

OTDK-dolgozat

2025

Neumann János Egyetem
GAMF kar, Informatika tanszék



**Oktatási céleszköz fejlesztése, és annak hatása a hallgatói tanulmányi
eredményességre**

**Measuring the impact of a purpose-built educational tool on students'
academic performance**

Kovács Márk

Konzulensek:

Dr. Drenyovszki Rajmund, adjunktus

Dömötör Zénó István, tanársegéd

Zsupányi Krisztián, tanszéki mérnök

Kézirat lezárásának dátuma: 2025. 01. 12.

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	1
1. KONCEPCIÓ.....	2
2. KIVITELEZÉSI LÉPÉSEK	3
2.1. FUNKCIONALITÁSI IGÉNY FELMÉRÉSE.....	3
2.2. KARDINÁLIS FONTOSSÁGÚ KOMPONENSEK KIVÁLASZTÁSA	4
2.3. KONCEPCIÓ ÉS LÁTVÁNYTERVEK	5
2.4. ALAPLAP KAPCSOLÁSI RAJZÁNAK ELKÉSZÍTÉSE	6
2.5. ALKATRÉSZKÖNYVTÁRAK KÉSZÍTÉSE	6
2.6. NYÁKLAPBA INTEGRÁLT RFID OLVASÓ ANTENNA MÉRETEZÉSE	7
2.7. NYOMTATOTT ÁRAMKÖRI PANEL PARAMÉTEREI	8
2.8. ALAPLAP KOMPONENSEINEK ELRENDEZÉSE A NYOMTATOTT ÁRAMKÖRÖN	9
2.9. ALAPLAPI ÁRAMKÖR NYOMVONALAINAK BEKÖTÉSE	9
2.10. MIKROVEZÉRLŐS KÁRTYÁK TERVEZÉSE.....	9
2.11. PROTOTÍPUS RENDELÉSE	9
2.12. TESZTELÉS	9
2.13. FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK	10
2.13.1. <i>KiCad</i>	10
2.13.2. <i>Saturn PCB Toolkit</i>	10
2.13.3. <i>NXP Antenna Design Tool</i>	10
3. DIGITÁLIS TECHNIKA II. MÁSODIK LABOR ÓRA MINTAANYAGÁNAK RÉSZLETE	11
3.1. DIGITÁLIS JEL ÁLLAPOTAI, TARTOMÁNYA.....	11
3.2. NEM-RETESZELŐ NYOMÓGOMB.....	11
3.3. FELÉPÍTÉS BŐL ADÓDÓ ZAJ: „PERGÉS”	12
3.4. HARDVERES PERGÉSMENTESÍTÉS	12
3.5. SZOFTVERES PERGÉSMENTESÍTÉS	13
3.6. PERGÉSMENTESÍTÉS ÉS AZ ARDUINO.....	14
3.7. MEGSZAKÍTÁSKEZELÉS	15
4. REALIZMUS ÉS A SZIMULÁCIÓ ÖSSZEHASONLÍTÁSA	17
4.1. KÉZZELFOGHATÓSÁG	17
4.2. FELHASZNÁLÓI ÉLMÉNY.....	17
4.3. TÖBB FUNKCIONALITÁS.....	17
4.4. MULTIPLATFORM	18
4.5. FUTÁSIDŐ	18
5. ÜTEMTERV.....	19
5.1. FELADATOK ÉS HATÁRIDŐK	19
5.2. KUTATÁSI EREDMÉNYEK ISMERTETÉSÉNEK TERVE.....	20
6. KUTATÁSI TERV.....	21
6.1. A VIZSGÁLANDÓ PROBLÉMA:.....	21
6.2. A STATISZTIKAI SOKASÁG:	21
6.3. HIPOTÉZISEK:.....	21
6.3.1. <i>Első hipotézis</i>	21
6.3.2. <i>Második hipotézis</i>	21
6.3.3. <i>Harmadik hipotézis</i>	22
6.3.4. <i>Negyedik hipotézis</i>	22
6.4. KÉRDŐÍV TERVEZET	23

7. HIPOTÉZISVIZSGÁLAT	25
7.1. LEÍRÓ STATISZTIKA	25
7.1.1. Szakirányok és a tárgyat teljesítők reprezentáltsága	25
7.1.2. Beadandó feladat készítési hajlandóság.....	25
7.1.3. Kitöltők mintaterv szerinti haladása	26
7.1.4. Érdemjegyek eloszlása	27
7.1.5. Sokaság értelmezése.....	28
7.1.6. Helyzeti mutatók.....	29
7.1.7. Szimulációt leváltani kívánók eloszlás	30
7.2. KONFIDENCIA-INTERVALLUM VIZSGÁLAT.....	31
7.3. LINEÁRIS REGRESSZIÓ	32
7.4. EREDMÉNYÖSSZESÍTŐ.....	33
ÖSSZEFOGLALÁS	34
IRODALOMJEGYZÉK	35
MELLÉKLET.....	36

Táblázatok jegyzéke

táblázat 1: Alaplap fizikai rétegei	8
táblázat 2: Digitális Technika II. Tantárgy Fejlesztése kérdőív	23
táblázat 3: Kitöltők aktuális félévének leíró statisztikai összefoglalója	27
táblázat 4: Digitális technika II. tárgyat teljesítők sokaságának helyzetmutatói	29
táblázat 5: Az eszköz bevezetése után inkább ipari informatikát választók valószínűsége	31

Ábrajegyzék

ábra 1: Alaplap koncepció blokkdiagramja	2
ábra 2: Összeszerelt fejlesztői eszköz 3D látványterve	5
ábra 3: Az alaplap hierarchikus sematikus blokknézete	6
ábra 4: NFC Antenna lenyomata	7
ábra 5: NFC antenna meghajtó lánc	8
ábra 6: Háromállapotú puffer logikai kapus megvalósítása	11
ábra 7: N.O. Nyomógomb működési elve	11
ábra 8: Oszcilloszkópon mérhető pergés-jelenség mechanikus nyomógombokon	12
ábra 9: Sematikus példa hardveres pergésmentesítésre	13
ábra 10: ATmega 328p mikrovezérlő digitális pin szerkezete	15
ábra 11: Zárthelyi dolgozat példa szimulációs környezetben.....	17
ábra 12: Kérdőívet kitöltők reprezentáltsága.....	25
ábra 13: Beadandó feladat készítési hajlandóság eloszlása	25
ábra 14: Kitöltők mintaterv szerinti haladásának eloszlása.....	26
ábra 15: Kitöltők eredményessége a vizsgált tantárgyon	28
ábra 16: Szimuláció leváltása mellett szavazók eloszlása	30
ábra 17: Lineáris korreláció vizsgálata a 9. és 12. kérdés válaszai között	32

Bevezetés

A témával többek között azért kezdtem el foglalkozni, mivel tanszéki demonstrátorként magam is szembesültem a Digitális Technika II. tantárgy oktatása során azzal a nehézséggel, amellyel az oktatók nem csak egyetemünkön, hanem máshol is általánosságban küzdenek, az oktatás-hatékonysági optimum meghatározásával.

Oktatás-hatékonysági optimum alatt értem, az egy tanórára eső, a hallgató számára többlet befektetett energia nélkül azonnal hasznosítható tudást. Alapozó szakmai tantárgyak esetében komoly kihívás a generalizálás és az információ mennyiségének meghatározása, hiszen a hallgatók különböző hátterekkel rendelkeznek és hozott ismereteik függvényében ugyan annak a koncepciónak a megragadása az azonnal feldolgozható és a felfoghatatlan közötti spektrumon helyezkedik el [1].

A szakmai tárgyak esetben a hatékony tanítást nehezíti a tantárgyak diverzitása, ami a hallgatók figyelmének és szellemi erőforrásainak nem koncentrált allokációját kívánja meg tőlük. Ezek és még egyéb egyéni élethelyzetből adódó tényezők következtében az egyébként egyetemre termett hallgatóknak is nehézséget okozhat az eredményes teljesítés és a hasznos tanulás.

Informatikai tanszékünkön a hallgatóknak specializálódás előtt bizonyos szakmai alapozó tárgyak keretében beállítottságtól és céloktól függetlenül is részt kell venniük olyan kurzusokon, ahol az egyetemre bekerülés után elképzeléseiktől eltérő valóságot kell meg tapasztalniuk, ami általános motiváltságuknak áthat vermet.

Célommá vált lehetőséget biztosítani minden hallgató számára, hogy műszaki hátterüktől függetlenül is elsajátítsák a BSc szinten elvárható tudást. Erre javasoltam egy univerzális, Arduino környezetbe illeszkedő [2], hallgató barát, jelen generációnk számára könnyen azonosítható eszköz bevezetését, amely segítene többek között a közöny falainak lerombolásában, a képzési előrehaladási motiváció fenntartásában, a műszaki világ részletességének leegyszerűsítésében és generalizálhatóságában és a tanulás játékszerűsítésében [3,4].

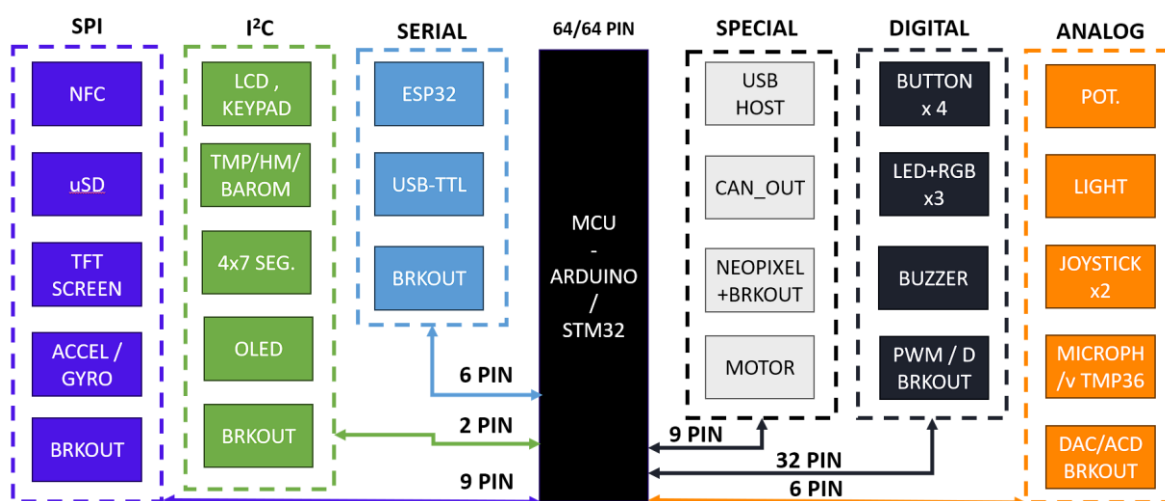
Jelen dolgozat, a Gépipari Automatizálás Fejlesztésének Alapítványának támogatásával és a 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 projekt keretében jött létre.

A 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2024-2.1.1-EKÖP pályázati program finanszírozásában valósult meg.

1. Konceptió

Oktatóimmal a hipotézisek bizonyításához kiindulásul három tantárgyat jelöltünk ki, a Mikrovezérlős Rendszerfejlesztés, Labview programozás és a Digitális Technika II. tárgyakat, hol utóbbi esetében a TinkerCAD [5] szimulációs környezetben zajlik az oktatás. A hipotézisek szerint a valós eszközök növelik a motivációt és a tanulás hatékonyságát. A szimulációk, bár egyes esetekben előnyösek (pl. COVID-időszak [6] vagy távoktatás [7]), kisebb hatást gyakorolnak a tanulói elköteleződésre. Reményeink szerint egy moduláris platform segítségével ledönthetjük a gátat a hallgatók és az új technológiák között, erre egy egyetemes eszköz bevezetésére lesz szükség, amelyet alapozó tárgytól kezdődően megtanulnak használni [8,9], és ahogy előre haladnak a mintatervben, úgy egyre mélyebbről, közelebbről, komplexebben ismerhetik meg annak működését.

Ez megközelítés egy új, eddig nem elvárt készséggel is megjutalmazza a hallgatókat, amit komplex rendszerek és koncepciók teljes átlátása. Navigáció egy magasan integrált környezetben kezdetben nem egyszerű, de ahogy a tanévek tárgyai dolgozzák fel annak elemét, úgy lesz egyre tisztább a teljes kép. A tárgyalt rendszer megértése olyan pályakezdő előnnyel látja el a hallgatót, hogy nem fog már elriadni akár saját rendszer kiépítésétől, hiszen már látta, hogy hogyan működik a különböző interfészek közti szimbiózis. Az eszköz a legtöbb, megcélzott iparban elterjedt kommunikációs protokollt implementálja és rengeteg lehetőséget biztosít a bemenet-, kimenetkezelésre.



ábra 1: Alaplap koncepció blokkdiagramja

2. Kivitelezési lépések

2.1. Funkcionalitási igény felmérése

Többitérációs konzultációsorozat során témavezetőim segítségével számításba vettük az általuk vezetett tantárgyak jelenlegi igényeit és megfogalmaztunk egy a második ábrán látható blokkdiagramot, amely összefoglalja, hogy milyen interfészekre lenne feltétlen szükségünk.

Miután körvonalazódtak az általános követelmények az eszközzel szemben felmértük, hogy milyen potenciális jövőbe mutató megvalósításokra van szükség ahhoz, hogy egy időtálló rendszert alkossunk meg, amely lépést tud tartani az egyre dinamikusabban fejlődő technológiai világgal. Ezt úgy érhetjük el, hogy az alapképzési „iskolapéllda” problémák bemutatása mellett lehetőséget adunk, hogy bizonyos nem triviális eseteket, amelyekkel majd a munka világában, mind fejlesztők biztosan találkozhatnak is megtanítsunk kezelni.

A kulcsszó a modultartás. Viszonylag hamar kiderült számunkra, hogy amennyiben egy releváns eszközt szeretnénk alkotni, elengedhetetlen, hogy valamilyen szinten a különböző feladatigényekhez igazítani tudjuk. Ehhez arra van szükség, hogy a modern számítógépek topológiáját alapul véve egységesítsük az alaplapot, amelyhez szintén standardizált „processzor” és egyéb kártyás kiegészítőmodulokat tudunk csatlakoztatni. Ilyen megközelítéssel időtálló, fejleszthető, és közel kimeríthetlenségig bővíthető rendszert tudunk létrehozni.

A modularitás megvalósításának koncepciója több revízió után esett át, míg végül a tervezett eszköz térfogatba való beleférés és a funkcionalitások megtartásához szükséges Ki-/Bemenet (továbbiakban I/O) igény mellett amellet döntöttünk, hogy a CPU/Mikrovezérlő a Raspberry Pi Compute Module [10] szériával kompatibilis legyen. Ez lehetőséget ad számunkra maximum kétszáz I/O ki-, és bevezetésére. Továbbá lehetőségünk van még egy az M.2 Key-B standardot követő szintén személyre szabható bővítőkártya hozzáadására. Jelen esetünkben mi egy Bluetooth/Wi-fi kapcsolatra képes társ-mikrovezérlőt választottunk.

A cél, természetesen a meghatározott funkciók mellett a méreteket a lehető legkisebben tartani, tehát lényegében egy akkora eszközt létrehozni, amely kellően kicsi ahhoz, hogy zavartalanul tárolható legyen, és kényelmesen telepíthető legyen bármelyik laborgyakorlati terembe.

A konzultációs, és azzal párhuzamosan zajló, a kivitelezhetőséget felmérő architektúra tervezési fázis közel egy évig zajlott, ezzel együtt egy mintaóra is készült hozzá a digitális technika II. tantárgyhoz.

2.2. Kardinális fontosságú komponensek kiválasztása

Azt követően, miután rögzítettük a követelményeket, elkezdődhetett az egyes funkciókat megvalósítható alkalmazásspecifikus integrált áramkörök (ASIC - Application Specific Integrated Circuit) kiválasztása. Rögzítettük, és csökkentettük a beszállítóink listáját, hogy egyszerűsítsük a projekthez tartozó ellátási láncunk, így két elektronikai komponens-ellátó, és egy nyák (Nyomtatott ÁramKör) gyártó mellett döntöttünk.

Szerencsére meglehetősen jól optimalizált komponensszelekciós motorral rendelkeznek a beszállítóink weboldalai, így nagy hatékonysággal tudtam kiválasztani az integrált áramköröket, modulokat. A kiválasztás során négy alapelvet követtem, amelyek a következők:

- Megbízható gyártótól származzon
- Pontosan csak az ellátni kívánt szerepkör igényeit elégítse ki
- Nagy mennyiségben legyen készleten és legyen biztosítva a rendelkezésre állás
- A fenti pontok függvényében a lehető legolcsóbb legyen a szükséges mennyiségben

A követelmények megállapodásakor egy költségvetést is meghatároztunk, amely nagyban befolyásolta egyes esetekben a komponens döntéseket és a funkcionalitást, azonban ezeket újra gondolva meg tudtunk határozni azokat a konkrét funkciókat, amelyekről nem válhatunk meg, és melyek az elhagyhatóak. Így, a költségvetésen belül maradás érdekében elvetettük a fülhallgató meghajtó és rádió opciót. Ezen a területen a piac jelenlegi állása szerint nehezen beszerezhetőek az alkatrészek, és ezzel egyenesen arányosan busás árat is kell fizetnünk értük, ezért elhagyhatónak ítéltük ezt a funkciót.

Amint konkretizálódtak a fő IC-k (Integrated Circuit), kezdetét vehette a látványtervek és az alkatrész elhelyezési terv elkészítése. Ez a lépés elhagyhatatlan, ugyanis jelentős mértékben leegyszerűsíti a PCB (Printed Circuit Board) fejlesztési procedúráját.

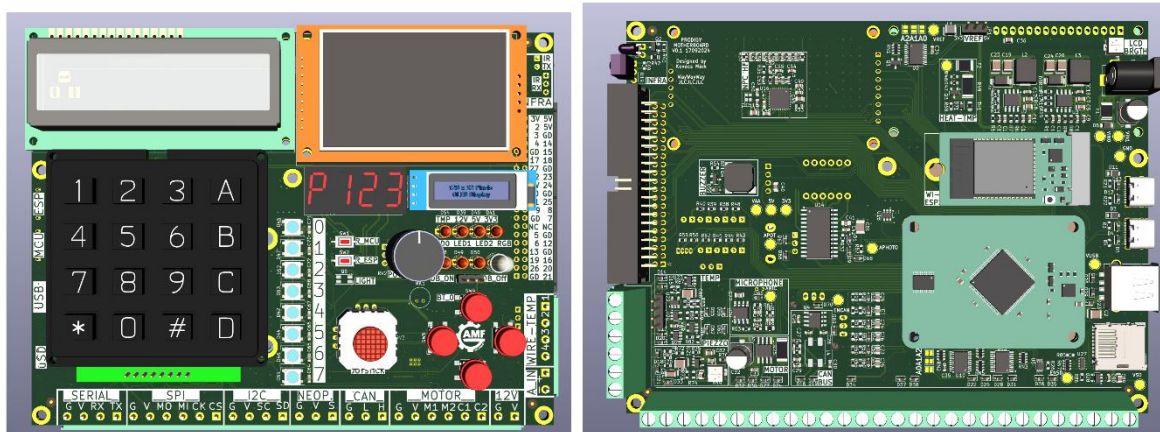
2.3. Konceptió és látványtervek

Az egyes komponensek elrendezésénél fő célkitűzés volt, hogy felhasználhatóság szempontjából a beviteli és megjelenítő perifériák ergonomikus, logikus, és átlátható helyen legyenek, mindamelllett, hogy a különböző csatlakozók is könnyen hozzáférhetőek legyenek.

Természetesen nem elég önmagában az esztétikai és kényelmi megközelítés, hanem arra is nagy hangsúlyt kellett fektetni, hogy az egyes azonos kommunikációs protokollt használó eszközök, analóg áramkörök is egy helyre kerüljenek, és megfelelően legyenek elkülönítve, figyelve a jelintegritásra és a jelek közti áthallás minimális legyen.

Az alaplap panel peremén kaptak helyet a különböző csatlakozók, az alsó részen az alacsony sebességű kommunikációs és vezérlő interfészek (I2C, SPI stb....) felülnézetből pedig a ball oldalon találhatóak a nagy sebességű interfészek (USB, SD). Szintén felülnézetből jobb oldalon található a vezeték nélküli kommunikáció (NFC, IR), a Raspberry Pi kompatibilis csatlakozókivezetés, és az analóg szekció.

A hátoldalra tekintve igyekeztem centrálisan elhelyezni a mikrovezérlőket, hogy a huzalozás minél egyszerűbben megvalósítható legyen. Az elrendezésnél igyekeztem a furatszerelési és felületszerelési technológiákat szétválasztani, így egyszerűbbé téve a beültetés, továbbá ez a fajta szegregáció lehetőséget adott számomra, hogy a szükséges nyomtatott áramköri rétegek számát redukáljam. A kész alaplapt a (2.ábra) mutatja.

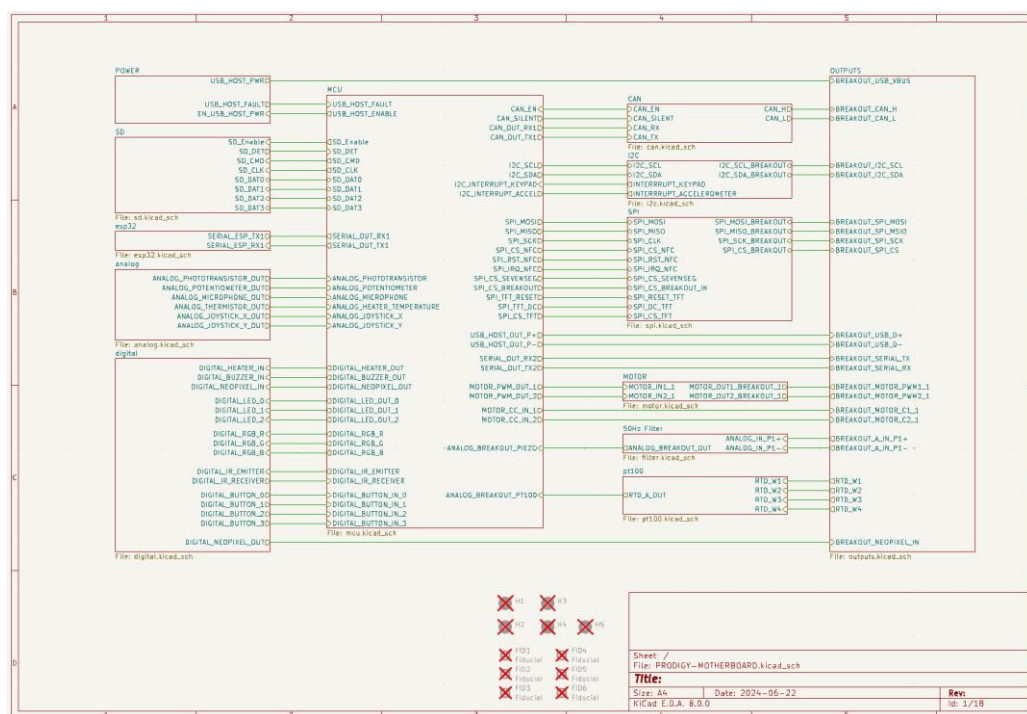


ábra 2: Összeszerelt fejlesztői eszköz 3D látványterve

2.4. Alaplap kapcsolási rajzának elkészítése

Amint elfogadásra kerültek mentoraim által a választott komponensek, csatlakozó típusok, és egyebek, az alaplap sematikus kapcsolási rajzának elkészítése következett. A hierarchikus dokumentáció szervezési modellt választottam, így könnyen átlátható és navigálható kapcsolási rajz dokumentációt eredményez.

Blokknézetből indít a rajz, ahol logikusan, az információ folyásirányának megfelelően vannak elhelyezve az egyes blokkok. Egymásba ágyazottan buszszervezésű logika mentén dolgoztam, így az I2C és SPI kommunikációs interfészblokkokon belül további alkapcsolási rajzokban kaptak helyet az egyes, adott buszrendszerre csatlakozó áramkörök és kiegészítő komponenseik. A teljes kapcsolási rajz a (3.melléklet) tartalmazza. (3. ábra)



ábra 3: Az alaplap hierarchikus sematikus blokknézete

2.5. Alkatrészkönyvtárak készítése

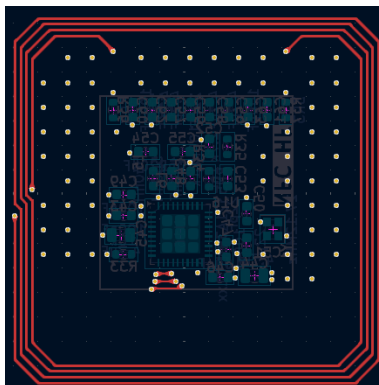
Bizonyos esetekben nem volt elég a tervezői szoftverbe integrált alkatrész lenyomat (footprint) könyvtárak használata, hanem saját könyvtárakat kellett készítenem a speciális komponensekhez, mint például az antennához.

Az egyes könyvtárak három fő elemből állnak, ezek a szimbolikus jelölés, alkatrész lenyomat és 3D modell, esetleg szimulációs paraméterek és karakterisztikák. A kapcsolási rajz elkészíthető volt, ugyanis a speciális csatlakozók és az antenna esetében egyszerűsített

szimbolikus jelölésük már létezett, így csak a 3D modellekkel és lenyomatokkal bővítettem a létező könyvtárakat.

Miután elkészült az alaplapon sematikus kapcsolási rajza, az egyes komponensekhez hozzárendeltem a releváns lenyomatot, ami végeredményében a komponens nyomtatott áramkörhöz történő rögzíthetőségéhez szükséges.

Az alábbi ábra az NFC antenna lenyomatát mutatja, melyet speciálisan ehhez az alaplaphoz terveztem. (4. ábra)



ábra 4: NFC Antenna lenyomata

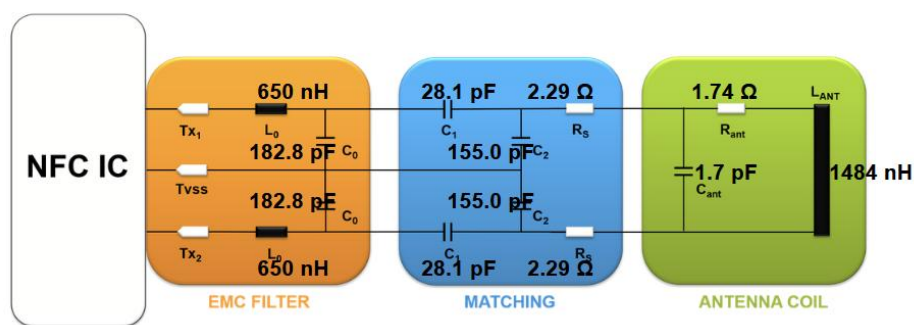
2.6. Nyáklapba integrált RFID olvasó antenna méretezése

Az antenna kivitelezéséhez a (2. mellékletben) található gyártó által rendelkezésre bocsájtott tervezési útmutatót használtam, a méretezéshez pedig egy online kalkulátort, az „NXP Antenna Design Tool”-t.

Az antenna tervezési alapelve a megfelelő zavarmentesítés, amelyet elsősorban egy közvetlen földelési rétegek közé kell helyezni, hogy minimalizáljuk az elektromágneses interferenciát (EMI). Személyes tapasztalatom a kiválasztott NFC olvasó vezérlővel, hogy ekkora méretű antennák esetében gyenge a sugárzás, így az ajánlott szendvics-konfiguráció helyett az antennát a külső rétegre helyeztem, és egy földelési réteget kapott közvetlenül a felső réteg alá.

Ez az elrendezés a felhasználásunk és a robusztusság szempontjából kellően zavarmentesnek mondható, így a detektálási távolság megnőtt akár 40 milliméterre, mindamellett, hogy az EMI-t is elhanyagolható szintre csökkentjük.

Egy NFC író/olvasó berendezés 3 fő részből áll (5. ábra), ami a protokollokat megvalósító és antenna meghajtó chip, az elektromágneses kompatibilitásért és antenna illesztésért felelős támogató áramkörök és az antenna. A támogató áramkörök méretezéséhez tartozó paramétertáblázatot a (4. melléklet) tartalmazza.



ábra 5: NFC antenna meghajtó lánc

2.7. Nyomatott áramköri panel paraméterei

Az alaplap tervezésénél fő szempont volt a méretek minimalizálása, így a 120mm x 160mm-es terület mellett döntöttünk, ugyanis ez a méret az, amely kellően kicsi, mégis minden komponens „szellősen” elfér rajta, és komfortos használatot eredményez. A panel vastagsága a standard 1.6 mm.

Hasonló komplexitású PCB-k tervezésénél gyakran választanak akár 12 rétegű konfigurációt, ugyanis a komplex rendszereknél a több réteg nagyobb tervezői szabadságot jelent, mindamelllett, hogy szakszerűbb és EMC szabványoknak megfelelő áramköröket lehet tervezni, azonban ezek más gyártás ellenőrzési eljárással készülnek, így nagyságrenddel drágább lenne az előállításuk. Ebben az esetben az optimális megoldás a 6 réteg lett volna a legprofesszionálisabb megoldáshoz, azonban az anyagi megkötések miatt meg kellett oldanom 4 rétegből. A választott konfigurációt az (1. táblázat) tartalmazza.

táblázat 1: Alaplap fizikai rétegei

Felső réteg	Egyéb digitális jelek
Belső Réteg 1	Pozitív tápfeszültség-, és földelési réteg
Belső Réteg 2	Közös földelési réteg
Alsó réteg	Nagy sebességű és analóg jelek

A fizikai megkötések után természetesen a választott nyomatott áramkör gyártó által meghatározott tervezési megkötéseket (szabályokat) definiáltam. A hatékony tervezéshez beállítottam nyomvonal és „via” méreteket is, hogy a későbbiekben gyorsítsam a huzalozás folyamatot. A következő lépés a komponensek elhelyezése volt.

2.8. Alaplap komponenseinek elrendezése a nyomtatott áramkörön

A komponensek elrendezésének megtervezésekor fontos volt figyelembe venni az adat- és energiaáramlás optimális útvonalait. A kritikus elemek, mint a mikrovezérlők és az áramellátó részek elhelyezése szorosan illeszkedik a jelkésleltetés minimalizálásának és a hőeloszlás optimalizálásának céljaihoz. Az elrendezés során figyelembe vettük az EMI- és RFI-szűrés szempontjait is.

2.9. Alaplapi áramkör nyomvonalainak bekötése

A nyomvonalak huzalozása során különös figyelmet fordítottunk a nagy sebességű jelek differenciális párjainak helyes bekötésére, ami az interferencia minimalizálása (crosstalk) és az impedancia megfelelő illesztése szempontjából kritikus fontosságú. Az energiaellátó rétegek (power planes) létrehozása is a rendszer megbízhatóságának növelését szolgálta, azonban anyagi korlátok miatt a különálló energiaellátó síkok számát minimalizáltuk.

2.10. Mikrovezérlős kártyák tervezése

A mikrovezérlős kártyákat négy rétegű PCB-konfigurációval terveztük, mivel a kettő rétegű megoldás nem kínált volna elegendő tervezési szabadságot a differenciáljelek és földelési síkok számára. A kártyák alsó felén főként alacsony magasságú komponenseket és csatlakozókat helyeztünk el, hogy minimalizáljuk az összeszerelési magasságot és biztosítsuk a mechanikai stabilitást

2.11. Prototípus rendelése

A prototípus gyártásakor fontos volt biztosítani, hogy a gyártási folyamat RoHS kompatibilis legyen. Ez nemcsak a környezetvédelmi előírásoknak való megfelelés érdekében fontos, hanem a későbbi CE minősítési folyamatot is megkönnyíti. A gyártó kiválasztásánál figyelembe vettük a pontos mérettartást, a rétegek közötti tapadás minőségét, valamint a nyomvonalak és furatok minőségét.

2.12. Tesztelés

A prototípus tesztelési tervét iteratív módon hajtottuk végre, ahol minden komponens fokozatosan került beültetésre és tesztelésre. A tesztelés során ellenőriztük az áramellátó ágak stabilitását, a jelminőséget, és a nagy sebességű jelek EMC kompatibilitását. A tesztelési terv része volt a jelpárok integritásának ellenőrzése és a rendszer működési stabilitásának vizsgálata különböző hőmérsékleti és terhelési körülmények között.

2.13. Felhasznált eszközök

2.13.1. KiCad

A KiCad egy nyílt forráskódú PCB-tervező program, amely lehetővé teszi a kapcsolási rajzok elkészítését és a nyomtatott áramkört lapok (nyák) részletes tervezését. Segítségével pontosan megtervezhettük az alkatrészek elhelyezését, a nyomvonalakat és a különböző rétegeket. A KiCad vizualizációs eszközei támogatják a hibák gyors felismerését és a tervezés átláthatóságát.

2.13.2. Saturn PCB Toolkit

A Saturn PCB Toolkit a nyák elektromos paramétereinek kalkulációjára szolgál, így segítségével pontosan beállítható az impedancia, a crosstalk, a vezetőképesség, valamint a nyomvonalak közötti távolság és vastagság. Ez különösen fontos a nagy sebességű jelek stabil működéséhez. Az eszköz optimalizálja a PCB-felépítést az elektromágneses kompatibilitás és az áramkört megbízhatóság érdekében.

2.13.3. NXP Antenna Design Tool

Az NXP Antenna Design Tool segítségével az antennák impedanciaillesztését, valamint a nyomvonalak vastagságát és távolságát állítottuk be, ami az RF- és vezeték nélküli alkalmazások stabilitását biztosítja. Az eszköz lehetővé teszi a hurkok (loops) és térközök (spacing) optimalizálását az antenna hatékonyságának maximalizálása érdekében.

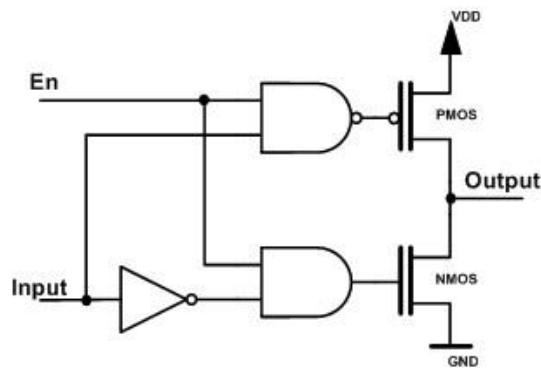
3. Digitális technika II. második labor óra mintaanyagának részlete

A teljes előadás anyagát az (1. melléklet) tartalmazza.

3.1. Digitális jel állapotai, tartománya

A digitális világban egy jelnek legtöbbször három állapotával találkozhatunk, amely a logikai igaz, hamis, vagy nem definiálható. Ezek közül az utóbbi állapot meglehetősen érdekes, ugyanis úgynevezett magasimpedanciás állapotnak is nevezzük, amely „áramlogika” szerint szakadást, buszról való teljes leválasztást hivatott szimbolizálni. Ez a harmadik állapot, a buszrendszerek és többirányú kommunikációs csatornák egyik alapeleme, amely egy vezérelhető háromállapotú jelismétlővel (tri-state buffer) érhető el.

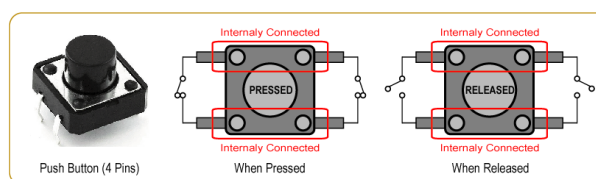
Amennyiben az engedélyező bit értéke logikai nulla, úgy a kimeneten mérhető feszültség nem keletkezik, azaz szakadás jön létre, ellenkező esetben a bemenet másolódik.



ábra 6: Háromállapotú puffer logikai kapus megvalósítása

3.2. Nem-reteszelő nyomógomb

A nyomógombok alapvetően két fő kategóriába sorolhatóak, mégpedig amelyek képesek az őket működtető külső hatás megszűnése után is az aktív állapotukat fenntartani, azaz reteszelőek, és amelyek erre képtelenek, azaz nem-reteszelőek. Tovább kategorizálhatóak aktív állapotuk megkülönböztetésében, azaz működtetett állapotukban vagy a bontó, vagy záró kontaktus aktiválódik. Alkategóriának tekinthetők a pólusok és a kontaktusok különböző számkombinációi, így konkrét példaként a gyakorlatokon az „NO SPSTx2” nyomógombokkal fogunk foglalkozni.



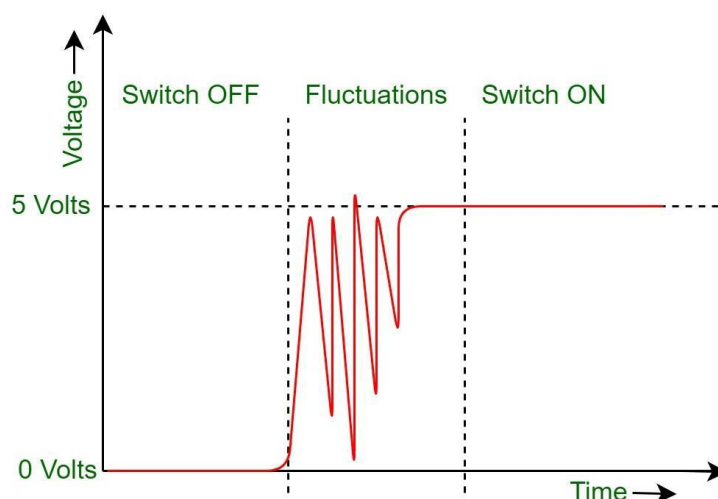
ábra 7: N.O. Nyomógomb működési elve

3.3. Felépítésből adódó Zaj: „Pergés”

A mechanikus érzékelők családjába tartozó nyomógombok konstrukciójából adódóan úgynevezett pergési zajjal kell számolnunk, amelyet külső szűrő és stabilizáló segédalkatrészek, vagy szoftveres megoldások segítségével kezelnünk kell.

A pergési jelenség egy fokozatosan csillapodó nemkívánatos oszcilláció. Amint a rugóként funkcionáló, jó vezetőképességű fémkupola érintkezik a gomb kontaktusaival, áram folyik. A legyőzött rugóerő következtében a fémkupola domborúból homorú alakba vált, amely egy megnyújtott, majd elengedett rugó karakterisztikájára jellemző rezgőmozgást indukál a kimeneten egy néhány milliszekundumos intervallumban.

Ezt a rendszerünk hibásan újabb megnyomásnak regisztrálhatja, amennyiben kellően gyors a mintavételezésünk, és nem alkalmazunk élfigyeléses megszakítást, vagy egyéb alternatív pergésmentesítési eljárást.

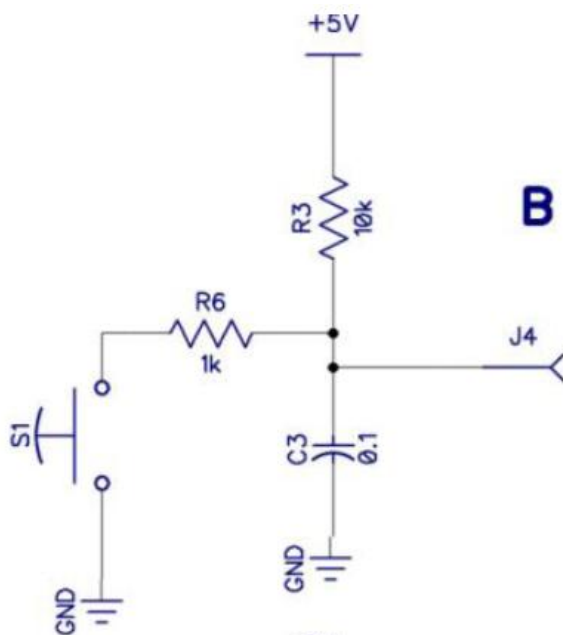


ábra 8: Oszilloszkópon mérhető pergés-jelenség mechanikus nyomógombokon

3.4. Hardveres Pergésmentesítés

A lentebbi konfigurációban például a nem állítható kritikus bementek (boot, reset) stabilizálásának egyik bevett módja. Mivel ezek a pin-ek alacsony jelszinten aktívak, ezért a nem kívánt érzékelések elkerülése végett célszerű a kapcsolást egy felhúzó ellenállás segítségével (R3) magas jelszintre állítani, így elkerülhető például a véletlenszerű újra indulás. Emellett a pergésmentesítés megvalósításáért egy alul áteresztő RC szűrő felelős az R6 ellenállás és a C3 kondenzátor formájában. Az R6 ellenállás szerepe továbbá a kapcsolat létrejötte után az áram korlátozása, ezáltal a bement kímélése. Nem működéskritikus bemenetek esetében gyakran regiszterek megfelelő beállításával lehetőségünk van egy az integrált áramkör pin-vezérlőjébe épített felhúzó ellenállást engedélyezni, így ezt

elektronikai hardver esetén meg lehet spórolni. További megtakarítási tényező lehet az elektrosztatika kisülés (ESD) elleni védelmi TVS dióda kihagyása, ugyanis ebből a legtöbb mikrovezérlő bemenetén már gyári állapotában is találkozhatunk, azonban ezek egyszeri védelmet jelentenek csak, és nem cserélhetőek. A legminimálisabb konfigurációban egy áramkorlátozó ellenállásra van csak szükségünk, és a többi hardver elem szoftveresen is be tudjuk kapcsolni, vagy egy eljárással az alacsony frekvenciát áteresztő szűrő által ellátott funkciót szimulálni.



ábra 9: Sematikus példa hardveres pergésmentesítésre

3.5. Szoftveres Pergésmentesítés

Az alábbi programrészlet egy az Arduino fejlesztői környezetbe épített mintapéldának egy átalakított verziója látható, amely a szoftveres pergésmentesítést valósítja meg.

A függvény egy argumentumot vár, amely az olvasni kívánt bement egyedi azonosítója, majd amennyiben állapotváltozás történt, egy meghatározott ideig várakozik, és ha a várakozás után is ugyan az az érték, akkor kijelenthetjük, hogy stabilizálódott a bemenet új állapota, azaz megnyomásként regisztrálhatjuk és igaz értékkel tér vissza, ellenkező esetben hamis.

Ez a várakozási idő tipikusan néhány tized milliszekundum, azonban ez függ a várt felhasználástól és a nyomógomb minőségétől. Az alábbi C++ nyelven írt példában feltételezzük, hogy a logika szempontjából alacsony jelszinten aktív a gomb.

```

//Szoftveres pergésmentesítési példa Arduino keretrendszerben

bool readButton(int buttonPin) {

    //konstans és statikus változók létrehozása/inicializálása
    static bool buttonState;
    static bool lastButtonState = false;
    static unsigned long lastDebounceTime = 0;
    const unsigned long debounceDelay = 50; //pergési intervallum

    //nyomógomb állapotának olvasása és eltárolása
    bool reading = digitalRead(buttonPin);

    //amennyiben a korábbi nyomógomb állapot nem egyezik meg
    //a mostanival, úgy kezdjük el a pergési intervallum visszaszámolását
    //millis() ← aktuális program futási idő milliszekundumban
    if (reading != lastButtonState) lastDebounceTime = millis();

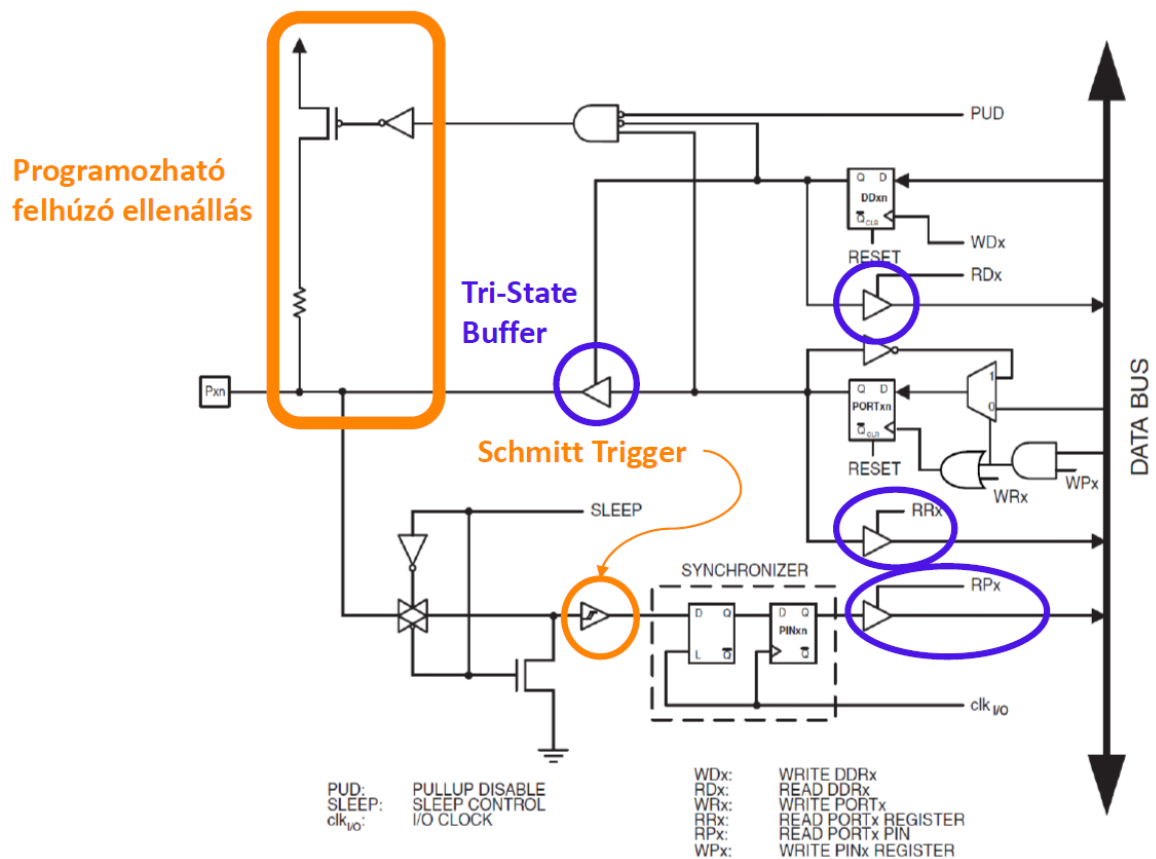
    //ha letelt a pergési idő
    if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
        //ha felengedtük a gombot a pergés után
        if (reading != buttonState) {
            buttonState = reading; //állapotfirssítés

            if (!buttonState) return true; //kilépés és visszatérés igazgal
            else return false; //kilépés és visszatérés hamis értékkel
        }
        lastButtonState = reading; //állapotfirssítés
    }
}

```

3.6. Pergésmentesítés és az Arduino

Esetünkben az Arduino ökoszisztémában általunk használt UNO verzió az ATmega 328P mikrovezérlőt használja, amelynek digitális pin-szerkezete a 9. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy az előadáson tárgyalt bemeneti jelstabilizálási megoldások közül több is jelen van. Találkozhatunk a három állapotú pufferek extenzív alkalmazásával, ugyanis ezek segítségével tudjuk a busz irányát változtatni, így digitális be/kimenetként is beállítani. A bemeneti szekcióban megtalálható a schmitt-trigger komponens is, amely egy jelszintek közötti tűréshatárt fog megadni. A külső komponensek csökkentése iránt növekvő igény azt eredményezte, hogy a gyakran szükséges felhúzó ellenállást beépítették az integrált áramkörbe, melyet most a PUD regiszter segítségével tudunk aktiválni.



ábra 10: ATmega 328p mikrovezérlő digitális pin szerkezete

3.7. Megszakításkezelés

Alapvetően kétféle módon történhet egy program vezérlése, még hozzá determinisztikus, vagy sztochasztikus módon. A megszakításokkal valamelyest nem kiszámítható, aszinkron viselkedést idézünk elő, így ezek nem determinisztikusnak mondhatóak.

Megszakítás érkezhetsz a mikrovezérlő szempontjából kívülről, akár egy gomb megnyomására, vagy belülről saját maga által generált megszakítási impulzussal, mondjuk egy időzítő formájában. Tovább kategorizálhatóak a megszakítások maszkolhatóság szerint. Amennyiben a mikrovezérlőnk beragadást, meghibásodást, programhibát észlel, az úgy nevezetett „Watchdog” időzítő jelet ad, megszakítja a folyamatot, és újraindítja a rendszert. Ez egy nem maszkolható megszakítás, ami annyit jelent, hogy szoftveresen nem tiltható, nem hagyható figyelmen kívül.

Minden esetben meg kell választanunk, amennyiben felhasználó által definiált megszakítás-eseményről beszélünk, hogy pontosan milyen jellegű megszakítási eseményre reagáljunk, és pontosan milyen eljárással. Definiálnunk kell, hogy melyik megszakításképes, és beállított bement milyen jellegű megváltozására lépünk ki a főprogramból, és ugrással lépünk az „ISR-Interrupt Service Routine” megszakításkezelő eljárásra.

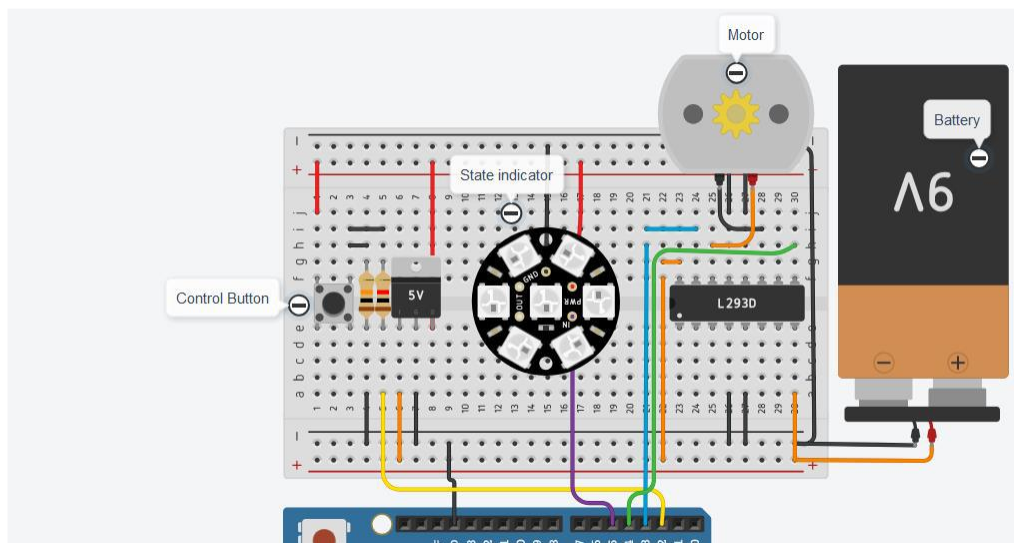
A bemenet legjellemzőbb három állapotváltozása, amikor alacsony jelszintről magasra vált (felfutó-él figyelés), vagy magas jelszintről alacsonyra (lefutó-él), avagy bármilyen változás (change) esetén legyen meghívva a megszakításhoz rendelt ISR eljárás.

Ugyan aszinkron viselkedést eredményez programunk futásának szempontjából a megszakítás, mégis széles körben elterjed ezek használata, ugyanis kritikus rendszereknél az eseményekre való reagálás leggyorsabb és leghatékonyabb módja. Leggyakrabban valamilyen akkumulátorról táplált, decentralizált berendezéseknél energia takarítható meg, amíg egy esemény bekövetkeztéig (például megszakítás), alvó állapotba helyezzük a rendszert.

4. Realizmus és a szimuláció összehasonlítása

4.1. Kézzelfoghatóság

A következő példa egy elektromos fogkefe működtetésére vonatkozó zárthelyi feladat (11.ábra), amely során a motor állapotváltását rezgési effektussal kell jelezni. A hallgatóknak nehézséget okozott elképzelni, hogyan lehet ezt megvalósítani, mivel korábban nem volt tapasztalatuk a motorok működésével kapcsolatban. Az ilyen jellegű problémáknál a kézzelfogható hardver segíthet a hallgatóknak a működés megértésében és az elmélet gyakorlati oldalának megtapasztalásában.



ábra 11: Zárthelyi dolgozat példa szimulációs környezetben

4.2. Felhasználói élmény

A valós hardverekkel történő tesztelés lehetővé teszi a felhasználói élmény autentikus megismerését, különösen olyan eszközöknél, amelyek interakciót igényelnek. A felhasználói élmény szempontjából a kézzelfogható megoldások általában pontosabbak, mivel a valós környezetben mutatkozó reakciókat, például rezgéseket, hőtermelést és hanghatásokat is figyelembe lehet venni. Szimulációval ugyan bizonyos érzékelési hatásokat szimulálni lehet, de a valós érzeteket nehéz teljesen visszaadni.

4.3. Több funkcionális

A Tinkercad csupán alapvető funkciók szimulálására alkalmas, így például az összetettebb kapcsolások, vezérlési megoldások és az áramköri optimalizálások megvalósítása jelentős akadályba ütközik.

A kézzelfogható eszközm viszont képes támogatni a többszörös interfészek, szenzorok és bonyolult kapcsolások valós idejű tesztelését, ami pontosabb eredményeket és részletesebb diagnosztikát eredményez.

4.4. Multiplatform

Az eddig használt szimuláció csupán szűk körben alkalmazható, így más platformokhoz és valós eszközökhöz való kompatibilitása erősen korlátozott. Ezzel szemben az eszköz széles körű hardveres támogatást nyújt, így különböző platformok számára egyaránt fejleszthető és tesztelhető vele a rendszer, ami jelentősen kibővíti a potenciális felhasználási környezeteket.

4.5. Futásidő

A Tinkercad egyszerűbb kapcsolásoknál használható, de bonyolultabb áramkörök modellezése esetén a számítási igények túlterhelik a programot, ami lassú futást és pontatlan eredményeket eredményez. Fizikai hardveren ezzel szemben nincs szintézis-késés, és az eszközm valós időben, a valóságos futási sebességgel és környezeti reakciókkal képes működni, ami felgyorsítja a fejlesztési folyamatot és valósághű tesztelést biztosít.

5. Ütemterv

5.1. Feladatok és határidők

A pontos mérföldkövek a kitűzött határidőkkel az alábbiak az ösztöndíjas időszak kezdetét követő 5 hónapos intervallumra:

- Nyomtatott áramkörök tervezése: 2024.10.01 -ig
- Nyomtatott áramkörök beszerzésének indítása: 2024.11.01 -ig
- Minta Tananyag elkészítése Digitális Technika II. tárgyhoz: 2024.11.01 -ig
- TDK verseny és előadás az AGTCEO konferencián: 2024.11.28 -ig
- Prototípus összeszerelése és tesztelése: 2024.12.01 -ig
- Kiegészítő elemek tervezése, gyártása, beüzemelése: 2025.01.01-ig
- Adminisztratív feladatok ellátása a lezárásához: 2025.02.01-ig

Első lépésként a már megtervezett kapcsolási rajzok és komponens elhelyezési koncepciók mentén meg kell valósítanom a nyomtatott áramkörök megtervezését, és mielőbb elindítanom ezek, és a hozzájuk tartozó beültetendő furat-, és felületszerelt komponensek beszerzését. Jelenleg a nyomtatott áramkörök tekintetében egy alaplap, kettő mikrovezérlő hordozó-, és egy vezeték nélküli internet / Bluetooth modult szükséges kiviteleznem a célok eléréséhez. Az alaplap a rendszer lelke, a koncepció alapkőve, miszerint az alapképzéshez szükséges hardverelemek és interfészek megtalálhatók rajta, emellett tovább bővíthető. Ez jelenti a legkomplexebb tervezési feladatot, amivel eddig szembesültem, így ennek megtervezéséhez legalább egy hónapra lesz szükségem. A hordozók és modulok tervezési időszükségletére számottevően kevesebb időre lesz szükségem, így ezeknek összesen fél-, egy hónapot kellene igénybe vennie.

Amíg a beszerzés zajlik, párhuzamosan szeretném az eszközre optimalizált, javasolt tantervet elkészíteni, amely tartalmazza az eddigi ismeretanyagokat, azonban további elméleti és gyakorlati elemekkel szeretném bővíteni. Ebben a tekintetben is témavezetőmtől folyamatos támogatást kapok. Elsősorban a Digitális Technika II. tárgy kerül a fókuszba, ahol a hallgatók megismerkedhetnek be/kimenet kezeléssel, különböző kommunikációs interfészekkel, irányítástechnikával és programvezérlési módszerekkel, programoptimalizációval beágyazott környezetben. Az egyéni projektek lehetőségének száma meglehetősen megemelkedik a szimulációs környezet leváltásával, és a limit a hallgató kreativitása lesz, ehhez az új oktatási környezethez alkalmazkodva lesz szükséges a tanterv modernizálására.

Amennyiben a javasolt tanterv elkészül, és a hardverelemek is megérkeztek, úgy kezdetét veszi az összeszerelési és tesztelési fázis. A következő revízióval megváránk a prototípuson tanult és végzett hallgatók visszajelzéseit, majd azzal kerülne csak sor a javított kiadás megtervezésére, a módosítások integrálására.

A fejlesztési folyamatban kiegészítőkre is szükség lesz a fő tényezők mellett, így például egy robusztus doboz és külsőleg csatlakoztatható modulok beszerzésére, vagy összerakására lesz szükség, például enkóderes DC motor szabályzó állomás.

Az operatív feladatok ellátását követően adminisztratív tekintetben minden előkészületet el kell követnem, hogy a 2025 februárban induló második szemeszteres hallgatók minél körülményebben vethessék bele magukat az új prototípus tantervbe.

5.2. Kutatási eredmények ismertetésének terve

Az eszköz elkészítése önmagában a projekt alapkövét képezi, a végcél eléréséhez vezető út első lépését. Az eszközhöz új, modernizált, nagyravágóbb tanterv fejlesztésére lesz szükség, hogy az új beágyazott-fejlesztői platformban rejlő lehetőségeket maximálisan hasznosíthassuk. Egy újra-optimalizált tanterv és hardveregyüttes segítségével, felkészült és motivált oktatókkal, véleményem szerint a hallgatók lelkesedés, ezáltal tanulmányi teljesítménye is növelhető lesz.

A tárgyi ösztöndíjra való pályázással párhuzamosan zajlik TDK dolgozatom írása a témaként megjelölt területen. A dolgozat hivatott kellő tudományos és műszaki színvonalon egyidejűleg a fejlesztési projekt és a kutatás dokumentációjaként is szolgálni. Igyekszem a képességeimhez és ismereteimhez mértén elvárható precizitással és részletességgel a dolgozatot elkészíteni és előadni, az adatokból kiszűrhető konzekvenciát levonni, és értékes eredmények formájában közölni.

A sikeres Tanulmányi Diákköri Konferencián történő részvétel, és az első teszt-évfolyam sikeres abszolválása után a kellő hallgatói-, és eszközteljesítményi adatok rendelkezése állását követően a reflexiós fázist követően kiértékelhetővé válik a projekt, melynek eredményeiről nyílt publikációt kívánok írni. Hiszem, hogy a jövő mérnöknövendék generációja számára elengedhetetlen eddig bevált, ám leáldozóban levő oktatási rendszerünk módszereinek frissítése, melyhez hiszem, hogy témám egy eredményes lépés lehet.

6. Kutatási terv

6.1. A vizsgálandó probléma:

Mérnökinformatikus hallgatók teljesítményének és preferenciáik közti korreláció mérése a Digitális Technika II. tárgy esetében.

6.2. A statisztikai sokaság:

Az NJE – GAMF mérnökinformatikus hallgatói.

6.3. Hipotézisek:

6.3.1. Első hipotézis

A hallgatók inkább tanulnának valós eszközökön, mint szimulációban. A familiaritás nagy segítség a hallgatónak, aki éppen csak bekerült a felsőoktatásba, akár gimnáziumból, akár középiskolából. Hirtelen rengeteg új, sokszínű impulzus éri, amely nyomasztóan, túlterhelően hat, amely csökkenti a hallgató ismeret elsajátítási hatékonyságát.

Azzal, hogy kezdettől fogva egy eszköz használatára tanítjuk, az épülő szakmai tárgyakban már nem kell mindig előlről kezdeni az ismerkedést, hanem már első alkalommal lehet tovább mélyíteni a meglévő tudást. Az ismerős környezet egyfajta lelki megnyugvást is jelent, így várhatóan egy feszült, áldozatként érző mentális környezetből a hallgató a már megtapasztaltak újra átélését fogja érzékelni. Ez a fajta lelki béke tiszta elmét eredményez, amely tovább növeli az információbefogadási képességet.

6.3.2. Második hipotézis

Jobban teljesítettek volna a hallgatók, ha nem szimulációban dolgoznak. A szimulációknak megvannak a maguk előnyeik, nevezetesen a kényelemben, azonban sok esetben az ingyenes megoldások töredék teljesítményt nyújtanak, mint amire egy mérnökinformatikus alapképzés keretében szükségünk lenne. Nem is beszélve arról, hogy hallgatóként teljesen más élmény programunk működését egy kijelzőn nézni, vagy élőben megtapasztalni. Az interaktivitás a legjobb eszköz a figyelem megragadására és megtartására, amire felgyorsult világunkban egyre inkább növekvő szükség van, és ez az eszköz pontosan megoldást nyújt erre. Ezek a laboron szerzett élmények lehet, hogy elegendő lesznek ahhoz, hogy a magukkal nehéz súlyt hordozó hallgatókon könnyítsenek, és hardvertagadókat is esetlegesen jobb belátásra bírhatja, hogy nem feketemágiáról van szó.

A szimulációs környezet nem optimális korlátozó tényezőitől eltávolodva lehetőségünk nyílik modern szövegszerkesztő programok használatára, és ezzel megnyílik a horizont a

szoftverfejlesztési lehetőségek terén. Saját konfigurációs fájlt, függvénykönyvtárakat írhatnak, amely elősegíti a programozói gondolkodás kialakulását és annak elmélyülését.

A mérnökinformatikus alapképzés keretein belül elsajátítandó készségek egyike az algoritmikus gondolkodásmód és automatizálási potenciált kereső problémamegközelítés. Ebből adódóan a hallgatók általános programozási készségeinek aspektusában is számottevő javulásra számíthat a párhuzamosan futó szakmai tárgyakat illetően is.

Reményeim szerint, az univerzális oktatási platformon nevelkedett évfolyamok magasabb szinten strukturáltabb, átláthatóbb, és nagyságrendekkel kevésbé redundáns programokat fognak írni elődjeikhez képest, ugyanis az egyes hardverelemek működésének és működtetésének megismerése mellett így már nagyobb hangsúlyt is fogunk tudni fektetni a különféle programozási paradigmák megismertetésére.

6.3.3. Harmadik hipotézis

Jobban motiválta volna a hallgatókat a projekt készítés, ha nem szimulációt kell használniuk. Az eszköz egy kész platform, amely projektek komplexitásának függvényében modularitásának köszönhetően hasznosítható. Szakdolgozat, TDK, verseny, egyéb egyéni projekt, rengeteg lehetőséget rejt magában az eszköz a laborok falain kívül is. Segítségével a projektek idejét nem az architektúrai tervezés és fejlesztés, hibakeresés fogja elvinni, hanem magának a tervezett funkcionalitásoknak az azonnali implementálása. Sosem volt még egyszerűbb a prototipizálás, ráadásul vezetékek rengetek nélkül. Garantált hardver működés, familiaritás, ezek összege egyenes út egy sikeres projekthez.

6.3.4. Negyedik hipotézis

Többen választanák az ipari informatika specializációt, ha átfogóbb ismeretet kaptak volna a beágyazott rendszerek világáról. A 2023/2024 évfolyam Mérnökinformatikus BSc. Szak hallgatóinak X% -a választotta az egyéni projekt keretein belül történő teljesítési módot az egész félév anyagát átölelő, átfogó zárthelyi dolgozat megírása helyett, amely figyelembe véve a feladat komplexitását és a rendelkezésre álló időt igencsak nehéz feladatot jelent az előző félévek teljesítési és eredményességi statisztikáira alapozva. A jelenleg vizsgált Digitális Technika II. tárgyat jelenleg a hallgatók X% -a teljesíti első tárgyfelvevételkor, átlagban X érdemjeggyel.

Ezekre az adatokra alapozva kézenfekvő lenne, amennyiben a hallgatók a tanórák után rendelkezésre álló idejükre és a kimeríthetetlen segédeszközökre támaszkodva létrehoznának egy kellő bonyolultsággal bíró projektet, amelynek kielégítő kivitelezése és előadása után az a félév végi zárthelyi dolgozat megírását ellensúlyozhatná. Ez a vállalás azonban az

egyébként is a hallgatókra sok terhet helyező második félévben sokakat megrémít, így jelentős többségben X%-ban azok a hallgatók vállalják el, akik már nem először találkoznak a tantárgy keretein belül tárgyalt témákkal.

Feltételezésem egy univerzális oktatói eszköz bevezetésével, hogy a későbbiekben a projektfeladatot választók aránya exponenciálisan nőni fog, mégpedig annak köszönhetően, hogy a megközelíthetőségből adódóan nagyobb lelkesedéssel és magabiztossággal mernek egyéni projektbe belevágni azok is, akik most találkoznak először mikrovezérlővel. A felbátorodás oka várhatóan a már említett familiaritás érzete, és a rendelkezésre álló lehetőségek széles spektrumának ismerete.

Az élményszerűbb oktatásnak és az egyéni projekt(ek) készítése közben tapasztaltak következtében várhatóan nagyobb valószínűséggel lobban fel az érdeklődés szikrája a hallgatókban, mint amennyiben csak egy szimulációs programot használtak és nem jelentkezték projektre. A lelkesedés megnövekedésének hatására ez kiválthatja a hallgatókban annak az érzetét, hogy az eddig megérthetetlennek (és ebből adódóan érdekeltséget veszített) hitt témába többet lássanak, mint egy kötelezően teljesítendő szakmai tárgyat.

Azt feltételezem, hogy amennyiben a hallgató projektfeladatot választ, visszajelzése szerint élvezzi az órát, jó teljesítménnyel abszolválja a tantárgyat, akkor inkább valószínűbb, hogy többen fogják az egyébként alacsony népszerűséggel rendelkező Ipari Informatika specializációt választani, mint a korábbi évfolyamokban.

Az univerzális oktatói eszköznek köszönhetően közelebb kerül a hallgatókhoz a hardver, mint valaha, mindamelllett, hogy a kapcsolás-, vagy csatlakozás nemmegfelelőségéből adódó hibák feltűnésének lehetősége és az ebből adódó frusztráció is megszűnik. Egyszerűbbé válik a hibakeresés, ugyanis a robosztus hardver oldalnak köszönhetően ezen a területen nem lesz érdemes kutatni, ugyanis tisztán a szoftverre redukálódnak a funkcionális zavarok.

6.4. Kérdőív tervezet

táblázat 2: Digitális Technika II. Tantárgy Fejlesztése kérdőív

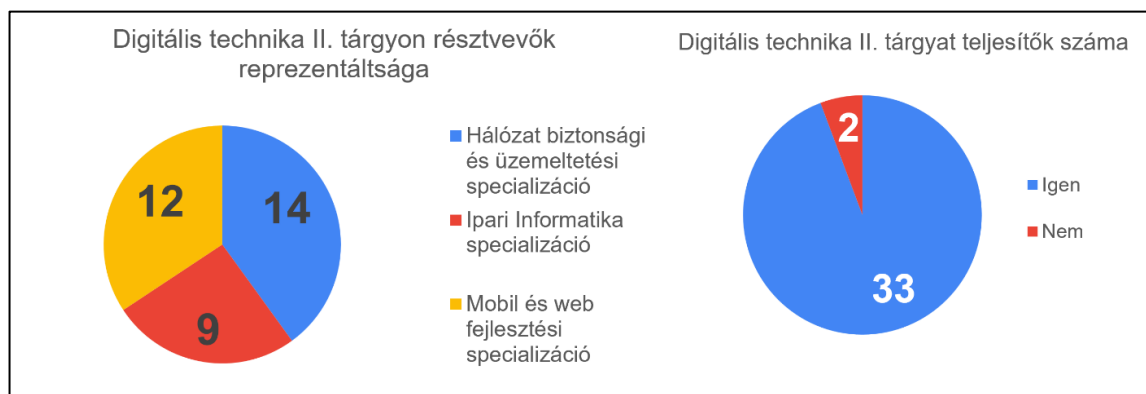
Kérdés sorszama	Kérdés szövege	Vizsgált ismerv	Mérési skála	Válaszok
1	<i>Ön mintaterv szerint hányadik félévében jár?</i>	<i>Aktuális félév</i>	<i>Arány</i>	<i>1...7</i>
2	<i>Teljesítette a Digitális Technika II. tárgya</i>	<i>Tárgy teljesítése</i>	<i>Nominális</i>	<i>1-igen 2-nem</i>

3	<i>Melyik szakirányt választotta?</i>	<i>Specializáció</i>	<i>Nominális</i>	1-Mobil 2- Hálózat 3-Ipari
4	<i>Milyen érdemjeggyel zárta a tárgyat?</i>	<i>Eredmény</i>	<i>Ordinális</i>	2-elégészes 3-közepes 4-jó 5- jeles
5	<i>Érdekesnek találta a tantárgyat?</i>	<i>Érdeklődés</i>	<i>Nominális</i>	1-igen 2-nem
6	<i>Jobban motiválta volna egy valós eszköz használata?</i>	<i>Motiváció</i>	<i>Nominális</i>	1-igen 2-nem
7	<i>Készített beadandó projektet a tantárgyhoz?</i>	<i>Projektfeladat készítés</i>	<i>Nominális</i>	1-igen 2-nem
8	<i>Jobban motiválta volna a projektkészítésre egy valós eszköz?</i>	<i>Motiváció</i>	<i>Nominális</i>	1-igen 2-nem
9	<i>Érezte-e, hogy a szimulációs program (TinkerCAD) hátráltatja/korlátozza?</i>	<i>Szimuláció korlátozottsága</i>	<i>Ordinális</i>	1-Egyáltalán nem 2- Inkább nem 3- Semleges 4-Inkább igen 5-Teljes mértékben
10	<i>Választaná inkább az ipari informatika specializációt, ha több betekintést kapott volna?</i>	<i>Specializáció választás</i>	<i>Ordinális</i>	1-Egyáltalán nem 2- Inkább nem 3- Semleges 4-Inkább igen 5-Teljes mértékben
11	<i>Egy kezdőbarát eszköz mennyire segítette volna az eredményes teljesítést?</i>	<i>Oktatási eszköz hatása</i>	<i>Ordinális</i>	1-Egyáltalán nem 2- Inkább nem 3- Semleges 4-Inkább igen 5-Teljes mértékben
12	<i>A gyakorlatorientáltság szempontjából mennyire lenne vonzóbb egy moduláris eszközön tanulni a szimuláció helyett?</i>	<i>Preferencia</i>	<i>Ordinális</i>	1-Egyáltalán nem 2- Inkább nem 3- Semleges 4-Inkább igen 5-Teljes mértékben

7. Hipotézisvizsgálat

7.1. Leíró statisztika

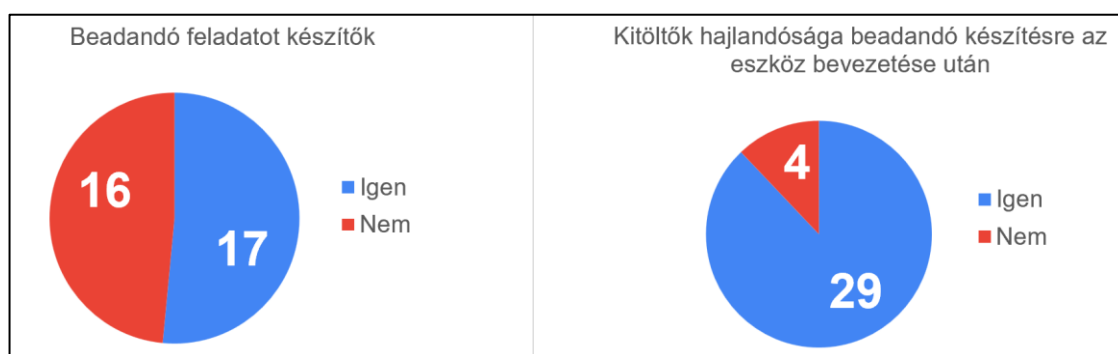
7.1.1. Szakirányok és a tárgyat teljesítők reprezentáltsága



ábra 12: Kérdőívet kitöltők reprezentáltsága

A (12. ábra) értelmében kijelenthetjük, hogy a kérdőívet kitöltők szignifikáns része teljesítette a digitális technika II. tantárgyat, mindamellett kellően reprezentáltak az egyes specializációk. Döntő többségben nem ipari informatika specializációt választók töltötték ki a kérdőívet, így az egyes hallgatóktól kevésbé részrehajlóak a visszajelzések. Ennek a vegyített sokaságnak hála a későbbiekben érdekes felismeréseket tehetünk.

7.1.2. Beadandó feladat készítési hajlandóság



ábra 13: Beadandó feladat készítési hajlandóság eloszlása

A fenti két kördiagram (13. ábra) remekül mutatja a hallgatók hozzáállását az opcionális beadandó készítéséhez. Nem hardverorientált specializációkat választók többsége is egyértelműen nagyobb hajlandósággal készített volna rendszerfejlesztési munkát, amennyiben azt nem online platformon, egy szimulációban kell megcsinálni, hanem fizikális eszközön. Csupán a hipotetikus arányokból is belátható az eszköz pozitív hatása.

7.1.3. *Kitöltők mintaterv szerinti haladása*

Az alább leolvasható hisztogramon (14. ábra) egy érdekes korrelációra lehetünk figyelmesek, amely a projekt sikerességétől független, azonban érdekes jelenség, ez a kitöltési hajlandóság lineáris csökkenése az egyetemen töltött évek múlásával.



ábra 14: *Kitöltők mintaterv szerinti haladásának eloszlása*

A kutatás szempontjából csak az első félévükön túleső hallgatók kitöltését vettem figyelembe, ahol értelemszerűen az ő véleményük elhanyagolható a második féléves tantárgyról, amellyel még eddig nem találkozhattak. Bizonyos kérdéseknél azonban számításba vettem az elsőévesek visszajelzéseit is, hiszen lehet preferenciájuk a tanulási metodikák terén, ami viszont kardinális információnak számít.

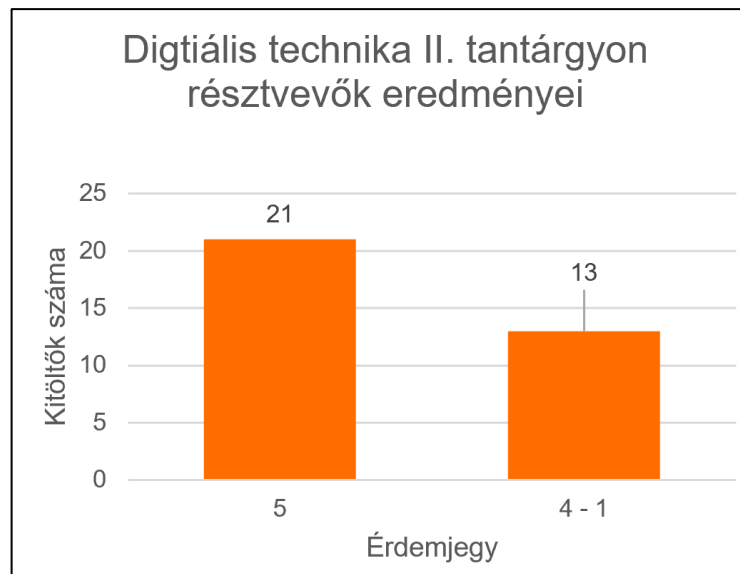
A mintában szereplő kitöltők átlagosan a 3.18. félévükben járnak, míg a leggyakoribb félév az 1., és a medián értéke 3, ami azt mutatja, hogy az adatok közepe a 3. félév körül helyezkedik el. Az adatok szórása 2.13, ami a félévek közötti jelentős szóródásra utal. Az eloszlás enyhén jobbra ferde (ferdeség: 0.56), és laposabb az átlagos normális eloszlásnál (csúcsosság: -0.93). A 95%-os konfidencia-intervallum 0.57 körüli, ami az átlag körüli megbízhatóságot mutatja. (3. táblázat)

táblázat 3: Kitöltők aktuális félévének leíró statisztikai összefoglalója

Numerikus összefoglaló	
Várható érték	3.178571429
Standard hiba	0.285023516
Medián	3
Módusz	1
Szórás	2.132920685
Minta varianciája	4.549350649
Csúcsosság	-0.927944202
Ferdeség	0.562811072
Tartomány	6
Minimum	1
Maximum	7
Összeg	178
Darabszám	56
Várható érték	0.57119989

7.1.4. Érdemjegyek eloszlása

A kitöltőkről megállapítható, hogy inkább kiválóan szerepeltek a digitális technika II. tantárgy során (15.ábra), mint kevésbé kimagaslóan, azonban az eredmények jelentős hányadán még lehet javítani. Erre a javításra lehetőséget adna a beadandó készítés, amelyre a (7.1.2 fejezet) validációt ad, hogy a válaszadók számára remek alternatív teljesítési útvonal lenne.



ábra 15: Kitöltők eredményessége a vizsgált tantárgyon

7.1.5. Sokaság értelmezése

A kérdőívet kitöltő hallgatókról több fontos következtetés vonható le. A válaszadók nagy része teljesítette a Digitális technika II. tantárgyat, ami arra utal, hogy visszajelzéseik a tantárggyal kapcsolatban jól reprezentálják az élményeket és a kihívásokat. Az egyes specializációk közötti megoszlás kiegyensúlyozott, bár az ipari informatika szakirányt kevesebben képviselik. Ennek köszönhetően a válaszok kevésbé részrehajlóak, és többféle nézőpontot tükröznek.

Az opcionális beadandó feladat elkészítésére vonatkozóan a hallgatók többsége szívesebben végezne fizikai eszközökkel kapcsolatos munkát, mintsem szimuláció alapú feladatokat, ami arra utal, hogy a gyakorlati eszközhasználat motiváló hatással bírna.

Az elemzésből látható, hogy a kérdőív kitöltési hajlandósága csökken az egyetemi évek előrehaladtával, ami arra utalhat, hogy a hallgatók érdeklődése vagy elérhetősége csökken a tanulmányok során. Az adatok azt mutatják, hogy a kitöltők átlagosan a harmadik félévükben járnak, és a szórás alapján jelentős eltérés van az évfolyamok között.

Az eredmények eloszlásából kiderül, hogy a hallgatók zöme jól teljesít a Digitális technika II. tantárgyban, bár van lehetőség a teljesítmény javítására. A beadandó feladat készítési hajlandóságot tekintve az érdeklődés alátámasztja, hogy a gyakorlati, alternatív teljesítési módok bevezetése segíthetne.

Összességében a kérdőívet kitöltő csoport széles spektrumot ölel fel, amelynek köszönhetően több nézőpontból is betekintést nyerhetünk a tantárggyal és a tanulmányi preferenciákkal kapcsolatos véleményekbe.

7.1.6. Helyzeti mutatók

táblázat 4: Digitális technika II. tárgyat teljesítők sokaságának helyzetmutatói

	Átlag	Módusz	Medián
1. Ön mintaterv szerint hányadik félévében jár? [1-7]	5	3	5
2. Teljesítette a Digitális Technika II. tárgyat?	-	<i>igen</i>	-
3. Melyik szakirányt választotta?	-	<i>Hálózat biztonsági és üzemeltetési specializáció</i>	-
4. Milyen érdemjeggyel zárta a tárgyat? [0-5]	4	5	5
5. Érdekesnek találta a tantárgyat?	-	<i>igen</i>	-
6. Jobban motiválta volna a tantárgy során egy valós eszköz használata?	-	<i>igen</i>	-
7. Készített opcionális beadandó projektet a tantárgyhoz?	-	<i>igen</i>	-
8. Jobban ösztönözte volna projektkészítésre egy kézzelfogható eszköz, mint a szimuláció?	-	<i>igen</i>	-
9. Érezte-e, hogy a szimulációs program (TinkerCAD) hátráltatja/korlátozza?	<i>nem</i>	<i>nem</i>	<i>nem tudom</i>
10. Választaná inkább az ipari informatika specializációt, ha több betekintést kapott volna?	<i>nem tudom</i>	<i>nem</i>	<i>nem tudom</i>
11. Egy kezdőbarát eszköz mennyire segítette volna az eredményesebb tárgyteljesítésben?	<i>inkább igen</i>	<i>teljes mértékben</i>	<i>inkább igen</i>
12. A gyakorlatorientáltság szempontjából mennyire lenne vonzóbb egy kézzelfogható, moduláris eszközön tanulni a szimuláció helyett?	<i>inkább igen</i>	<i>teljes mértékben</i>	<i>teljes mértékben</i>

A 3.táblázat helyzeti mutatói alapján a Digitális technika II. tantárgyat teljesítők körében az átlagos hallgató az 5. félévében jár, és a leggyakoribb (módusz) választott specializáció a Hálózatbiztonsági és üzemeltetési terület. A tárgy iránti általános érdeklődést, valamint a

motivációt jól mutatja, hogy az átlagos érdemjegy 4, a medián és a módusz pedig 5, ami kiemelkedő teljesítményt jelez. A válaszadók többsége érdekesnek találta a tantárgyat, és úgy gondolja, hogy egy kézzelfogható eszköz használata még jobban motiválta volna őket.

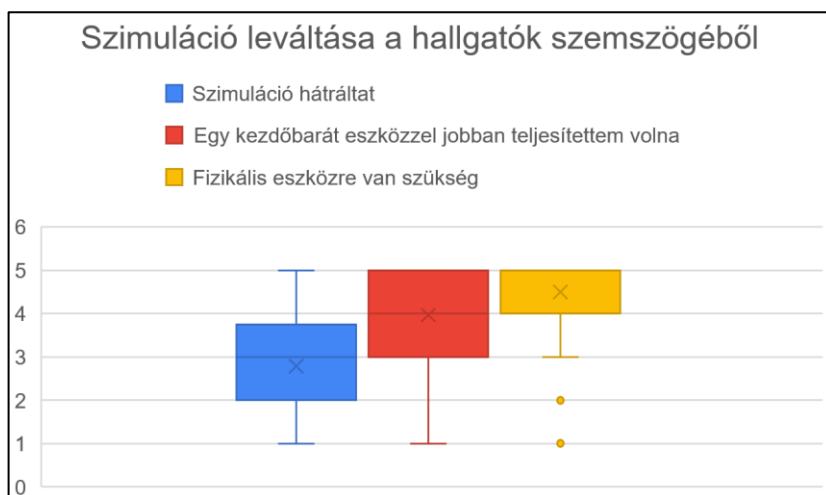
Az adatok alapján világos tendencia figyelhető meg, mégpedig, hogy a hallgatók szívesebben dolgoztak volna valós, fizikai eszközzel, mint szimulációs programmal, amelyet sokan korlátozónak éreztek. Az ipari informatika specializáció iránt ugyanakkor nem mutatkozott különösebb érdeklődés, de ez részben a hiányos információból is eredhet.

A válaszokból az is kiderül, hogy a hallgatók többsége úgy véli, hogy egy kezdőbarát és moduláris, gyakorlatorientált eszköz segítette volna őket az eredményesebb tárgyteljesítésben. Ez a tendencia arra mutat, hogy a gyakorlati eszközhasználat növelheti a tantárgy vonzerejét és hatékonyságát, különösen azok számára, akik inkább a kézzelfogható tanulási módszereket preferálják.

7.1.7. Szimulációt leváltani kívánók eloszlás

Az alábbi (16. ábra) box-plot diagram három kérdésre adott válaszok eloszlását mutatja be, és a válaszok elemzésével igazolja az eszköz létrejöttének szükségességét. A kérdések ábrázolásának sorrendje: 9 - kék, 11 - piros, 12 - sárga.

A diagram a válaszok középvértékeit és szórását szemlélteti, ahol az öt kvartilisre osztott adathalmaz dobozként jelenik meg, az 'X' jelöli a mediánt, a bajuszok (whiskers) pedig az intervallumot adják meg, míg a kiugró értékeket külön pontok jelzik.



ábra 16: Szimuláció leváltása mellett szavazók eloszlása

9-es kérdés (kék szín): A válaszok többsége 2 és 4 között mozog, ami azt sugallja, hogy a résztvevők közepes mértékű korlátozottságot érzekeltek a szimuláció használatakor.

11-es kérdés (piros szín): A válaszok főként 4 köré koncentrálódnak, de a teljes skála 1-től 5-ig terjed, ami változatos véleményeket mutat. Ez arra utal, hogy a résztvevők egy része szükségesnek tartana egy könnyebben kezelhető eszközt, míg mások nem.

12-es kérdés (sárga szín): A medián 4 fölött van, jelezve, hogy a válaszadók általában előnyben részesítenének egy gyakorlati eszközt. A válaszok viszonylag szűk tartományban mozognak, kivéve két alacsony kiugró értéket, amelyek néhány résztvevő számára kevésbé vonzó lehetőséget tükröznek.

Mindezek alapján arra következtethetünk, hogy a gyakorlati, moduláris eszköz iránt igény mutatkozik, de a szimuláció megtartása is előnyös lehet bizonyos felhasználók számára, vagy ismeret hiányában nem tudják, hogy milyen előnyökkel ruházná fel őket egy speciálisan a tantárgyon szereszhető ismeretek kiterjesztésére fejlesztett eszköz.

7.2. Konfidencia-intervallum vizsgálat

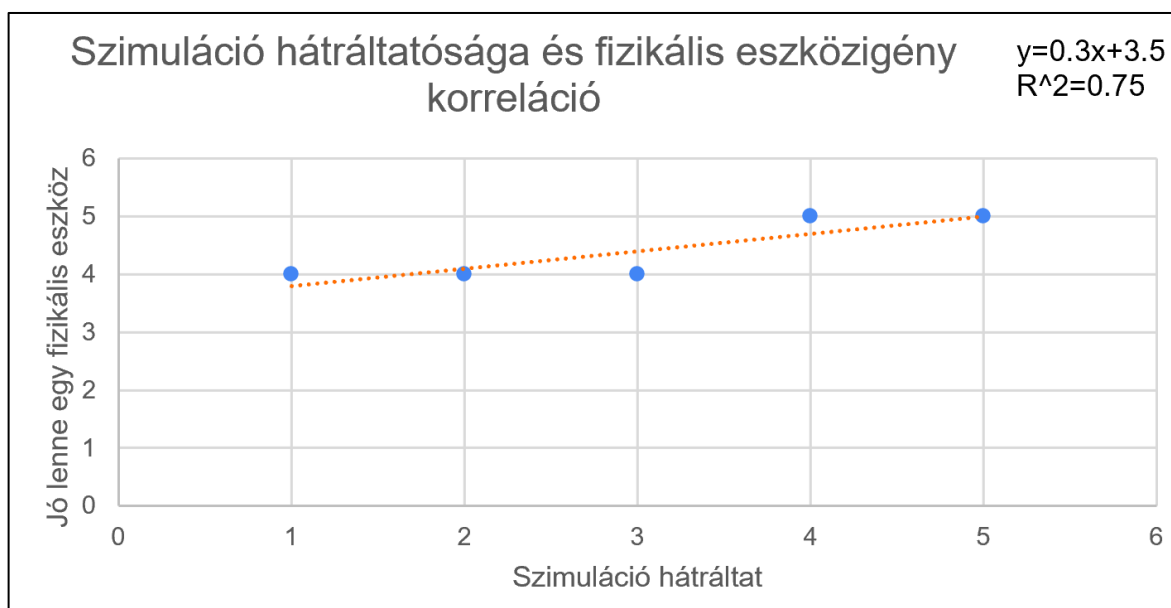
táblázat 5: Az eszköz bevezetése után inkább ipari informatikát választók valószínűsége

Mintaméret	56
Minta-arány	0.446429
Standard hiba	0.066431
Mintaarány-eloszlása	normális
Szignifikancia-szint	0.1
x_alpha-érték	1.644854
Pontbecslés	0.446429
Maximális hiba	0.109269
Alsó határ	0.33716
Felső határ	0.555697

Az 5.táblázat értelmében 90%-os biztonsággal állítható, hogy az eszköz bevezetése után az eddig ipari informatika specializációval szemben bizonytalan hallgatók 34% és 56% közötti arányban választanák a kevésbé népszerű szakirányt.

Kijelenthető, a teoretikus koncepció, miszerint a szimuláció leváltásával és egy fizikális eszköz bevezetésével sikerül hallgatókat az ipari informatika specializáció választására csábítani továbbra is képlékeny. Pozitívabb konfidencia intervallumra számítok, amint az első hallgatócsapat megtapasztalta az új megközelítést.

7.3. Lineáris regresszió



ábra 17: Lineáris korreláció vizsgálata a 9. és 12. kérdés válaszai között

A két változó közti lineáris kapcsolat keresése során az ábrázolt pontdiagrammon (17.ábra) sok pont egybeesett, így a nyers eszköz igények helyett az átlagokat tekintjük.

A két változó közötti korreláció nagysága 0.866, ami nagyon erős, egyenes arányosságot leíró kapcsolatra utal.

A tengelymetszet jelentése, hogy az átlagos elégedetlenség a szimulációval 3.5 érték volt [1-5] intervallumon. Az egyenes meredeksége 0.3, ami azt jelenti, hogy minden egyes egységnyi növekedés a „szimuláció hátráltat” változóban körülbelül 0.3 egységnyi növekedést eredményez a „jó lenne egy fizikális eszköz” átlagban. Végeredményében, a két változó kapcsolatát leíró lineáris egyenes egyenlete (1. összefüggés):

$$y = 0.3x + 3.5 \quad (1.)$$

A determinációs együttható, azaz a modell magyarázó ereje 0.75. Az átlagos eszköz igény szórásnégyzetének 75%-a a szimuláció hátráltatásával magyarázható.

Az átlagos eszköz igényre adott becslés átlagosan 0.095 értékkel tér el a valódi átlagos eszköz igénytől. Ez a 2.17%-a az átlagnak.

7.4. Eredményösszesítő

A kutatás célja annak vizsgálata volt, hogy a Digitális technika II. tárgyban hogyan viszonyulnak a hallgatók a szimulációs eszközökhöz, és milyen hatással lehetne egy fizikai eszköz bevezetése a tantárgy népszerűségére, valamint az ipari informatika specializáció választására. Az eredmények szignifikáns mintavételen alapulnak, ahol a kérdőívet kitöltők között reprezentáltak voltak az egyes szakirányok, bár többségük nem az ipari informatika specializációt választott.

A leíró statisztikai elemzés szerint a kitöltők átlagosan a 3. félévükben járnak, a leggyakoribb félév az 1. A válaszok szórása 2.13, amely arra utal, hogy a hallgatók különböző évfolyamokról érkeztek, így szélesebb perspektívát nyújtanak. Az érdemjegyek eloszlása alapján a hallgatók többsége jól teljesít a tantárgyban, azonban látható, hogy van igény az alternatív teljesítési lehetőségekre, mint például egy opcionális beadandó feladat.

A válaszadók többsége kifejezte, hogy szívesebben készített volna beadandó projektet, ha azt fizikai eszközön végezhetné volna, nem pedig szimulációs környezetben. A kitöltők közül sokan úgy érzik, hogy a TinkerCAD szimuláció korlátozta őket, és egy gyakorlati eszköz használata vonzóbb lehetőséget kínált volna. Az eszköz iránti érdeklődést támasztja alá a 90%-os konfidencia intervallum is, amely szerint az ipari informatika specializációval szemben bizonytalan hallgatók 34-56% közötti arányban választhatnák ezt a szakirányt, ha egy valós, fizikai eszközt használhatnának a tantárgy során.

A lineáris regressziós elemzés szerint a szimulációval kapcsolatos elégedetlenség és a fizikai eszköz iránti igény között erős, 0.866-os korreláció áll fenn. Ez azt mutatja, hogy azok a hallgatók, akik elégedetlenek a szimulációs módszerrel, nagyobb valószínűséggel érdeklődnének egy gyakorlati, moduláris eszköz iránt. A modell magyarázó ereje 75%, amely azt sugallja, hogy a fizikai eszközigény nagy részben a szimulációval való elégedetlenségre vezethető vissza.

Összefoglalva, a kutatás eredményei alapján egy fizikai eszköz bevezetése pozitív hatással lehetne a hallgatók motivációjára és a tantárgy népszerűségére, különösen azok körében, akik a gyakorlati tanulási módszereket preferálják.

Összefoglalás

A dolgozatom, mely egyfelől fejlesztői dokumentációként is szolgál, fontos kérdésekre hivatott választ adni, melyek a Digitális Technika II. tantárgy jövőjét is befolyásolhatják. A hosszas fejlesztői konzultációsorozatnak hála egy olyan hardver koncepcióval álltunk elő, amely időtállóságot, robusztusságot, modularitást biztosít, így széles spektrumot lefedve tudja a különböző képességű hallgatók igényeit kielégíteni és támogatni őket célkitűzésük elérésében a tantárggyal szemben.

Az eszköz létezése beigazolást nyert a mérnökinformatikus alapképzésben résztvevő hallgatók számára kiküldött kérdőív átfogó elemzésével, melyből egyértelművé vált az igény a tantárgy gyakorlatorientáltságának növelésével szemben, a kitöltők műszaki orientáltságától (specializáció) függetlenül.

A kérdőíves vizsgálat során fény derült a hallgatóság bizonytalanságára a változások erejével, és a szimulációval szembeni különbségek erősségével szemben, így ennek tudatában az eszköz bevezetésének módszereként az inkrementális megismertetést javasoltam. Ahelyett, hogy azonnal egy évfolyamot ezzel az eszközzel oktattánk, a szimulációval szembeni eltérések kihangsúlyozása és egyértelműsítése érdekében graduálisan mutatjuk meg, hogy milyen más módokon lehet ugyan azt, vagy még többet megtanítani.

A kidolgozott mintaóra anyaga remekül illeszkedik a tantervbe, logikusan követi az előzmény tárgyat, mindamellett, hogy a második félévben párhuzamosan futó tantárgyakkal is szimbiózisban tud működni, így nem egy különálló tárgyként tekinthetünk rá, hanem a meglévők és korábbiak kiterjesztéseként. Ez az oktatói megközelítés, társítva egy kezdőbarát eszközzel hivatott a hallgatókra nehezedő nyomás csökkentésére, és a motivációjuk és teljesítményük növelésére.

Az eszköz tesztelése során beláthatóvá vált számomra, hogy szükséges lesz legalább egy revízióra, amely a kisebb tervezési hibákat korrigálja és tovább optimalizálja az alkatrészlista összetételt.

Összességében elégedett vagyok a projekt és a kutatás kimenetével, rengeteget tanultam és fejlődtem mind a munkának, mind a dolgozatnak a készítése során, továbbá személyes sikerként és szakmai előre lépésként tudom elkönyvelni magamnak az elért eredményeket. Szívből remélem, hogy a jövőben lesz lehetőségem a projekt lezárása után a hallgatók elégedettségének, érdeklődésének növekedésével találkozni és személyesen megtapasztalni.

Irodalomjegyzék

- [1] Pap-Szigeti, Róbert: A programozási készségek vizsgálata középiskolában és a felsőoktatásban, GRADUS 4: 1 pp. 216-222., 7 p. (2017)
- [2] Arduino honlap: <https://www.arduino.cc/>
- [3] Pásztor Attila, Török Erika, Pap-Szigeti Róbert: Innovatív informatikai eszközök és módszerek a programozás oktatásban, GRADUS 1: 1 pp. 22-27., 6 p. (2014)
- [4] A. N. Borodzhieva, I. D. Tsvetkova, I. I. Stoev and S. L. Zaharieva, "Interactive Teaching Methods Used in the Course Digital Electronics," 2020 XI National Conference with International Participation (ELECTRONICA), Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELECTRONICA50406.2020.9305131.
- [5] TinkerCAD honlap: <https://www.tinkercad.com/>
- [6] Valencia de Almeida, F.; Hayashi, V.T.; Arakaki, R.; Midorikawa, E.; de Mello Canovas, S.; Cugnasca, P.S.; Corrêa, P.L.P. Teaching Digital Electronics during the COVID-19 Pandemic via a Remote Lab. Sensors 2022, 22, 6944. <https://doi.org/10.3390/s22186944>
- [7] Balamuralithara, B.; Woods, P.C. Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. Comput. Appl. Eng. Educ. 2009, 17, 108–118. <https://doi.org/10.1002/cae.20186>
- [8] R. R. Santos, "Open hardware platforms in a first course of the Computer Engineering undergraduate program," 2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings, Madrid, Spain, 2014, pp. 1-7, doi: 10.1109/FIE.2014.7044335.
- [9] E. Al-Masri, S. Kabu and P. Dixith, "Emerging Hardware Prototyping Technologies as Tools for Learning," in IEEE Access, vol. 8, pp. 80207-80217, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2991014.
- [10] Raspberry PI Compute Module honlap: <https://www.raspberrypi.com/>

Melléklet

1. mellekletek.pdf (1 - 18)
2. mellekletek.pdf (19 - 42)
3. mellekletek.pdf (43 - 60)
4. mellekletek.pdf (61)
5. mellekletek.pdf (62)