

OTDK DOLOZAT

Csizmadia Péter

Darabszámlálásra alkalmas 3D nyomtatott ESP32 alapú IoT eszköz fejlesztése

Konzulens:

Monek Gergő Dávid

Győr

2022 november 4

Széchenyi István Egyetem
Gépész, Informatikai és Villamosmérnöki Kar

OTDK dolgozat

Darabszámlálásra alkalmas 3D nyomtatott ESP32 alapú IoT eszköz fejlesztése

konzulens:

Monek Gergő Dávid

egyetemi tanársegéd

GIVK Automatizálási Tanszék

Csizmadia Péter

Mechatronikai mérnök alapszakos

hallgató, 7. félév

dolgozat lezárva:

2022 november 4

Kivonat

Az automatizálás egyre több területen jelenik meg és teszi egyszerűbbé a munkafolyamatokat. A mikroelektronika fejlődésével egyre kisebb és olcsóbb mikronkontrollereket tudunk igénybe venni, ezek gyakran rádiós kapcsolattal is rendelkeznek. Az ilyen mikronkontrollerek adják az IoT rendszerek alapjait, amivel az adatok gyűjtését és feldolgozását már helyben el tudjuk végezni, nem kell egy központi vezérlőegység. Az ilyen eszközök fejlesztése során gyakran több iteráción is átmegy a prototípus, amihez támogatást nyújtanak a 3D nyomtatók a gyors alkatrészgyártási képességükkel.

Az OTDK dolgozatom célja, egy IoT rendszerbe illeszthető darabszámlálásra alkalmas okos eszköz tervezése és fejlesztése. Az eszköz a folyamat során a kijelölt tároló dobozban lévő alkatrészek mennyiségi változását a tömegmérés elvén követi. A tároló doboz RFID azonosítású matricát kap. A folyamat első lépésében a matrica beolvasásra kerül. Ennek eredményeképpen az online adatbázisból a termékekhez tartozó adatok rendelkezésre állnak. Az okos eszköz WiFi kommunikációra képes, ezáltal további IoT eszközökkel képes kommunikálni, rendszerbe integrálva is. Tápellátása akkumulátorral is megoldható, így akár külső tápellátás nélkül is üzemeltethető, ezáltal könnyen mobilizálható.

A fejlesztés a mikroelektronikai alkatrészek kiválasztásával és a villamos tervezéssel kezdődött. Ezt követően a konstrukciós terv készült el, kiemelt figyelmet fordítva a gyárthatóságra. A munkám során másik célkitűzés, hogy az eszköz környezetbarát módon készüljön el, így a 3D nyomtatásra esett a választás, így a konstrukciós tervezést ezen gyártási mód sajátosságainak kellett megfeleltetni. A gyártás és összeszerelés után a célkitűzések mentén a programfejlesztés következett. A fejlesztési ciklus a hardveres és szoftveres teszteléssel zárult.

Abstarct

Automation appears in more and more areas, simplifying work processes. With the development of microelectronics, we can use increasingly smaller and cheaper microcontrollers, which often have radio connection. Such microcontrollers form the basis of IoT systems, with which we can collect and process data locally, without the need for a central control unit. During the development of such devices, the prototype often goes through several iterations, which is supported by 3D printers with their ability to quickly produce parts.

The goal of my OTDK thesis is to design and develop a smart device suitable for part counting, that can be integrated into an IoT system. During the process, the device follows the quantitative change of the components in the designated storage box based on the principle of mass measurement. The storage box receives an RFID identification sticker. In the first step of the process, the sticker is scanned. As a result, product data is available from the online database. The smart device is capable of Wi-Fi communication, and thus can communicate with other IoT devices, even when integrated into a system. Its power supply can also be solved with a battery, so it can even be operated without an external power supply and can be easily mobilized.

The development started with the selection of microelectronic components and the electrical design. After that, the construction plan was completed, paying special attention to manufacturability. Another goal of my work is to make the device in an environmentally friendly way, so 3D printing was chosen, so the structural design had to be adapted to the specifics of this production method. After production and assembly, program development followed along the objectives. The development cycle ended with hardware and software testing.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
2.	Szakirodalmi áttekintés	2
2.1.	Ipar 4.0.....	2
2.1.1.	Az ipari forradalmak	3
2.1.2.	Ipar 4.0 vezető technológiái	4
2.1.3.	Intelligens gyárak jellemzői	6
2.1.4.	Ipar 4.0 és hibrid többfelhős IT-architektúra	7
2.2.	IoT	7
2.3.	Mikroelektronikai alkatrészek	8
2.3.1.	Mikrokontrollerek	8
2.3.1.1.	ESP32.....	9
2.3.1.2.	ESP-NOW.....	10
2.3.2.	Egyéb mikroelektronikai alkatrészek	10
2.3.2.1.	Lítium polimer akkumulátorok és töltők	10
2.3.2.2.	Step-up konverterek	10
2.3.2.3.	Mérlegcellák	11
2.3.2.4.	RFID matricák és olvasók.....	11
2.3.2.5.	OLED kijelző	11
2.4.	3D nyomtatás, prototípus gyártás	12
2.4.1.	FDM nyomtatás.....	12
3.	Termékfejlesztés	14
3.1.	Célok megfogalmazása.....	14
3.2.	A projekt kezdeti lépései	14
3.3.	Tervek készítése, CAD-es megvalósítás	16
3.3.1.	Elektronikai tervezés	16
3.3.2.	3D modell elkészítésének előkészületei	17
3.3.3.	Az első változat látványtervei	18
3.3.4.	Az első változat továbbfejlesztése.....	19
3.3.5.	A második változat tervezése és modellezése	21
3.4.	3D nyomtatás.....	22
3.4.1.	A 3D modell szeletelése	22
3.4.2.	Alkatrészek kinyomtatása	23

3.5.	Összeszerelés	23
3.6.	Programozás	24
3.6.1.	RFID matricák írása és olvasása	24
3.6.2.	OLED kijelző használata.....	24
3.6.3.	WiFi-s kommunikáció.....	25
3.6.4.	Mérlegcellák adatainak feldolgozása	26
3.6.5.	Darabszámlálás.....	30
4.	Összefoglalás	33
5.	Irodalomjegyzék	34

Ábrajegyzék

1. ábra Ipari forradalmak [1]	4
2. ábra ESP32 típusú mikrokontroller [2]	9
3. ábra Szálhúzásos 3D nyomtatási technológia működési elve [3]	13
4. ábra Tárolódoboz, MH-5 BOX méretű [4].....	15
5. ábra Az eszköz logikai felépítése	16
6. ábra Az első verzió ceruzás vázlata.....	18
7. ábra Az első verzió 3D modellje	18
8. ábra A mágneseket és az RFID matricát tartó keret.....	20
9. ábra A második verzió ceruzás vázlata	21
10. ábra A második verzió 3D modellje.....	21
11. ábra Creality gyári szeletelő programja	23
12. ábra Mikroelektronikai alkatrészek	24
13. ábra Kalibráció nélküli használat	26
14. ábra Kalibrált mérés	27
15. ábra Automatikus kalibráció	27
16. ábra Aluláteresztő szűrő használata	28
17. ábra Folyamatábra a feltételes aluláteresztő szűrő működéséről	29
18. ábra Feltételhez kötött aluláteresztő szűrő használata.....	30
19. ábra Folyamatábra a program működéséről	32

Rövidítések

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (akrilonitril-butadién-sztirol)
ADC	Analog Digital Converter (analóg digitális átalakító)
AI	Artificial Intelligence (Mesterséges Intelligencia)
ARPT	Active Reader Passive Tag (aktív olvasó és passzív címke)
CPU	Central Processing Unit (központi számító egység)
DAC	Analog Digital Converter (digitális analóg átalakító)
DSP	Digital Signal Processor (digitális jelfeldolgozó)
ERP	Enterprise resource planning (vállalatirányítási rendszer)
FDM	Fused Deposition Modeling (olvasztott lerakásos modellezés)
IC	Integrated Circuit (integrált áramkör)
IoT	Internet of Things (Dolgok Internete)
IP	Internet Protocol Address (internet protokoll cím)
IT	Information Technology (információs technológia)
LCD	Liquid-Crystal Display (folyadékkristályos kijelző)
Li-Po	Lithium-ion Polymer (lítium-ion polimer)
MCU	Microcontroller Unit (mikrokontroller)
NiCd	Nickel–Cadmium battery (Nikkel kadmium akkumulátor)
NiMH	Nickel Metal Hydride battery (nikkel metál hibrid akkumulátor)
OLED	Organic Light-Emitting Diode (szerves fénykibocsátó dióda)
OT	Operational Technology (üzemeltetési technológia)
OTP ROM	One Time Programmable Read Only Memory (egyszer programozható és csak olvasható memória)
PET	Polyethylene Terephthalate (polietilén-tereftalát)
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol-modified (glikollal módosított polietilén-tereftalát)
PLA	Polylactic Acid (politejsav)
PLC	Programmable Logic Controller (programozható logikai vezérlő)
RAM	Random Access Memory (tetszőleges hozzáférésű memória)
RFID	Radio Frequency Identification (rádiófrekvenciás azonosító)
TPU	Thermoplastic Polyurethane (termoplasztikus poliuretán)
VLSI	Very Large Scale Integration (nagyon nagy léptékű integráció)

1. Bevezetés

Az Ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, melynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással, ezzel a jövő egy olyan „okos” gyárát hozva létre, amelyben a számítógép vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján. Ezen folyamat megvalósításának az alapja az IoT (Internet of Things, magyarul: dolgok internete). [16,25]

Ez egy kiemelt és fontos területe az informatikának napjainkban. Az IoT célja, hogy minél több eszközt összekapcsoljunk egymással, így képesek legyenek egymás közötti kommunikációra, amihez kizárólag csak internetkapcsolatra van szükség. A hétköznapiakban egy ilyen hálózatot képezhet a telefonunk összekapcsolása a házunk okos eszközeivel (okos otthonok), vagy akár a gépjárművek összekapcsolását. Az iparban ilyen egységet alkotnak az ott működő gépek, szenzorok, felügyeleti rendszerek, mobil eszközök és járművek együttes összekapcsolása. Az itteni környezetben fontos szempont, hogy az eszközök által szolgáltatott adatokat valós időben meg tudjuk jeleníteni, így valós idejű statisztikát tudunk szolgáltatni a termelésről. [19]

Az IoT elterjedését nagyban elősegítette a mikrokontrollerek fejlődése és egyre könnyebb a hozzáférhetősége. Ezekkel a miniszámítógépekkel adatrögzítő, adatfeldolgozó és -továbbító eszközöket lehet készíteni. Az alacsony beszerzési áraknak köszönhetően kedveltek a prototípus gyártásban, amit a 3D nyomtatás tesz még gyorsabbá és költséghatékonyabbá. [17,21]

A 3D nyomtatás nagy előnye, hogy gyors prototípusgyártásra képes gazdaságos áron. Az effajta alkatrészgyártásnál csak a termék háromdimenziós modelljére van szükség, ami elkészítése a mai gyártások során már elkerülhetetlen, így ez a folyamat igényli a legkevesebb plusz munkát a tervezés során. [21]

Az OTDK dolgozatomban is az Ipar 4.0 részét kepezi. Arra a problémára kerestem megoldást, hogy kis tárgyaknál, alkatrészénél nem megoldható a QR kódos, vagy az RFID matricás nyomkövetés. A fő gondom az volt, hogy mindennek van tömege, így ennek mérése alapján történhetne az alkatrészek nyomkövetése. Az általam tervezett eszköz WiFi kommunikációra képes, így teljes mértékben beilleszthető egy IoT rendszerbe.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Ipar 4.0

Az Ipar 4.0 forradalmasította a gyárak gyártósorait, termékeik fejlesztési és forgalmazási módszereit. A vállalatok új technológiákat integráltak létesítményeikbe, köztük az IoT-t (Internet of Things, magyarul: Dolgok Internete), a felhő alapú adatbázisokat, az AI-t (Artificial Intelligence, magyarul: Mesterséges Intelligenciát), és a gépi tanulást, hogy ezzel növeljék a termelési kapacitásukat. Ezek az intelligens gyárak fejlett érzékelőkkel, beágyazott szoftverekkel és robotikával vannak felszerelve, amelyek adatokat gyűjtenek és elemeznek, ezzel lehetővé téve a jobb döntéshozatalt. Még pontosabb döntéseket hozhatnak, ha a termelésből származó adatokat kombinálják az ERP-ből (Enterprise resource planning, Magyarul Vállalati Erőforrás Tervezés lenne a szó szerinti fordítása, de általában vállalatirányítási rendszerként használjuk), az ellátási láncból, az ügyfélszolgálatból és más vállalati rendszerekből származó adatokkal, így teljesen új szintű betekintést kaphatnak a korábban eddig elszigetelt információkhoz. [19]

Ez a digitális technológia megnövekedett automatizáláshoz, előre jelző karbantartásokhoz, a folyamatfejlesztések optimalizálásához, továbbá a hatékonyság és az ügyfelek iránti reakálás olyan új szintjét hozza el, amelyre korábban eddig nem volt lehetőség. [22]

Az intelligens gyárak fejlesztése hihetetlen lehetőséget kínál a gyártóipar számára, hogy belépjen a negyedik ipari forradalomba. A gyárban található érzékelők által gyűjtött Big Data (nagy mennyiségű adat) elemzése biztosítja a gyártási eszközök valós idejű láthatóságát, és eszközöket biztosíthat a megelőző karbantartás elvégzéséhez, aminek köszönhetően minimalizálható a berendezések nem várt leállása. [21]

A csúcstechnológiás IoT eszközök használata az intelligens gyárakban nagyobb termelékenységet és jobb minőséget eredményez. A manuális ellenőrzési üzleti modellek felváltása az AI alapú vizuális betekintéssel csökkenti a gyártási hibákat, valamint pénzt és időt takarít meg. Minimális befektetéssel egy felhővel összekapcsolt rendszer készíthető a minőségellenőrzéssel foglalkozó személyzet számára, akik ezzel gyakorlatilag bárholonnyomon követhetik a gyártási folyamatokat. A gépi tanulási algoritmusok alkalmazásával a gyártók azonnal észlelhetik a hibákat, nem pedig a későbbi fázisokban, amikor a javítási munkálatok jelentősen drágábbak lehetnek. [21]

Az Ipar 4.0 koncepciók és technológiák az ipari vállalatok minden típusában alkalmazhatók, beleértve a diszkrét és a folyamatgyártást, valamint az olaj- és gázipari, bányászati és egyéb ipari szegmenseket. [19]

2.1.1. Az ipari forradalmak

Az első ipari forradalom a 18. század végén Nagy-Britanniában kezdődött. Ekkor születtek meg a gőzgépek, amelyek a tisztán emberi és állati erő helyett a víz- és gőzerő felhasználásával tették lehetővé a tömegtermelést. A készárukat gépekkel gyártották ahelyett, hogy kézzel, aprólékos munkával készítették volna őket. A termelések gyorsítása mellett kihatással volt a mindennapi életre is, mivel ekkor készültek el az első gőzmozdonyok és gőzhajók is. [24,25]

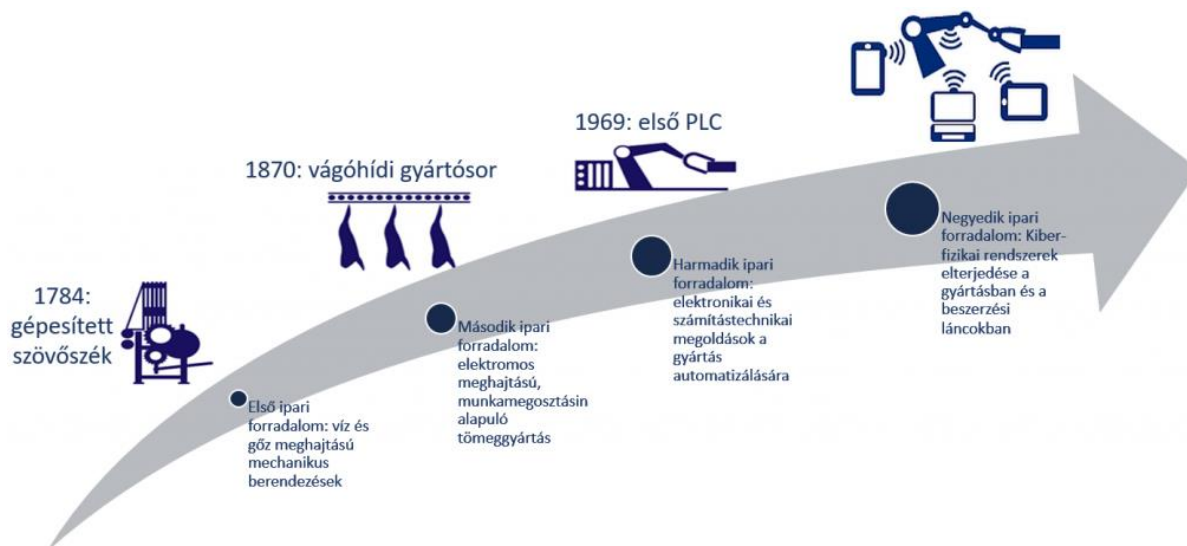
A második ipari forradalom egy évszázaddal később a bevezette a futószalagokat, elkezdődött a napjainkban is ismert sorozatgyártás elődje. Felfedezték, hogy a gyártásban használható a kőolaj és földgáz, továbbá az elektromos áram is. Ezek az új energiaforrások teljesen megreformálták a gyártósorokat. Feltalálták a telefont és távírót, majd ezeken keresztül történő fejlettebb kommunikáció a tömegtermeléshez és bizonyos fokú automatizáláshoz vezetett a gyártási folyamatokban. [24,25]

A harmadik ipari forradalom, amely a 20. század közepén kezdődött, a számítógépeket, a fejlett távközlést és az adatelemzést adta hozzá a gyártási folyamatokhoz. A gyárak digitalizálása a PLC-k (Programmable Logic Controller, magyarul: programozható logikai vezérlők) gépekbe való beágyazásával kezdődött, amelyek nagyban segítettek egyes folyamatok automatizálásában, valamint az adatok gyűjtésében és megosztásában. Itt már képesek voltak a gyártósori részlegek egymás között automatikusan kommunikálni, ezzel még tovább gyorsítva a termelést. [24,25]

Jelenleg a negyedik ipari forradalomban vagyunk, amelyet Ipar 4.0-nak is neveznek. A növekvő automatizálás, valamint az intelligens gépek és intelligens gyárak alkalmazása jellemzi. A nagy mennyiségű adatok feldolgozása segít abban, hogy az áruk előállítása a lehető leghatékonyabb legyen. A gyártósorok rugalmassága nagy mértékben javult, így a gyártók a tömeges testre szabás segítségével jobban megfelelhetnek a vásárlói igényeknek. Ezzel képesek lettek a gyártósorok módosítása nélküli olyan tömeggyártásra, ahol minden termék részben különülhet egymástól, akár az egy darabos tételgyártás is előfordulhat. Mivel így is tömeggyártásban készülnek a termékek, így a lehető legnagyobb hatékonysággal üzemelhetnek az üzemek. Azáltal, hogy több adatot gyűjtenek a gyárból, és ezeket más vállalati működési adatokkal

kombinálják, az intelligens gyárak jelentősen jobb információs átláthatóságot és jobb döntéseket érhetnek el. [24,25]

Az 1. ábrán látható az ipari forradalmak összefoglalása.



1. ábra Ipari forradalmak [1]

2.1.2. Ipar 4.0 vezető technológiái

Az IoT az intelligens gyárak egyik kulcsfontosságú eleme. A gyárban a gépek érzékelőkkel vannak felszerelve, amelyek IP (Internet Protocol Address, magyarul: internet protokoll cím) címmel rendelkeznek, amely lehetővé teszi a gépek számára, hogy más internetes kommunikációra képes eszközökkel összekapcsolódjanak. Ez a gépesítés és a csatlakoztathatóság lehetővé teszi, hogy nagy mennyiségű értékes adatot gyűjtsenek, elemezzenek és cseréljenek egymás között. [19,21]

A felhőalapú számítástechnika minden Ipar 4.0 stratégia fő építőköve. Az intelligens gyártás teljes megvalósítása megköveteli a mérnöki tervezés, az ellátási lánc, a gyártás, az értékesítés és a forgalmazás, valamint a szolgáltatás összekapcsolhatóságát és integrációját. A felhő alapú rendszer segít ennek megvalósításában. Emellett ezen rendszer segítségével jellemzően nagy mennyiségű tárolt és elemzett adatot hatékonyabban és gazdaságosabban lehet feldolgozni. A felhőalapú számítástechnika a kis- és közepes méretű gyártók indulási költségeit is csökkentheti, akik a későbbiekben igényeiket könnyen igazíthatják és méretezhetik a vállalkozásuk növekedésével együtt. [21,23]

A mesterséges intelligencia és a gépi tanulás lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy teljes mértékben kihasználhassák nemcsak a gyáraikból származó, hanem az összes üzleti

egységükből, sőt még a partnereiktől és harmadik felektől származó információk mennyiségét is. A mesterséges intelligencia és a gépi tanulás olyan betekintéseket hozhat létre, amelyek átláthatóságot, kiszámíthatóságot, továbbá a műveletek és üzleti folyamatok automatizálását biztosíthatják. Például: Az ipari gépek a gyártási folyamat során hajlamosak meghibásodni. Az ezekről az eszközökről gyűjtött adatok felhasználásával a vállalkozások gépi tanulási algoritmusokon alapuló prediktív karbantartást végezhetnek, ami nagyobb üzemidőt és nagyobb hatékonyságot eredményez. [21,23,25]

Az élvonalbeli számítás azt jelenti, hogy bizonyos adatok feldolgozását a beavatkozással azonos helyen kell feldolgozni, vagyis itt nincs lehetőség a felhőalapú számítások elvégzésére. Ez minimalizálja a késleltetési időt az adatok előállításától a válaszadásig. Például egy biztonsági vagy minőségi probléma észlelése közel valós idejű intézkedést igényelhet az adott berendezésnél. Az adatoknak a vállalati felhőbe, majd onnan vissza a gyárba történő elküldéséhez szükséges idő túl hosszú lehet, és a hálózat megbízhatóságától is nagymértékben függ. Az élvonalbeli számítás használata azt is jelenti, hogy az adatok a forrásuk közelében maradnak, ami csökkenti a biztonsági kockázatokat. [21,23]

A vállalatok nem mindig vették figyelembe a kiberbiztonság vagy a kiber-fizikai rendszerek fontosságát. Azonban a gyárban vagy a terepen lévő üzemi berendezések összekapcsolhatósága, amely hatékonyabb gyártási folyamatokat tesz lehetővé, új belépési utakat is nyit a rosszindulatú támadások és a rosszindulatú szoftverek számára. Az Ipar 4.0-ra történő digitális átalakulás során elengedhetetlen az IT- (Information Technology, magyarul: információs technológia) és OT (Operational Technology, magyarul: üzemeltetési technológia) berendezéseket is magában foglaló kiberbiztonsági megközelítés megfontolása. [23]

Az Ipar 4.0 által kínált digitális átalakulás lehetővé tette a gyártók számára, hogy digitális ikreket hozzanak létre, amelyek a folyamatok, gyártósorok, gyárak és ellátási láncok virtuális másolatai. A digitális ikreket az IoT érzékelők, PLC-k és egyéb, internetre csatlakoztatott gépek adatainak összegyűjtésével hozzák létre. A gyártók a digitális ikrek segítségével növelhetik a termelékenységet, javíthatják a munkafolyamatokat és új termékeket tervezhetnek. Egy gyártási folyamat szimulálásával például a gyártók tesztelhetik a folyamat módosításait, hogy megtalálják a leállások minimalizálásának vagy a kapacitás javításának lehetőségeit. [23]

2.1.3. Intelligens gyárak jellemzői

Adatelemzés az optimális döntéshozatal érdekében a beágyazott érzékelők és az egymással összekapcsolt gépek Big Data-t termelnek a gyárak számára. Az adatelemzés segíthet a gyártóknak a múltbeli trendek vizsgálatában, a minták azonosításában és a jobb döntések meghozatalában. Az intelligens gyárak a szervezet más részeiből, továbbá a beszállítók és forgalmazók kibővített ökoszisztémájából származó adatokat is felhasználhatják a mélyebb betekintés érdekében. A humán erőforrásból, az értékesítésből vagy a raktározásból származó adatok áttekintésével a gyártók az értékesítési árak alapján hozhatnak termelési döntéseket. A műveletek teljes digitális ábrázolása digitális ikerként hozható létre. [21,23]

Az intelligens gyár hálózati felépítése az összekapcsolhatóságtól függ. A gyárban található érzékelők, eszközök és gépek által gyűjtött valós idejű adatok azonnal helyben, vagy más gyári eszközök által is felhasználhatóak, valamint megoszthatók a vállalati szoftvercsomag más komponensei között, beleértve az ERP-et és más vállalatirányítási szoftvereket is. [21,23]

Az intelligens gyárak olyan egyedi termékeket tudnak gyártani, amelyek költséghatékonyak, de mellette megfelelnek az ügyfelek egyedi igényeinek. Valójában számos iparági szegmensben a gyártók arra törekszenek, hogy gazdaságos módon ériék el az egy darabos tétel méretet. A fejlett szimulációs szoftveralkalmazások, az új anyagok és technológiák, például a 3D nyomtatás használatával a gyártók könnyedén készíthetnek kis tételben speciális termékeket az egyes ügyfelek számára. Míg az első ipari forradalom a tömegtermelésről szólt, az Ipar 4.0 a tömeges testreszabásról. [23,25]

Az ipari műveletek átlátható és hatékony ellátási láncról függenek, amelyet az Ipar 4.0 stratégia részeként integrálni kell a termelési műveletekkel. Ez átalakítja a gyártók nyersanyagforrásainak és késztermékeik szállításának módját. Azáltal, hogy a gyártók megosztanak bizonyos termelési adatokat a beszállítókkal, jobban tudják ütemezni a szállításokat. Ha például egy összeszerelő soron fennakadás van, a szállítások átirányíthatók vagy késleltethetők, hogy csökkentsék az idővesztést vagy a költségeket. Emellett az időjárás, a szállítási partnerek és a kiskereskedők adatainak tanulmányozásával a vállalatok előrejelző szállítást alkalmazhatnak, hogy a késztermékeket a fogyasztói igényeknek megfelelő időben küldjék el. A blokklánc az ellátási láncok átláthatóságát lehetővé tevő kulcsfontosságú technológiaként van kialakulóban. [23,25]

2.1.4. Ipar 4.0 és hibrid többfelhős IT-architektúra

Az Ipar 4.0 előnyeit kihasználni kívánó gyártók számára a hibrid, több felhőből álló IT-infrastruktúra kiépítése a digitális átalakulás kulcsfontosságú eleme. A hibrid többfelhős felhő az, amikor egy vállalat két vagy több nyilvános és privát felhővel rendelkezik a számítástechnikai munkaterheléseinek kezelésére. Ez lehetőséget biztosít számukra, hogy az összes felhőjükben optimalizálják a munkaterhelésüket, mivel egyes környezetek jobban megfelelnek bizonyos munkaterhelésekhez, vagy költséghatékonyabbak azokhoz. A digitális átalakulást és biztonságos, nyílt környezetet kereső gyártók a meglévő munkaterhelésüket a helyben lévő telephelyükről a lehető legjobb felhőkörnyezetbe helyezhetik át. [21,23,25]

2.2. IoT

Tömören összefoglalva, az IoT egy olyan koncepciót ír le, amiben bármilyen eszközt csatlakoztathatunk az internethez és más, szintén a világhálóra csatlakoztatott eszközökhöz. Az IoT az internetre csatlakoztatott eszközök és emberek óriási hálózata, amelyek mindegyike adatokat gyűjt és oszt meg a használatuk módjáról és az őket körülvevő környezetről. [19]

Ebbe a hálózatba rendkívül sok, különböző formájú és méretű tárgy tartozik - az intelligens mikrohullámú sütőktől kezdve, amelyek automatikusan a megfelelő ideig főzik meg az ételt, az önvezető autókön át, amelyek összetett érzékelői felismerik az útnjukba kerülő tárgyakat, a viselhető fitneszeszközökig, amelyek mérik a pulzusszámot és az aznap megtett lépések számát, majd ezeket az információkat felhasználva személyre szabott edzésterveket javasolnak. Még olyan okos labdák is léteznek, amelyek képesek nyomon követni, hogy milyen messzire és milyen gyorsan dobják őket, és egy alkalmazáson keresztül rögzítik ezeket a statisztikákat a jövőbeli edzésekhez. [19,20]

Az IoT egy új paradigma, amely gyorsan teret nyer a modern vezeték nélküli hálózatokban. A koncepció a körülöttünk lévő különféle dolgok, vagy tárgyak - például RFID (Radio Frequency Identification, magyarul: rádiófrekvenciás azonosító) címkék, érzékelők, aktuátorok, mobiltelefonok stb. - amelyek az egyedi címezési sémák révén képesek egymással kölcsönhatásba lépni és együttműködni a közös célok elérése érdekében. [19]

Az IoT eszközök alapját képezik az internetes kommunikációra képes mikrokontrollerek. Ezek a miniszámítógépek képesek lehetnek vezetékes és vezeték nélküli adattovábbításra is. Általában az utóbbit részesítik előnyben a gyártók, mivel ez jelentősen kisebb méretben megvalósítható. [6,19]

2.3. Mikroelektronikai alkatrészek

2.3.1. Mikrokontrollerek

A mikrokontrollerek (MCU, Microcontroller Unit) egy kis számítógép egyetlen VLSI (Very Large Scale Integration, magyarul: nagyon nagy léptékű integráció) IC (Integrated Circuit, magyarul: integrált áramkör) (IC) chipen. A mikrokontroller egy vagy több CPU-t (Central Processing Unit, magyarul: központi számító egység) tartalmaz, memóriával és programozható bemeneti/kimeneti perifériákkal együtt. A chipen gyakran található ferroelektromos RAM (Random Access Memory, magyarul: tetszőleges hozzáférésű memória), NOR flash vagy OTP ROM (One Time Programmable Read Only Memory, magyarul: egyszer programozható és csak olvasható memória) formájában programmemória, valamint egy kis mennyiségű RAM is. A mikrokontrollereket beágyazott alkalmazásokhoz tervezték, ellentétben a személyi számítógépekben vagy más általános célú alkalmazásokban használt, különböző diszkrét chipből álló mikroprocesszorokkal. [17]

A mikrokontrollereket automatikusan vezérelt termékekben és eszközökben használják, például gépjárműmotor-vezérlőrendszerekben, beültethető orvosi eszközökben, távirányítókban, irodai gépekben, készülékekben, elektromos szerszámokban, játékokban és más beágyazott rendszerekben. A mikrokontrollerek a méret és a költségek csökkentésével a külön mikroprocesszort, memóriát és bemeneti/kimeneti eszközöket használó kialakításhoz képest gazdaságossá teszik még több eszköz és folyamat digitális vezérlését. Gyakoriak a vegyes jelű mikrokontrollerek, amelyek integrálják a nem digitális elektronikus rendszerek vezérléséhez szükséges analóg komponenseket. Az IoT-vel összefüggésben a mikrokontrollerek gazdaságos és népszerű eszközei az adatgyűjtésnek, a fizikai világ érzékelésének és működtetésének, mint peremeszközök. [15]

Általában képesek arra, hogy egy eseményre, például gombnyomásra vagy más megszakításra várva is megőrizzék a funkcionalitásukat; míg ez idő alatt alvó üzemmódban (CPU órajelet csökkentve és a legtöbb periféria kikapcsolva) az energiafogyasztás néhány nanowatt lehet, így sokan közülük jól alkalmazhatók hosszú élettartamú akkumulátoros alkalmazásokhoz. Más mikrokontrollerek teljesítménykritikus szerepeket tölthetnek be, ahol inkább digitális jelfeldolgozóként kell működniük, nagyobb órajelsebességgel és energiafogyasztással. [17]

Ahhoz, hogy egy mikrokontroller IoT rendszerbe illeszthető legyen, képesnek kell lennie az interneten való kommunikációra. Az én OTDK munkám során 2 fő szempont volt ennek kiválasztásánál. Az első, hogy vezeték nélküli, azaz WiFi-s adattovábbításra képes legyen az

eszköz. Második, hogy egy elterjedt, könnyen hozzáférhető mikrokontrollert szerettem volna használni, így nagy mennyiségű mintaprogramokat és oktatóvideókat lehet találni hozzá az interneten. Végül a választásom a két feltételemet legjobban teljesítő Espressif Systems cég által gyártott ESP32 nevű mikrokontroller család egyik tagjára esett. [18]

2.3.1.1. ESP32

Az ESP32 egy alacsony költségű, alacsony fogyasztású mikrokontroller, ami beépített WiFi-vel és Bluetooth-szal rendelkezik. Az ESP32 sorozat tagjai két- vagy egymagos mikroprocesszort, beépített antennakapcsolókat, teljesítményerősítőt, ADC (Analog Digital Converter, magyarul: analóg digitális átalakító) és DAC (Digital Analog Converter, magyarul: digitális analóg átalakító) elemeket, alacsony zajszintű vételi erősítőt, szűrőket és energiagazdálkodási modulokat tartalmaznak. Az ESP32-t egy sanghaji székhelyű kínai vállalat, az Espressif Systems hozta létre és fejlesztette ki, és a TSMC 40 nm-es eljárással gyártja. Ez az ESP8266 mikrokontroller utódja. Ezek a mikrokontrollerek nagyon sokrétűek és könnyen elérhetőek bárki számára, ezzel nagyban elősegítve hobbi elektronikai projektek és prototípusok gyártását. [5,6,18]

A 2. ábrán látható egy ESP32 típusú mikrokontroller.



2. ábra ESP32 típusú mikrokontroller [2]

2.3.1.2. ESP-NOW

Ez egy ESP32 és ESP8266 típusú mikrokontrollerekre specializált kommunikációs protokoll. Ennek az protokollnak a különlegessége, hogy nincs szükség WiFi kapcsolatra, de WiFi modulok által kiadott rádióhullámokkal történik. A kommunikációhoz egyedül a másik mikrovezérlő MAC címének ismerete szükséges. [5]

2.3.2. Egyéb mikroelektronikai alkatrészek

Nagyon sok féle mikroelektronikai elem létezik, aktív és passzív elemektől a szenzorokon át az aktuátorokig. Jelen szakaszban az általam használt alkatrészekről lesz szó.

2.3.2.1. Lítium polimer akkumulátorok és töltők

A lítium polimer, vagy helyesebben lítium-ion polimer (Rövidítése: Li-Po) akkumulátor a lítium-ion technológia olyan újratölthető akkumulátora, amely folyékony elektrolit helyett polimer elektrolitot használ. Ezt az elektrolitot nagy vezetőképességű félszilárd polimerek alkotják. Ezek az akkumulátorok nagyobb fajlagos energiát biztosítanak, mint más lítiumakkumulátor-típusok, és olyan alkalmazásokban használják őket, ahol a súly kritikus tulajdonság, például mobil eszközökben, rádióvezérlésű repülőgépekben és egyes elektromos járművekben. [8]

Ezen fajta akkumulátorok számozása sokszor egyben jelenti a méretüket is, ami így van az általam választottnál is. A 18650-es elnevezés 18mm-es átmérőt és 65mm-es hosszt takar. [7,8]

A Li-Po akkumulátorok speciális töltőt igényelnek, ugyanúgy, mint a korábbi akkumulátor technológiák, például a NiMH (Nickel Metal Hydride battery, magyarul: nikkel metál hibrid akkumulátor) vagy a NiCd (Nickel-Cadmium battery, magyarul: Nikkel kadmium akkumulátor). Az ilyen töltőket, lehet már kapni mikroelektronikai kivitelben is, így könnyen és egyszerűen beépíthetők bármilyen egyedi tervezésű eszközbe. [8]

2.3.2.2. Step-up konverterek

A step-up konverterek, olyan elektronikák, amik a beérkező feszültséget felskálázzák, miközben az áramerősséget csökkentik. Ilyen áramkörök rendszeresen használatosak olyan helyeken, ahol a tápforrás akkumulátor, napelem vagy nem elegendő nagyságú egyenáram. Ezek a konverterek a bemenetüknél kisebb feszültséget nem képesek előállítani, csak nagyobb, továbbá a bemeneti teljesítménynél mindig kisebb a kimeneti teljesítmény. [9]

2.3.2.3. Mérlegcellák

A terhelésmérő cella az erőt, például a feszültséget, a tömörítést, a nyomást vagy a nyomatékot elektromos jellé alakítja át, amely mérhető és szabványosítható. Ahogy a terhelésmérő cellára ható erő növekszik, az elektromos jel egy adott függvény szerint változik. A terhelésmérő cellák leggyakoribb típusai a pneumatikus, a hidraulikus és a nyúlásmérő cellák. [12]

Az iparban a legtöbbet használt mérőcellákon nyúlásmérő bélyegek találhatók, ez alól nem kivétel az én eszközömben lévő mérlegcella sem. A mérlegcella terhelés hatására kis mértékben eldeformálódik, és a rá ragasztott nyúlásmérő bélyeg is követi az elváltozást, ezzel megváltoztatva az ellenállását. Ezt a változást egy HX711 típusú IC erősíti fel, és alakítja számomra feldolgozható információvá. [13]

2.3.2.4. RFID matricák és olvasók

A rádiófrekvenciás azonosítás (RFID) során elektromágneses mezők segítségével automatikusan azonosítunk egy tárgyra erősített címkét. Az RFID rendszer egy apró rádiótranszponderből, egy rádióvevőből és egy adóból áll. Amikor egy közeli RFID olvasó eszköz elektromágneses impulzusa áramot indukál a címke antennájában, ennek hatására az digitális adatokat küld vissza az olvasónak. [11]

Az általam használt RFID rendszer típusa ARPT (Active Reader Passive Tag, magyarul: aktív olvasó és passzív címke). Ez a rendszer aktív olvasóval rendelkezik, amely a lekérdezőjeleket továbbítja, és a passzív címkék hitelesítési válaszait is fogadja. Ennek a fajta felépítésnek az a fő előnye, hogy a címke passzív elem, tehát semmilyen fajta tápellátásra nincsen szüksége, ezáltal a mérete is jelentősen kisebb, mint az aktív társainak. [11]

2.3.2.5. OLED kijelző

A kijelző OLED (Organic Light-Emitting Diode, magyarul: szerves fénykibocsátó dióda) diódákból épül fel. Ezekben a kijelzőkben nincs szükség háttérvilágításra, mivel minden egyes képpontjuk látható fényt bocsát ki. Ennek a tulajdonságnak köszönhetően jelentősen vékonyabb és nagyobb fényerőjű tud lenni, mint LCD (Liquid-Crystal Display, magyarul: folyadék kristályos kijelző) típusú társaik. Az ilyen típusú a kijelzőknek nagy előnyük az alacsony fogyasztás, továbbá a jó betekintési szög, ezért előszeretettel szerelnék ilyen technológias kijelzőket televíziókészülékekbe, monitorokba vagy akár okostelefonokba. [10]

2.4. 3D nyomtatás, prototípus gyártás

A 3D nyomtatás során egy háromdimenziós tárgy CAD-modelléből vagy egy digitális 3D-modellből történik a valódi tárgy előállítása. Ez többféle eljárással végezhető, amelyek során az anyagot számítógépes vezérléssel rakják le, illesztik össze vagy szilárdítják meg. Az anyagok lehetnek sokfélék, például műanyagok, folyadékok vagy porszemcsék is. Ezek egymáshoz illesztése jellemzően rétegről rétegre történik. [14]

Az 1980-as években a 3D nyomtatási technikákat csak funkcionális vagy esztétikai prototípusok előállítására tartották alkalmasnak. Az akkor használt folyamatokra találhatóbb kifejezés volt a gyors prototípus gyártás. 2019-től a 3D nyomtatás pontossága, megismételhetősége és anyagválasztéka olyannyira megnőtt, hogy egyes 3D nyomtatási eljárásokat ipari-gyártási technológiaként is életképesnek tartanak, így az additív gyártás kifejezése a 3D nyomtatás szinonimájaként használható. A 3D nyomtatás egyik legfontosabb előnye, hogy nagyon összetett formák vagy geometriák előállítására is képes, amelyeket egyébként lehetetlen lenne kézzel megépíteni, beleértve az üreges alkatrészeket vagy a súlycsökkentés érdekében belső rácsszerkezetű alkatrészeket. 2020-tól a legelterjedtebb 3D nyomtatási eljárás az FDM (Fused Deposition Modeling, magyarul: olvasztott lerakásos modellezés). [14]

2.4.1. FDM nyomtatás

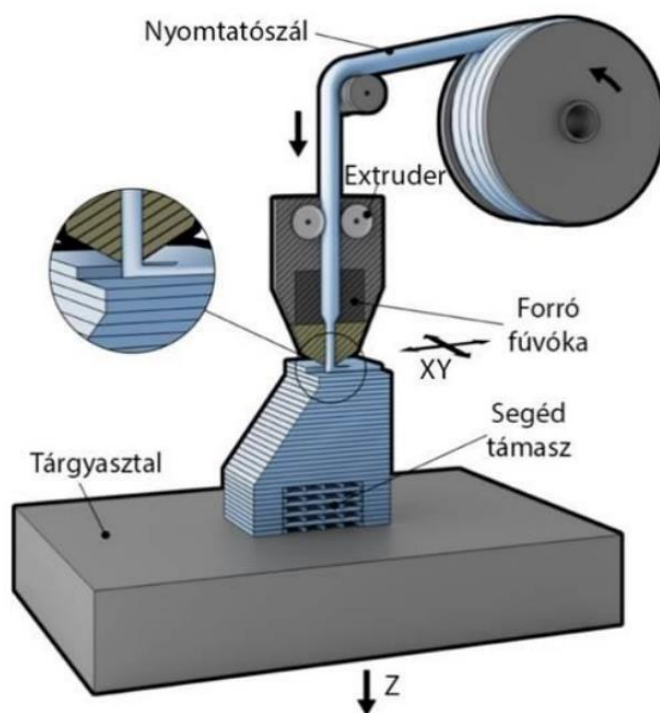
Az FDM egy olyan 3D nyomtatási eljárás, amely egy hőre lágyuló anyagból készült műanyag szálát, más néven filamentet használ. A filamentet egy orsóról egy mozgó, fűtött nyomtató extruder fején keresztül adagolja, és a lassan növekvő tárgyra rakja. A nyomtatófejet számítógépes vezérléssel mozgatják a nyomtatott forma meghatározásához. Általában a fej két dimenzióban mozog, hogy egyszerre egy vízszintes síkot, azaz réteget rakjon le. A munkadarabot vagy a nyomtatófejet ezután függőlegesen kis mértékben elmozdítják, hogy egy új réteget kezdjenek. Az extrudáló fej sebessége is szabályozható a lerakódás leállítása és elindítása, valamint a szakaszok közötti zsinórozás vagy csöpögés nélküli, megszakított sík kialakítása érdekében. [14]

Az FDM a legnépszerűbb (a gépek száma alapján) a hobbiszintű 3D nyomtatásban. Más technikák, például a fotopolimerizáció és a porszinterezés jobb eredményt adhatnak, de lassabbak, és sokkal költségesebbek. A 3D nyomtatófej vagy a 3D nyomtató extruder az anyag extrudálásos additív gyártásban a nyersanyag megolvasztásáért, vagy lágyításáért és folyamatos

profilálá alakításáért felelős alkatrész. A legkülönbébb szálakat extrudálják, köztük olyan hőre lágyuló műanyagokat, mint például az ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene, magyarul: akrilnitril-butadién-sztirol), a PLA (Polylactic Acid, magyarul: politejsav), a PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol-modified, magyarul: glikollal módosított polietilén-tereftalát), a PET (Polyethylene Terephthalate, magyarul: polietilén-tereftalát), a TPU (Thermoplastic Polyurethane, magyarul: termoplasztikus poliuretán). Az előbb említett filamenteken kívül sok egyéb fajta is létezik. Kaphatóak filamentek, amikbe különféle anyagokat tesznek, például karbont vagy alumínium port, ezzel erősítve a készterméket, de léteznek vízben oldódó filamentek is. [14]

3D nyomtatás során a legtöbbet használt műanyag a PLA, mert kedvező árú, továbbá könnyű vele nyomtatni, mindezek mellett a kapható filamentek közül az egyik legkörnyezetbarátabb anyag is. Könnyű nyomtathatósága annak köszönhető, hogy alacsony hőmérséklet is elég a nyomtatásához, fűtött nyomtatási asztalt nem igényel, továbbá környezeti változásokra sem érzékeny. [14]

A 3. ábrán látható az FDM nyomtatási technológia működési elve.



3. ábra Szálhúzásos 3D nyomtatási technológia működési elve [3]

3. Termékfejlesztés

Ebben a fejezetben a célom, hogy bemutassam a termék fejlesztését, kezdve a célok kitűzésével, a fejlesztési lépések ismertetésével egészen a megvalósításig.

3.1. Célok megfogalmazása

Az OTDK dolgozatom fő célja, hogy a kisméretű alkatrészek és termékek automatizáltan is könnyen nyomon követhetők és megszámlálhatók legyenek. A másik célom, egy olyan eszköz megvalósítása, ami képes eszközökkel való kommunikációra, ezáltal könnyen beilleszthetővé válik egy IoT rendszerbe.

A dolgozat megvalósításához, azt a tényt használtam ki, hogy minden kis tárgynak, legyen az akár milyen aprócska is, van tömege, és ezáltal súlya is.

Az elképzelésem, hogy különféle tárgyak és alkatrészek egy tárolódobozban kerülnek a mérő eszközre, ami egy RFID matrica segítségével különbözteti meg a rá helyezett tárgyakat. Fontosnak tartottam, hogy mivel az eszköz vezeték nélküli kommunikációval rendelkezik, így a tápellátása se legyen helyhez kötött, akkumulátorral is megoldható legyen. A végső célom az volt, hogy a felhasználónak ne kelljen semmilyen extra tevékenységet elvégeznie az eszköz használat során, pusztán a tárolódoboznak az eszközre helyezését.

3.2. A projekt kezdeti lépései

A projekt megvalósításának az első lépése az eszköz elkészítéséhez szükséges alkatrészek kijelölése volt. A mikrokontroller kiválasztásával kezdtem, ami az eszköz agyát képviseli. Erre a célra egy ESP32 alapú mikrokontrollert választottam. A döntésem oka az volt, hogy ebben az eszközben található beépített WiFi modul, ezzel teljesítve azt a feltételt, hogy az eszköz IoT rendszerbe illeszthető legyen.

A következőben kiválasztottam az eszköz fő elemét, a súlymérést végző mérlegcellákat. Itt a döntésem az M5Stack által gyártott mérleg készletre esett. Ebben a készletben megtalálható négy darab mérlegcella, továbbá egy elektronika, ami feldolgozza a négy érzékelőből érkező jelet, és a kimenetén már egy tömeg értéket ad tovább a mikrokontroller felé. Választásom oka itt is az volt, hogy nagy támogatottsága legyen. Az interneten található oktatóprogramok és -videók segítségével könnyen ESP32-vel is kompatibilissé tehető a készlet.

A mérlegcella csomag kiválasztása után, az M5Stack oldalán megnéztem, az OTDK projektem számára milyen hasznos modulokat gyárt a cég. Itt találtam egy RFID olvasót, ami minden tulajdonságában megfelelő volt számomra.

Az eszközön néhány alapvető információt meg szerettem volna jeleníteni, többek között az akkumulátor töltöttségi szintjét, és az IoT rendszerrel való kapcsolat állapotát. Erre a célra egy kicsi, 0.96” -os OLED kijelzőt választottam. Azért erre a kijelzőre esett a választásom, mert a kis felbontása mellett nagy betekintési szöggel rendelkezik, így nem teljesen szemből nézve is jól leolvasható marad.

A legvégén az eszköz tápellátásához szükséges alkatrészeket. A projekt elkészítéséhez szükségem volt egy akkumulátorra, ahol a talán legismertebb 18650-es méretű Li-Po akkumulátorra esett a választásom, mivel, egy esetleges meghibásodás esetén könnyen cserélhető az elterjedtsége miatt. Mivel akkumulátorról is működtethető az eszköz, így szükség volt egy kis méretű, beépíthető Li-ion töltőre is, továbbá egy Step-up konverterre is, mivel az alkatrészek működtetéséhez 5V feszültségre van szükség.

A méréseknél mivel kis tárgyakat szeretnék mérni, ezért egy szabvány mérődobozra is szükségem volt. Erre a célra a magyar MH-5 BOX tárolódoboznak megfelelőt kerestem, ami a 4. ábrán látható.



4. ábra Tárolódoboz, MH-5 BOX méretű [4]

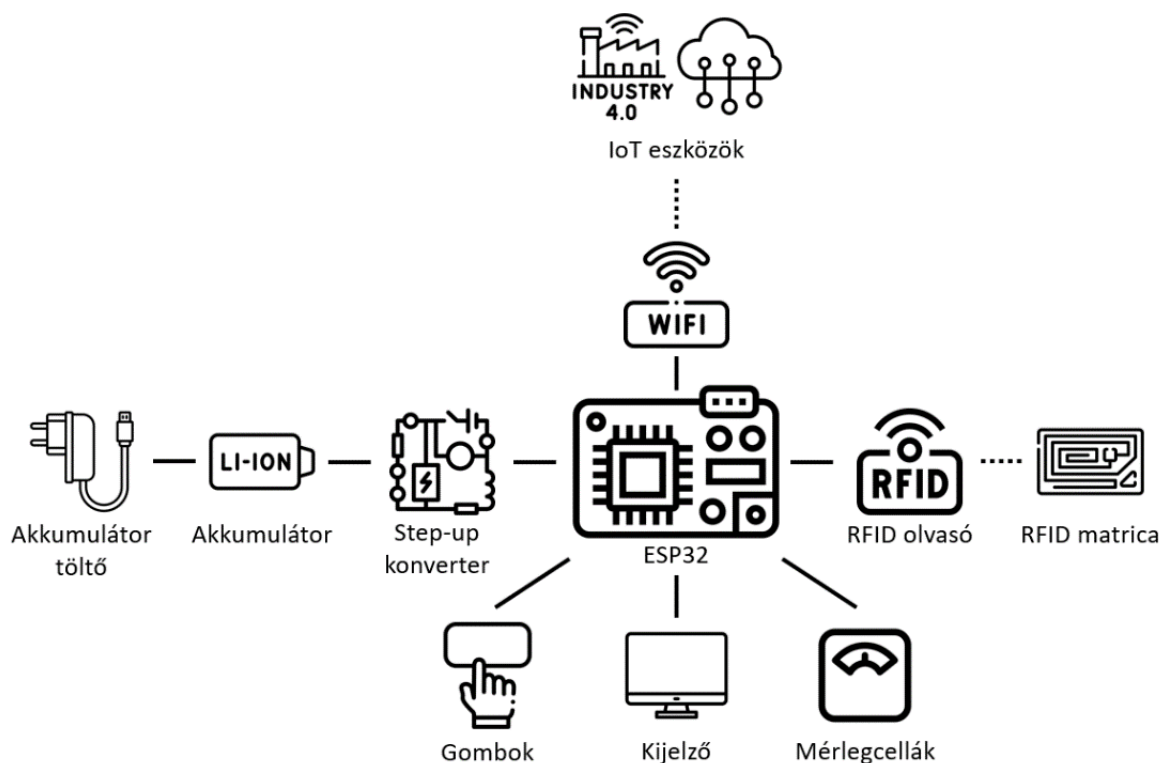
3.3. Tervek készítése, CAD-es megvalósítás

3.3.1. Elektronikai tervezés

Az OTDK projektem megvalósításához a következő mikroelektronikai alkatrészeket használtam fel:

- ESP32 alapú mikrokontroller
- Négy darab mérlegcella és erősítő áramköre
- RFID olvasó és matricák
- Akkumulátor és töltő elektronika
- Áramtalanító kapcsoló
- Step-up konverter
- OLED kijelző
- Gombok

A mikroelektronikai alkatrészek kiválasztása után az eszköz villamos alkatrészek logikai kapcsolatainak tervezése következett. A tervrajz az 5. ábrán látható az alábbiakba:



5. ábra Az eszköz logikai felépítése

3.3.2. 3D modell elkészítésének előkészületei

A modellezés megkezdése előtt lemértem minden alkatész egy tolómérő segítségével, hogy a későbbiekben a 3D modell elkészítése közben már gördülékenyebben mehessen a munka. Fontos minden alkatrész előzőleges lemérése, mert enélkül a tervezés pontatlan lesz, és többszöri újra tervezést igényelne. A méretek ismeretében először kézi rajzokat készítettem, hogy hogyan nézhetne ki a végső modell. A végső kinézet kiválasztása után, egy papírlapra helyezve az alkatrészeket, elkezdtem elhelyezni őket, hogy milyen elrendezésben férnek el a legkisebb helyen. A megfelelő helyek kiválasztása figyeltem az eszköz súlyelosztására, hogy minél alacsonyabban legyen a súlypontja, ezáltal a lehető legstabilabbá téve a készüléket. Ezen felül fontos volt figyelni a mérőcellák elhelyezkedésére, a mérőlap szabad mozgásának biztosításának érdekében.

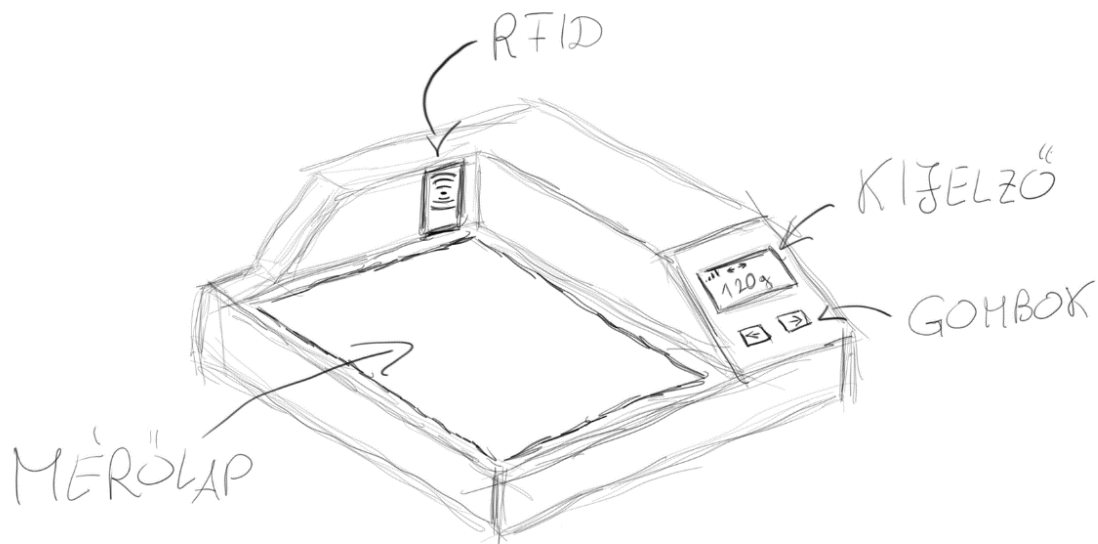
Az eredeti elgondolásomat követve, az eszközre helyezett tárolódobozt RFID matrica segítségével szerettem volna detektálni. A matrica elhelyezésénél nem volt sok választási lehetőségem, mert figyelnem kellett, hogy a tárolódoboz használatától a lehető legkisebb eséllyel sérüljön meg a matrica. Az RFID hatótávolsága miatt, mindenképpen a doboz külső felére kellett ragasztanom a címkét. Választási lehetőségként a doboz alja, oldalai és háta maradt. Az alját a matrica épségének megőrzése céljából ki is zártam. A tároló oldala és háta között az alapján döntöttem, hogy az eszköz hátuljába könnyebben el tudom helyezni az olvasót.

Az általam használt RFID közel már egy centiméteres távolságból is érzékeli címkét, viszont oldalirányban és függőlegesen meglehetősen kicsi a tűréshatára. Ezen tényezők fentállása miatt mindenképpen figyelnem kellett a tárolódoboz megfelelő pozicionálására.

A tényleges modellezés megkezdése előtt ceruzás vázlatokat készítettem az eszköz lehetséges kinézeteiről, alakjairól. Ezeknél a rajzoknál az alkatrészeknek csak arányára és alakjára figyeltem.

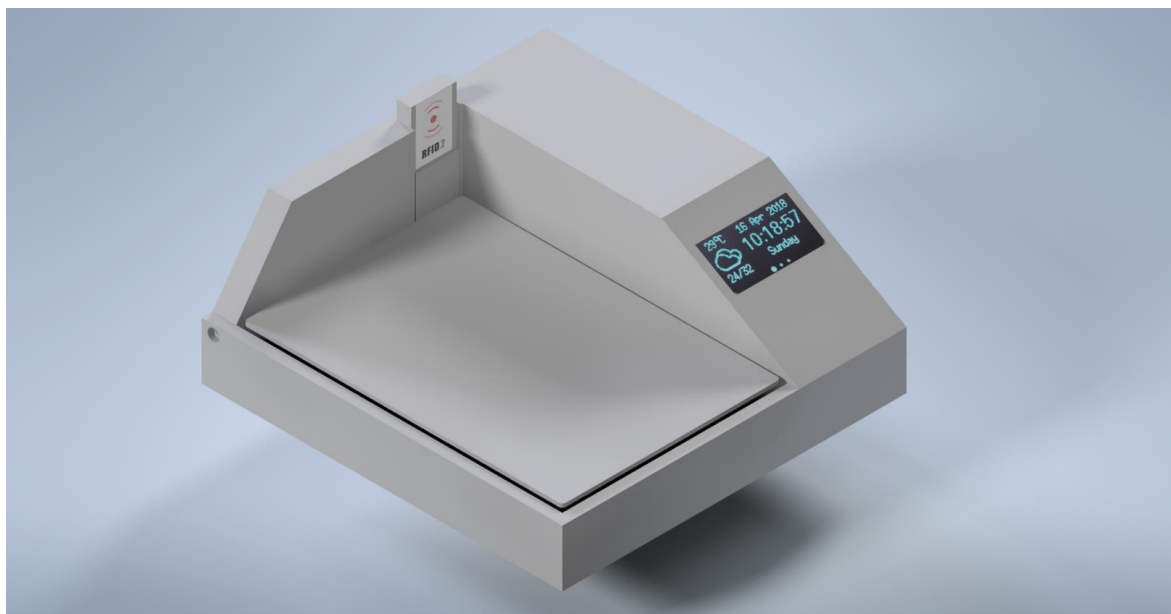
3.3.3. Az első változat látványtervei

Az kézrajzok közül kiválasztottam a legjobbnak tűnőt, az alábbi képen látható az elkészült vázlat: (6. ábra)



6. ábra Az első verzió ceruzás vázlata

A kézrajz kiválasztása után készítettem az eszközről egy 3D modellt, amin kizárólag csak a megfelelő helyre kerültek az alkatrészek, de a rögzítésüket itt még nem terveztem meg. Az alábbiakban a 7. ábrán látható a modell:



7. ábra Az első verzió 3D modellje

A tárolódoboz pozicionálásának problémáját azzal oldottam meg, hogy a mérőasztal jobb hátsó sarkáig kell tolni a dobozt. Az RFID matricát a dobozon jól látható élekhez kell ragasztani, így azzal annak a helye pontos a dobozhoz képest. Az olvasó helyzete is minden dimenzióban meghatározott az eszközhöz képest, mivel integrálva van az eszközbe. Így, ha a tárolódobozt hátrafele és jobbra is ütközésig toljuk a mérőlapon, az RFID matrica és olvasó tökéletesen szembe kell, hogy kerüljön egymással.

A tervezés során szűk mozgásterem volt, mivel az RFID olvasó megfelelő működése érdekében, eléggé kötött az eszköz alakja. A jelenleg elkészült kézrajzon és 3D modellen látható eszköz kinézetre inkább egy egyszerű konyhamérlegre hasonlít, mint egy iparban használatos termékre. Mindazonáltal, hogy az eszközt egy Ipar 4.0 környezetben való használatra terveztem, egy modernebb, innovatívabb külsővel szerettem volna ellátni.

Az esztétikai aggályokon túl, a mérések szempontjából is felfedeztem egy hibát. Mivel a tárolódoboz megfelelő pozicionálásához ütközésig kell tolni, így folyamatosan hozzá fog érni az eszköz azon részével, ami fix, ezzel, ha csak kis mértékben is, de pontatlanabbá fogja tenni a méréseket.

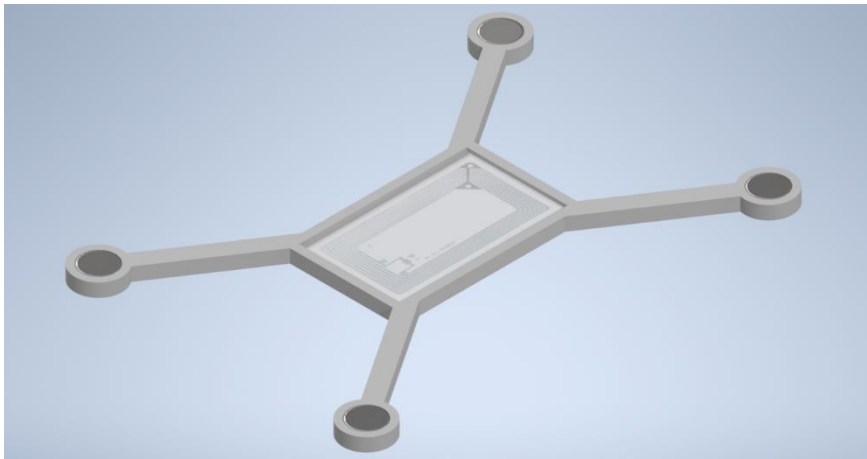
3.3.4. Az első változat továbbfejlesztése

Az előző bekezdésekben említett problémákra egy másik projektben lévő megoldás adott ihletet. Ekkor kezdtem el gondolkodni az eszköz előző verziójának az újragondolásán. A pozicionálás megoldható mágnesek segítségével is, és ebben az esetben nem kell ütközésig tolni a tárolódobozt. Az általam elképzelt mágneses pozicionálás során a mágnesek nem fogják önállóan a tárolódobozt a helyére húzni, csak segítik az eszköz használóját, hogy a dobozt a megfelelő helyre tegye.

A tárolódobozra helyezendő mágnesek elhelyezésére a legmegfelelőbb helynek a doboz oldalfalát találtam. Itt megtalálható oldalanként 3-3 nút, ezekbe lehetne a mágneseket beragasztani. Alapvetően egy doboz esetén ez is egy jó megoldás lenne, de a raktározás esetén az egymás mellett levő mágnesek zavarhatják egymást. Amennyiben taszítják egymást, az nehezíti a dobozok elrendezését, ha pedig vonzzák egymást, akkor összeütődések esetén eltörhetnek. A végleges elhelyezésre a legjobb helyet a doboz alján találtam, a tárolódoboz szélétől kicsivel eltartva. Erre azért van szükség, mivel ezek a dobozok egymásba helyezhetők, és ezt a funkcióját nem szeretném elvenni. Ebben az esetben, ha négy darab mágnest helyezek a doboz aljára, a pozicionálás megoldódik, és a tárolással sem lesz probléma.

Mivel a mágneses rögzítésnek köszönhetően nem szükségesek az eszköznek a hát és oldalfalai, továbbá a négy darab mágnes kis lábként elemeli a dobozt az asztaltól/poletól, így az RFID matrica helyét is újra átgondoltam. Ezekkel a változtatásokkal lehetőségem nyílt a matrica a doboz aljára való rögzítésére.

Ragaszkodtam ahhoz, hogy a tárolódobozokat minél gyorsabban át lehessen alakítani, elég legyen csak egyetlen dolog felragasztása, így terveztem egy X alakú tartó keretet, aminek a négy sarkában mágnesek, míg a közepében az RFID matrica helyezkedik el. Ez előre összeszerelhető, így a dobozok átalakításánál továbbra is csak egy dolgot kell rájuk ragasztani. Mivel egy darabban kerül felhelyezésre a négy darab mágnes a tárolódoboz aljára, ezért biztosan jó helyre kerülnek a mágnesek egymáshoz viszonyítva. Az alábbiakban látható az erről készült modell: (8. ábra)



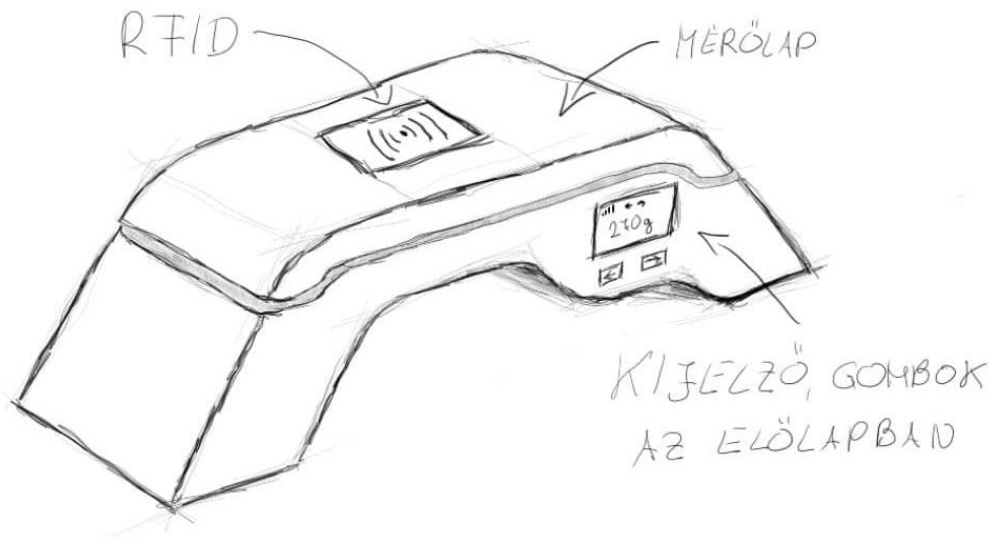
8. ábra A mágneseket és az RFID matricát tartó keret

A fentebb tárgyalt 3D modell megtervezésekor figyeltem, hogy az alkatrész FDM típusú 3D nyomtató segítségével könnyen nyomtatható legyen, továbbá a méretek a rétegvastagság és a minimális nyomtatható vonalszélesség egész számú többszöröseik legyenek.

Az RFID matrica új helyre kerülésének és a mágneses pozícionálásnak köszönhetően, már nincsen szükség az eszköz hát- és oldalfalára. Ezek elhagyása, és a címke áthelyeződése miatt az RFID olvasót is új helyre kellett terveznem. Egyetlen lehetséges és egyben működő megoldás a mérőlapba való beillesztése volt. Mivel az eszköz a bekapcsolásakor nullázza a mért súlyt (de ez későbbiekben is megtehető gombnyomásra), így nem számít bele a mérésbe az olvasó elektronika súlya.

3.3.5. A második változat tervezése és modellezése

A második változatnál törekedtem a hát- és oldalfal teljes elhagyására, ezáltal az eszköz legmagasabb pontja a mérőasztal lesz. Ez a célom miatt a kijelzőt is át kellett helyeznem. Mivel fontos, hogy az eszköz használata során mindig jól látható helyen legyen, ezért a készülék elejére került. A tervezés során figyeltem arra, hogy modernebb és innovatívabb külsővel rendelkezzen. A 9. ábrán látható a második változat kézírajza.



9. ábra A második verzió ceruzás vázlata

A kézrajz elkészülte után az eszköz alakja megváltozott, ezért a belsejében elhelyezkedő alkatrészeknek a helyét is módosítani kell. Miután meglett mindennek a megfelelő helye és nagyjából az eszköz méretei is, elkezdhettem a modellezést. Az elkészült 3D modellről az alábbiakban látható egy fénykép: (10. ábra)



10. ábra A második verzió 3D modellje

3.4. 3D nyomtatás

A vázlat 3D modellje elkészülte után lemodelleztem az eszköz alkatrészeit. A folyamat során nagy figyelmet fektettem arra, hogy pusztán 3D nyomtatás segítségével elkészíthető legyen minden alkatrész, ehhez figyelembe kellett vennem a nyomtató által nyomtatni képes legkisebb vonalszélességet, továbbá rétegvastagságot. A modellezés során pontosan megterveztem minden egyes alkatrész helyét-, és lefogását az eszközben, így használat és szállítás közben sem mozdulhat el egy alkatrész sem.

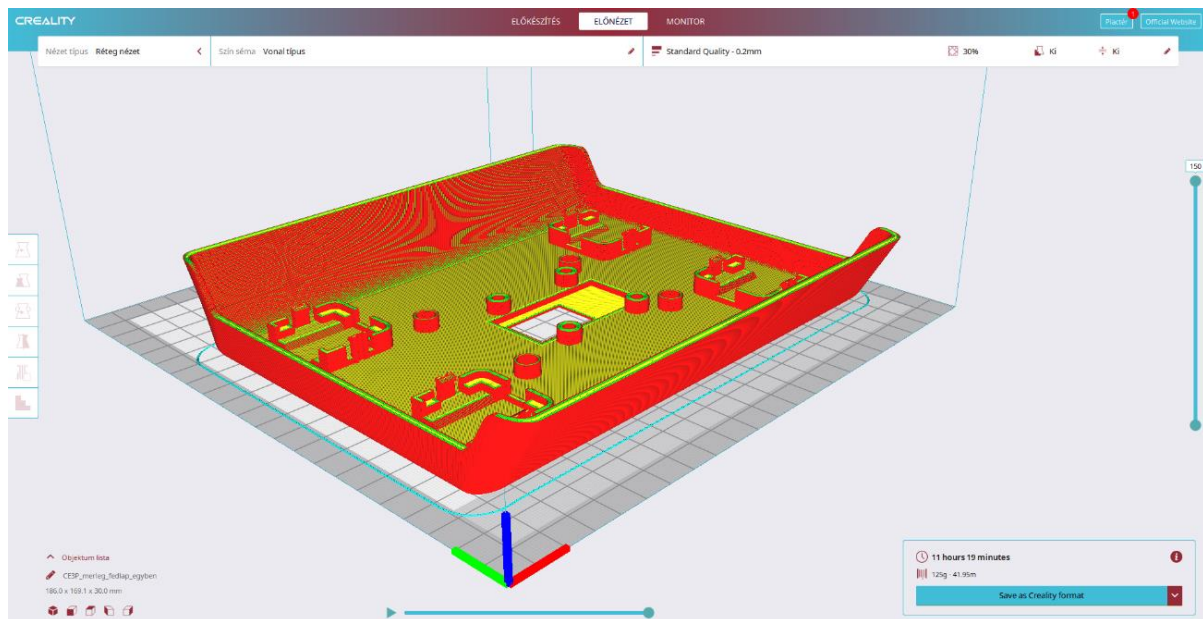
A fizikai megvalósításhoz egy, a Creality Ender 3 Pro nevű FDM típusú 3D nyomtatót használtam. A nyomtatás előtt kiválasztottam a megfelelő filamentet, ami egy PLA anyagú műanyag lett. Azért erre az anyagra esett a választásom, mert a létező filamentek közül ez az egyik legkörnyezetbarátabb, továbbá költséghatékony is.

3.4.1. A 3D modell szeletelése

A 3D nyomtatás előtt az elkészült modellt egy program segítségével szeletelni kell. Mivel a 3D nyomtatás technológiája arra épül, hogy a rétegeket egymás után nyomtatja ki, így ez a program a modelleket szeletekre vágja. Ezek után rétegenként végigmegy a modellen, és minden szintet G kóddá alakít, amit a 3D nyomtató fel tud dolgozni. A szeleteléshez én a Creality gyári programját használtam.

A folyamat megkezdéséhez a program elindítása után behívtam a nyomtatni kívánt alkatrészt, majd az alkalmazás automatikusan odahelyezte a 3D nyomtató virtuális nyomtatási területébe, majd ezután a megfelelő helyre mozgattam.

A következő lépésben be kell állítani a nyomtatási beállításokat, többek között a hőmérsékleteket, a nyomtatás sebességét, mekkora legyen az alkatrész falvastagsága vagy a kitöltése. Minden tulajdonság megfelelő beállítása után következhet a tárgy szeletelése. Ha végzett ezzel a program láthatunk az alkatrészeiről egy ábrát, amin már az elszelelt rétegek vannak egymás felett. Erről a következő oldalon látható egy fotó a 11. ábrán.



11. ábra Crealty gyári szeletelő programja

3.4.2. Alkatrészek kinyomtatása

A szeletelés végeztével a program által generált G kódot a 3D nyomtató SD kártyájára helyezzük. Ezzel a számítógépen végzett tervezőmunka a végéhez ért.

A nyomtatás előtt por és zsír mentesíteni kell a tárgyasztalt (ez az a felület, ahova a nyomtató a műanyagot adagolja). A következő lépésben kell bekapcsolni a 3D nyomtatót, majd előfűteni a nyomtatáshoz. Ha elérte a nyomtató a megfelelő hőmérsékletet, el lehet indítani a nyomtatást. Ezután a nyomtató már minden munkát elvégez magától. Minden egyes alkatrésznél a fentiekben leírt folyamatokon kell végig menni.

3.5. Összeszerelés

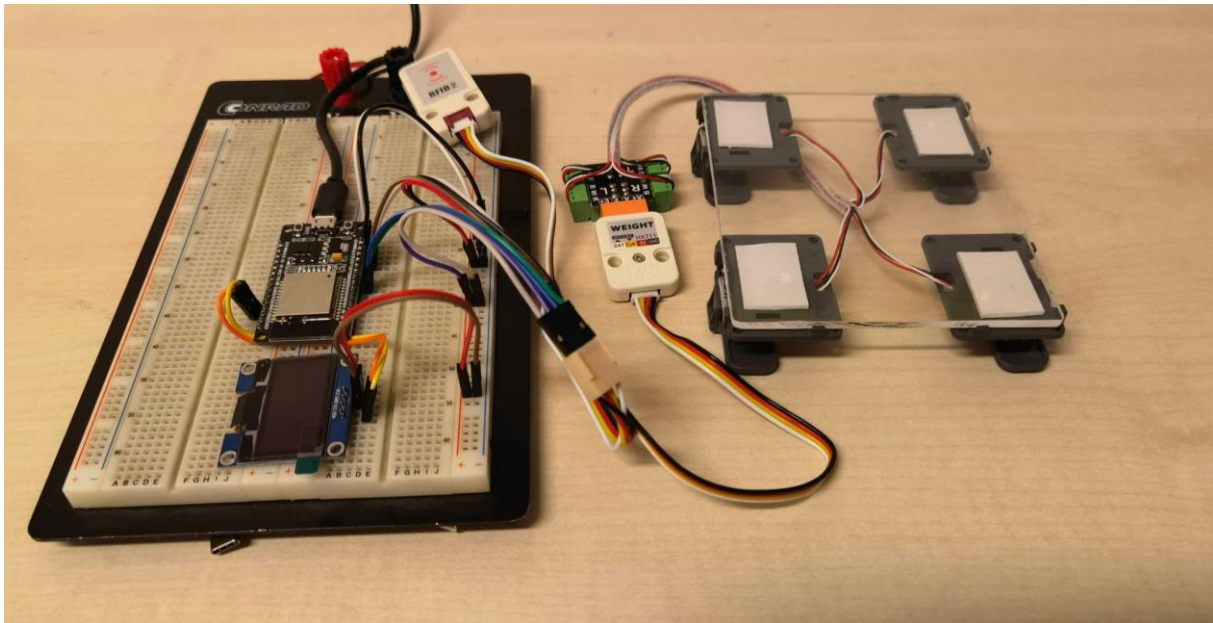
A nyomtatás elkészülte után az alkatrészek összeszerelése következett. Legelső lépésben a beolvasztós réz anyákat kell a helyükre helyezni egy forrasztópáka segítségével.

Következő lépésben a mikroelektronikai alkatrészeket beszereljük ideiglenesen a helyükre. Ezután kis ráhagyással lemértem pontosan a szükséges hosszúságú vezetékeket. Miután az összes vezeték levágtam megfelelő hosszúságúra, Az alkatrészeket a vázból kivéve összeforrasztottam az őket. A művelet végeztével mindent visszaszereltem az eszköz házába. Utolsó lépésben ráhelyeztem a mérőlapot, és alulról rögzítettem csavarokkal.

3.6. Programozás

Az összeszerelést követően a programozás következett. Első alkalommal teszteltem, hogy a részprogramok, hogyan működnek együtt. Minden szenzortól (mérlegcellák, RFID olvasó, gombok) érkező adatokat megjelenítettem a lapomon és a beépített kijelzőn. Mikor láttam, hogy minden hiba nélkül és stabilan működik, folytattam a programozást.

A 12. ábrán látható a programozáshoz és teszteléshez összekötött mikroelektronikai elemek.



12. ábra Mikroelektronikai alkatrészek

3.6.1. RFID matricák írása és olvasása

A legelső lépésben feltöltöttem a mikrokontrollerre egy olyan programot, ami segítségével az RFID matricák írását tudom elvégezni. Minden címkére kizárólag egyetlen adat került, egy sorszám. Mivel az eszköz internetes kapcsolattal rendelkezik, továbbá IoT rendszerbe illeszthető, így a tárolódobozokon lévő RFID matricára nem szükséges egy sorszámnál több információt rögzíteni. Az eszköz a címke leolvasása után egy online adatbázisból lekérdezi az adott dobozhoz tartozó adatokat, mint például a benne lévő darabszámot. Így ezzel a megoldással a matricán lévő adatokat soha nem kell módosítani, elegendő az online adatbázisban frissíteni őket.

3.6.2. OLED kijelző használata

Első sorban a szöveges kijelzéssel foglalkoztam, majd miután ez hiba mentesen működött, pár ikon kijelzését is megterveztem. A korábban kitűzött céljaimhoz híven, a kijelzőre kikerült a

sikeres vagy sikertelen kapcsolatfelvételhez egy logó, Továbbá készítettem egy akkumulátor töltöttséget jelző ikont a kijelző jobb felső sarkába, amivel nyomon követhetjük az eszköz állapotát, hogy jelenleg merül vagy töltődik. A következőkben megterveztem két hibaüzenet is, amiket a kijelzőn jelenítek meg a megfelelő alkalommal Az egyik az akkumulátor lemerülésére figyelmezteti az eszköz használatát, míg a második az eszköz túlterhelésére.

3.6.3. WiFi-s kommunikáció

A tervezés elején egyik kikötött célom az volt, hogy az eszköz internetes kommunikációval rendelkezzen, ezáltal IoT rendszerbe illeszthető legyen. Mivel rendelkezésemre nem állt semmilyen IoT rendszer, így úgy döntöttem, hogy egy másik mikrokontrollerrel fog kommunikálni az általam tervezett eszközzel. A másik mikrovezérlőnek egy, az M5Stack által gyártott Core2-es modellt választottam. Azért erre a termékre esett a választásom, mivel ez is ESP32 alapú, így a programozása szinte teljesen megegyezik az általam már használtéval. Továbbá ez a mikrokontroller rendelkezik kijelzővel és SD kártya foglalatával is, utóbbi az adatbázisos rendszer tesztelése végett fogom használni. Az egyszerűség kedvéért, erre a mikrovezérlőre a későbbiekben szerver néven fogok hivatkozni.

A két eszköz közötti információcseréhez az ESP-NOW nevű kommunikációt választottam, mivel mindkét mikrokontroller ESP32 alapú, így működik közöttük ez a protokoll. A kommunikációs kapcsolat létrehozásához mindkét mikrokontrollerre készítettem egy programot, ami a számítógépre kiírja az adott mikrovezérlő MAC címét.

A kommunikációs protokoll két fő részre bontható. Az eszköz bekapcsolásánál egy üzenettel ellenőrzi, hogy a másik eszköz be van-e kapcsolva. Amennyiben nincsen, újra próbálkozik még 2 alkalommal, és ha nem sikerül a kapcsolatfelvétel, kiír egy hibaüzenetet. A másik fő rész az üzenet küldés és fogadás. A küldés egy egyszerű függvény meghívásával történik, míg a fogadásnál a beérkező üzenet megszakítja a program futását és így hív meg egy függvényt.

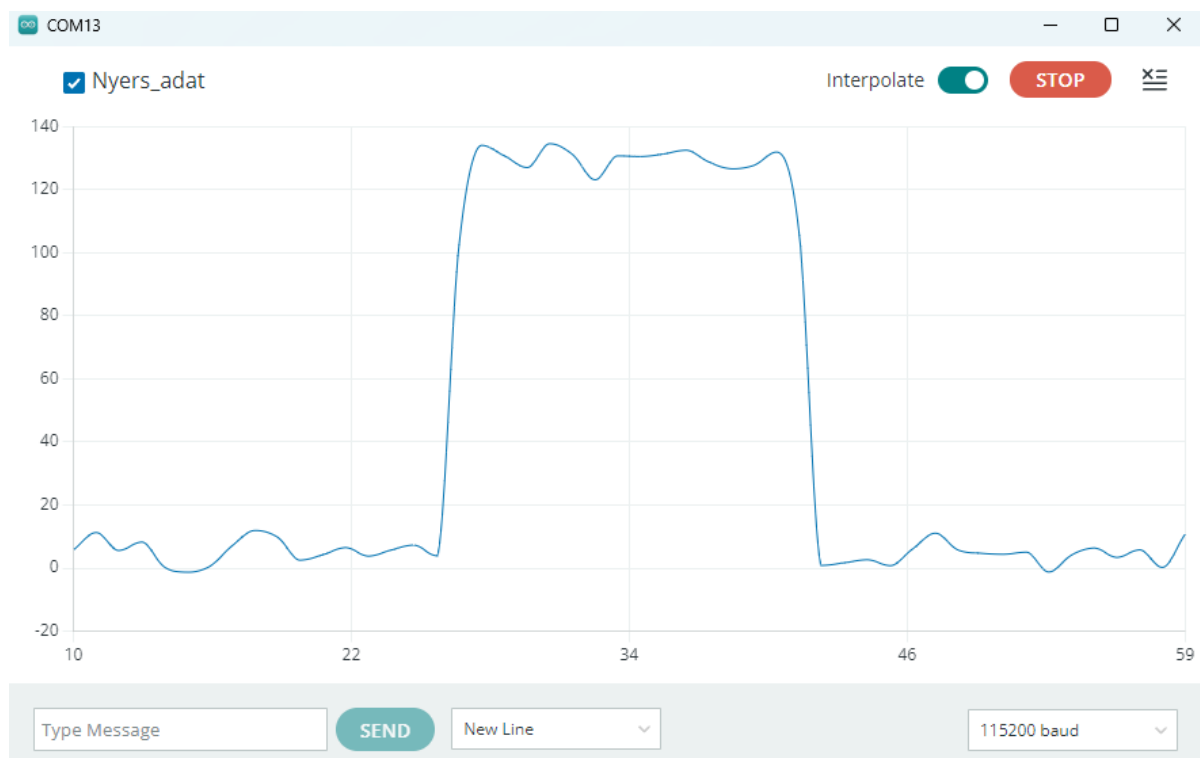
Miután feljegyeztem a címeket, a következő lépésben megírtam egy tesztprogramot, ami során a mérőeszköz a beolvasott RFID címke értékét továbbítja a szerver fele, ami azt 2-szer megszorozva visszaküldi, majd ez a szám kiíródik a kijelzőre. Miután láttam, hogy tökéletesen működik a két mikrokontroller között a kommunikáció, folytathattam a programozást.

3.6.4. Mérlegcellák adatainak feldolgozása

Ebben az alfejezetben a tömegmérés jelének feldolgozásával fogok foglalkozni.

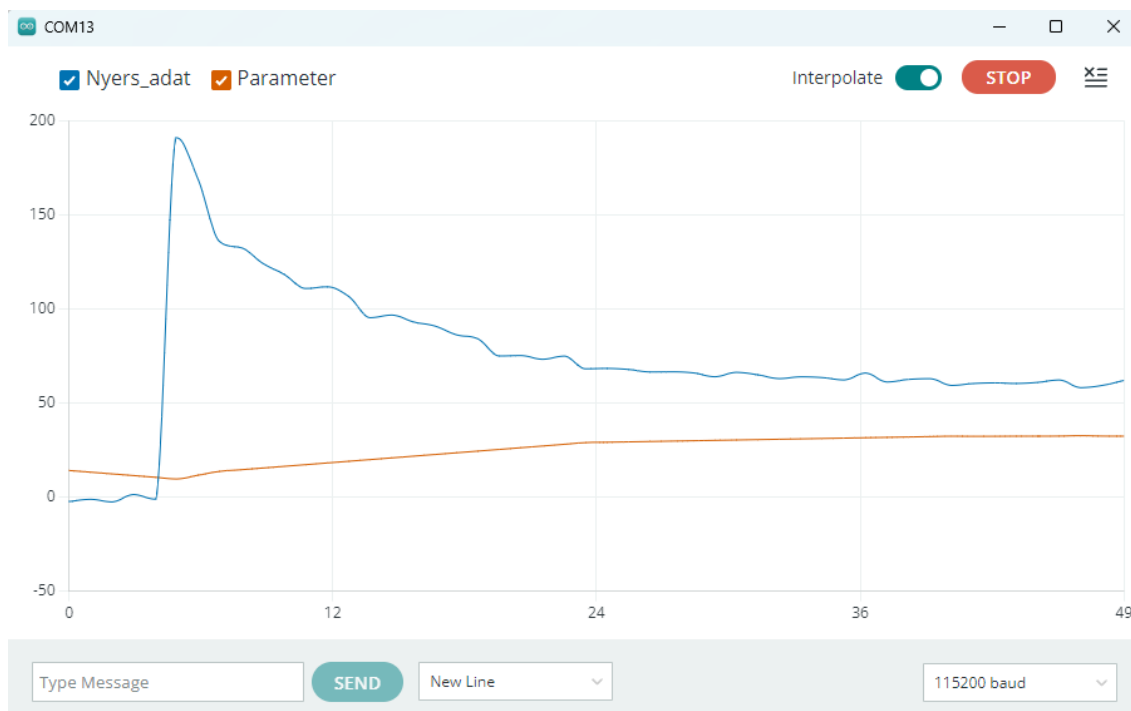
A mérő egység kalibrálása

Legelső lépésben átalakítottam a mintaprogramot, hogy a mérlegcelláktól érkező súly adatokat továbbítsa a számítógépen futó Arduino Ide nevű program soros plotter alkalmazásába, ahol egy kétdimenziós grafikonon jelennek meg az értékek. Az első méréshez egy előre megmért, 60 gramm tömegű tárgyat használtam. Ezen alkalom mérési eredményei 13. ábrán láthatóak.



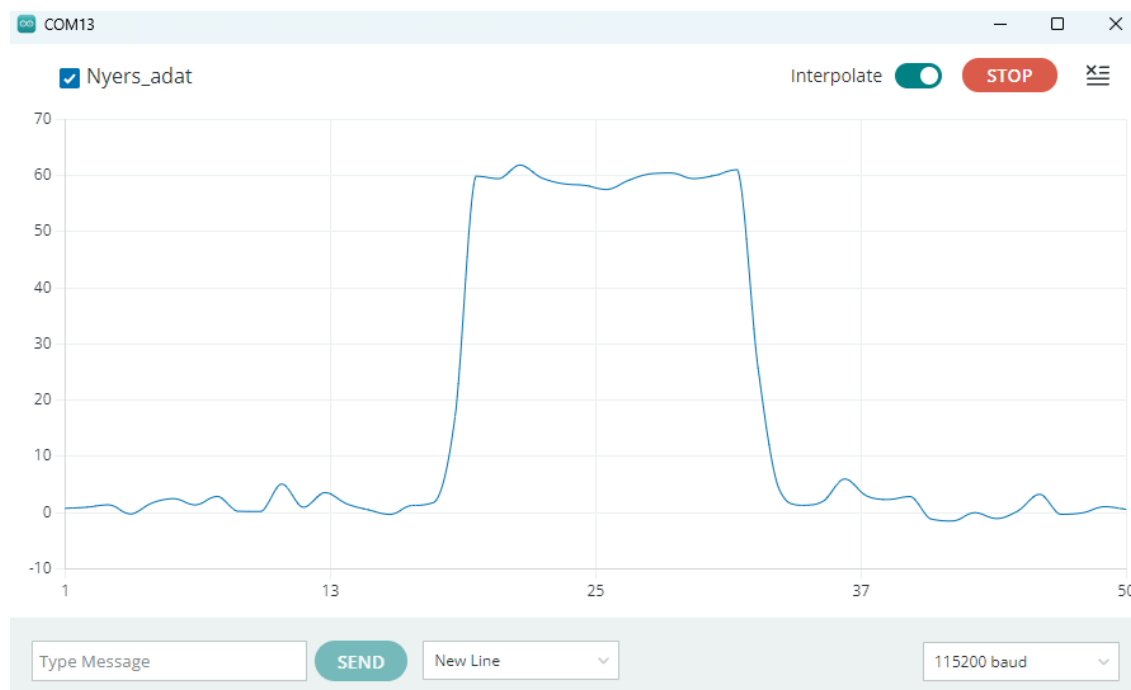
13. ábra Kalibráció nélküli használat

Jól látható, hogy a mérés nagyon pontatlan volt, továbbá meglehetősen zajos, ami a későbbiek problémát jelenhet a kisebb tömegű tárgyak mérésénél. A következő lépésben elvégeztem a gyártó által is javasolt kalibrációs folyamatot. A folyamat elvégzéséhez készítettem egy programot, ami az erősítő elektronika egyik paraméterét addig változtatja, míg el nem éri a programkódba előre beírt 60 grammot a mért érték. A mérés egyre precízebbé válása szemmel is jól látható a következő oldalon lévő grafikonon: (14. ábra)



15. ábra Automatikus kalibráció

A pontos paraméter meghatározása után az első programba beírtam a kapott értéket, majd feltöltöttem a mikrokontrollerre. Ezután elvégeztem újabb méréseket két előre megmért testtel, ahol az egyik 60, a másik 30 grammot nyomott. Az eredmény a 15. ábrán látható.



14. ábra Kalibrált mérés

Jól látható a grafikonon, hogy a mért értékek már nagyon közel vannak a valósághoz, viszont a mérési eredmények továbbra is zajosak.

Az erősítő elektronika zajának csökkentése

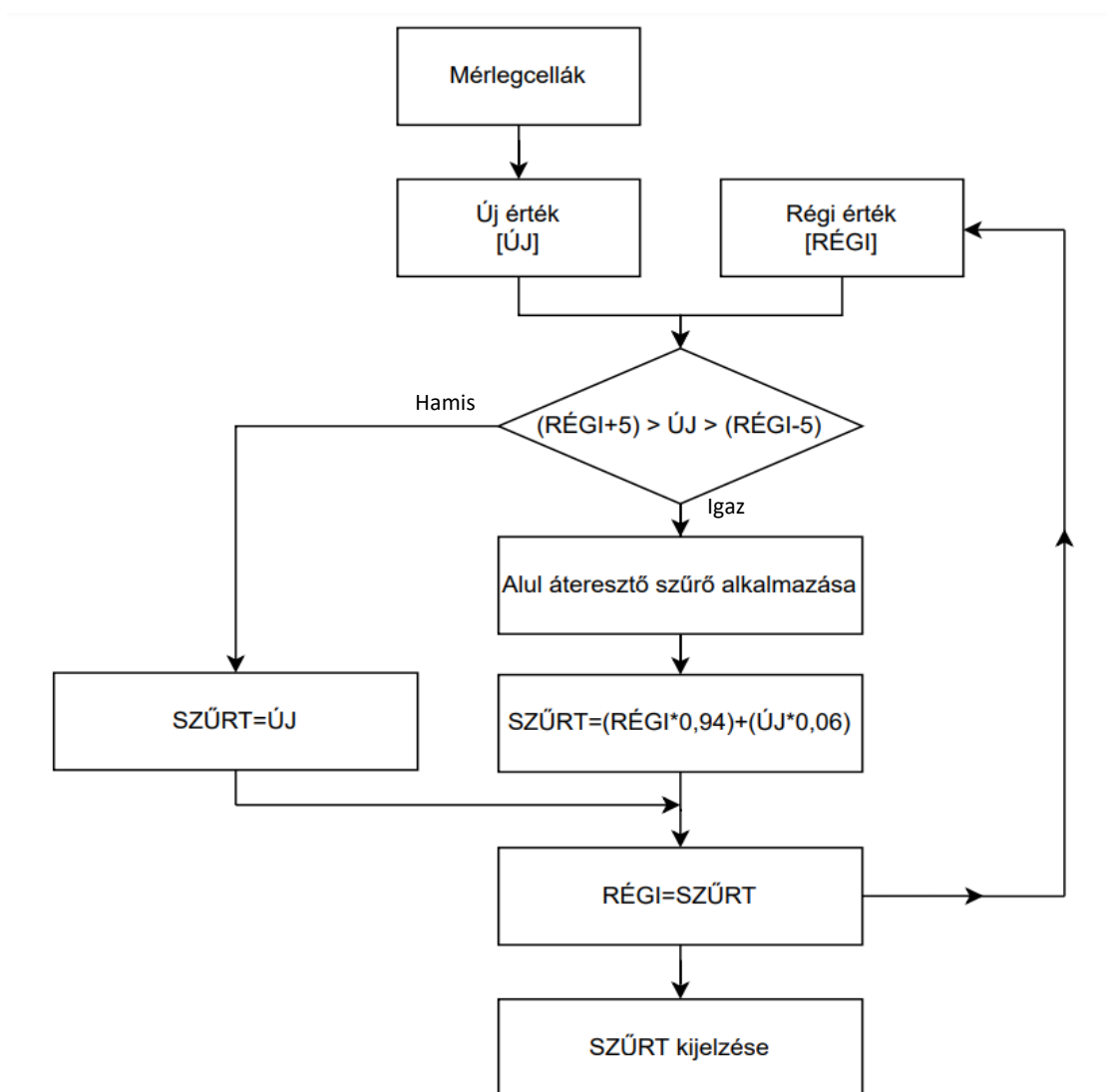
A következőkben az erősítő áramkör által keltett zajnak a csökkentésével fogok foglalkozni. Mivel a számomra hasznos jelhez képest a zaj nagyfrekvenciás jelnek mondható, így első lépésben egy aluláteresztő szűrővel próbálkoztam. A16. ábrán látható a nyers, és az aluláteresztő szűrővel ellátott mérési eredmények grafikonja.



16. ábra Aluláteresztő szűrő használata

Jól látható, hogy az aluláteresztő szűrőnek hála, szinte teljesen megszűnt az erősítő áramkör által keltett zaj az állandósult helyeken, viszont egy új problémát generált. Ennek a szűrőnek a rossz tulajdonsága, hogy lassú beállással rendelkezik. Ez miatt minden egyes tárgy mérőasztalra való helyezése vagy levétele után az érték lassan éri el a valósat. A későbbiekben a darabszámlálás során ez a probléma kiküszöbölhető lenne azzal, hogy egy tárgy mozdítása után előre meghatározott másodpercig nem használja fel a mért értékeket. Ez a várakozás az aluláteresztő szűrő által generált adat stabilizálódásához kellene. Nem megfelelő megoldás ez, mivel az ilyen várakozások jelentősen lassítják az eszköz sebességét, továbbá rontják a használhatóságát.

A következő lehetséges megoldásnak az aluláteresztő szűrő működésének feltételelessé tételét találtam. Mivel a szűrő a mérésnél csak ott okoz hibát, ahol tényleges súlyváltozás történik fizikailag a mérőlapon. Ez miatt olyan feltételt kellett kitalálnom az aluláteresztő szűrőhöz, ami hatására itt kikapcsol. Az előző program segítségével megfigyeltem a zaj mértékét, ami a szűrt adatokhoz képest maximum ± 3 gramm tömeget jelentett. Ezt figyelembevéve egy 5 grammos küszöbértéket választottam a feltételhez. Az egyszerűbb átláthatóság érdekében készítettem a draw.io nevű weboldal segítségével egy folyamatábrát a feltételes aluláteresztő szűrő működéséről, ami a 17. ábrán látható.



17. ábra Folyamatábra a feltételes aluláteresztő szűrő működéséről

A folyamatábra elkészítése után a programot is módosítottam, hogy az előzőekben kitűzött feltételeknek megfeleljen, majd feltöltöttem a mikrokontrollerre a programkódot. Az újabb mérés eredménye a következő oldalon lévő 18. ábrán látható.



18. ábra Feltételhez kötött aluláteresztő szűrő használata

Jól látható, hogy ezzel a megoldással teljes mértékbe megszűnt az aluláteresztő szűrő túllövése, miközben a stabil állapotokban is tökéletesen működik, szinte semennyi zaj nem látható.

Ezzel a tömegmérés feladatát sikeresnek és befejezettnek tekintem, következő lépésben foglalkozhatok a tömegváltozásokból való darabszámítás megoldásával.

3.6.5. Darabszámlálás

Első lépésként azzal foglalkoztam, hogy az adatbázis milyen adatokat szolgáltat a tárolódoboztól és tartalmáról az eszköz számára. A következő négy adat adatható meg előre az adatbázisba való feltöltés alkalmával:

- Tárolódoboz tömege
- Alkatrészek össztömege
- Egy alkatrész tömege
- Alkatrészek darabszáma

Mivel a gyárak és cégek raktárában többnyire szabvány méretű tárolódobozokkal találkozunk, így a dolgozatomban ezeknek a tömegét előre ismertnek tekintettem. Ezt a kikötést csak azért tettem, mert itt egy tárolódoboz tömegét egyetlen egy alkalommal kell csak lemérni. Ezzel a feltétellel az adatbázisban már csak 3 fajta adat megléte a kérdés. Mivel a tárolódoboz tömege ismert, ezért az első ráhelyezés alkalmával az eszköz kitudja számítani az alkatrészek együttes

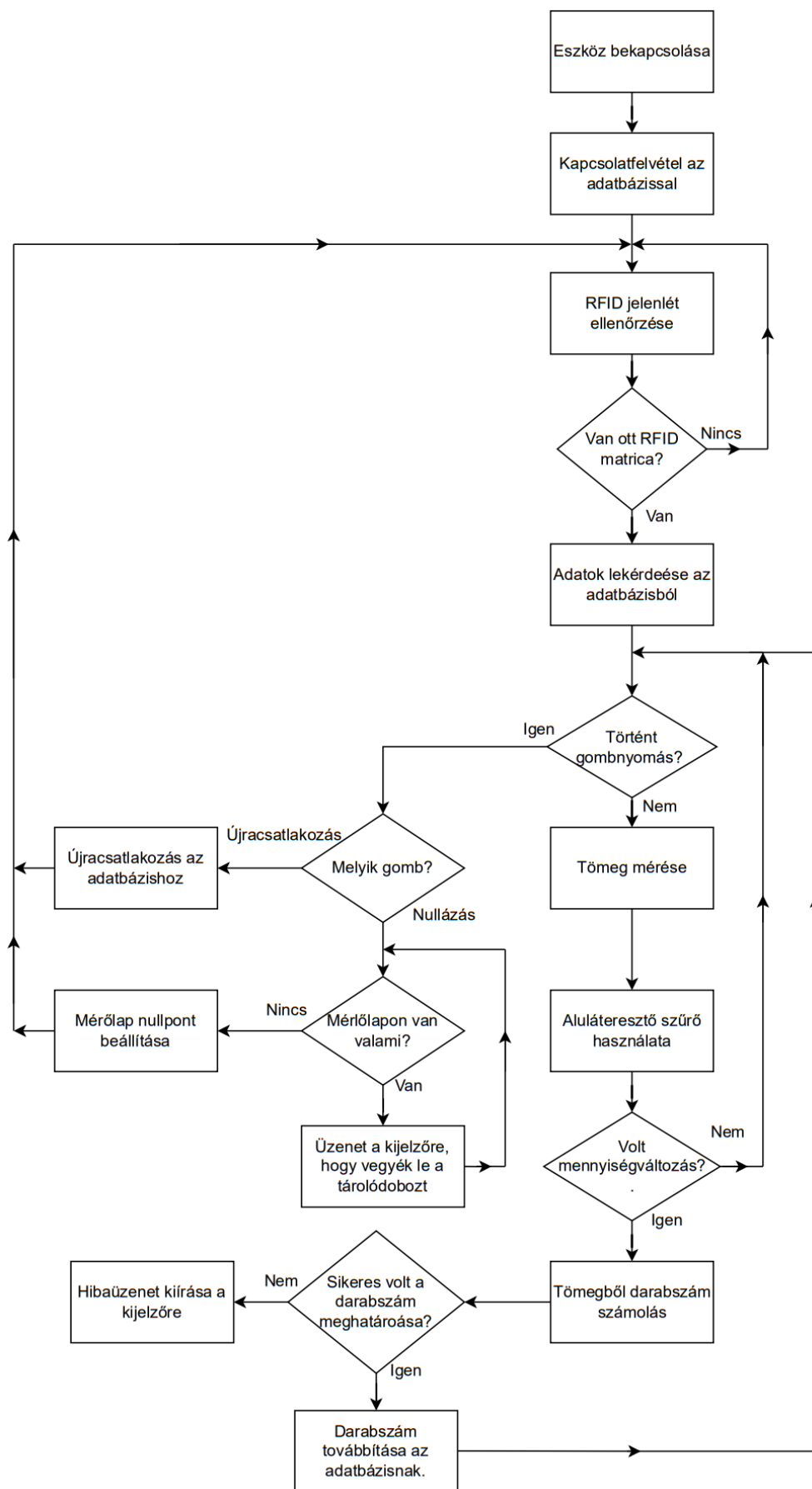
tömegét, ezzel ez az adat is adottá válik. Így jelenleg három fajta esetet kell kezelnem, ami kettőre redukálható. Ha egy alkatrész tömege van megadva, vagy ha az alkatrészek darabszáma, akkor bármely meg nem kapott adat kiszámíthatóvá válik, mert egy három ismeretlenes egyenlet két tagja, ha ismert, a harmadik elem kiszámítható. Az utolsó esetben, sem az alkatrészek darabszáma, sem egy alkatrész tömege nincs megadva.

Először azzal az esettel foglalkozok, aminél minden adat kiszámítható. Az előző számítások elvégzése után a mérések során az eszköz tudja, hogy milyen mértékű tömegváltozásra számíthat egy. vagy akár több alkatrész kivétele során. Mivel sem a tömegmérés, sem a valóságban lévő tárgyak tömege nem 100%-ban azonos, így a mérések során sem várható el a tökéletes egyezés. Ezen okból kifolyólag a programban a mért értéket változását elosztom a kiszámított vagy előre megkapott egy tárgy tömegével, és megvizsgálom, hogy mennyire van közel egy egész számhoz. Ha közeli értéket kapok, például 0.96-ot, vagy 3.12-t, abban az esetben egészen kerekítek, és így megkaptam ezzel az elvett tárgyak darabszámát. Viszont amennyiben két egész szám közötti értéket kapok, például 4.53-at, az eszköz egy hibaüzenetet ír ki a kijelzőre.

Másik esetben, ahol sem az alkatrészek darabszáma, sem egy alkatrész tömege nincs megadva, ott mikor egy tárgyat elveszünk, a program eltárolja a tömegváltozást, és a korábban mért tömegváltozásokkal összeveti. Minden egyes elvett alkatrésszel egyre pontosabb tárgytömeg számítható. Mivel egyszerre több tárgy is kivethető, ez miatt a program figyeli azt, hogy az új tömegváltozás egész számú többszöröse vagy osztója az eddigiekben számított egy alkatrészsre eső tömegnek, és amennyiben igen, új etalont határoz meg. Ebben az állapotban nem történik hibakezelés, mert ha az eszköz által számított etalonhoz képest fél darabot veszünk ki, akkor ez lesz az új egy darab tömege.

Abban az esetben, ha a tárolódoboz tömege előre nincsen megadva, viszont kiszámítható a többi megadott és mért adatokból, akkor a fenti két eset egyike lép életbe. Viszont amennyiben nincsen megadva, a második eset alapján a program képes követni az elvett darabok számát, de nem tudja hány darab van még az eszközön. Itt az etalon módosulásával jelentősen változik a kivett darabok száma.

Miután elkészült a program minden részlete, következhetett a logika megtervezése és leprogramozása. Ebben a fázisban készült el a végleges program, itt már teljes mértékben a késztermék szoftveréről beszélünk. A következő oldalon lévő folyamatábra segítségével szeretném bemutatni a program működését. (19. ábra)



19. ábra Folyamatábra a program működéséről

4. Összefoglalás

Az OTDK dolgozatom elkészítése során lehetőségem volt a Széchenyi István Egyetem által biztosított mikroelektronikai alkatrészek, továbbá 3D nyomtató használatára. A dolgozat keretében sikeresen létrehoztam egy IoT rendszerbe illeszthető tömeg mérés elvén alapuló darabszámlálásra alkalmas okos eszközt. A készülék WiFi kommunikációra képes, ezzel teljes mértéken beilleszthető egy Ipar 4.0-s rendszerrel ellátott üzembe. Mivel az eszköz tápellátása akkumulátorral is megoldható, továbbá vezeték nélküli kommunikációra képes, használata nem helyhez kötött, könnyen áthelyezhető.

Első lépésben kiválasztottam a számomra legmegfelelőbb mikrokontrollert, majd a többi mikroelektronikai alkatrészt, amit az elektronikai tervezés követett. Ez után készítettem ceruzás vázlatokat az általam elképzelt mérlegekről, majd a legjobbnak találtat lemodelleztem. A modell hibáinak felismerése után új koncepciót készítettem. A tervezés alatt nagy figyelmet fordítottam, hogy az alkatrészek kizárólag 3D nyomtatással megvalósíthatóak legyenek. A modellezés végeztével 3D nyomtató segítségével kinyomtattam az alkatrészeket majd összeszereltem az eszközt. Az összeszerelés után a programozása következett. Mérésekből kiderült, hogy az erősítő elektronika nagy zajt generál, ezzel rontva a mérések minőségét, amit egy aluláteresztő szűrő használatával javítottam. Kis módosítások segítségével pontosítottam a szűrő működését. A projekt elején és közben kitűzött céljaim mindegyikét sikeresen teljesítettem az eszköz elkészítése során, továbbá a teszteléseken kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy megfelelően működik az eszköz.

Fontos fejlesztési lehetőségnek tartom a programban jelenleg is használt, egy darab tömegének közelítésére írt szoftver továbbfejlesztése, pontosítását. Erre a célra akár alkalmazható lenne valamilyen tanuló vagy AI alapú program is. Azért tartom fontos fejlesztésnek ezt, mert ez az algoritmus alkalmazható lehet, amikor nem ismert előre a tárolódoboz tömege, és az nem számítható ki a meglévő adatokból. Végso soron, de nem utolsó sorban kulcsfontosságú lenne az aluláteresztő szűrőn kívül más zajszűrési technikákat is kipróbálni, ezzel még pontosabbá téve a méréseket.

Összefoglalva a fentebb felsorolt ötleteket, a legfontosabb fejlesztés a mérlegcellákból érkező jelek alapján számolt tömegek minél pontosabbá tétele, a jel zajának csökkentése.

5. Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.ipar4.bme.hu/ipar-4-0/#page-content> 2022.11.02.
- [2] <https://www.tme.eu/hu/details/esp32-devkitc-32u/adatatviteli-fejlesztoteszkozok/espressif/> 2022.11.02.
- [3] Balogh B., Kovács P., Szávai Sz.: Szimulációs eljárással támogatott 3D nyomtatás, pp. 535-547., 2019, 2022.11.02.
- [4] https://dobozrendelo.hu/spd/BULL2_szurke/Bull-2-Szurke 2022.11.03.
- [5] Rui S., Sara S.: *Learn ESP32 with Arduino IDE*, Independently published, 2020
- [6] Agus K.: *Internet of Things Projects with ESP32*, Packt Publishing Ltd., Birmingham, 252p., 2019
- [7] alldatasheet.com:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/597041/PANASONICBATTERY/NCR18650.html>, 2022. 11.04.
- [8] John T. Warner: *The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology*, Elsevier Science, 512p., 2015
- [9] Shetu R.: *Power DC-DC Converters and Performance Analysis of Boost Step-up Converter for Essential Applications: Control Engineering and Instrumentation Modeling with MATLAB/Simulink and Easy Computing Methods*, NOLEGEIN, 178p., 2021
- [10] Takatoshi T.: *LED Display: Fundamentals and Applications*, Wiley, 256p., 2012
- [11] Gaith A.: *RFID Technology: Design Principles, Applications and Controversies*, Nova Science Publishers, 117p., 2018
- [12] Lavar C.: *Load Cell Field Guide*, Interface, 129p., 2019
- [13] M5Stack:
https://docs.m5stack.com/en/app/scales_kit , 2022. 11. 04.
- [14] Ben R.: *The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications*, 3D Hubs, 376p., 2017
- [15] Lipovski G.: *Introduction to Microcontrollers*, Elsevier, 488p., 2004

[16] *Ipar4*:

<https://www.ipar4.hu/page/ipari-forradalmak-ipar-4-0> , 2022. 11. 04.

[17] Thomas G.: *Programming & Interfacing Atmel Avr Microcontrollers*, Cengage Learning, 2015

[18] Dogan I., Ahmet I.: *The Official ESP32 Book*, Elektor Digital, 286p., 2017

[19] Sudip M., Anandarup M., Arijit R.: *Introduction to IoT*, Cambridge University Press, 414p., 2022

[20] Ajit S., Sultan A.: *The Internet Of Things: Simply In Depth*, Independently published, 140p., 2019

[21] Mark S., Felix H.: *The 4th Industrial Revolution*, Independently published, 322p., 2018

[22] Alasdair G.: *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Apress, New York, 263p., 2016

[23] Gilchrist A.: *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, Apress, 250p., 2016

[24] Sharma A., Singh B. J.: *Evolution of industrial revolutions: A review. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, pp. 66-73., 2020

[25] *IBM*:

<https://www.ibm.com/topics/industry-4-0> , 2022. 11. 04.