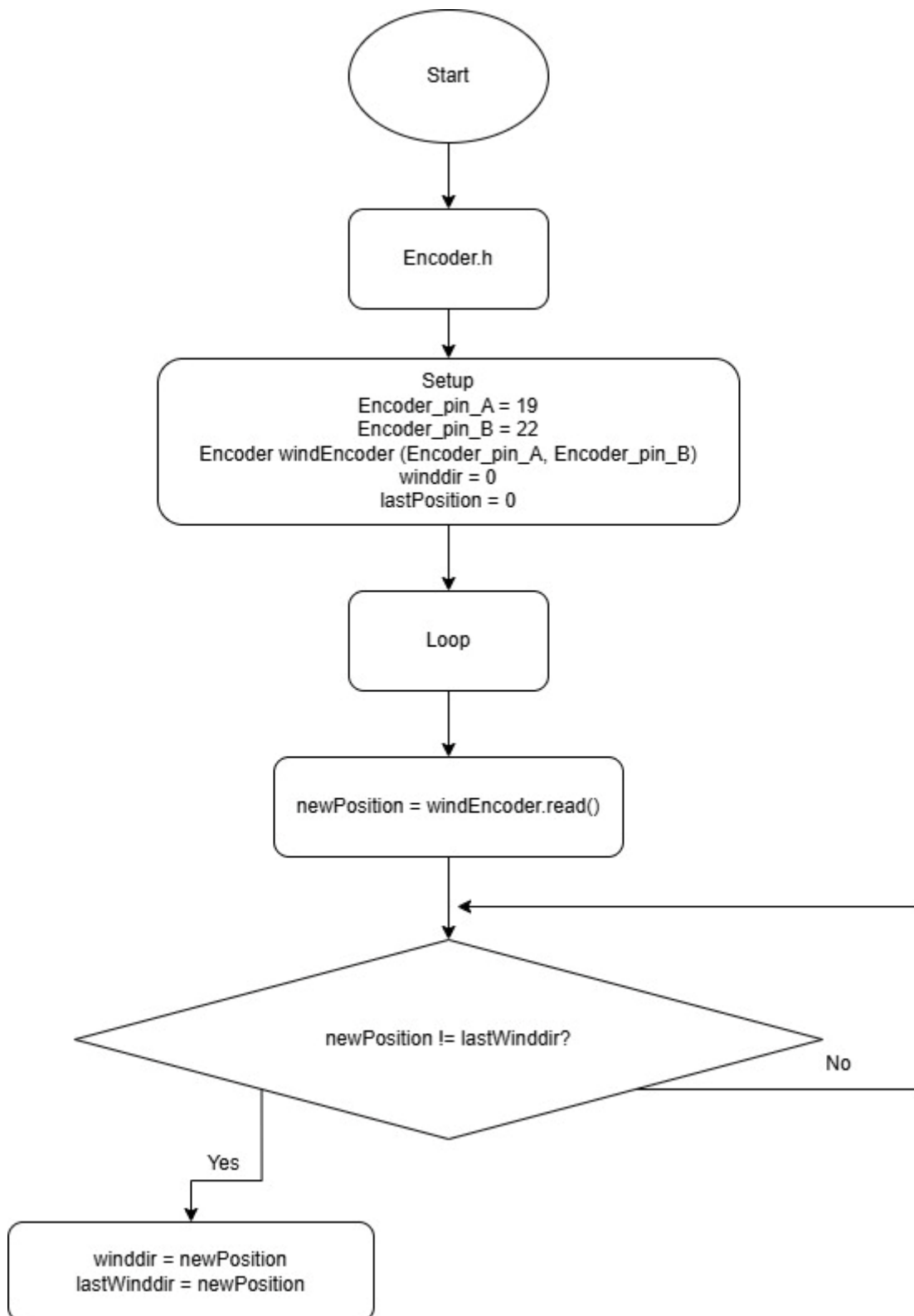
Az írt programok folyamatábrái:

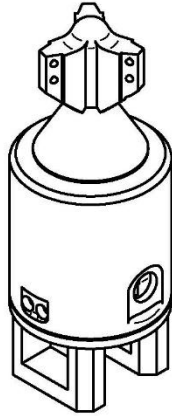






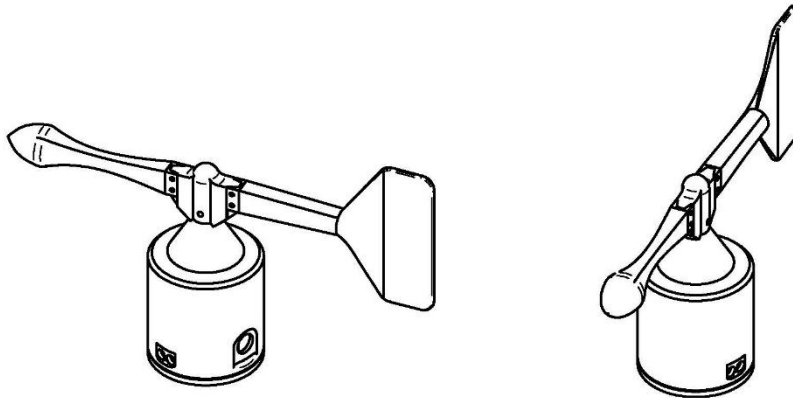






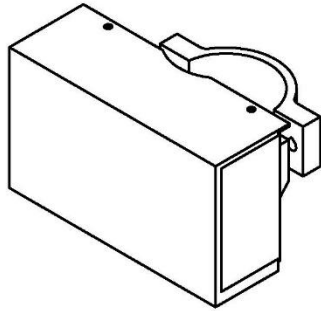
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	Mate Muszaki Intezet		
DRAWN	Csepregi Tamás	10/30/25	TITLE:		
CHECKED			REV		
ENG APPR			FILE NAME: wind_speed_3.dft		
MGR APPR			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			SIZE A4	Uvw NO	REV



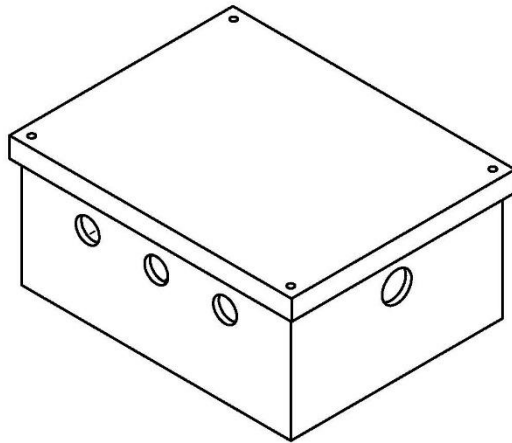
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	MATE Muszaki Intezet		
DRAWN	Csepregi Tamás	10/30/25	TITLE:		
CHECKED			REV		
ENG APPR			FILE NAME: wind_dir_3.dft		
MGR APPR			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			SIZE A4	Uvw NO	REV



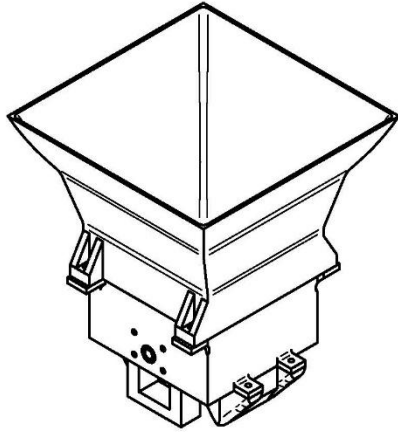
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	MATE Muszaki Intezet		
DRAWN	Csepregi Tamás	10/30/25	TITLE:		
CHECKED			FILE NAME: solar_controller.dft		
ENG APPR			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
MGR APPR			SIZE: A4	Uvw NO:	REV:
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			FILE NAME: AR_Case.dft		



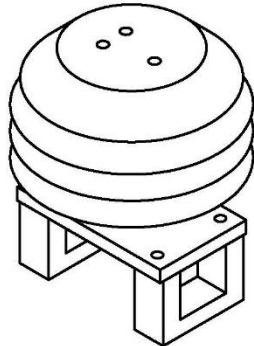
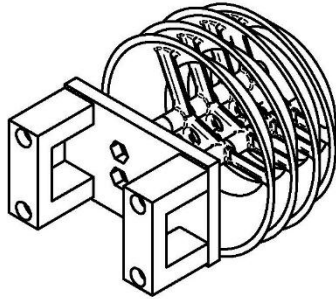
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	MATE Muszaki Intezet		
DRAWN	Csepregi Tamás	10/30/25	TITLE:		
CHECKED			FILE NAME: AR_Case.dft		
ENG APPR			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
MGR APPR			SIZE: A4	Uvw NO:	REV:
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			FILE NAME: AR_Case.dft		



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	MATE Muszaki Intezet		
DRAWN	Csepregi Tamás	10/30/25	TITLE:		
CHECKED			REV		
ENG APPR			FILE NAME: rain_assy_2.dft		
MGR APPR			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			SIZE A4	UWS NO	REV



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	MATE Muszaki Intezet		
DRAWN	Csepregi Tamás	10/30/25	TITLE:		
CHECKED			REV		
ENG APPR			FILE NAME: temp_humid_case_v3.dft		
MGR APPR			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			SIZE A4	UWS NO	REV

