

Egy orvosi nyomáspadló fejlesztése

Írta:

Nagy Marcell

(II. éves villamosmérnök B.Sc. hallgató, automatizálás szakirány)

Konzulens:

Dr. Lilik Ferenc

(egyetemi docens)

Tartalom

1.	BEVEZETÉS.....	1
1.1.	A PROBLÉMA BEMUTATÁSA	2
2.	A STROKE BEMUTATÁSA	3
2.1.	GYÓGYULÁST SEGÍTŐ KEZELÉSEK	3
3.	AZ ESZKÖZZEL SZEMBEN TÁMASZTOTT ELVÁRÁSOK	4
4.	A PROJEKT ÖSSZESENÉGE	5
4.1.	JÁRÁSANALÍZIS KAMERÁK FELHASZNÁLÁSÁVAL	5
4.2.	JÁRÁS ANALÍZIS-NYOMÁSPADLÓ FELHASZNÁLÁSÁVAL	5
5.	A PIACON LEVŐ JELENLEG ELÉRHEŐ ESZKÖZÖK, ÖSSZEHASONLÍTÁS	6
6.	A FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK, ALKATRÉSZEK ISMERTETÉSE	7
6.1.	A LEGFONTOSABB ALKATRÉSZ, FÉLVEZETŐ: VELOSTAT	7
6.2.	MIKROKONTROLLER	8
6.3.	MULTIPLEXER (MUX)	8
6.4.	TOVÁBBI FELHASZNÁLT ALKATRÉSZEK	9
7.	A KORÁBBI PROTOTÍPUSOK, TAPASZTALATOK	10
8.	A JELENLEGI PROTOTÍPUS BEMUTATÁSA	12
8.1.	AZ ELSŐ PRÓBÁLKOZÁS	12
8.2.	A SZENZORMÁTRIX FELÉPÍTÉSE	12
8.3.	A MŰKÖDÉS ISMERTETÉSE	15
9.	EGY MÉRÉS BEMUTATÁSA.....	18
9.1.	MÉRÉS MULTIPLEXEREKKEL EGYÜTT	18
9.2.	A BELSŐ ELLENÁLLÁSOK FONTOSSÁGA	19
9.3.	MÉRÉS FESZÜLTÉGOSZTÓVAL, MULTIPLEXEREK NÉLKÜL.....	20
10.	A MEGOLDÁSRA VÁRÓ PROBLÉMA.....	22
10.1.	A HIBA OKA ÉS LÉTREJÖTTE	22
10.2.	ELMÉLETI MEGOLDÁSOK	24
11.	KONKLÚZIÓ	25
12.	IRODALOMJEGYZÉK	26

1. Bevezetés

Tudomány és orvoslás. Két különböző szó, vagy ha úgy tetszik, akkor tág fogalmak, melyek sokféleképpen értelmezhetők. Jobban átgondolva látható, hogy ez a két szó nem is annyira esnek távol egymástól, mint ahogy az elsőre látszik. Az orvoslás valójában a tudománynak az egyik speciális ágát képezi. Úgy gondolom, ez az egyik legfontosabb tudományág, hiszen az emberi élet hosszának és minőségének megváltoztatására képes. Az emberi evolúciót megfigyelve látható, hogy az átlagos életkor az őskortól kezdve napjainkig folyamatosan javul és növekvő tendenciát mutat, de minek is köszönhető ez a folyamat? Ez a kérdés alapos átgondolást igényel, mivel senki sem tudja igazán, hogy mi is a hosszú élet titka, bár természetesen vannak döntő faktorok, amiket érdemes figyelembe venni.



1. ábra Kék zónák [1]

Földünkön léteznek az úgynevezett „kék zónák” (1. ábra), melyekben az embereknek közös tulajdonságuk, hogy harmóniában élnek a természettel, értékelik a szabadidőt és a pihenést, de emellett keményen dolgoznak, sokat gyalognak a természetben és van életcéljuk. Ez akár még az Európában élők nagy részéről is elmondható. Viszont akik ezekben a zónákban élnek, nem ismerik a szívbetegséget, magas vérnyomást és a daganatos betegségeket sem. Nincsenek kórházai, se orvosai, az átlagéletkor mégis eléri a száz évet.

Akiknek nem adatott meg az a szerencse, hogy az említett zónákba szülessenek, és egy olyan országban élnek, ahol a nehezen gyógyítható betegségek is jelen vannak, a tudatos életmód és a tudománnyal együtt fejlődő orvosi technológiák egyvelege biztosíthatja a viszonylag hosszabb életet. Az ilyen orvosi technológiák fejlesztésében a mérnököknek nagy szerepe van, mivel az orvosok közreműködésével ők fejlesztik, tervezik és készítik a szakképzett orvosok által használt eszközöket, amelyek azok akár életüket menthetnek.

Én is egy, a fenti célokat megvalósító, diagnosztikai célú berendezés létrehozását célzó projektben veszek részt. A projekt a következő négy terület támogatására próbál orvostechikai eszközt létrehozni: finommotoros rehabilitáció, mozgásanalízis nyomáspadló felhasználásával, mozgásanalízis kamerák felhasználásával, szem- és kézmozgás együttes vizsgálata. Ezek mindegyikével egy-egy alprojekt foglalkozik. Az alprojekteken egy-egy önálló eszköz fejlesztése zajlik. Ezek a műszerek elsősorban a stroke-on átesett betegek vizsgálata számára

készülnek. Összességében mind a négy alprojektről elmondható, hogy az általuk készített eszközök használata a betegek állapotának megismerését teszi könnyebbé és hatékonyabbá. A fő segítséget az jelenti, hogy a projekt során fejlesztett berendezések a hagyományos vizsgálati eljárások során nem, vagy csak nagyon körülményesen és drágán megszerezhető információkat és adatokat gyűjtenek a jelenleg elérhető eszközöknél hatékonyabban és olcsóbban. Ezeknek az adatoknak a birtokában az orvosok könnyebben tudják a rehabilitációhoz szükséges helyes diagnózist felállítani, valamint a terapeuták mindig a legcélravezetőbb kezeléseket tudják biztosítani, tehát a rehabilitációs folyamat eredményesebbé válik.

1.1. A probléma bemutatása

Én a projekten belül a nyomáspadló segítségével történő mozgásanalízissel foglalkozom.

A sérült betegeken alkalmazott rehabilitációs torna és gyakorlatok közben fontos indikátor a beteg járása. A járás során az egészségügyi személyzet a beteg súlypontjának elhelyezkedését és járás közbeni mozgását vizsgálja. Ezt szabad szemmel nehéz megfigyelni és szinte lehetetlen számszerűsíteni, egy szenzoros eszköz használatával viszont mindez egyszerűvé válik.

A járást a megbízó által meghatározott méretű és formájú területen (nyomáspadló mérete) kell vizsgálni. A vizsgálat során kapott adatokat visszatekintés, elemzés és összehasonlítás céljából el kell menteni. Munkám célja tehát egy olyan nyomáspadló kidolgozása, ami a beteg mozgásáról járás közben gyűjt adatokat. A munkának még nem értem a végére. Jelenleg egy olyan prototípus fejlesztésével vagyok kész, ami lehetőséget nyújt a probléma műszaki kérdéseinek, buktatóinak vizsgálatára. TDK dolgozatomban ezt a prototípust és a vele végzett tesztjeim eredményeit mutatom be.

2. A stroke bemutatása

A stroke hasonlít a trombózishoz. Mindkét esetben az érrendszerben egy vérrög képződik, amely elindul a testet behálózó ereken keresztül és valahol megreked, elzárva ezzel a vér áramlásának útját. A stroke esetében a vérrög az agyban képződik. Attól függően, hogy ez a vérrög hol reked meg, derül ki, hogy az agynak mely részei veszítik el a funkcionalitásukat.

A szív- és érrendszeri megbetegedések a kardiovaszkuláris megbetegedések közé tartoznak. Ezek a betegségek a WHO (World Health Organization) Health Report legfrissebb adatai szerint világszerte évente 15 millió ember haláláért felelősek, ebből 5,5 millió halálesetért felelős a stroke [1]. Magyarországon ez a harmadik leggyakoribb halálozási ok, és az első helyen áll azon betegségek között, melyek tartós rokkantságot okoznak. *„Évi 45–50 ezer új beteg írható a stroke számlájára, becslések szerint 180 ezren élnek a betegség több-kevesebb maradványtünetével”* [2]. A magas számok mögött a gyakori érlelmeszesedés áll. Az érlelmeszesedés az erek belső falára lerakódó zsírok miatt képződik. További problémát okoz az, hogy a stroke egy bizonyos típusát kivéve (vérzéses stroke) nem érezhető. Emiatt sok beteg nem fordul időben orvoshoz, így kicsúszik a sikeres megelőzést biztosító terápiás időablakból. Ilyenkor a vérrög túl hosszú ideig zárja el a vér útját az agy egyes részeiben és súlyos károk keletkeznek. [3]

2.1. Gyógyulást segítő kezelések

A legjobb kezelés, mint minden más betegségnél a megelőzés. A megelőzés a vérnyomás rendszeres ellenőrzésével, helyes táplálkozással (sok zöldség és gyümölcs fogyasztásával), a dohányzás mellőzésével, a koleszterinszint rendszeres ellenőrzésével lehetséges. Sajnos azonban sokszor a helyes táplálkozás és az egészséges életmód mellett is bekövetkezhet a stroke. A stroke-on átesett betegek állapota különböző kezelésekkel javítható. A sokfajta kezelésből csak két példa a combverőéren keresztül az agyi erekbe vezetett mikrokatóéteres beavatkozás vagy a vérrögoldás (vénába adott szöveti plazminogén aktivátorral – tPA-val). Ezek bizonyítottan hatékonyak a stroke kezelésében. Sajnos ezek elvégzésére rendkívül csekély idő áll rendelkezésre. Probléma akkor van, ha a beteg a stroke során nem érez semmit, így kicsúszik az igen rövid, nagyjából négy és fél órás kezelési időablakból. Ekkor válik fontossá a terápia, hiszen azok a betegek, akik nem kapnak megfelelő ellátást a stroke után, 80-90%-ban tartósan rokkanttá válnak. [3] A nyomáspadló, aminek a fejlesztésében én is részt veszek, a gyógyulási folyamatnak ebben a fázisában nyújt segítséget.

3. Az eszközzel szemben támasztott elvárások

Az elvárásokat a megrendelőtől nem egy listaként kaptuk meg, melyben megtalálhatók a konkrét követelmények, feladatok. Megbeszélések sorai, helyszíni bejárások és sorozatos, többoldali kérdésfeltevés és válaszadás során körvonalazódott ki, hogy pontosan milyen eszközök elégítik ki a megrendelő igényeit.

Az egyeztetési folyamat végeredménye:

- Egy olyan eszköz készítése a feladat, ami képes a rajta végigsétáló betegek lábának a terhelését vizsgálni. Vizsgálni kell, hogy a beteg hogyan terheli a lábának az egyes részeit, így többszöri terápiás kezelés alapján megállapítható a páciens fejlődése, avagy visszafejlődése.
- A szőnyeg középvezetől meg lehessen mérni, hogy milyen távolságra lép el a beteg.
- A rendszernek képesnek kell lennie arra, hogy a vizsgálatok során gyűjtött adatokat eltárolja és elmentse, így a későbbi kezelése során ezek visszakereshetőek lesznek összehasonlítási célból.
- A padló legyen könnyen szállítható és egyszerűen használható.
- A kész nyomáspadlónak a bambusz belsejében el kell férnie (a bambusz egy orvosi segédeszköz neve, ez tulajdonképpen egy keret, amelyen belül a beteg mozgását vizsgálják). Ebből következnek a méretek: a szőnyeg legyen 4 méter hosszú. A szélesség még kérdéses, de a maximális lehetséges szélesség 50 cm.
- A nyomáspadló lehet egy egybefüggő tekercs vagy egy puzzle-ből kirakható szőnyeg.
- Az adatfeldolgozást szoftver végezze!
- Az eltérő időpontokban történt vizsgálatok során készült és elmentett adatokat akár egy pontozásos rendszerben is össze lehessen hasonlítani!

Fontos megjegyezni, hogy ezeknek a követelményeknek csak lépcsőről lépésre lehet megfelelni. Nem lehet egyszerre mindent megoldani. Annak érdekében, hogy a kész termék megoldhassa az összes követelményt, prototípusokat készítünk és ezeket teszteljük.

4. A projekt összessége



2. ábra A projekt felosztása

A mozgásanalízisen belül két eszköz látható, melyek külön-külön is képesek működni, viszont teljes képet a páciens mozgásáról (járásáról) csak az eszközök együttes használatával lehet kapni. A feltételek összetettsége miatt számos kritériumnak csak az egyik vagy csak a másik felel meg, ezért az aktuális rehabilitációs feladatnak megfelelően érdemes összehangolni azok használatát. Emiatt a nyomáspadló mellett a kamerás rendszer is röviden ismertetésre kerül.

4.1. Járásanalízis kamerák felhasználásával

A páciens mozgását a rehabilitációs gyakorlat elvégzése közben egy kamera figyeli, a felvett mozgást pedig egy képfelismerő algoritmus dolgozza fel. A kezelések során rögzített felvételek alapján, valamint a képfelismeréssel nyert adatokból összehasonlítható a páciens jelenlegi, és korábbi állapota. A cél, egy pontos és gyors módszer létrehozása a páciensek állapotának hosszútávú nyomon követésére.

4.2. Járás analízis-nyomáspadló felhasználásával

Nyomásérzékelő szenzor segítségével meghatározható, hogy a páciens a talpa melyik részét terheli. A nyomásérzékelő felület egy matrac-szerű rendszer, amelyen a beteg végig tud sétálni. A kezelés során minden lépés és lábnyom láthatóvá válik. A benyomódások által létrejövő adatok elmentésre kerülnek.

5. A piacon levő jelenleg elérhető eszközök, összehasonlítás

Felmerül a kérdés, hogy esetleg más orvosi eszközöket gyártó cégek foglalkoznak-e hasonló nyomáspadló készítésével, illetve létezik-e olyan eszköz, ami kielégíti az összes szükséges igényt a nyomáspadlóval szemben. Kisebb piackutatást végezve hamar megállapítható, hogy nem található olyan termék, ami megfelelő lenne. Többnyire csak olyan termékek találhatók, amik a saját felhasználási területüknek megfelelnek pl. lúdtalpvizsgáló, betörésérzékelő.

Az alapvető problémák:

- a felhasználási terület egyedisége
- nem megfelelő méret
- magas ár
- a szoftver nem konfigurálható
- dokumentáció hiánya

A felhasználási terület egyedisége az, ami a legjobban megszűri a lehetőségeket, ezért csak egy darab terméket találtam, ami ugyanazt a célt szolgálja, mint az általunk fejlesztett nyomáspadló. A talált eszköz 1610 mm hosszú, valamint 652 mm széles. Az érzékelési területe 1500 mm hosszú és 50 mm széles. Ezekből az adatokból látható, hogy nem férne bele a bambuszba és ahhoz, hogy elérjük a szükséges 4 méteres érzékelési hosszúságot. Kellene venni két nagyobb és egy kisebb terméket melynek hossza 1000 mm. A gyártó oldalán pontos ár nincsen feltüntetve, de egy másik weboldalon ezt a nyomáspadlót nagyjából négymillió hatszázezer forintért árulják (ez egy darab nyomáspadló ára). Ezzel szemben az általunk készített 4 méteres nyomáspadló anyagi értéke kevesebb mint félmillió forintból megvalósítható.

A látható indokokból levonható az a tanulság, hogy ha szeretnénk megfelelni az összes követelménynek, akkor készíteni kell egy sajátot, ami méretben megfelelő és minél költséghatékonyabb. A szoftver egyedi készítése miatt úgy formálható, hogy megfelelő legyen adatgyűjtésre, és az esetleges pontozási rendszer későbbi megvalósítására. A projektről már jelenleg is számos dokumentáció (pl. az előző TDK) készült.

6. A felhasznált eszközök, alkatrészek ismertetése

A fizikai nyomás érzékelésére a Velostat nevezetű anyag került felhasználásra. A fizikai nyomás egy folyamatosan változó analóg jelnek tekinthető. Egy vékony Velostat réteget alkalmazva a nyomás átalakítható Ohmos ellenállássá. Ez a jelátalakítás első lépése (a második lépés a maga idejében később kerül bemutatásra), tehát megtörténik a fizikai nyomás ellenállásértékké történő átalakítása.

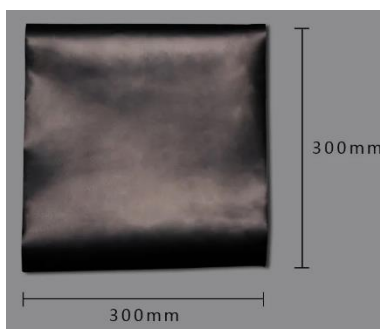
A mikrokontroller a prototípusnak az agya. A multiplexerek címzésére és a feszültséggé alakított jelek mérésére használható.

A sorok és az oszlopok egyesével történő kiválasztására a multiplexerek használata megfelelő választás. Kettő multiplexer került beépítésre, az egyik a nyomáspadló tápellátásáért felel, a másik pedig az áramkör zárását teszi lehetővé. A mikrokontroller lábai először a multiplexerbe kerültek bekötésre, ezzel a megoldással a négy mikrokontroller lábbal tizenhat multiplexer láb válik vezérelhetővé.

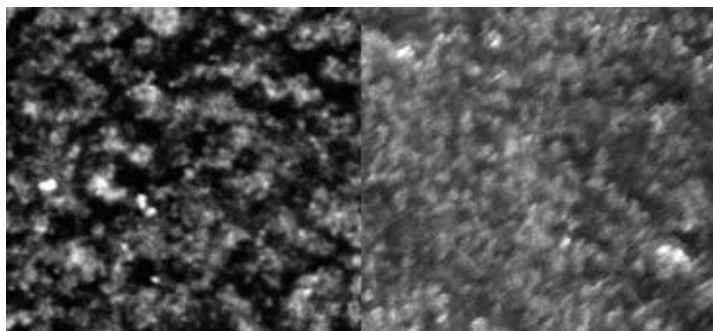
6.1. A legfontosabb alkatrész, félvezető: Velostat

A félvezetők olyan eszközök, amelyek csak bizonyos körülmények között képesek áram továbbítására. A Velostat esetén a nyomás változtatja a vezetőképességet. A Velostat nyomásmentes állapotban elhanyagolhatóan alacsony vezetéssel rendelkezik, ezért elméleti szinten szakadásnak minősül. Ez a Velostat belsejében található részecskék közötti hozzátétőlegesen 1 mikrométernyi távolságnak köszönhető. Viszont, amint valamilyen nyomás alá helyezzük, pl. tenyerünkkel benyomjuk, az anyag belsejében levő elektromos vezetésre képes részecskék közötti távolság kisebb lesz, nagyjából 0.6 mikrométer, ezáltal létrejön az elektronok áramlásához szükséges vezető út, tehát vezetővé válik, de csakis azokon a pontokon, ahova a nyomás nehezedik. Ez 5000x-es nagyítás alatt jól látható (4.ábra). [5] Ezt nevezik kvantum-alagút jelenségnek. A lenyomó erőt növelve nő az anyag vezetőképessége (csökken az ellenállás értéke), amíg annak ellenállása nulla nem lesz. Így létrejön a rövidzár. A nyomást felengedve újra szakadás kapható. Az idő múlásával a részecskékből létrejövő polimer láncok eltávolodnak egymástól vagy túlságosan összetömörödnek, esetleg kihullanak. A Velostat idővel történő deformitása, tehát a polimer creep jelenség miatt pontatlan lesz. A létrejövő áramköri utak megszűnése hibához vezet. Ezért nem használható hosszabb ideig történő testtömeg mérésére. Ebből következik, hogy rövid ideig tartó terhelésre, ebben az esetben sétálásra alkalmas, viszont hosszabb ideig történő mérésekre pl. mérlegnek nem. Az ellenállás a nyomás fokozásával nagyjából 15 k Ω -tól 0 Ω -ig csökken.

A Velostat nem biztosít pontos mérést viszont erre nincs is szükség, mivel még így is látszani fog, hogy a beteg éppen a talpélét vagy például a sarkát terheli jobban, a jelentős nyomáskülönbségek miatt.



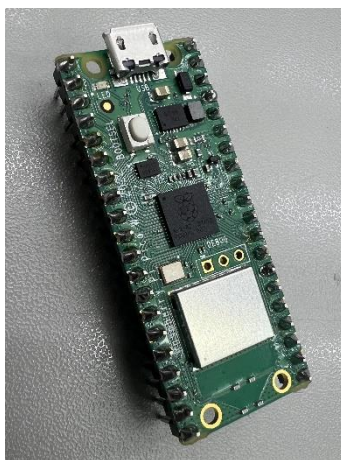
3. ábra. A felhasznált Velostat [4]



4. ábra. Nyomás nélkül(bal), nyomás alatt(jobb) [5]

6.2. Mikrokontroller

A választott mikrokontroller a Raspberry Pi Pico. A Raspberry támogatott nyelve a MicroPython, így ezt a nyelvet kell használni a multiplexerek címzésének a beállítására. A mikrokontroller által betöltött következő feladat a mérés. Az ADC GP28-as nevű láb került felhasználásra egy mérés elvégzéséhez. Erre a két feladatra megfelelő választás a Pi Pico mivel egy RP2040-es chippel van felszerelve. Ez a chip lehetővé teszi a gyors működést még hozzá 125 MHz sebességgel (órajel), ami a nyomáspadló által biztosított mérési értékek gyors változásának a szempontjából nagyon fontos. További pozitívum, hogy a chip két processzormaggal rendelkezik, tehát lehetőség nyílik több feladat végrehajtására egyidőben. [6]



5. ábra Raspberry Pi Pico

6.3. Multiplexer (MUX)

A választott multiplexer a CD74HC4067 számú 16 csatornás változat. A multiplexer jobb oldalán található a címző bemenetek S0-S3 jelöléssel. A címző bemenetek egyszerre csak egy bitnyi értéket képesek felvenni ez lehet nulla vagy egy. A multiplexer bal oldalán a csatornák található C0-C15 jelöléssel. Kettő multiplexer szükséges külön a sorok és külön az oszlopok címzésére. A jelenlegi prototípus nyolc csatornát használ mindkét multiplexeren, C0-C7 között. A későbbi bővítések során akár mind a tizenhat csatorna kihasználható lehet. A multiplexer feladata, hogy kiválassza a mikrokontroller által meghatározott bináris bemenet alapján azokat a sorokat és oszlopokat, amiken éppen a mérést végezzük. A kiválasztott csatornák belsőleg összeköttetésbe kerülnek a SIG nevű pin-nel. Az egyik multiplexerrel valósítható meg a

nyomáspadló tápellátása, míg a másikon keresztül záródik az áramkör. Célszerű a mikrokontroller jelét először multiplexerbe átkötni és nem közvetlenül vezérelni a nyomáspadlót, mivel túl sok sor és oszlop esetén elfogynának a mikrokontroller lábai. Az EN láb a multiplexer kapcsolójaként használható. Erre nincs szükség, ezért nem lett bekötve. A 6. ábrán látható, hogy az adott bináris címzések alapján melyik csatornák kerülnek kiválasztásra.

TRUTH TABLE					
S0	S1	S2	S3	$\bar{E}$	SELECTED CHANNEL
X	X	X	X	1	None
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	2
1	1	0	0	0	3
0	0	1	0	0	4
1	0	1	0	0	5
0	1	1	0	0	6
1	1	1	0	0	7
0	0	0	1	0	8
1	0	0	1	0	9
0	1	0	1	0	10
1	1	0	1	0	11
0	0	1	1	0	12
1	0	1	1	0	13
0	1	1	1	0	14
1	1	1	1	0	15

6. ábra Igazságtábla [7]

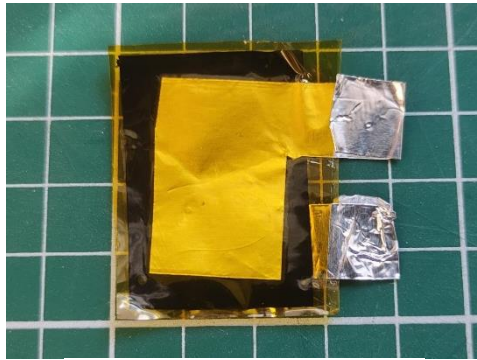


7. ábra CD74HC4067

6.4. További felhasznált alkatrészek

- jumper vezeték
- fix hosszúságú vezeték
- szalagkábel
- szalagkábel csatlakozó
- ragasztós fólia
- ellenállások
- breadboard
- réz szalag (elektrodák)

7. A korábbi prototípusok, tapasztalatok



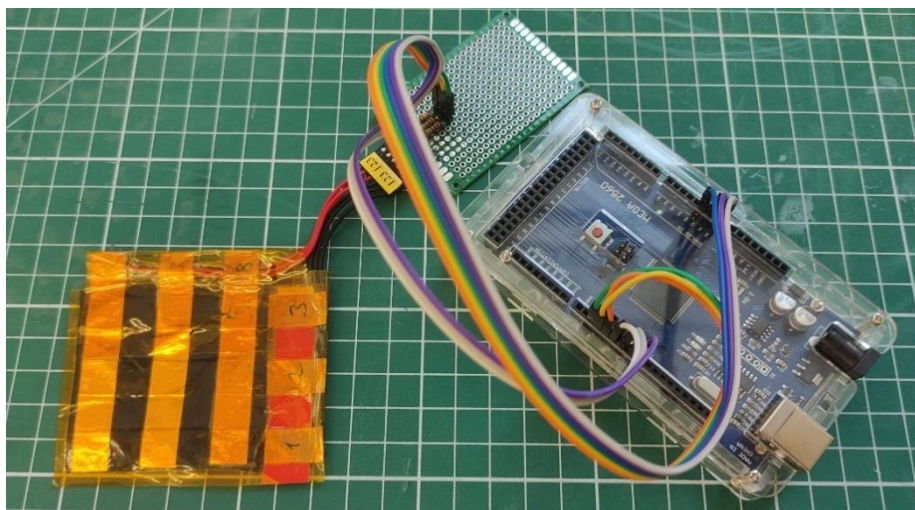
8. ábra. 1db szenzor [11]

Az első prototípus elkészítése egyetlen szenzor előállítására irányult. Ezzel megvizsgálható az ellenállás változása a nyomás hatására. A további szenzoroknál a logikai felépítés ugyanaz maradt, annyi különbséggel, hogy ragasztható réz szalag és gyengébb ragasztós fólia került felhasználásra. Ezért könnyebbé vált a forrasztás és a nagyobb prototípusoknál a ragasztós fólia szétválasztását is egyszerűbbé teszi a szenzoroktól. Ezek a döntések a későbbiekben igencsak kifizetődőnek bizonyultak. Nagyon fontos, hogy a Velostat-on nem lehetnek lyukak.



9. ábra Egy hosszúkás szenzor [11]

A második prototípus szenzor (9. ábra) már jobban hasonlít a végső szenzorösszeállításhoz. Viszont ez nem mátrix kialakítású, inkább egy konkrét több centis sort szimbolizáló szenzor. Megfigyelhető, hogy ha csak egy pontban éri nyomás a szenzort akkor is tapasztalható az ellenállás változása a vezetékek végén történő mérés során. Itt már a ragasztós réz szalag került kipróbálásra és megfelelőnek bizonyult. A vezetékek forrasztását is minden további probléma nélkül meg lehetett oldani. Viszont figyelni kell arra, hogy a Velostat-ot közrefogó két réz elektróda össze ne érjen, mert akkor zárlat keletkezik, fizikai nyomás nélkül.



10. ábra A 3x3-mas nyomáspadló [11]

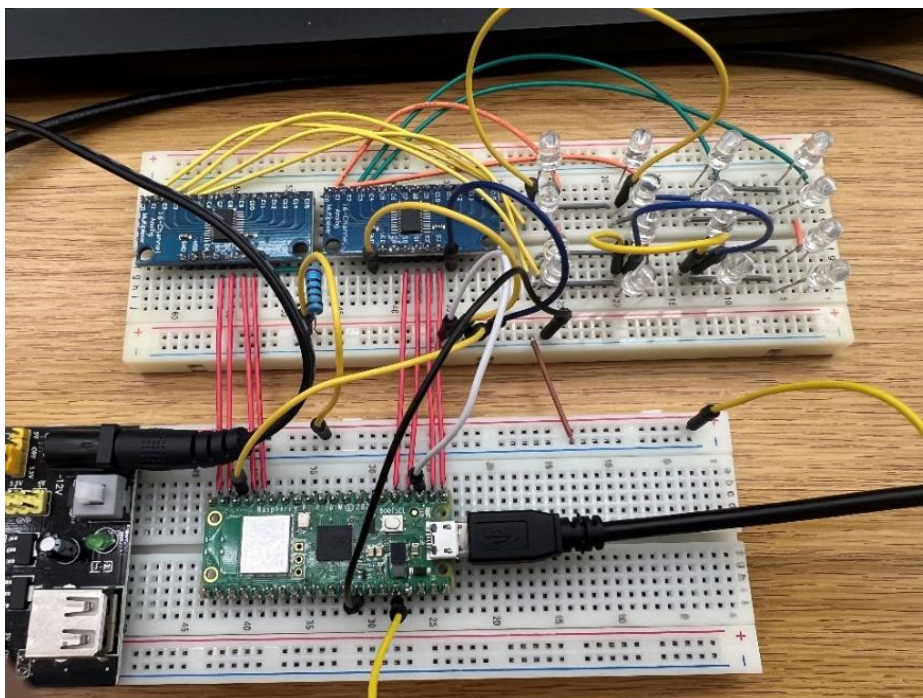
A 10. ábrán látható az első kész kisebb prototípus. A fő különbség a mikrokontroller cseréjében keresendő. Ebből adódik, hogy a szoftveres környezet Arduino IDE-ről MicroPythonra változott. A kisebb nyomáspadlónál még elég volt az Arduino Mega-nak a használata. Viszont a következő nagyobb prototípusnál, amely több szenzorponttal rendelkezik, ezzel együtt több mérési adatot is generál. Ezért nagyobb kiolvasási sebességre lesz szükség, amit a Pico biztosít.

Ezen prototípusok elkészítésében természetesen én is részt vettem.

8. A jelenlegi prototípus bemutatása

8.1. Az első próbálkozás

Elviekben hasonlóan működik, mint a konkrét nyomáspadlós verzió. Három fő különbség van. A tápellátást egy 5 V-ot biztosító külső tápegység szolgáltatja. Az eszköz 4x4-es elrendezésben készült. A nyomásérzékelő szenzorszőnyeg helyett LED-ek kerültek beépítésre, amiket a multiplexer címzésével egyesével felvillantva látszódott, hogy a kiolvasás a LED-ek felvillanásának megfelelően fog működni csak sokkal gyorsabban. A LED-ek mindig egy sorban villantak fel egyesével, ezt mind a négy sorban megismételve a program leállításáig. A LED-ek világítása jelen esetben a bal felső saroktól lefele indult.

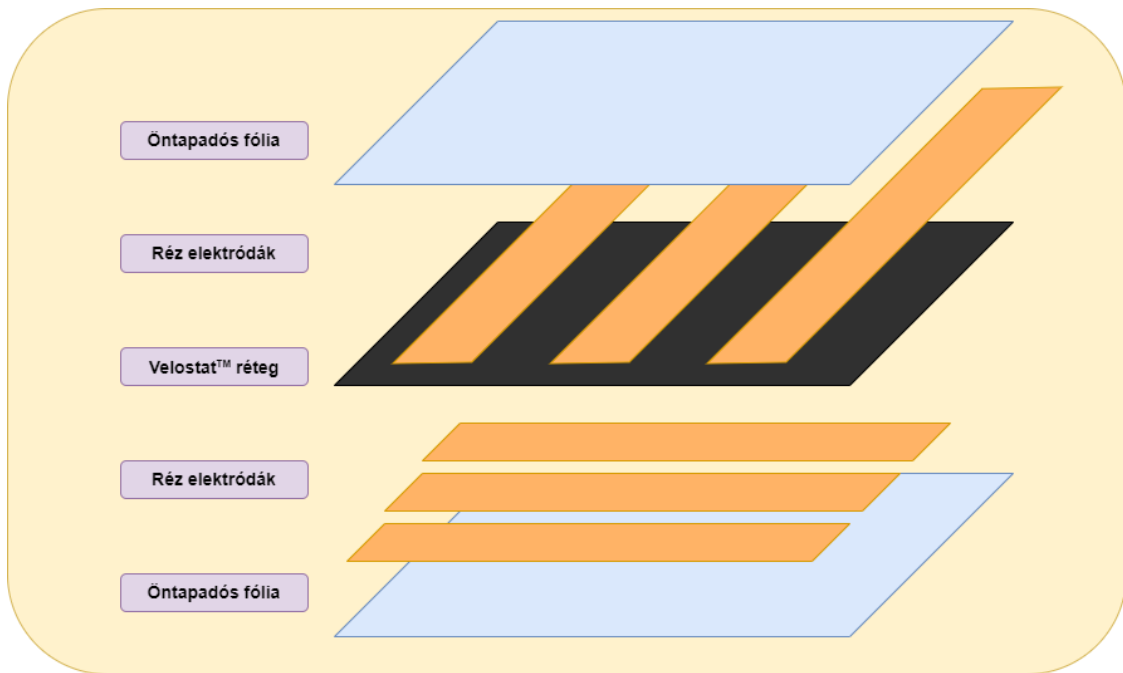


11. ábra Prototípus LED-ek használatával

8.2. A szenzormátrix felépítése

Ragasztós fólia (borítás)
Elektródák (hosszanti)
Velostat
Elektródák (kereszt)
Ragasztós fólia (borítás)

12. ábra. Felépítés



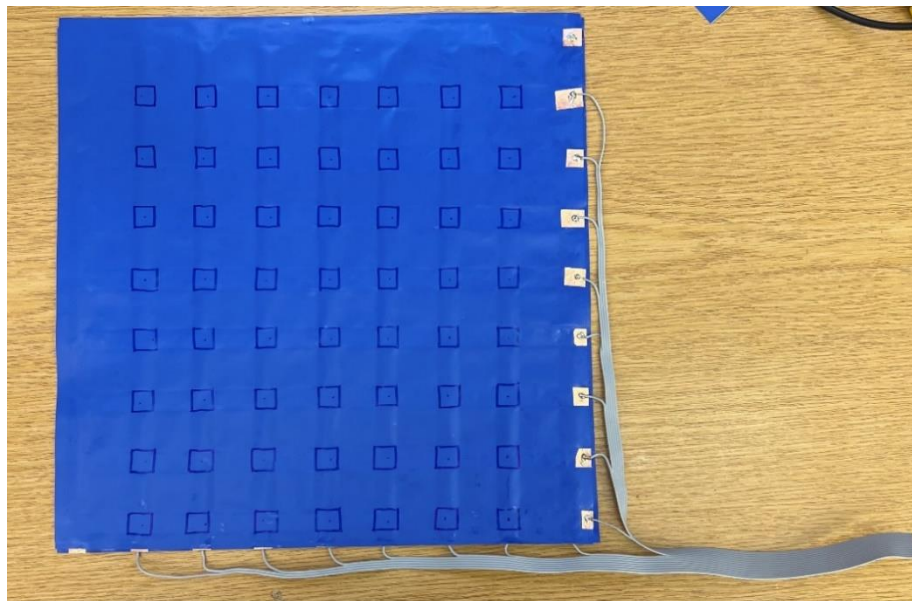
13. ábra A mátrix kialakítás (3x3) [11]

A feladat a 10. ábrán látható 3x3-as eszköz hardware-nek nagyobbá tétele és tovább gondolása. Az előző prototípusok által megtapasztalható volt, hogy a kezdeti összeállítási logikán nem szükséges változtatni a mátrix szerű elrendezés megmaradt (13. ábra). Így ezt az utat követtem. Nagyjából 30x30 cm-es (ragasztós fólia mérete) négyzet alakú eszköz elkészítését kellett megvalósítani 1 cm széles réz szalagokkal. Ezek közé kerül be a 28x28 cm-es Velostat réteg. A réz szalagok közti 2,5 cm-es távolság elégségesnek bizonyult, ezzel a megoldással egy átlagos férfi tenyerének a benyomódása hozzávetőlegesen huszonkettő szenzorpontot aktivál. A szenzorpontokat a hosszanti és a keresztirányú elektródák átlapolódása biztosítja, melyek a 13-as ábrán látható módon fogják közre a Velostat-ot. Az 1 cm-es réz szalag meg is adja egy szenzor méretét, ami 1x1 cm lesz.

Első lépésként ki kellett számolni a szükséges réz szalagok mennyiségét. Ehhez azt kellett figyelembe venni, hogy a szőnyeg területi kihasználtságának eleget téve, elektródával érdemes kezdeni és elektródával érdemes befejezni a ragasztást. Egy egyszerű osztást alkalmazva kiszámolható, hogy kilenc darab elektródát kell vágni oldalanként, ez összesen tizennyolc. Így 29 cm-re jön ki a méret ez azért jó mivel így minden oldalon egy kicsit túl tud lógni a védőfólia. Egy papírvágó segítségével nagyjából 29 cm hosszú csíkokat vágva levágtam 22 darabot. Korábbi tapasztalatok révén már tudtam, hogy nem egyszerű ezekkel a szalagokkal bánni így tartaléknak vágtam még párat. Majd a ragasztós fóliából is kettőt méretre vágtam. Ezután a ragasztás következett. Vonalzóval érdemes bemérni a távolságokat a pontosság érdekében, de figyelni kell, hogy minden rézszalag lógjon kicsit túl a két oldalon, mivel kell a hely a vezetékek forrasztásához. Előre nem mértem be az összes távolságot mindig az előző ragasztáshoz viszonyítottam. Célszerű a ragadó rézszalagot óvatosan lehúzni a borításáról, mivel kellő odafigyelés nélkül könnyen összepöndörödik és használhatatlan lesz. Mindezeket figyelembe kell venni a párhuzamosság és a minél jobb pontosság elérése érdekében. A két ragasztóval ellátott felületet összeragasztva ügyelni kellett arra, hogy a ragasztós felület és a réz szalag feszessége ne térjen el egymástól. Ezt a műveletet kellett megismételni mind a kilenc sornál és

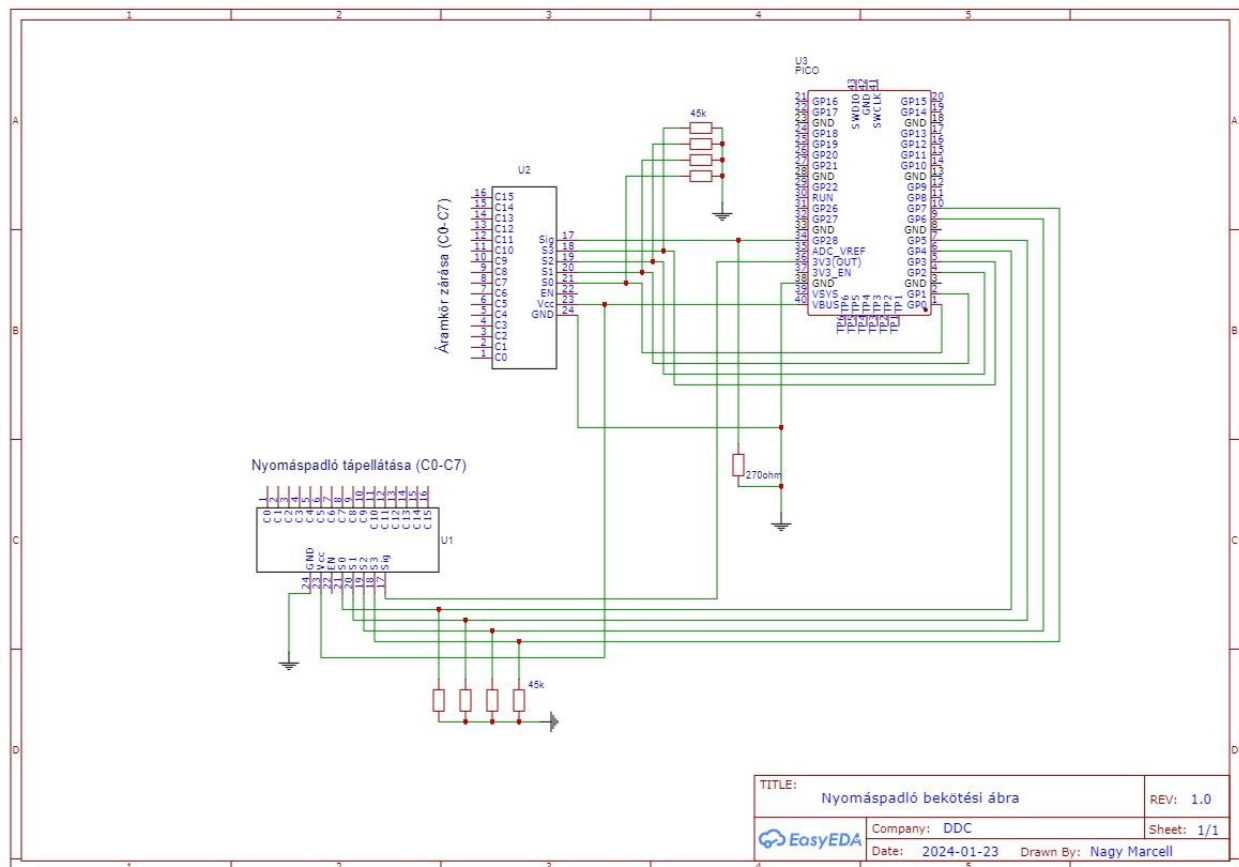
oszlopnál. A szalagokat persze nem ugyanarra a ragasztós fóliára kell ragasztani, hanem kettőre, sor, oszlop szerint.

Ezek után kezdődött a legkritikusabb folyamat. A három réteg pontos összeillesztése. Ez végül nem sikerült olyan tökéletesen egy néhány milliméteres pontatlanság miatt. A legszélső sort és oszlopot nem fedte át teljes mértékben a Velostat így a rövidzár elkerülése érdekében ez a kettő nem lett felhasználva. Ez nem okoz különösebb problémát mivel a teszteléshez így is elég sok szenzorpont maradt, összesen hatvannégy. Egy filccel jelölésre kerültek az aktív szenzorpontok (kis kockákkal) a láthatóság érdekében. A kilógó rézszalagok mindenhol visszahajtásra kerültek, hogy le ne szakadjanak. A szalagok visszahajtása egy kisebb problémát okozott a forrasztásnál. A következő lépés a szalagkábelrel történő összeforrasztás. Először egy kisebb levágott, ragasztós fólián célszerű volt tesztelni a forrasztást, annak érdekében, hogy mennyi ideig szabad melegíteni az anyagot mielőtt kár keletkezik benne. Kiderült, hogy alig néhány másodpercig szabad a felületre ráhelyezni a páka hegyét mivel hamar elolvadna a fólia. Ezt követően méretre vágtam a szalagkábelt, majd elkezdtem összeforrasztani forrasztózsír segítségével. Ezzel a módszerrel viszonylag gyorsan és könnyen sikerült a forrasztás. Észrevételként megjegyezném, hogy a forrasztást a legfelső soron kezdtem el, habár nincs használatban. Ez egy nagyon jó ötletnek bizonyult mivel többször is hozzáért a páka hegye feletti forró rész a legkülső érhez így csak a nem használt ér sérült meg, amit később persze eltávolítottam. A másik észrevétel pedig, hogy amikor a forrasztás végére értem pontosan olyan hosszúságú volt az utolsó ér, hogy a használatban lévő aktív oszlophoz még rá tudtam forrasztani. A tanulság az, hogy szalagkábelrel dolgozva nagyon kell figyelni a méretekre és esetenként érdemes lehet az első vezetéket méretezésre használni.



14. ábra A kész szenzor felület

8.3. A működés ismertetése



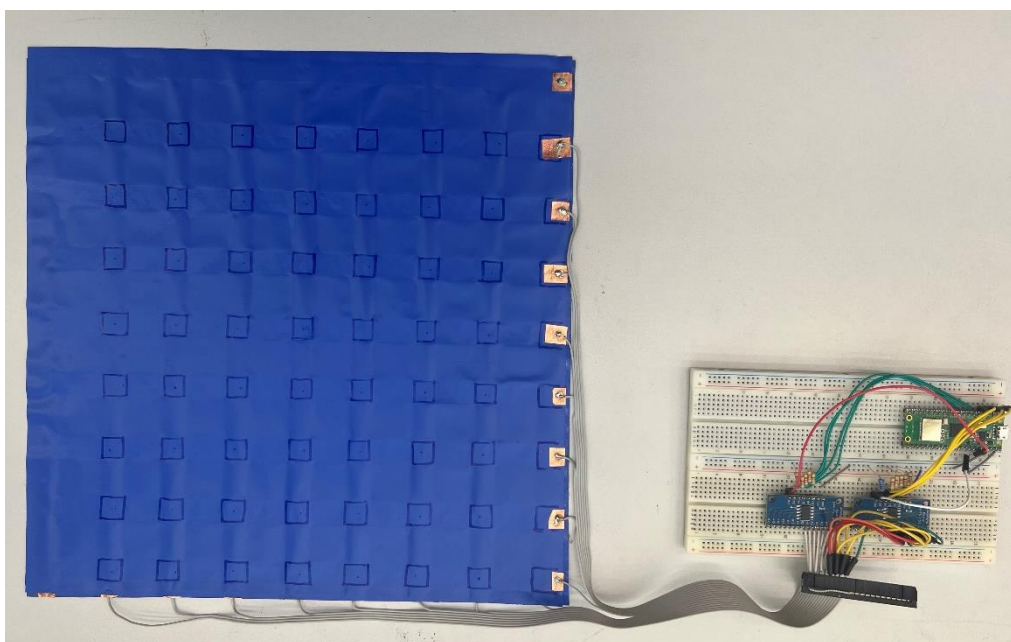
15. ábra. Áramköri rajz

A bekötések a 15. ábrán láthatók. A mikrokontroller első nyolc (GP0-GP7) lába felel a multiplexerek címzéséért. GP4-GP7 közötti lábai (összesen 4 láb) végzik el a címzési feladatot a nyomáspadló tápellátását biztosító multiplexerén. Ez úgy történik, hogy bináris 1 értéket küldenek a program pillanatnyi állásának megfelelő lábakon. Ez lehet kizárólag csak egy láb, de küldhet jelet mind a négyen is egyszerre. A program kiválaszt egy sort és ezen belül mindig egy oszlopot, binárisan elszámol nullától hétig ezek (balról jobbra súlyozva) 0000-1110 értékek között mozognak és kiküldi a bináris 1-et a címző lábakra. Ennek eredményeként a multiplexer címző lábai sikeresen címzésre kerülnek és egy kiolvasandó szenzor a multiplexer által kiválasztódik. A kiválasztott csatorna összekötésbe kerül a SIG lábbal, amely 3.3 V-ot juttat a megfelelő sorra. Ezután a tápfeszültségen levő sorban minden egyes szenzor meg lesz mérve. Ahol épp nincs nyomás ott közel 0 V feszültség mérhető. Ez a folyamat ismétlődik nagyon nagy sebességgel a tápellátást biztosító multiplexer (17. ábra felső MUX) címző oldalán. A sorban lévő összes szenzort ki kell olvasni a kiosztott bitek alapján minden lépésnél. Ezt a folyamatot ismerteti a 11. pontban bemutatott mérés. Fontos megjegyezni, hogy a mikrokontroller nem úgy van programozva, hogy bináris 0-át is ki tudjon küldeni címként. Erre oda kell figyelni, mivel akár hibát is okozhat. Ezáltal a multiplexer azon lábai, amire nem érkezett 1-es címzés ők nem fognak automatikusan bináris nullára váltani. Ezért a biztos működés érdekében mindkét multiplexer címző oldalát (S0-S3) hidegítő ellenállásokkal negatív tápfeszültségre kellett kötni. Ezért alap esetben bináris nullát tehát, negatív tápfeszültséget kapnak. A hidegítő ellenállások

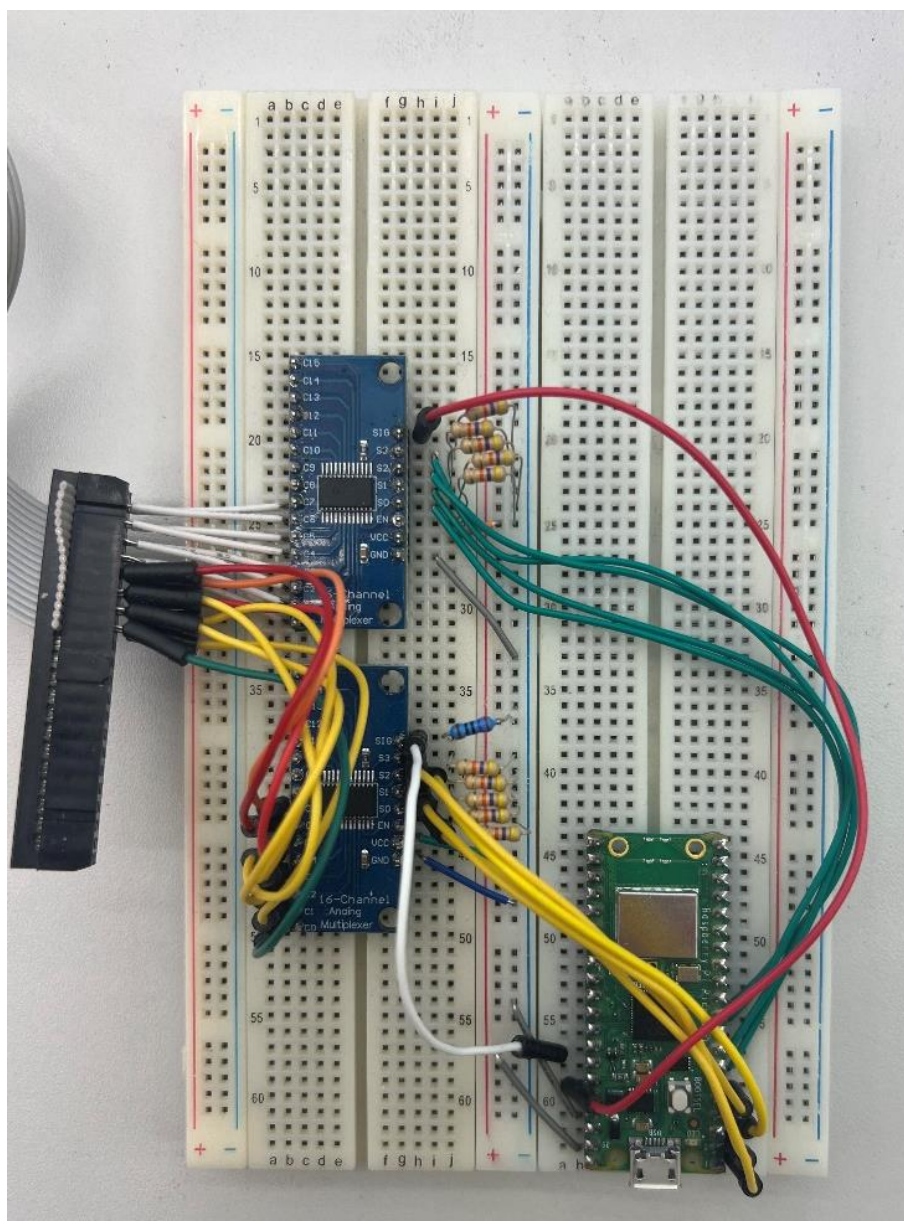
értéke $45\text{ k}\Omega$. Nagyságrendileg érdemes egy néhány $10\text{ k}\Omega$ -os értéket megválasztani annak érdekében, hogy minél kevesebb áram vesszen ezeken az ellenállásokon.

Ugyanezt a műveletet el kell végezni egyszerre a másik multiplexer címző oldalával, ami az áramkör zárását biztosítja (17. ábra alsó MUX) A különbség csak annyi, hogy a további négy mikrokontroller lábat fel kell használni ezek lesznek GP0-GP3 között.

Ez a megoldás azért szükséges mivel így képes létrejönni egyetlen áramkör. Az egyik multiplexer pozitív tápellátásával és a másik multiplexer negatív tápellátásával (GND). Összesen (a 8×8 -as mátrix kialakításnak köszönhetően) 64 különálló mérhető áramkör képes létrejönni.



16. ábra Az elkészült prototípus



17. ábra Közelkép az áramkorról

9. Egy mérés bemutatása

9.1. Mérés multiplexerekkel együtt

A 18. ábrán egy egyszerűsített rajz látható, melyen megfigyelhető egy mérési példa folyamata. Az egyszerűség kedvéért a multiplexer belső összeköttetéséért felelős logikai kapuk nem kerültek berajzolásra. A mikrokontrollernek egy lába felel a mérésért így csak az szerepel a rajzon. Az R1-R2-R3-al jelölt ellenállások szimbolizálják a Velostat réteg folyamatosan változó ellenállás értékeit. Értékük nagyjából 14 k Ω és 0 k Ω között mozog. Az R4-es (17. ábra kék ellenállás) a feszültségosztó megvalósulását biztosítja. R4-et érdemes Ω -os nagyságrendbe megválasztani, mivel, ha nyomás nehezedik a padlóra, akkor az egy nagyságrend révén jól mérhető feszültségértékek kaphatók.

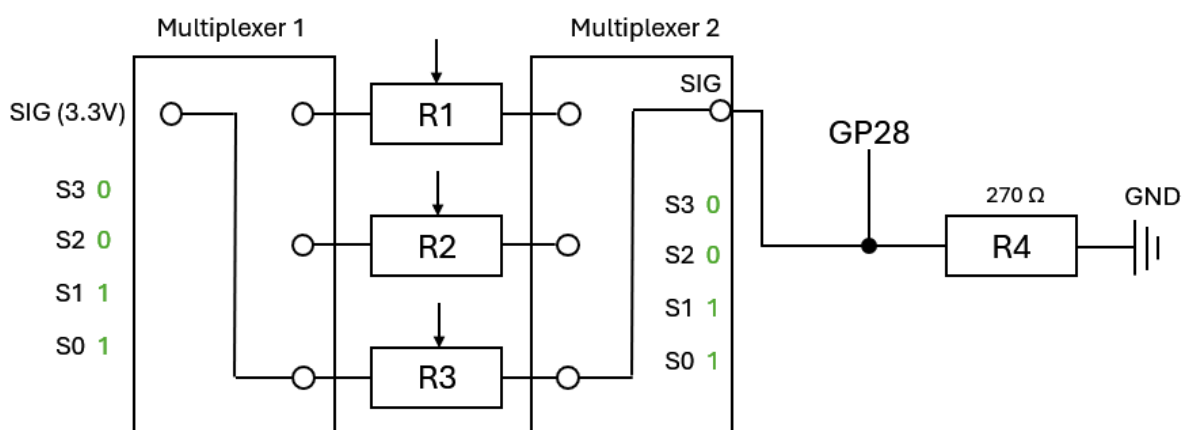
1. Jelen esetben a mikrokontroller 1100 (zölddel jelölve) bináris számokat küldött a tápellátást biztosító első multiplexer számára.

Ezzel párhuzamosan a második multiplexerre is megérkeznek ugyanezek a kódok.

2. A multiplexerek olyanok, mint egy útválasztó. Most az R3-as ellenállás áramköri útja került kiválasztásra. Rajta keresztül záródik az áramkör.
3. Az első multiplexer a logikai kapuk révén belsőleg összeköttetésbe kerül a tápellátást biztosító SIG lábbal.

Ezzel együtt a második multiplexer is összeköttetésbe kerül a SIG lábbal.

4. Az áramkör létrejön. A biztosított tápellátás révén, a változó ellenállás hatására mérhetővé válik a feszültség. Ez a jelátalakítás második lépése. Minél nagyobb a nyomás, annál kisebb az ellenállás, viszont, a feszültség nőni fog. Ugyanez fordítva is érvényes.



18. ábra Mérés R3-R4 között

Ez a négy lépésből álló folyamat ismétlődik nagyon nagy sebességgel, az eszköz bekapcsolásától a kikapcsolásig. Ezután megkezdődhet a mérés. A mérést a mikrokontroller végzi a GP28-as pinnel, ami ADC-nek is programozható. Ez a láb végzi minden kiválasztásnál a mintavételezést és az analóg/digitális átalakítást. Az átalakítás úgy történik, hogy egy véges bitszámú sorozaton a Pico bináris számokként ábrázolja a beérkező analóg értékeket. A Raspberry Pi Pico esetében a felbontás 12 bit. Ez azt jelenti, hogy 12 biten fog egyetlen analóg értéket ábrázolni. A számítás úgy történik, hogy a bithosszt azaz 2^{12} -t kell számolni decimális értékre jelen esetben a maximális decimális érték 4096. 0-3.3V között minden mért értékhez párosul egy decimális szám. Tehát a 3.3 V-hoz ebben az esetben 4096 a maximális érték párosul. Ha például egy 1.4 V-os analóg jel érkezik akkor ezt a számot osztva 3.3 V-al, ami a maximális feszültség majd beszorozva a maximális felbontással tehát 4096-al megkapható a decimális érték: 1738 a legközelebbi egész számra kerekítve. Természetesen a mikrokontroller bináris számokként kezeli az analóg jeleket és nem vált át decimálisba. A számítást az elméleti háttér szemléltetésére mutattam be.

További fontos művelet a kvantálás. Ehhez meg kell határozni egy lépés értékét, tehát 3.3 V-ot el kell osztani a 4096-al ez kerekítve $8.0565 \cdot 10^{-4}$. Maradva az 1.4 V-os analóg értéknél a neki megfelelő decimális 1738-at beszorozva egy lépés értékével kiszámolható, hogy a lépés 1.4002-re fog esni. A gyakorlati mérés során az eltérés 2 tízezred, ez elhanyagolható. A mikrokontroller ezeket az értékeket szintén binárisan kezeli. [8][9]

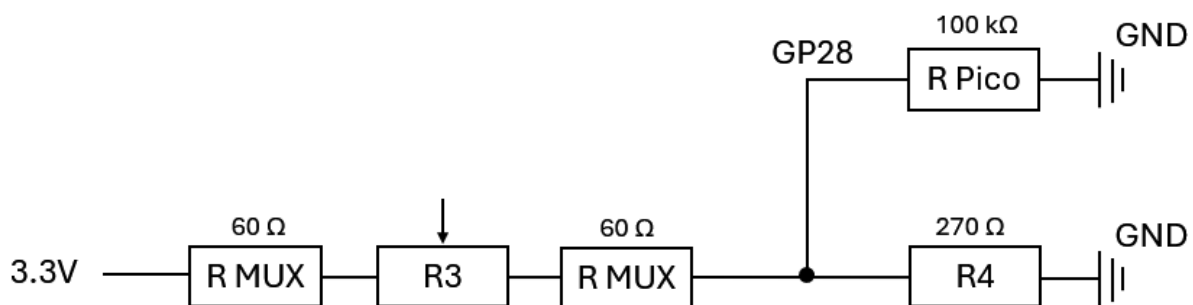
A számítások alapján megállapítható, hogy a 12 bites felbontás kellően pontos értéken képes visszaadni az eredeti analóg jelet. Ez a folyamatnak az elméleti szintű lezajlása. Ezeket a számításokat nem szükséges elvégezni, csak oda kell figyelni az alkatrész kiválasztásánál a szükséges pontosságra.

Habár az eszköz nem pontos az ellenállás értékek gyors változása miatt, a feszültség folyamatos változását pontosan meg lehet mérni.

9.2. A belső ellenállások fontossága

A 18. ábrán látható kapcsolást belső ellenállásokkal szemlélteti a 19. ábra. A két multiplexer miatt a kapcsolásba kerül tovább két 60 Ω -os ellenállás. Ezek a gyakorlatban hozzáadódnak a Velostat tehát R3 értékéhez. Nem szabad figyelmen kívül hagyni őket mivel elegendő nyomás hatására R3 értéke szintén ebbe a nagyságrendbe esik.

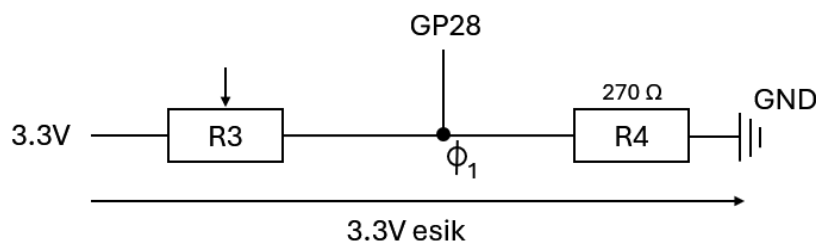
A Pico belső ellenállása a GP28-as mérési ponton megjelenik viszont ez akár több mint 100 k Ω is lehet ezért elhanyagolható.



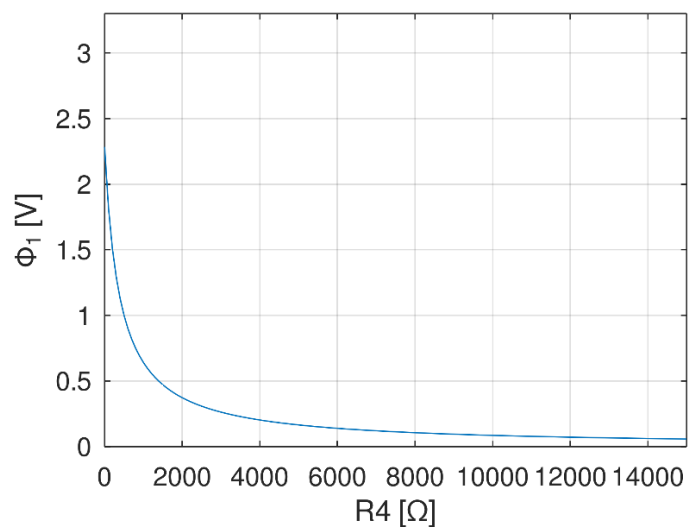
19. ábra Kapcsolás a belső ellenállásokkal

9.3. Mérés feszültségosztóval, multiplexerek nélkül

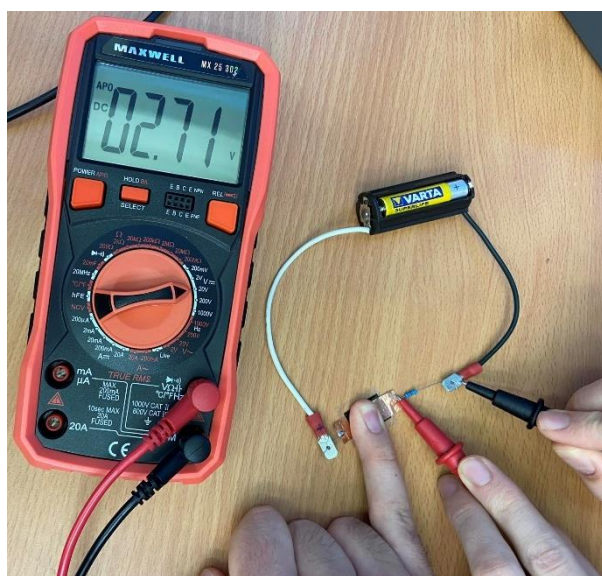
A 20. ábrán a mérés legegyszerűbb formája látható. Az időrendi lefolyást követve az útválasztás (R3 kiválasztása) megtörtént. Létrejön a Velostat által biztosított R3-as ellenállás változása alapján, és a fix értékű R4-es ellenállással történő soros kapcsolás. Erre a két ellenállásra megérkezik a betáplálás. A betáplált feszültség a nagyobb potenciálról a kisebb potenciálú pont fele fog esni. A feszültségosztás révén mérhetővé válik a két ellenállás közti feszültségnek az értéke. A mérést $\Phi 1$ -el jelölt csomóponton végzi GP28. Akár el is lehetne végezni egy számítást a GP28-as lábbal történő mérés szemléltetésére. Viszont nem célszerű feszültséget számolni mivel nehezen lehetne megtalálni azt az ellenállás értéket a gyakorlatban, amit a számítási adatok hiánya miatt nekem kellene megválasztani. A gyakorlati szemléltetés érdekében elkészítettem az áramkört. A tápellátás 4,5 V, ezt három ceruzaelem biztosítja. A számítások persze 3,3 V-al is elvégezhetők, ám a gyakorlati igazolás érdekében 4,5 V-al történik a számítás. Fontos, hogy ez csak elméleti számpélda, amely azt mutatja be, hogy a mért feszültség és R3 kapcsolata kiszámolható ezért a multiplexerek belső ellenállását nem veszem figyelembe. A folyamatosan változó R3-mas ellenállást nehéz lenne megmérni és hozzá feszültséget párosítani a 22. ábrán látható módon. Ezért kénytelen vagyok átvenni egy adatot a gyakorlati mérésekből. A mért feszültség alapján R3 értéke meghatározható. A mért érték ebben az esetben 2,71 V ez a $\Phi 1$ -es csomópont értéke. 4,5 V-ból levonva 2,71 V-ot megkapható az R3-as ellenálláson eső feszültség értéke ez 1,79V. Szükséges az áram meghatározása is. 2,71V osztva R4 értékével megadja nem csak R4 áramát, hanem az egész soros kapcsoláson folyó áramot, értéke 10,03mA. Innen már csak el kell osztani az R3-on eső feszültséget 1,79 V-ot R3 áramával 10,03 mA-el. Az eredmény $R3=178,4 \Omega$. A két ellenállás arányából kiszámolva tehát 270 Ω -ot elosztva az ellenállások eredőjével 448,4 Ω -al ezt beszorozva a tápfeszültséggel 4,5 V-al megkapható R4-en eső feszültség, azaz $\Phi 1$ értéke. Az eredmény 2,709 V. Ez természetesen helyes, hiszen egy a gyakorlatban megmért érték került felhasználásra a számítások során. Az igazi kérdés, hogy a kapott 178,4 Ω hatására a multiméteren mért érték visszakapható-e? A kérdésre és a számítások helyességének a bizonyítására egy szimuláció fog választ, adni a 23-as ábrán. A két ellenállás között látható, hogy 2,71 V jelenik meg 178 Ω mellett. A számítások helyesek, az elmélet és a gyakorlat megegyezik. A mérés ebben a formában elvégezhető. A gyakorlatban 64 feszültségosztó (20. ábra) tud létrejönni R3 cserélgetésével. A Velostat ellenállásán (R3) eső feszültség változását a 21. ábra jól szemlélteti.



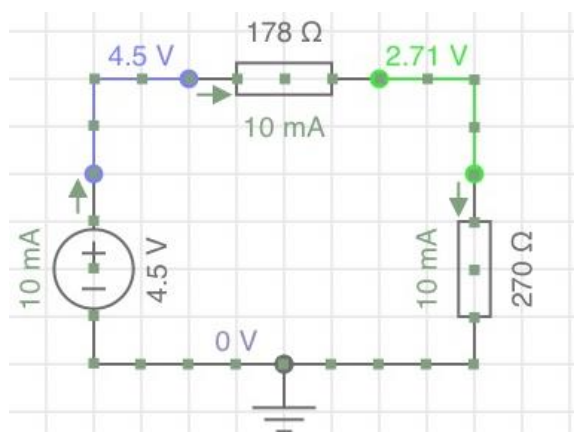
20. ábra Mérés feszültségosztóval



21. ábra A feszültség változása R_4 -en



22. ábra. Φ_1 mérése multiméterrel



23. ábra Ellenőrzés szimulációval

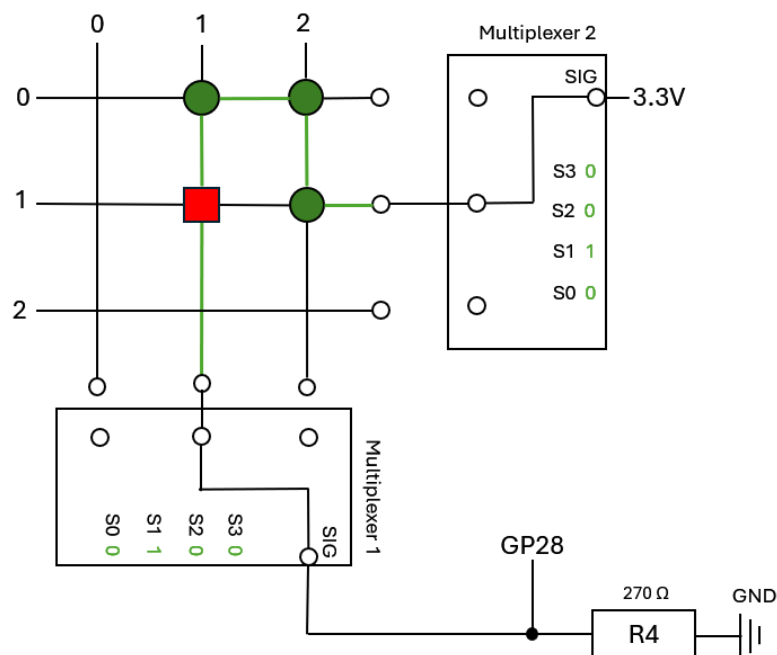
10. A megoldásra váró probléma

A bemutatott témakörökben jártas olvasóknak már feltűnhetett egy alapvető probléma, ami miatt az egész projekt akár kudarcba is fulladhat. Ez a probléma a fantom jeleknek a kialakulása. Egyszerűen megfogalmazva a fantom jel egy olyan jel, aminek nem kellene kialakulnia, viszont mégis létrejön. Mi okozza ezt a hibát? Mikor jön létre? Van megoldása? Ezeknek a fontos kérdéseknek a megválaszolására kerül sor.

10.1. A hiba oka és létrejötte

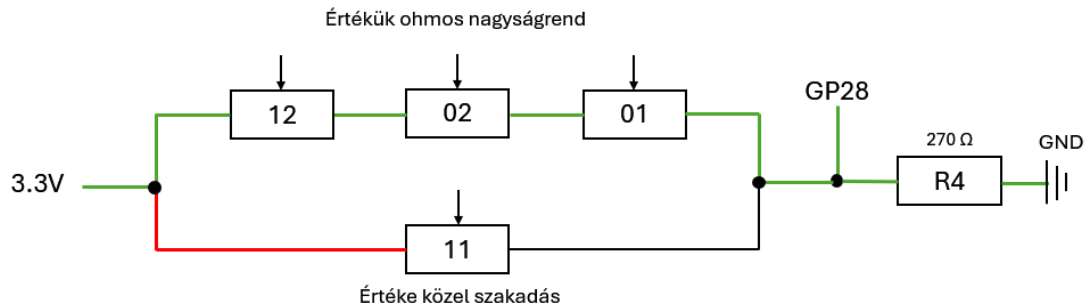
A 24. ábrán látható a nyomáspadló érzékelő felületének egyszerűsített változata. A körök és a négyzet a változó értékű a Velostat ellenállásait szimbolizálják. Ezeken az ellenállásokon keresztül vannak összekötve a sorok az oszlopokkal. A multiplexer jelen esetben a legfelső sorra biztosítja a tápellátást. Jelen esetben a mátrix szerint 01,02,12 van nyomás alatt. A hibát okozó áramköri szakaszt pirossal szemléltetem.

A fantom jelek abban az esetben jönnek létre, amikor minimum három vagy akár több szenzor úgy kerül nyomás alá, hogy ezeken keresztül egy következő sor is tápellátás alá kerül. [10] Mindhárom szenzort erős nyomásnak kell érnie azért, hogy értékük Ω -os nagyságrendbe kerüljön. Ebben az esetben 11 jelzésű ellenállás kerül tápellátás alá. A feszültség három ellenálláson keresztül jut el a nyomás nélküli ellenállásra egy alternatív úton. Fontos, hogy a fantom jelek abban az időpillanatban jönnek létre, amikor arra a sorra kerül tápfeszültség, ahol a fantom jel által létrejövő hamis nyomást érzékelő szenzor kerül mérésre.



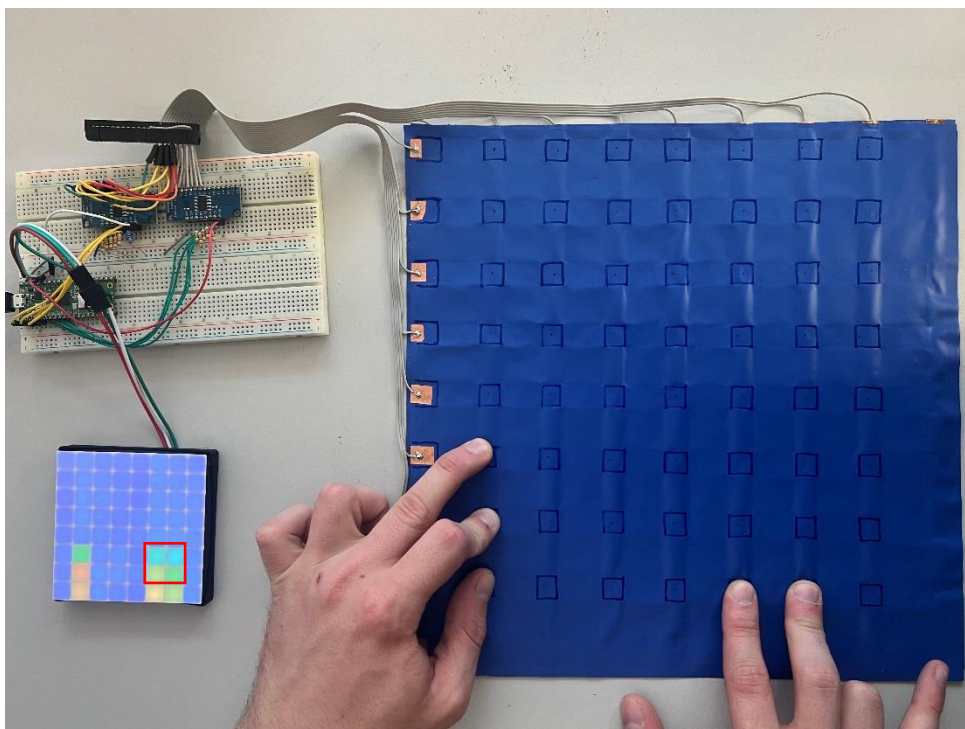
24. ábra A fantom jel kialakulása

A multiplexerek mellőzésével a 25. ábrán jól látható, hogy az 11-el jelölt ellenálláson a közel szakadás érték miatt nem képes áram folyni, tehát feszültség sem eshet rajta. Így hát a három sorban kapcsolt ellenállás eredőjével kerül feszültségosztóba R4. GP28-így nem az 11-es ellenállással létrejövő osztót méri meg. A mérés eredménye egy fantom feszültség lesz.



25. ábra Egyszerűsített kapcsolás

A 26. ábrán egy 8x8-as négyzet alakú LED mátrix került bekötésre pusztán a nyomás színekké történő vizualizálására. A nyomás növelésével sötétül a szín. Az említett ábrán öt LED látható nyomás alatt. Ez azt eredményezi, hogy a pirossal keretezett négy LED világítani fog a fantom jelek hatására.



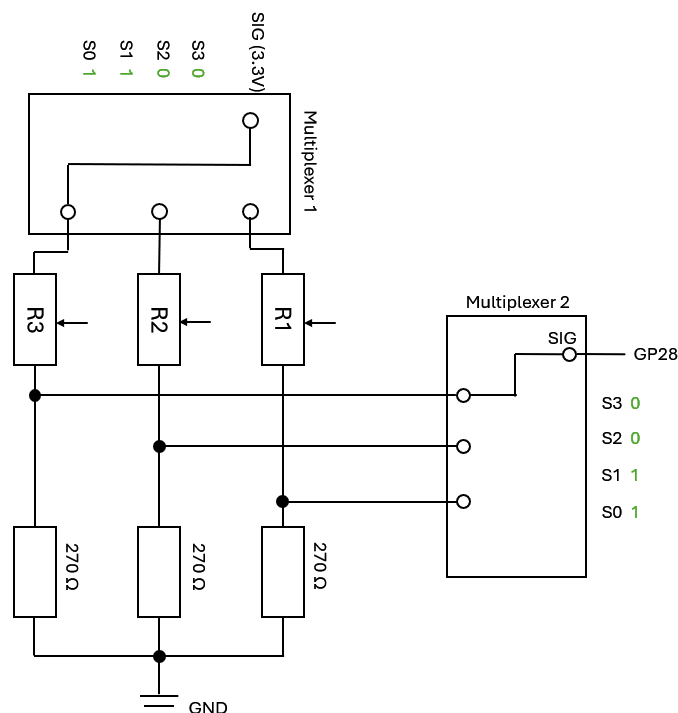
26. ábra Fantom jelek vizualizálása

10.2. Elméleti megoldások

A projekt jelenleg ebben a fázisban tart, így még csak néhány elméleti megoldás került számításba. Idő és tesztelések kellene a legjobb és legköltséghatékonyabb megoldás megtalálásához.

A fantom jelek a számítógép billentyűzeténél is hasonlóan megjelennek a mátrix szerű elrendezés miatt. Ezeknél a billentyűzeteknél diódákat használnak a nem kívánt jelek kiküszöbölésére. Ez a megoldás akár a nyomáspadlónál is beválhat. Minden egyes változó értékű ellenállás után be kellene forrasztani egy-egy diódát. A probléma ezzel a módszerrel megoldható lenne, viszont nem kivitelezhető a rengeteg dióda beforrasztása a padló belsejébe. [10]

Az eddigi legígéretesebb megoldás a vezérlőáramkör megváltoztatásában keresendő. A változás a $270\ \Omega$ -os ellenállás megsokszorozásában és áthelyezésében rejlik. A második multiplexer C0-C7 közötti nyolc láb után kell kötni őket, majd negatív tápfeszültségre ahogy eddig. Ezáltal már csak GP28 marad a második multiplexer SIG lábán. A mérési pontot fogja változtatni a multiplexer minden egyes mérésnél (27. ábra). A módszer eredményeként az összes olyan áramköri út, ami éppen nincs mérés alatt automatikusan negatív tápfeszültséget kap. A létrejövő áramok egy része így a párhuzamos ellenállások miatt fokozatosan levezetődik. A fantom jeleket ez a megoldás nem fogja teljesen megszüntetni, de remélhetőleg a tényleges nyomás és a fantom jelek által létrejött feszültség között nagy különbségek lesznek.



27. ábra Lehetséges megoldás

11. Konklúzió

Dolgozatomban bemutatam egy folyamatban levő rehabilitációs eszközöket fejlesztő projektsoportot. Ezen belül specifikusan a mozgás analízis vizsgálatával foglalkozó nyomáspadló legújabb prototípusának az elkészítését és működését. A projekt haladásával és a prototípusok folyamatos fejlődésével tesztek, mérések végezve megtapasztalható, hogy minden apró részletet össze kell hangolni a hibátlan működés érdekében. Az alkatrészek ismerete mellett, nem elhanyagolható, hogy összefüggéseiben szükséges látni a komponensek működését. A fejlesztési folyamat során bele kell futni és fel kell tártani minden egyes lehetséges hibát. Ezekre kell megtalálni a lehető legjobb megoldást. A hibákat feltárni és felismerni, valamint a legjobb megoldásokat megkeresni nem egy könnyű folyamat. A következő prototípusok során a jövőben még biztosan ki fog derülni több megoldandó probléma. Ezért a projekt sikerességének a kulcsa a prototípusokban és a rajtuk végzett tesztelésekben rejlik. Ezt a látásmódot és munkát fogjuk tovább folytatni a következő eszköz elkészítése során. Kellő kitartással, szaktudással és precizitással nincs olyan akadály vagy hiba, amit nem lehet kiküszöbölni. Végig kell haladni minden egyes lépcsőfokon egészen addig, amíg az eszköz hibamentesen és az elvárásoknak megfelelően fog működni.

„A tudós ember nem az azonnali eredményeket tűzi ki célul. Nem várja azt, hogy az ötletei azonnal megvalósuljanak. A munkája olyan, mint az ültetőé, aki a jövőnek teremti. Az a feladata, hogy lefektesse az alapokat és kijelölje az utat.” (Nikola Tesla)

12. Irodalomjegyzék

[1] Csizmadia Norbert: Földünk kék zónái – A hosszú élet oázisai, tudás.hu, 2021.02.25., url: <https://tudas.hu/foldunk-kek-zonai-a-hosszu-elet-oazisai/>, elérés dátuma: 2024.03.25.

[2] Szegedi Norbert: A HON- ÉS RENDVÉDELMI EGÉSZSÉGÜGYI DOLGOZÓK VII. TUDOMÁNYOS-SZAKMAI KONFERENCIÁJA-Akut sztrók ellátása a Honvédkórházban, elérés dátuma: 2024.03.29

[3] Csiba László, Bereczki Dániel: A SZTRÓKELLÁTÁS HAZAI SIKEREI ÉS KUDARCAI 939-941

url:

http://epa.niif.hu/00600/00691/00131/pdf/EPA00691_mtud_2014_08_0939-0944.pdf elérés dátuma: 2024.03.29.

[4] [url:https://www.aliexpress.com/i/32945561422.html](https://www.aliexpress.com/i/32945561422.html) elérés dátuma: 2024.03.29

[5] Liangqi Yuan, Hongwei Qu, Jia Li: Velostat Sensor Array for Object Recognition,-Section III

url:

https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9635813?casa_token=JAoRZIZqaGwAAAAA:RsKAiFd40gO-dTin4d44RGDTbeG7qNFOoYsk6RBFzchW_tvvUyMtbCD6p5GIoUsnrWCQm_jWAR4-

elérés dátuma: 2024.03.29

[6] url: <https://www.visualmicro.com/page/RP2040-Overview.aspx>

[7] url: <https://tronixstuff.com/2013/08/05/part-review-74hc4067-16-channel-analog-multiplexerdemultiplexer/truthtable/>

[8] Takács Szilárd László: Mintavételezés-Kvantálás 2024 Szelearning jegyzet elérés dátuma: 2024.03.29.

url:

https://szelearning.sze.hu/pluginfile.php/552378/mod_resource/content/0/06%20Mintav%C3%A9telez%C3%A9s.pdf

[9] Takács Szilárd László: Mintavételezés-Kvantálás 2024 Szelearning jegyzet elérés dátuma: 2024.03.29.

url:

szelearning.sze.hu/pluginfile.php/554287/mod_resource/content/0/07%20Kvant%C3%A1l%C3%A1s.pdf

[10] Dave Dribin: Keyboard Matrix Help, v1.1 24 Jun, 2000., url: https://www.dribin.org/dave/keyboard/one_html/ elérés dátuma: 2024.03.29.

[11] Solymossy Gergely: FSR segítségével kialakított nyomás érzékelő mátrix, TDK, Széchenyi István Egyetem, 2023.11.29.