



SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITAS SCIENTIARUM SZEGEDIENSIS
MÉRNÖKI KAR

KARBANTARTÁSMENTES HUZALFESZESSÉG-ÉRZÉKELŐ TERVEZÉSE KRITIKUS OBJEKTUMOK VÉDELMERE

TDK DOLGOZAT

Kondorosi Gréta

*IV. évfolyamos mechatronikai mérnök BSc
hallgató*

Témavezetők:

Dr. Gogolák László

főiskolai docens

Dr. Koncz Miklós Tamás

mérnöki támogatás és fejlesztési vezető

SZEGED

2023.

TARTALOMJEGYZÉK

1	Bevezetés.....	3
2	Irodalmi áttekintés.....	4
2.1	Komplex vagyonvédelem.....	4
2.2	Területvédelem alapelve.....	6
2.3	Behatolásjelző rendszer felépítése és elemei.....	7
2.4	Vagyonvédelmi elektromos kerítés	7
2.4.1	Felépítése.....	7
2.4.2	Az első hazai feljegyzések	9
2.4.3	A vonatkozó szabványok	9
3	Huzalfeszességmérőkkel kapcsolatos problémafelvetés.....	11
3.1	Az alkalmazott rendszer hibái	11
3.2	A piacon megtalálható huzalfeszesség-érzékelők	12
3.2.1	Tenziós szenzorok.....	12
3.2.2	Vibrációs szenzorok	12
3.2.3	Piezoelektromos szenzor	13
3.2.4	Optikai szenzorok.....	13
3.3	A forgalmazott termékek hiányosságai	14
3.4	Hiányosságok kiküszöbölése.....	15
4	Új eszköz fejlesztése	16
4.1	A szenzor bemutatása	16
4.1.1	Lineáris potenciométer	16
4.1.2	Az érzékelő tulajdonságainak vizsgálata.....	18
4.2	Az áramkör felépítése	20
4.2.1	Az adatgyűjtő eszköz	20
4.2.2	Kommunikációs protokoll választása.....	21
4.2.3	Az akkumulátor áramköre	22
4.2.4	A feszültségkonverter áramköre.....	24
4.2.5	A szenzor áramköre.....	25
4.2.6	Védőburkolat.....	25
4.3	A tervezett szoftver ismertetése.....	26
4.3.1	Programozási környezet	26
4.3.2	A kapcsolat megvalósítása	26

4.3.3	Az analóg értékek beolvasása	28
4.3.4	Felhasználói felület	30
4.4	Mechanikai felépítés.....	37
4.4.1	Tartókonzol	37
4.4.2	Huzalbefogó fej	38
4.4.3	Kerítésoszlop.....	39
4.4.4	Deszkamodell összeállítása	39
5	Elvégzett tesztek.....	41
5.1	Nagyfeszültségű teszt	41
5.2	Mechanikai teszt	44
5.3	Komplex rendszervizsgálati teszt	47
6	További fejlesztési lehetőségek.....	50
7	Összegzés	51
	Irodalomjegyzék.....	53
	Felhasznált szabványok.....	55
	Ábrajegyzék	56
	Mellékletek jegyzéke.....	57
	Köszönetnyilvánítás	58

1 BEVEZETÉS

Ugyan a területvédelem mindig is fontos volt, de napjainkban egyre nagyobb szerepet kap az objektumok, infrastruktúrák védelme, mely több célt szolgálhat. Lehet akár vagyonvédelmi irányú, vagy esetleg egy védett személy külvilágba való jutását is megakadályozhatja.

A dolgozatom keretein belül kifejlesztett szenzorral a célom egy olyan vagyonvédelmi eszköz létrehozása volt, mellyel egy távfelügyelettel üzemeltethető, kevés karbantartást igénylő, hatékony behatolásjelzőrendszer kiépítése váljon lehetővé.

A védelmi rendszerek tárgykörével a szakmai gyakorlati helyemet adó vállalatnál ismerkedtem meg, a témát konzulensemnek, valamint szakmai gyakorlatomat vezető koordinátoromnak, Dr. Koncz Miklósnak, a cég mérnöki támogatás és fejlesztési vezetőjének köszönhetem.

A témaválasztásom azért esett éppen erre a területre, mivel egy ilyen rendszer megalkotása éppúgy igényli a mechanikai és 3D-s szilárdtestmodellezési ismereteket, mint a programozást és az elektrotechnikát, ezért véleményem szerint tökéletesen lefedi mindazon tudományokat, melyeket egy mechatronikai mérnöknek el kell sajátítania.

Az eszköz használatával egy monitorozható rendszer építhető ki, mely értesíti a felhasználót a behatolók kerítésen való áthaladásáról. A szenzor felhelyezhető bármilyen huzalokból álló kerítésre, valamint kiegészíthető más védelmi rendszerrel egyaránt. Ilyen struktúra lehet egy második kerítés, vagy egyéb szenzorrendszer. Ezáltal egyrészt növelhető a biztonsági szint, másrészt a behatolás folyamata is hosszadalmasabbá válik, mindemellett az új szenzor rendszer jóval kevesebb karbantartást igényel, mint az eddig alkalmazott huzalfeszesség érzékelő.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A fejezetben a biztonságtechnika tárgykörével kapcsolatos egységek kerülnek kifejtésre. A szakirodalmi források szerint értelmezett csoportok alapján behatárolásra kerül a huzalfeszességmérő-szenzor elhelyezkedése a vagyonvédelmi rendszerben, valamint a szenzor, mint biztonságtechnikai elem szükségessége. Ezen felül továbbá említésre kerül az elektromos vagyonvédelmi kerítés felépítése, történelme hazánkban, illetve a rá vonatkozó szabványok.

2.1 Komplex vagyonvédelem

A károkozások elleni védelem hatékonyságának növeléséhez szükséges a komplex vagyonvédelmi rendszer kiépítése. A kifejezés fogalmát Dr. Berek Lajos a Biztonságtechnika (2014) című könyvében a következőképpen definiálta: „a komplex vagyonvédelem az őrzésre és védelemre rendelkező álló erők összehangolása”. De ez a megfogalmazás napjainkra már bizonyos értelemben megváltozott. Kiemelt szerepet kap a kockázatelemzés és értékelés, melynek segítségével meghatározhatóak a szükséges védelmi eszközök típusai. (Berek, 2014)

A komplex vagyonvédelemben a piramisszerűen egymásra épülő technikák valósítják meg az objektumok magas szintű védelmét. A piramist a megelőző intézkedések, a mechanikai védelem, az elektronikai védelem, az élőerős védelem, a biztosítás, valamint a saját kockázat (SK) szintjei alkotják, melyet az 1. ábra szemléltet. (Utassy, 2009)



1. ábra A komplex vagyonvédelmi rendszer összetevői (saját ábra, Utassy nyomán)

A szóban forgó piramis alappillérei a megelőző intézkedések. Ez az előforduló károkozások különböző törekvésekkel való csökkentését foglalja magába. (Utassy, 2009)

A második szintet a mechanikai védelem képviseli. A dolgozatom keretein belül létrejövő vagyonvédelmi rendszer e szinthez sorolható részben, ugyanis kerítés formájában képez akadályt a behatolók ellen. A védelmi forma kettős céllal bír, hiszen nemcsak

késlelteti/megakadályozza a behatolást, hanem látványával el is rettentheti a nemkívánatos betolakodókat. (Utassy, 2009)

A harmadik szinten az elektronikai védelem található, mely több alrendszert foglal magába, amik önállóan telepíthetőek, ezáltal külön-külön is megállják a helyüket. Az elektronikai védelem kategóriájába sorolható például a videófelügyeleti rendszer, a tűzjelző rendszer, illetve a jelen dolgozatban taglalt behatolásjelző rendszer. Az alrendszer feladata, hogy értesítse a kezelőszemélyzetet a behatolásról, vagy annak megkísérléséről. Továbbá e szint is képviseli a pszichológiai elrettentést, illetve az eseményeket is rögzíti és tárolja el egy adatbázisban. (Utassy, 2009)

A negyedik szinten az élőerős védelem helyezkedik el. Ez értelmezhető a helyszínen tartózkodó vagyonőrökre, valamint egy távfelügyeleti központban jelen lévőkre egyaránt. Dolgozatom esetében az utóbb említett értelmezési forma valósul meg, hiszen vezeték nélküli kommunikáció segítségével kap értesítést a kezelőszemélyzet az illetéktelen személyek behatolási kísérletéről. Ez természetesen függ a korábban taglalt szinttől is, ugyanis, ha az elektronikai jelzőrendszer nem ad jelzést, abban az esetben a járőrök sem értesülnek arról, hogy cselekedniük kellene. (Utassy, 2009)

A biztosítás az eddigiekben felsorolt intézkedések ellenére bekövetkező káresemények esetén nyújt megoldást. Ezt rendszerint kárhárítási szerződésekkel valósítják meg. (Utassy, 2009)

Mivel a biztosítás is csak részben fedezi az esetleges károk kompenzálását, és a piramis alsóbb szintjein levő rendszerek sem nyújthatnak százszázalékos védelmet, így mindig maradni fog egy csekély esély arra, hogy a védett objektumban meg nem térülendő kár fog létrejönni. Ezt nevezzük saját kockázatnak. (Utassy, 2009)

A fentiek alapján a tervezni kívánt karbantartásmentes huzalfeszesség-érzékelő rendszere a komplex vagyonvédelemben kiválóan megállja a helyét, ugyanis 4 szintje is megfeleltethető a komplex vagyonvédelmi rendszer piramisának szintjeihez, melyek a következők:

- Megelőző intézkedés, hiszen a rendszer telepítésével már számbavételre került a védelem, mint gondolat.
- Mechanikai védelem, miszerint a függőlegesen egymás fölé helyezett huzalok fizikálisan akadályozzák meg az illetéktelen személyeket.
- Elektronikai védelem, ugyanis a behatolásjelző rendszer értesíti a kezelőközpontot az eseményekről.

- Élőerős védelem, mert az elektronikai védelem alrendszerén belül küldött jelzés a személyzet számára kerül továbbításra.

2.2 Területvédelem alapelve

Az objektum nemkívánatos személyek elleni védelmének kialakítása a kültéri védelemmel kezdődik, ugyanis a behatolók számára a legelső legyőzendő akadályt e rendszer képezi. Ez egy olyan biztonsági struktúra, mely nagymértékben befolyásolja a létesítmény védelmének hatékonyságát. A hatékonyság ez esetben a védett tárgy és annak biztonsági rendszerére szánt költség arányaival értelmezendő. (Berek, 2014)

Ahhoz, hogy megfelelő védelmi szintet nyújtson a kiépített architektúra, a tervezését alaposan át szükséges gondolni. Az angol nyelvű rövidítéseként használt „5D” területvédelmi tervezés szükségeltetik egy jól működő rendszer megvalósításához. Az 5D a Deter (Elrettentés), Detect (Észlelés), Deny (Tiltás), Delay (Késleltetés), és a Defend (Védelem) szavak alkotta mozaikszó. Az említett főnevek kulcsfontosságú elvekként értelmezendők. (Marrier, 2012)

Az elrettentést szolgáló egység a lehető legtávolabb helyezkedik el a védett objektumtól. Ez felmerülhet kerítés, vagy csupán a terület felügyelet alatt állására felhívó táblák kíséretében is. Célja a behatolás megkísérlésétől való visszatartás. A védelmi rendszer ezen része az emberre pszichológiailag elrettentő hatást gyakorol. A minél hatékonyabb működéséhez célszerű a nagy, nyílt területre történő telepítése.

Az észlelés segítségével nagy területek megfigyelése valósítható meg oly módon, hogy a behatoló jelenlétéről riasztást szolgáltat a rendszer a felhasználó számára. Tipikus példa a detektálást megvalósító eszközre az elektromágneses spektrum különböző tartományait leképező képalkotó eszközök. (Marrier, 2012)

A tiltás célja az illetéktelen személyek távoltartása, valamint az arra jogosultak beléptetése. Ez jellemzően automatizált beléptetőrendszerrel vagy élőerős biztonsági személyzettel valósítható meg. (Marrier, 2012)

A késleltetéssel lehetőség nyílik az aktív behatolás lelassítására, egyes esetekben annak feladására. Ez zárható ajtók vagy egyéb fizikai akadályok alkalmazásával érhető el. A késleltetés lehetővé teszi azt, hogy az élőerős védelem időben a helyszínre érkezhesen. (Marrier, 2012)

A védelem a biztonsági személyzet aktív cselekvésére irányul, azaz a már behatolt személy elfogására. Ezen terület a korábban említettekkel átfedésben működik. Magába foglalhatja a bűnüldöző szervek bevonását is. (Marrier, 2012)

2.3 Behatolásjelző rendszer felépítése és elemei

A megvalósított rendszerem tökéletesen kielégíti a behatolásjelzők elsődleges célját, miszerint értesíteni kell az élőerős védelmet a behatolásról vagy annak megkísérléséről. Ezt a szenzorok először érzékelik, majd jelzést továbbítanak a központ felé. (Berek, 2014)

A behatolásjelző rendszereket felépítő egységek az érzékelők, a helyi jelzésadók, a központ, a kezelőegységek, a tápegységek, a kiegészítő modulok, valamint az eszközöket összekötő helyi kommunikációs hálózat, amely lehet vezetékes vagy vezeték nélküli. Ezen eszközök segítségével kialakítható egy megbízható védelmi rendszer. (Kiss, 2014)

A felhasznált érzékelők egyik meghatározó tényezője az eszköz telepíteni kívánt környezetétől, valamint a kialakítandó védelmi rendszertől függ. Megkülönböztetünk kültéri védelmi, felületvédelmi, térvédelmi, valamint tárgyvédelmi eszközöket. A kültéri elhelyezés megköveteli a megfelelő szintű IP (International Protection Marking – Nemzetközi Védettségmegjelölés) védettséget, illetve az eszköz hűtését vagy fűtését. A felületvédelmi eszközökhöz sorolhatók az épületek nyílászáróinak nyitásáról értesítő érzékelők. A térvédelmi szenzorok általában az elektromágneses spektrum bizonyos tartományaiban sugároznak ki jeleket, melynek segítségével lehetőség nyílik a mozgó objektumok észlelésére. A tárgyvédelmi érzékelők pedig az elhelyezett eszközök védelmét hivatottak szolgálni. (Kiss, 2014)

A kiegészítő modulok a rendszer moduláris felépítéséről gondoskodnak. A bővítés a kimenetek és bemenetek számának növelésével érhető el, melyek egy adatbuszon keresztül állnak kapcsolatban egymással. Ezen kívül a tárgyi egységbe tartoznak a segédáramot szolgáltató egységek, valamint a kommunikációs modulok.

A jelzőrendszerhez tartoznak meghatározott funkcionális követelmények, amik definiálják, hogy mely rendszereknek kötelező érzékelni az egyes fellépő hibákat, melyek lehetnek támadások, behatolások, kitakarás, illetve szabotázs. (Kiss, 2014)

2.4 Vagyonvédelmi elektromos kerítés

Amennyiben egy objektumot kívánunk megvédeni, valószínűleg egy kerítés lesz az első vagyonvédelmi rendszer, amit telepítünk. Ám ahhoz, hogy igazán hatékony legyen ezen eszköz nyújtotta károkozás elleni biztosítás, érdemes árammal átvárt huzalokból kialakítani. Így nemcsak komolyabb védelmet fog nyújtani a rendszer, hanem elrettentő is lesz a behatolni szándékozó személyek számára.

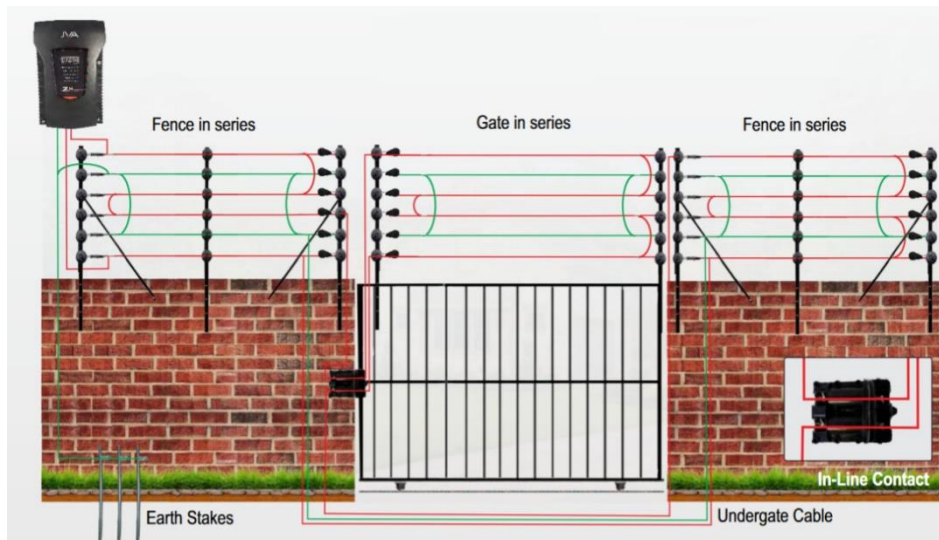
2.4.1 Felépítése

Maga az elektromos kerítés, mint komplex védelmi rendszer legtöbbször egy normál

kerítésből (pl. drótfonatból), valamint egy ettől elszigetelt elektromos huzalrendszerből áll. Természetesen használható a huzalokból álló rendszer önmagában is, de ez jellemzően csak a villanypásztorok körében elterjedt. Ha egy nagyobb biztonságot adó rendszerről beszélünk, általában a huzalokból álló építmény ki van egészítve más, hagyományosabbnak mondható kerítésrendszerrel. A kerítés meghatározott huzaljaiba nagyfeszültségű, de energiájában szabványban meghatározott módon határolt magasfeszültség impulzusokat vezetnek, amely biztosítja – az emberi egészségre ártalmatlan áramütéssel – visszatartó hatását. Az áramjárta huzalok a kerítés belső felén helyezkednek el vízszintesen, egymás fölött tervezetten váltakozva földelt szálakkal. A JVA Security System által kiadott 2022-es katalógus szerint termékük biztos elhelyezéséről és szigeteltségéről a 3 méterenként elhelyezett konzolok gondoskodnak. (JVA Security Systems, Product Catalogue, 2022) Biztonsági rendszerének köszönhetően szabotázs érzékelésekor a kezelőközpontba riasztást érkezik, ugyanis a huzalok átvágása esetén rövidzár keletkezik a rendszerben.

A nagyfeszültséget egy úgynevezett energiaadó biztosítja. Ezen eszköz a tápellátásról érkező 220 V-ot képes akár 9 500 V nagyságú feszültséggé konvertálni. Ennek következtében az áram erőssége csökkenni fog, ezáltal az élő szervezetekre nem gyakorol negatív hatást, ugyanis a villamos áram veszélyességét annak erőssége is döntően befolyásolja. Ezen kívül meghatározó tényező még a hatásának ideje, illetve a testen belüli útja. (JVA Security Systems, Product Catalogue, 2022)

Ami a bekötést illeti, az energiaadó negatív kimeneti pontja földre van kötve. Ugyan a régebbi, kizárólag állatok őrzésére szolgáló villanypásztoroknál az összes huzal pozitív polaritásra kapcsolása volt a jellemző, manapság a vagyonvédelemben a szálakon futó polaritások felváltva történő bekötése terjedt el. Azaz soronként változik, hogy a földpotenciálon vagy magasfeszültség alatt vannak-e a szálak. Ezáltal egy vastag cipőtalppal rendelkező ember számára is érzékelhetővé válik az áramjárta kerítés, amennyiben mind a két polaritású szálakat megérinti. A 2. ábrán látható példaként egy téglakerítéssel közrezárt kapubejáró elektromos kerítésrendszerrel kiegészítve. A huzalok polaritásait piros (pozitív), valamint zöld (föld) színnel jelölte a forgalmazó. (JVA Security Systems, Product Catalogue, 2022)



2. ábra Elektromos kerítés huzaljainak bekötése. Forrás: <http://www.stafix.co.za/stafixcataloguesec.html> (2022.06.12.)

2.4.2 Az első hazai feljegyzések

Hazai folyóiratok szerint az állatok őrzésére már az 1950-es években is használták a gazdák az elektromos kerítést, köznyelven villanypásztor. Ezt Magyarországon Dr. Beer György (1927-2017) és Bánházi Gyula (1927-1989) szabadalmaztatta. (Kenyeres, 1994) (Kovácsné, 2017) Először a folyóiratok világában az Újítók Lapjában, 1952-ben tűnt fel. (Szikora, 1952) A rendszer működéséről csak később, a Magyar Technika című szakmai folyóiratban volt lehetőség ismerkedni. A publikációból megtudható, hogy egy mobil rendszer kifejlesztéséről volt szó, ugyanis 100 méternyi huzal telepítéséhez elegendő volt csupán 5 perc, amennyiben 2 ember végezte a munkálatokat. A tápellátást egy 6-12 V feszültségű egyenáramú forrás biztosította, mely igény szerint lehetett szárazelem, savas, illetve lúgos akkumulátor. Egy transzformátor segítségével ezt 2-3000 V feszültségkülönbségre gerjesztették, mely a kerítéshuzal és a föld között jelentkezett. Annak érdekében, hogy ne gyakoroljon az állatok, emberek egészségre negatív hatást, egy megszakítószervezet biztosította az impulzusszerűséget. Egy periódus körülbelül 1 másodpercig tartott, melyből 0,1 másodpercnél rövidebb ideig történt a feszültség észlelése. (Beer, 1954)

2.4.3 A vonatkozó szabványok

Ma már nemcsak az állattartásban használatos e megoldás. Felhasználása igen elterjedt a kritikus objektumok őrzésére egyaránt. Ezek a konstrukciók csak elvétve mobilok, többnyire a telepített kerítések a jellemzők. A behatolók egészségének védelme érdekében az MSZ EN IEC 60335-2-76 szabvány határozza meg az energiaadó működésének feltételeit, mely többek között kimondja, hogy az eszköz maximum 250 V névleges feszültségről működtethető a

hálózatról, csatlakoztatható hozzá továbbá segédakkumulátor, melynek névleges feszültsége kisebb, mint 12 V DC. Az energiaadó maximum 5 J kimeneti energiával juttathat feszültséget a huzalokba. A hálózatról, valamint az akkumulátorról üzemelő, hálózati csatlakoztatásra alkalmas készülékek referencia impedanciájának $0,4 \Omega + j0,25 \Omega$ -nak kell lennie. A kiadott impulzusok ismétlésének időtartamának 1 másodpercig kell tartania. Az időtartam, melyben az energiaadó impulzust ad a kerítés huzaljainak, nem lehet több 0,1 másodpercnél, illetve legfeljebb 15 700 mA áram folyhat rajta. A szabvány továbbá kimondja, hogy az elektromos kerítés jelenlétét minimum 100 mm x 200 mm méretű figyelmeztető táblával kell jelezni és bizonyos távolságonként jól látható helyre kell tenni.

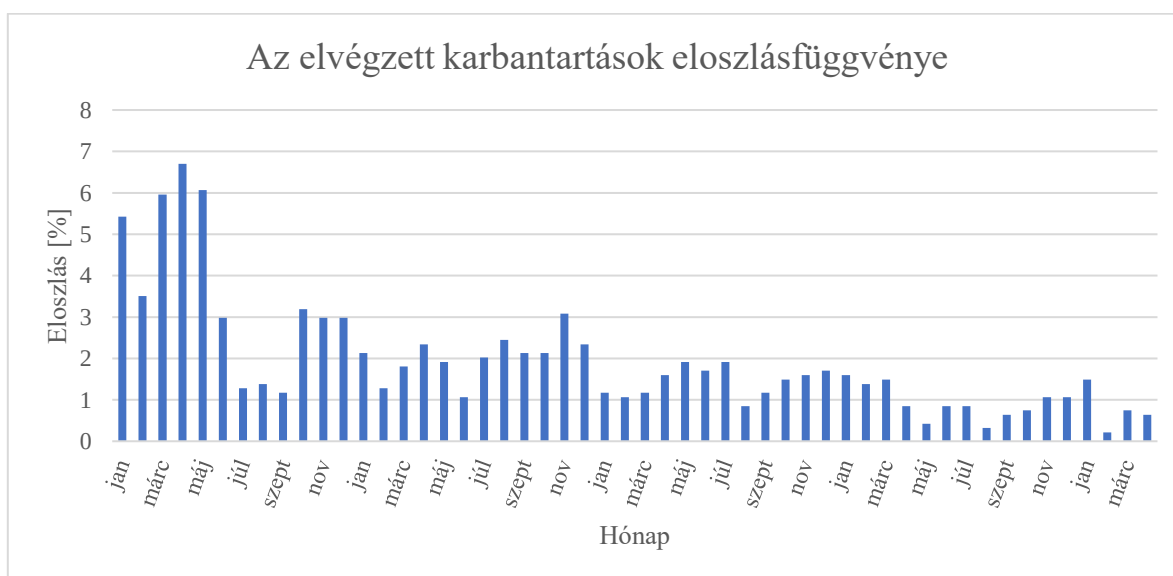
Az MSZ EN 50131-1:2007-es szabvány a rendszerkövetelményekkel szemben állít fel elvárásokat. A szabvány meghatározza, hogy a védelmi rendszernek tartalmaznia kell egyes protokollokat a különböző események kezelésére, melyek a következők: behatolásérzékelés, szabotázs érzékelése, hibaállapotok felismerése. Akadnak olyan funkciók is, melyek választhatóak, ilyen a kitakarás érzékelése és a mozgásérzékelő érzékelési tartományának csökkenése. Ami az üzemeltetést illeti, a felhasználói helytelen kezelésből adódó téves riasztásokat minimalizálni kell, hiszen csak így érhető el egy hatékony és megbízható rendszer.

3 HUZALFESZESSÉGMÉRŐKKEL KAPCSOLATOS PROBLÉMAFELVETÉS

3.1 Az alkalmazott rendszer hibái

Ahogy arról a bevezetés során is szó esett, a szakmai gyakorlatot biztosító metALCOM Távközlési és Rendszerintegrációs Zrt.-nél folytatott tevékenységem során kerültem kapcsolatba az elektromos vagyonvédelmi rendszerekkel. A cég által kiépített és üzemeltetett huzalfeszességmérő rendszer tökéletesítésének érdekében szerettem volna egy olyan eszközt kifejleszteni, amely a jelenlegi rendszer főbb hibáit küszöböli ki.

A rendszer problémáját a gyakori karbantartás jelenti, ugyanis a hőingadozás következtében a huzalszál hossza változik. Fontos kritérium, hogy a huzal mindig feszesen álljon, hiszen így tudja detektálni a behatolókat. Az állandó feszesség biztosítása műszaki megfontolásokat igényel, ahol figyelembe kell venni a nagymértékű huzaldeformációt, amelyet mechanikai behatások vagy hőingadozás okozhat. Szerviz riasztást és a szenzor működésének átmeneti blokkolását okozhatja, amennyiben a huzal egy ponton túl húzza a szenzor mérőfejét. E jelenséget szoftveresen nem lehet orvosolni, személyes kalibráció, azaz újra-központosítás szükséges. A 3. ábrán a huzalfeszességmérő-szenzorok karbantartásainak normalizált eloszlásfüggvénye látható, hónapokra lebontva. Jól látható, hogy az idő előrehaladtával „kádgörbe” szerint csökkent a karbantartások gyakorisága. Ezen kívül megfigyelhető egy bizonyos ciklikusság is a diagramban, mely a nyári hónapokra kiterjedő nagyobb esetszámot foglalja magába, mely a nagyobb hőingásnak köszönhető. A huzalok nagymértékű deformációja következtében az érintett szenzorokat újra kell kalibrálni. Sok erőforrást vehet igénybe egy hatékonyan működő rendszer fenntartása.



3. ábra Az elvégzett karbantartások normalizált eloszlása. Forrás: metALCOM Zrt. (saját szerkesztés)

A korábban leírt probléma ismeretében nagy szükség van egy karbantartásmentes huzalfeszesség-érzékelő kifejlesztésére, mely segítségével egy hatékonyan működő behatolásjelzőrendszer kiépítése válik lehetővé. A problémák természetesen szorosan összefüggenek a szenzor kialakításával, illetve működési elvével. Ennek értelmében a piacon fellelhető szenzorok elemzésével kezdtem az új eszköz fejlesztésének gondolatmenetét.

3.2 A piacon megtalálható huzalfeszesség-érzékelők

Több megoldás is létezik a huzal feszességének mérésére. Mindegyik termék más-más elven működik. A következőkben ezen mérőeszközök bemutatására kerül sor.

3.2.1 Tenziós szenzorok

E szenzor fejrészébe van vezetve a vizsgálni kívánt drótszál. Amikor a drót elmozdul, meghajlítja a kerítés oszlopába integrált mérőeszközt. A hajlítás révén feszültség keletkezik a szenzorban, ami egy bizonyos szint felett riasztást indukál. (JVA Security Systems, 2021) Több gyártó is forgalmaz ilyen elven működő készüléket, melyek az 4. és a 5. ábrákon tekinthetők meg.



4. ábra JVA Genius Taut Wire Tensioner. Forrás:
<https://jvasecurity.com/catalogues/pdf/taut.pdf> (2022.06.19.)



5. ábra NEMTEK Tension Wire Sensor és GALLAGHER Tension Sensor. Források:
<https://nemtek.co.za/product/tension-wire-sensor/> (2022.06.19.),
<https://security.gallagher.com/> (2022.06.19.)

3.2.2 Vibrációs szenzorok

A vibrációs kerítésvédelmi szenzorok megtalálhatóak többféle kivitelben a 6. és a 7. ábra szerint. Akadnak hengszerű, huzalra helyezhető, valamint lapos, kerítésre illeszthető kialakításúak egyaránt. Az ilyesfajta szenzorok elhelyezése nem jellemző áramjárta kerítéseken a koncepciójuk következtében.



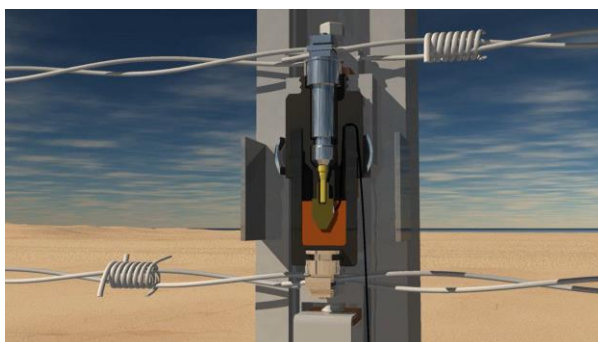
6. ábra EL-FAR EL-SENS és VIPER szenzorok. Források: <https://www.elfar.co.il/el-sens> (2022.06.19.), VIPER – SMART Fence System Technical Description (2022.06.19.)



7. ábra GALLAGHER Disturbance Sensor és MAGAL Fensor. Források: <https://www.securityinfowatch.com/> (2022.06.19.), : <https://magalsecurity.com/> (2022.06.19.)

3.2.3 *Piezelektromos szenzor*

Fellelhetőek piezelektromos elven üzemelő érzékelők. A szenzorra csatlakoztatott huzal hatására egy rudazat billen el, mely érintkezve egy megfelelően kialakított piezokerámia pogácsával, abban elektromos polarizációt okoz. A töltések szétválasztása feszültséget hoz létre, mely erősítve és feldolgozva vezetékes hálózaton a központba fut riasztásként. Modelljét a 8. ábra szemlélteti.

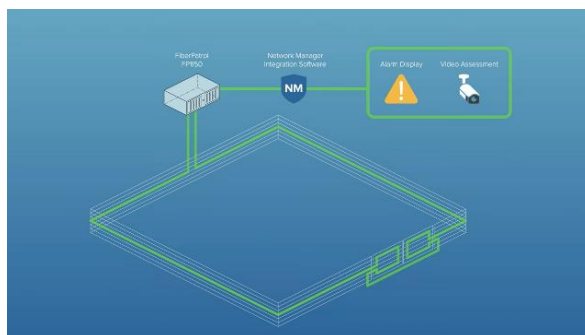


8. ábra MAGAL YAEL szenzor. Forrás: <https://www.youtube.com/> (2022.06.19.)

3.2.4 *Optikai szenzorok*

Az optika alapján működő szenzorok egyik csoportja egy hálózatként kerül telepítésre a védett területre a 9. ábrának megfelelően. Működés közben lézernyalábszerű impulzusok keringenek a kihelyezett optikai szálakban, melyek visszatérését a központi egység folyamatosan figyelemmel kíséri. A felügyelt terület zónákra van osztva, melyeken belül a szál

elmozdulásának következtében az adott területre riasztás lép életbe.



9. ábra SENSTAR FiberPatrol FP1150. Forrás: <https://www.youtube.com/> (2022.06.19.)

A másik csoportot a már hagyományosabb, huzalra applikálható érzékelők alkotják. Ezesetben lényegében egy optikai szál van a huzalokra merőlegesen erősítve. Amikor az egyik huzal elmozdul, a szálban haladó jel megváltozik. E termék külleme a 10. ábrán megtekinthető.



10. ábra STINGER Climbe Detection System. Forrás: <https://www.stingerza.co.za/> (2022.06.19.)

3.3 A forgalmazott termékek hiányosságai

A legnagyobb probléma a huzal hőtágulásának mértékéből ered. Az 1. táblázatan néhány opcionális huzal anyagának a lineáris hőtágulási együtthatója látható.

1. táblázat A lehetséges huzal anyagok hőtágulási együtthatói. Forrás: <https://www.engineeringtoolbox.com/> (2022.06.19.) (saját szerkesztés)

Megnevezés	Hőtágulási együttható (α)
Vas	$12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$
Acél	$12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$
Alumínium	$23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$
Rozsdamentes acél (304)	$17,3 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$

Az 50 m-es galvanizált acélhuzal hosszúságváltozása kiszámítható az alábbiak szerint:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

Tegyük fel, hogy a huzal hőmérséklete -25°C -tól 45°C -ig terjedhet az év során, így a hőmérsékletváltozásból adódó hosszváltozás:

$$\Delta T = |T_1 - T_2| = |-25^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}| = 70^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

$$\Delta l = 50 \text{ m} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \cdot 70^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$\Delta l = 0,035 \text{ m} = 35 \text{ mm} \quad (4)$$

Kijelenthető, hogy szélsőséges esetben az 50 m hosszúságú huzal akár 35 mm hosszváltozást is elszenvedhet. E nagymértékű huzaldeformációt a tenziós elven működő szenzorok nem képesek kompenzálni. A sodronynak hűvösebb időben is feszített állapotban kell lennie, így a hőmérsékletváltozás során a drót deformációja akár el is törheti a szenzort.

A vibrációs érzékelőkre ugyan a hőtágulás nincs hatással, de sok hamis riasztást generálhatnak egy bedőlt faág, vagy egy vadállat miatt. Ezen felül a manapság egyre gyakoribbá váló orkánerejű szellőkések is megrezegtethetik még a kifeszített huzalt is. A rezgéalapú érzékelők hátrányaként említhető még, hogy elhelyezése nyílt felületen célszerű, de ezáltal ki van téve a szabotázs cselekményének, hiszen a vezetékének átvágásával könnyen hatástalanítható az érzékelő.

A piezoelektromos behatolásjelzők negatívuma, hogy érzékenyek a hőmérsékletváltozásra, valamint a levegő páratartalmára. (Dr. Halmai & Dr. Samu, 2014)

Az optikai szálak segítségével üzemeltetett érzékelők legfőbb hátültője, hogy nem csatlakoztathatók egy már meglévő huzalok alkotta szerkezethez, saját huzalrendszerre van szükségük, mely egy optikai hálózat. Az optikán alapuló mérőeszközök másik csoportjának, azaz a dróthuzalra merőlegesen elhelyezett szenzorok hátránya, hogy a hőtágulás okozta huzal elmozdulás nem küszöbölhető ki teljes mértékben.

3.4 Hiányosságok kiküszöbölése

Ahhoz, hogy minél kisebb legyen a FAR (False Alarm Rate, azaz a Téves Riasztási Gyakoriság), illetve a karbantartási beavatkozások előfordulása, célszerű a korábban leírt problémák kivédése. Ezt egy saját fejlesztésű mérőeszközzel kívántam megvalósítani, mely egy huzalra csatlakoztatott lineáris potenciométer segítségével végzi a felügyeletet. A viszonylag nagy, 150 mm-es mérési tartományának köszönhetően a hőingás okozta huzalelmozdulás következtében létrejött szenzordeformáció nem valósul meg. A potenciométer kialakításának köszönhetően nem érzékeny a környezeti behatásokra sem, melyek a következő fejezet során bővebben kifejtésre kerülnek.

4 ÚJ ESZKÖZ FEJLESZTÉSE

Az alábbi fejezetben bemutatásra kerül a szenzor, mely korábban leírt termékekkel kapcsolatos problémáktól mentesen képes üzemelni, így biztosítva karbantartásmentességet.

4.1 A szenzor bemutatása

4.1.1 Lineáris potenciométer

A huzalfeszességmérést egy WayCon LME12-F-150 lineáris potenciométer végzi, melynek a legfontosabb adatairól a 2. táblázat ad tájékoztatást. A lineáris potenciométereket leggyakrabban távolságok mérésére használják, de kialakításuknak köszönhetően igen széles körben alkalmazhatóak. (WayCon, 2022) Jelen esetben a szenzor a huzal pozíciójának meghatározását szolgálja.

2. táblázat WayCon LME12-F-150 szenzor adatai. Forrás: <https://www.waycon.biz/> (2022.06.19.) (saját szerkesztés)

Megnevezés	Érték
Mérési tartomány	150 mm
Lineartíás	$\pm 0,05\%$
Hiszterézis	$< 0,25$ mm
Ellenállás	5 k Ω
Felvett teljesítmény 40°C-on	2 W
Maximális tápfeszültség	60 V
Kurzorra eső áramerősség	$< 0,1$ μ A
Védelmi besorolás	IP67
Működési hőmérséklettartomány	-30°C - +100°C

A magnetométeres lineáris potenciométer egy igen speciális jelátalakító. Kétféle elven működő szenzor található a piacon. Az egyik, – mely a projekt során használt szenzorra is jellemző – egy mágneses kurzor segítségével határozza meg az ellenállás mértékét. A P3 America forgalmazó az eszköz működését illetően azt nyilatkozta termékismertetőjében, hogy a helyzetérzékelés egy egyenes tengely mentén mozgó gyűrű segítségével valósul meg. (P3 America, 2022) A gyűrű a mágneses csatlakozás révén húzza magával a henger belsejében elhelyezkedő csúszóérintkezőt, mely a hagyományosnak mondható potenciométerekkel megegyezően funkcionál, azaz helyzetével arányosan osztja a feszültséget a szenzor kimenetein. (Variohm Eurosensor, 2022) Mivel a megnevezett szenzor a mágneses csúszka által kiváltott induktivitás segítségével végzi a feszültségosztást, így fizikailag nincs

kontaktusban a csúszó elem a rúddal, ezáltal az eszköz igen robusztusnak mondható. A dolgozatom során használt termék a 11. ábrán látható. A műszer ellenáll a zord időjárási körülményeknek, IP67-es védettséget élvez a burkolat kialakításának köszönhetően. Az MSZ EN 60529:2015-ös szabvány szerint teljes mértékben védett por ellen, valamint vízbe merülés esetén is korlátozott ideig működőképes, így a huzamosabb ideig tartó eső sem jelent akadályt számára.



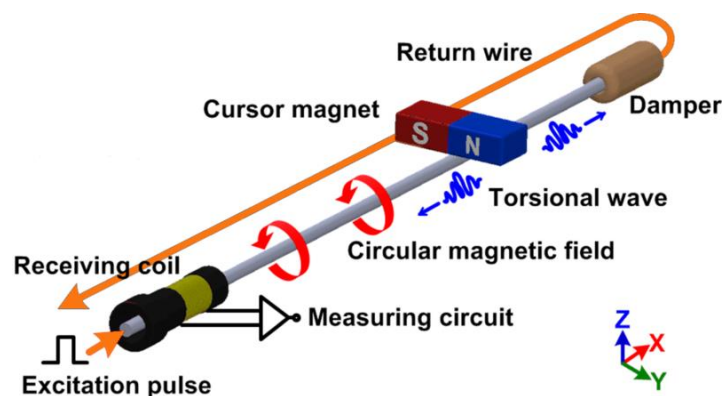
11. ábra WayCon LME12-F-150 lineáris potenciométer. Forrás: <https://www.directindustry.com> (2022.06.12.)

A mágneses lineáris potenciométerek másik családját a mágneses mező keltette polarizáció alapján működő szenzorok alkotják. Működésének alapja, valamint felépítő egységei a 12. ábrán láthatóak. Külsőleg igen hasonló a korábban ismertetett típussal. Egy gyűrűként a hengeres testre szerelt mágnes mozog egyenes irányban a tengely mentén. Az analóg/digitális jelátalakításért egy, a henger végén elhelyezkedő modul felelős. A modul továbbá tartalmazza a kommunikációs egységet is. A szenzort az alábbi egységek alkotják:

- helyzetmeghatározó mágnes;
- hullámvezető;
- szedő;
- csillapító;
- elektronikai modul.

A magnetostrikció elvén működő rendszer biztosítja a pozíciómeghatározást. A magnetostrikció egy olyan jelenség, mely során a mágneses mező bizonyos anyagokat (pl. vas, nikkel, kobalt és egyes ötvözeik) méreteinek és alakjainak megváltoztatására kényszeríti. Az alakváltozás következtében a rúdban longitudinális hullámok keletkeznek. A mágnesezés eredményeképp bekövetkező alakváltozás miatt a jelenség a transzverzális magnetostrikció csoportjába tartozik, mivel a mágnesező tér irányára merőlegesen történik a módosulás. (Dr. Istvánffy et al., 1958.) A keletkező hullámok a hullámvezetőn keresztül jutnak el a fejegységbe, ahol a szedő segítségével megtörténik a hullámok érzékelése. Mivel a hullámok a mágnesgyűrű

túlsó oldalán is terjednek, a rúd vége felé, így a csillapító feladata az, hogy megakadályozza az imént említett hullámok okozta interferenciát. Az elektronikai modul ún. lekérdező impulzusokat ad a hullámvezetőre. Minden leadott impulzus után bekapcsolja az időzítőjét, melyet csak akkor állít le, ha a szedő megkapja a visszatérő impulzust. A rendszer az időkésleltetés nagyságával arányosan határozza meg a csúszó mágnes helyét és alakítja át azt a kívánt mértékegységre. A magnetostrikciós elven működő lineáris potencióméterek nagy népszerűségnek örvendenek kimagasló pontosságuk és megbízhatóságuk miatt. (MTS Sensors, 2006)



12. ábra Magnetostrikciós elven működő lineáris potencióméter. Forrás: <https://commons.wikimedia.org> (2022.06.18.)

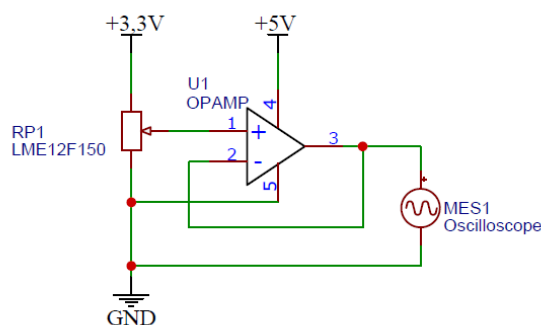
A későbbi termékfejlesztések során célszerű lenne a magnetostrikciós elven működő szenzort beépíteni a rendszerbe, ugyanis az jóval nagyobb pontosságot biztosít, továbbá nincs kitéve kopásnak. Nem tartalmaz belső súrlódó elemet, ellentétben a mágnes által vezetett kurzorral.

Ugyan az előbbieken felsorolt szenzorok működése nagyban eltér, küllemük igen hasonló. Valós fizikai kontaktus nem valósul meg semelyik eszköznél sem, hiszen a mágneses gyűrű el van különítve a hengertől. Ezáltal a rendszer ellenáll a szennyeződéseknek, és más külső környezeti behatásoknak, így alkotva egy megbízható, kültéren alkalmazható jelátalakító egységet.

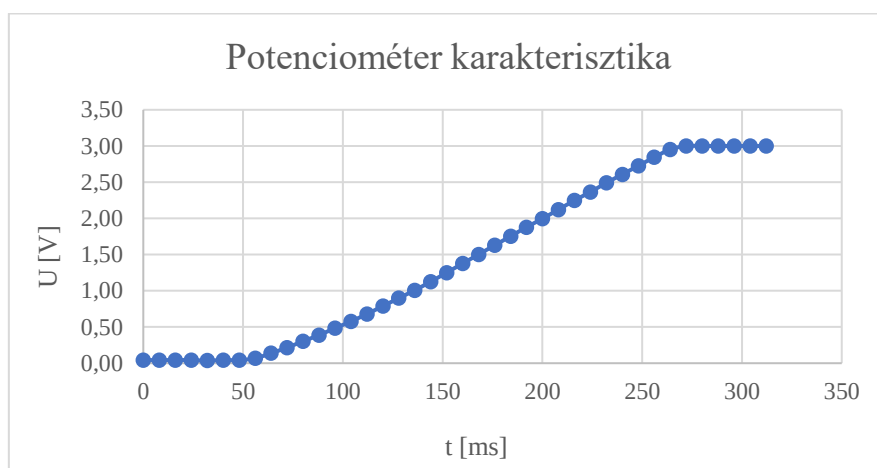
4.1.2 Az érzékelő tulajdonságainak vizsgálata

A mechanikai tervezés első lépéseként a szenzor funkcióinak alapvető vizsgálata a legfontosabb feladat. A mérést a szenzor karakterisztikájának felvételével kezdtem. A vizsgálat egy RHODE & SCHWARZ RTH1004 típusú oszcilloszkóp segítségével került elvégzésre. A potencióméter üzemeléséhez egy Arduino Uno mikrovezérlő segítségével szolgáltatam 3,3 V-ot. Mivel a potencióméter kimenete 0,1 μ A áramerősségnél nagyobb értékkel nem terhelhető, így egy egyszeres, nagy bemenő impedanciájú leválasztó erősítő beépítése volt szükséges. Ezt

egy TCL2272CP típusú műveleti erősítővel oldottam meg. A kapcsolási rajz a 13. ábrán látható. A kapcsolási rajzokat az EasyEDA szoftverével készítettem el. A szenzor csúszkájának manuális helyváltoztatásával vizsgáltam a potenciométer kimenetére eső feszültséget, mely a 14. ábrán látható. A mérés elvégzése után kijelenthető volt, hogy a potenciométer karakterisztikája lineáris, ugyanis csúszka helyének változtatásával egyenesen arányos volt az oszcilloszkópról leolvasott feszültségérték.



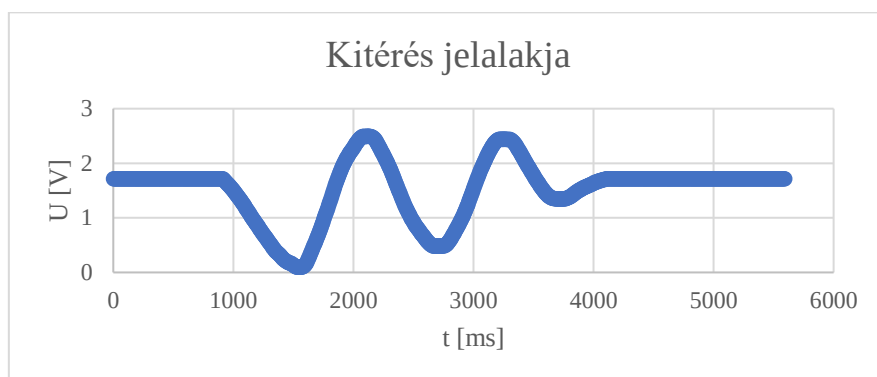
13. ábra A szenzor oszcilloszkópos jelalakvizsgálata (saját szerkesztés)



14. ábra A potenciométer karakterisztikája (saját szerkesztés)

A kerítés huzalának meghúzásakor egy csillapodó rezgés keletkezik. Ennek feltételes jelalakját vizsgáltam a szenzor segítségével. A kísérlet elvégzésének azért volt jelentősége, mivel a szenzornak képesnek kell lennie az apró mértékű huzalváltozás megjelenítésére is. A szenzor jelalakja oszcilloszkóp segítségével került felvételre (15. ábra), a kurzor mozgatása pedig sajátkezűleg történt. Az ábrázolt hullámforma egy bal irányú kitérést ábrázol. Jobb irányú kitérés esetén az első hullám a pozitív irányba tartana, ehhez viszonyulva követné a többi csillapodó rezgés, azaz az y tengelyre való tükrözése lenne az ábrázolt jelalaknak. A kitérésekből megadható az egyes hullámok felfutási sebessége, valamint az impulzusok hossza. A vizsgálat elvégzését követően megállapítható, hogy a szenzor alkalmas a huzalelmozdulás

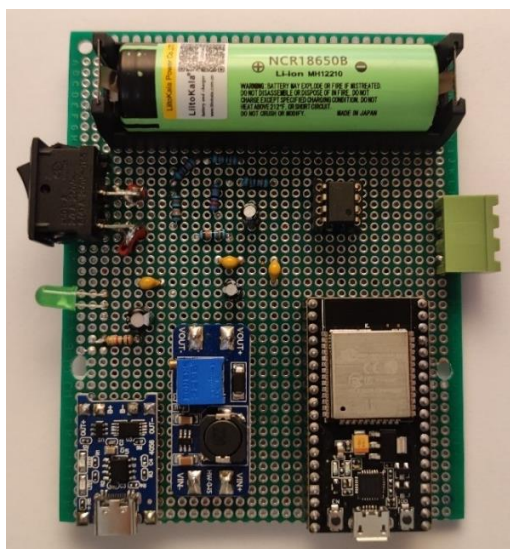
mérésére.



15. ábra A szenzor kitérésekor felvett jelalak (saját szerkesztés)

4.2 Az áramkör felépítése

A huzalfeszesség-érzékelőhöz kifejlesztésre került egy vezérlőegység. Az egységet egy perforált univerzális nyomtatott áramköri lapra terveztem a készülék prototípus mivolta miatt. Az összeállított áramkör a 16. ábrán tekinthető meg. A továbbiakban az áramkör részegységei, illetve az azokat alkotó elemek kerülnek bemutatásra.



16. ábra Az összeállított hardver (saját fotó)

4.2.1 Az adatgyűjtő eszköz

Az adatgyűjtésért egy NodeMCU ESP-32S típusú mikrovezérlő felel. Azért esett erre a mikrovezérlőre a választásom, mivel igen kompakt, ára kedvező, sokoldalúan felhasználható, illetve könnyen programozható számos felhasználói felületen. Az sem volt elhanyagolandó szempont, hogy kommunikációs képességei igen sokrétűek, ugyanis például a közkezdvelt Arduino UNO vagy Arduino Nano termékekkel szemben nemcsak vezetékes, hanem vezeték nélküli adatcsere is megvalósítható vele WiFi-n keresztül. Sőt, egy kiegészítő, apró áramkörrel való bővítés esetén még LoRa hálózaton is kivitelezhető az adatküldés. A

mikrokontroller főbb tulajdonságait a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat A mikrovezérlő specifikációja. Forrás: docs.ai-thinker.com (2022.09.05.)

WiFi frekvenciatartomány	2,4 GHz – 2,5 GHz
Órajel frekvenciája	80 MHz – 240 MHz
Analóg/Digitális konverter csatornák száma	Akár 18
Támogatott kommunikációs interfészek	UART/GPIO/ADC/DAC/SDIO/SD kártya/PWM/I2C/I2S
Tápfeszültség	3 V – 3,6 V
Áramfogyasztás	>500 mA
Működési hőmérséklettartomány	-40°C - +85°C
Befoglaló méret	25,4 mm x 48,26 mm x 3 mm

4.2.2 Kommunikációs protokoll választása

A mikrovezérlővel számos kommunikációs protokoll megvalósítható. Az ESP32 képes IEEE-802.3-2008 szabvány szerinti Ethernet interfészen kommunikálni akár 100 Mbps adatsebességgel, de a tényleges adatcseréhez egy külsőleg csatlakoztatott kiegészítő modul szükséges. SPI, azaz Serial Peripheral Interface (Soros Perifériás Interfész) kommunikáció létesíthető a mikrokontrollerrel, mely a processzorok és integrált áramkörök közötti adatcserére alkalmas. 3 db UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter – Univerzális Aszinkron Adóvevő) interfésszel is rendelkezik a mikrovezérlő, melyeken a protokoll nevéből adódóan egymástól függetlenül nyílik lehetőség az adatok küldésére, valamint fogadására, akár 5 Mbps sebességgel. Ezen kommunikációs protokoll segítségével megvalósítható a processzor információcseréje a csatlakoztatott eszközökkel, szenzorokkal. Hardvertől függően kialakítható RS232, valamint RS485-ön alapuló adatcsere. Két I²C (Inter IC – IC-k közötti) busz interfész található továbbá a készüléken, melyek beállítástól függően lehetnek master vagy slave típusúak. Kétféle adatsebességmód érhető el, 100 Kbit/s, illetve 400 Kbit/s. Ez a fajta adatközlés elterjedten használatos integrált áramkörök közötti, valamint mikrokontroller és perifériáinak összekapcsolására. A kommunikáció 2 db kétirányú adatvonalon történik. Az egyik egy soros adatvonal (SDA), míg a másik egy soros órajelvonal (SCL) létesítéséért felel. Az I²C -hez hasonlóan szintén két I²S (Inter IC Sound) interfésszel rendelkezik a mikrovezérlő, melyek üzemeltethetők master-ként vagy slave-ként, fél- vagy full-duplex formában egyaránt. Az efféle kommunikációs kapcsolatot akkor szokás alkalmazni, amikor az adatok közlése a cél két IC között. Továbbá WiFi-n és Bluetoothon keresztül is képes információt közölni és fogadni

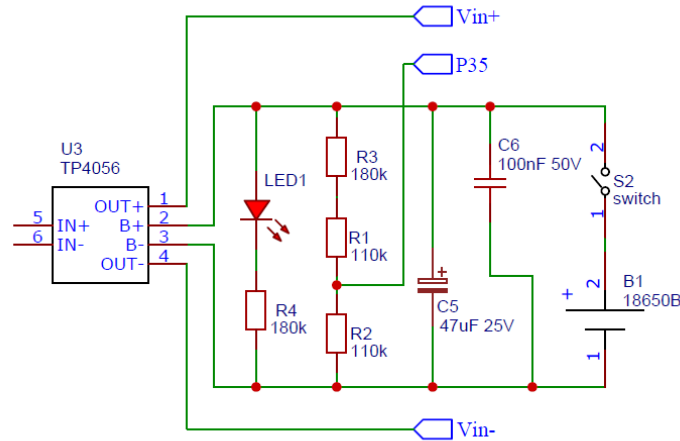
az ESP, így létrehozva a vezeték nélküli kapcsolatot. (Elprocus, 2013) (Gingl, 2020) (Espressif, 2022)

A huzalfeszességmérő összeállításának tervezési fázisában a soros kommunikációra esett a választásom, mivel az iparban igen elterjedt a megbízhatósága, sebessége miatt. Az sem volt elhanyagolható szempont, hogy egy szenzorcsoporthoz működése is felügyelhetővé váljon a későbbiekben, így kiválóan alkalmazható az RS485 szabvány szerinti soros kommunikáció a láncba fűzhetősége miatt. Ezen módon alapuló adatcsere kialakítása volt a cél, hiszen így akár 32 szenzor adatai futhattak volna egyetlen szálon akár 1200 m hosszú vezetéken. Az RS485-ön alapuló információcsere megvalósításához az ESP-hez csupán egy kiegészítő átalakító modul csatlakoztatása szükséges, mely a kontrollerből érkező TTL típusú jelet alakítja át. A tesztekkel (ld. 4.1 Nagyfeszültségű teszt fejezet) azonban bebizonyosodott, hogy az erősáramú kerítés huzalán történő alkalmazáskor a huzalon futó feszültség körülbelül 10%-a indukálódik a szenzoron a nagy felülete miatt. Ennek következtében csak lebegő földeléssel valósítható meg a szenzor felügyelete. Közös földelés esetén a keletkezett feszültség nagyságrendekkel lenne nagyobb a szenzor által kibocsátott jelnél, így nem lenne mérhető a számunkra fontos adat. Ennek kivédésére az sem lehet megoldás, ha a szenzor és a mikrovezérlő nincsenek földelve a működési környezetükben, ugyanis a soros kommunikáción keresztül érkező magasfeszültség tönkretenné a felügyelőszervezet adatfeldolgozóját, számítógépét.

A végső megoldás a WiFi-n alapuló adatcsere lett, ugyanis ezesetben megvalósítható a lebegő földelés, így nem okoz gondot az indukálódott feszültség, hiszen nincs valódi földön a szenzor és környezete, illetve az adatfeldolgozó egységet sem éri kár. A WiFi segítségével a kezelőszemélyzet nincs helyhez kötve, egy bizonyos tartományon belül szabadon mozoghat, valamint egyszerre több készüléken is véghezvihető a felügyelet. Fontos kritérium a terület- és vagyonvédelmi szempontok miatt, hogy ne lehessen hozzáférni az arra nem jogosult személyeknek, így internetkapcsolat nélkül monitorozható a rendszer állapota. Ennek hátránya, hogy csak az adott routerre való csatlakozáskor tekinthető meg a webszerver.

4.2.3 Az akkumulátor áramköre

A mikrovezérlő, valamint perifériái működéséhez szükséges energiát egy 18650 típusú lítium-ion akkumulátor szolgáltatja. Az akkumulátor névleges feszültsége 3,7 V, kapacitása 3300 mAh. Az akkumulátor számos kiegészítéssel került beépítésre a biztonságos, illetve nyomon követhető üzemelése érdekében, melyről a 17. ábra nyújt tájékoztatást.



17. ábra Az akkumulátor áramkörének kapcsolási rajza (saját szerkesztés)

Azért, hogy a huzalelmozdulás felügyelete folyamatosan megfigyelhető legyen, az áramkörben helyet kapott egy kifejezetten 18650 típusú Li-Ion akkumulátorokhoz való TP4056-os töltőmodul. A modul túltöltés védelemmel van ellátva, így kizárva az akkumulátor túltöltése esetén előforduló tűzveszélyt.

Az akkumulátor töltöttségi szintjének nyomon követését is megvalósítottam egy feszültségosztó segítségével. A feszültségosztó olyan ellenállásértékekkel lett megtervezve, hogy egy középértéknek számító, 4 V-os akkumulátortöltöttség mellett a mikrokontroller referenciasfeszültségével, 1,1 V-tal legyen azonos a kontroller A/D átalakítójába érkező feszültség. Kiindulásként az R_2 -t 110 k Ω -nak választottam, mivel ez az érték körülbelül 1%-a az ADC belső ellenállásának. Az imént említett adatok alapján, már egyszerűen kiszámítható az R_1 értéke az alábbiak szerint.

$$U_{ki} = U_{be} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

$$R_1 = \frac{U_{be} \cdot R_2}{U_{ki}} - R_2 \quad (6)$$

$$R_1 = \frac{4 \text{ V} \cdot 110 \text{ k}\Omega}{1,1 \text{ V}} - 110 \text{ k}\Omega = 290 \text{ k}\Omega \quad (7)$$

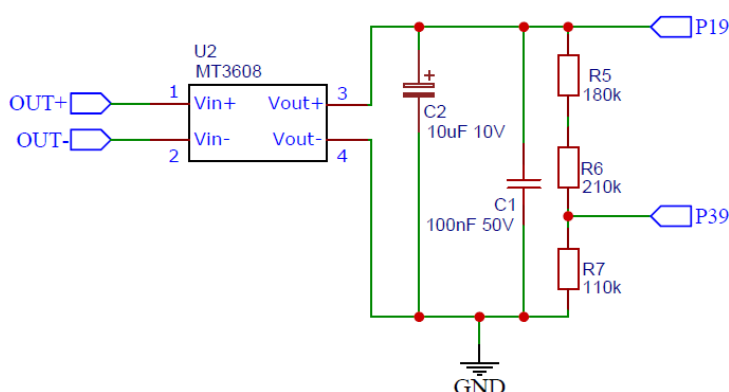
Mivel 290 k Ω -os ellenállás nem állt rendelkezésemre, így egy 180 k Ω , valamint egy 110 k Ω értékű ellenállás sorba kapcsolásával értem el az R_1 ellenállás értékét.

Az akkumulátor áramkörébe beépítésre került továbbá egy kétállású ST 1/BK típusú kétállású kapcsoló is, mely nemcsak az eszköz kikapcsolásáért felelős, hanem a mikrovezérlő programozását is lehetővé teszi, hiszen nem szükséges kivenni az akkumulátort a művelet közben, elegendő csupán a kapcsolót lekapcsolni. A kapcsoló állapotának kijelzéséért egy zöld színű LED felelős, így a felhasználók számára biztosabban értelmezhető vezérlőegység táplálásának pillanatnyi állapota.

Az áramkör megtervezésénél fontos szempont volt a stabilitás, így az akkumulátorral párhuzamosan két kondenzátort helyeztem el. Az egyik egy 100 nF kapacitású 50 V-os kerámiakondenzátor, mely úgynevezett hidegítő kondenzátorként szolgál, a feszültségcsúcsokat simítja, azaz zajmentesít. Beépítésre került a korábbi kondenzátorral párhuzamos ágon egy 47 μ F kapacitású, 25 V-os elektrolitkondenzátor is, hiszen míg a kerámiakondenzátor az üzem közbeni feszültségértékek simítására szolgál, addig az elektrolitkondenzátor a készülék be- és kikapcsolásakor jelentkező hirtelen fellépő nagymértékű feszültségkülönbségeket, valamint a kisfrekvenciás zavarokat simítja.

4.2.4 A feszültségkonverter áramköre

Mivel az akkumulátor névleges feszültsége 3,7 V, és a mikrokontroller megáplálásához 5 V szükséges, így egy MT3608 típusú DC-DC konverter lett elhelyezve a perforált univerzális nyomtatott áramköri lapon. A konverter kimeneti feszültségszintje egy, a modulon található csúszó potenciométer segítségével állítható be 4 V és 18 V közötti tartományon tetszőleges értékre. Az átalakító, illetve perifériáinak sematikus kapcsolási rajza a 18. ábrán látható.



18. ábra A DC-DC konverter áramkörének kapcsolási rajza (saját szerkesztés)

A pontos feszültségszint előállítása fontos, ugyanis így nem végez a mikrovezérlő fölösleges transzformálást, ezáltal fogyasztása is kedvezőbb. Éppen ezért került beépítésre a körbe egy feszültségosztó, így biztosítva az üzemi feszültségszint állandó monitorozhatóságát. A feszültségosztó a korábban említett logikán és számításon alapul. A kimeneti feszültség ezesetben is 1,1 V, de az osztóba bemenő feszültség ezúttal már 5 V. Az R_2 értéke szintén 110 k Ω . Az R_1 kiszámítható az alábbi módon:

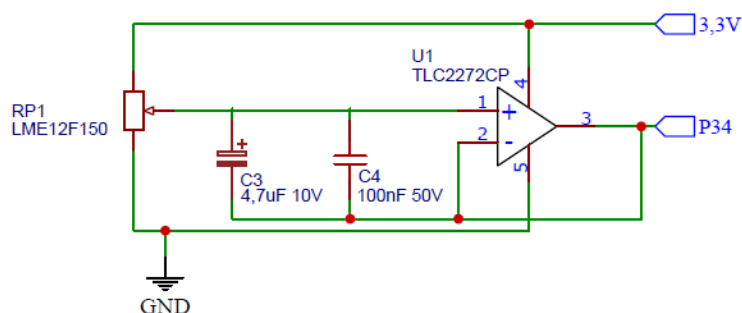
$$R_1 = \frac{5 \text{ V} \cdot 110 \text{ k}\Omega}{1,1 \text{ V}} - 110 \text{ k}\Omega = 390 \text{ k}\Omega \quad (8)$$

Mivel 390 k Ω -os ellenállással nem rendelkezem, egy 180 k Ω , illetve egy 210 k Ω értékű ellenállás sorba kötésével valósítottam meg a kívánt ellenállás értékét.

Annak érdekében, hogy a mikrovezérlőre minél egyenletesebb nagyságú feszültség essen, integrálásra került egy 100 nF kapacitású 50 V-os kerámiakondenzátor, mely az akkumulátor köréhez hasonlóan funkcionál. Ezen felül alkalmazásra került egy 10 μ F kapacitású 10 V-os bipoláris kondenzátor is, mely a korábban már szintén részletezett nagymértékű feszültségkülönbségek simítására és a tápfeszültség szűrésére szolgál.

4.2.5 A szenzor áramköre

A szenzor egy csatlakozóval kapcsolódik az áramkörbe, így válva moduláris jellegűvé az eszköz, melynek meghibásodása esetén a csere könnyen és gyorsan megoldható. A szenzor által szolgáltatott jelet szintén szükséges műveleti erősítővel erősíteni a korábban ismertetett tulajdonságvizsgálatokhoz hasonlóan, azzal az eltéréssel, hogy jelen esetben közös tápfeszültségre van kötve a szenzor, illetve az erősítő, mivel a mikrovezérlő 5 V-os kimenete a mikrovezérlő akkumulátorról való üzemeltetése miatt le van foglalva. Az erősítő típusa TLC2272CP, mely egy 2 csatornás, egyszeres erősítésű, DIP tokozású, rail-to-rail-rel ellátott, alacsony zajtartalmú, igen kis offsetű, A/D konverterekhez ajánlott készülék. A szenzor áramköre a 19. ábrán látható.



19. ábra A szenzor áramkörének sematikus ábrája (saját szerkesztés)

Ugyan az erősítő tartalmaz egy kisebb mértékű zajszűrést, de az leginkább az általa felerősített jelre irányul. Azért, hogy a már erősíteni kívánt jel se legyen zajos, két kondenzátor került beépítésre. Az egyik, egy 100 nF kapacitású, 50 V-os kerámiakondenzátor a nagyobb frekvenciák csillapítására, míg a másik, egy 4,7 μ F kapacitású, 10 V megengedett feszültségértékű elektrolitkondenzátor.

4.2.6 Védőburkolat

Azért, hogy az áramkör ne legyen túlzottan kitéve a környezeti hatásoknak, valamint a rövidzár esélye is szignifikánsan csökkenjen, egy védődobozt terveztem számára, mely egy igazán kompakt kivitelben teszi lehetővé az áramkör felszerelését a kerítésoszlopra. Az elkészült modell a 20. ábrán látható.



20. ábra Az áramkör védőburkolata (saját fotó)

A doboz egy Ender 3 Pro FDM (Fused Deposition Modeling), azaz filamentszál töltetű 3D nyomtatóval készült 1,75 mm átmérőjű PLA anyagból, 210°C hőmérsékletű 0,4 mm átmérőjű fűvókával, 60°C-os tárgyasztalra a minél nagyobb tapadás érdekében.

A burkolat prototípus mivolta miatt nem nyújt védelmet az eső és egyéb nedves közegek ellen. Tervezésével céлом első sorban a rendszer kompakttá tétele, könnyű szállíthatósága volt. Tartós használathoz elengedhetetlen egy minimum MSZ EN 60529:2015 szabvány szerinti IP66 védettségű fokozatú tokozás, mely a kültéri villamos egységeknél használatos kötődoboz.

4.3 A tervezett szoftver ismertetése

A következőkben az állapotfelügyeletet megvalósító szoftverről lesz szó, mely segítségével információt kaphat a kezelőszemélyzet a szenzor pillanatnyi állapotáról. A szoftver létrehozásával céлом az volt, hogy egyrészt a behatolni szándékozó személyekről értesüljön a felügyelő személy, másrészt monitorozható legyen a szenzor helyzete.

4.3.1 Programozási környezet

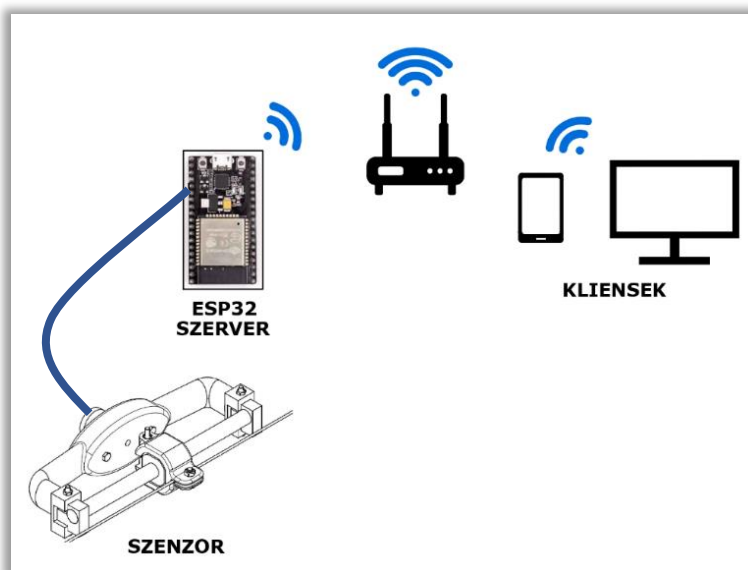
A programot az Arduino IDE 1.8.16-os verziójában készítettem el, mivel számomra könnyen használható, alapnyelve a tanulmányaim során elsajátított C, valamint C++ nyelv, illetve az ESP32-re történő programírás könnyedén megvalósítható a belső, beépített programfordítójával.

4.3.2 A kapcsolat megvalósítása

A mikrovezérlő és a router közötti kapcsolat létrehozása, valamint fenntartása az Arduino beépített WiFi könyvtára segítségével, a meghatározott függvények kombinációjával történt.

A mikrovezérlő egy mobil elérési pontra csatlakozik, és küldi az adatokat az adott IP

címre. Az ESP nemcsak adatgyűjtőként, hanem szerverként is funkcionál. E szerver IP címére csatlakozva a kliensek (WiFi-val rendelkező eszközök) megtekinthetik a folyamatosan frissülő adatokat, információkat. A rendszert a 21. ábra szemlélteti vázlatosan.



21. ábra A kommunikáció kapcsolati ábrája (saját szerkesztés)

A webszerver segítségével valós idejű felügyelet válik lehetővé, ugyanis beépített változókövetést tartalmaz, mely a megadott változók értékeinek módosulásakor értesítést küld, ami a webfelületen megjelenített adatok változtatását vonja maga után, természetesen a másodperc tört része alatt. E folyamat megvalósítására az Async Web Server ESP-hez készített könyvtárait hívtam segítségül, melyek a ESPAsyncWebServer, illetve az AsyncTCP. Az előbbi a fő parancsok behívásáért és megvalósításáért felel, míg utóbbi, mint ahogy neve is mutatja a TCP-t (Transmission Control Protocol) tartalmazza. A TCP az OSI (Open Systems Interconnection – Nyílt Rendszerek Összekapcsolása) modell szállítási rétegében található. A könyvtár segítségével megvalósul hibafelismerés, valamint annak javítása, továbbá felelős még az adatok tömörítéséért. A kapcsolat létrehozásáért a 22. ábrán látható kód felelős. (AsyncTCP könyvtár, 2022) (ESPAsyncWebServer könyvtár, 2022) (Csikós, 2018)

```

#include <WiFi.h>
#include <AsyncTCP.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>

const char* ssid = "SSID";
const char* password = "PASSWORD";

AsyncWebServer server(80);

void setup() {
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Connecting to WiFi ..");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print('.');
    delay(1000);
  }
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

```

22. ábra A WiFi kapcsolat létrehozásának kódja (saját szerkesztés)

4.3.3 Az analóg értékek beolvasása

A felügyelet fő célja, a szenzorból érkező analóg jel konvertálása, valamint az adott helyeken a megfelelő feszültségszint ellenőrzése. Így ezen függvények alkotják a program „szívét”. Minden jelátalakítás külön függvényben van megvalósítva, melyek a loop() függvényben vannak meghívva így biztosítva a folyamatos futásukat.

Alapvetően igen hasonlóak ezek a függvények. Mindegyik az adott porton jelentkező analóg jel, azaz feszültség átalakításával kezdődik digitális értékke. Majd egy mozgóátlag követi. A különböző jelek esetén más a mozgóátlag ablakának értéke. Ennek oka az, hogy a feszültségszintek ellenőrzésére a mozgóátlag az apró változások simítására szolgál, így egy viszonylag konstans számot láthat a felhasználó az apró mértékben, ám sűrűn változó számok helyett. Ezesetekben az átlag ablaka 20. A szenzor esetében a mozgóátlag használatával a behatolás, valamint a hőtágulás okozta huzalelmozdulás megkülönböztetése valósul meg, az átlagszámításhoz elegendő az utóbbi 10 értékből átlagot vonni. Amikor a hőmérsékletváltozás következtében szenved alakváltozást a huzal, az esetben lassan csúszik rajta a szenzor csúszkája, amikor viszont egy behatoló személy hirtelen megrántja a drótszálat, nagymértékű változást

fog eredményezni a jelben. A két legutóbb létrejött átlag különbségének abszolútértékéből megkapható egy differencia.

```
bool behatolo = 0;
const int IN_PIN = 34;
int ablak_meret = 10;
int ind = 0;
int ertek = 0;
int SUM = 0;
int READ[10];
int atlag1 = 0;
int atlag2 = 0;
int differencia = 0;
int elteres = 0;

void szenzor_beolvasas() {
    SUM = SUM - READ[ind];
    ertek = analogRead(IN_PIN);
    READ[ind] = ertek;
    SUM = SUM + ertek;
    ind = (ind + 1) % ablak_meret;
    atlag1 = SUM / ablak_meret;
    differencia = abs(atlag2 - atlag1);
    atlag2 = atlag1;
    if (differencia > 30) {
        behatolo = 1;
    } else {
        behatolo = 0;
    }
}
```

23. ábra A behatolást jelző kódrészlet (saját szerkesztés)

Ha a differencia egy előzetes, tesztek segítségével meghatározott értéknél nagyobb, a behatolásra figyelmeztető bináris változó értéke igaz lesz, amennyiben ez a differencia kisebb az értéknél, nem fog változni a betolakodók jelenlétére szolgáló változó. A behatoló detektálására szolgáló programkód a 23. ábrán tekinthető meg.

Az akkumulátor feszültségértékének mozgóátlagának értékmeghatározását egy feltétel követi, miszerint, ha 3,7 V alá csökken a feszültség, figyelmeztetés jelenik meg a webfelületen.

Ehhez azonban a digitális értéket át szükséges alakítani, hogy a feszültség legyen olvasható. E folyamat kiindulási alapja az ESP32 felbontása, mely 12 bites, így 2^{12} , azaz 4096 különböző értékre konvertál az analóg-digitális átalakító 5 V mérési tartományban. (Espressif, 2022) A bejövő feszültség eszerint kiszámítható az alábbi módon:

$$U = \frac{5}{4096} \cdot x_{erte} \quad (9)$$

ahol az x_{erte} a beolvasott adat. A kiszámított feszültség azonban a feszültségosztóból kijövő feszültség. Az akkumulátor tényleges feszültségéhez a korábban leírt feszültségosztó képletet kell alkalmazni, azaz

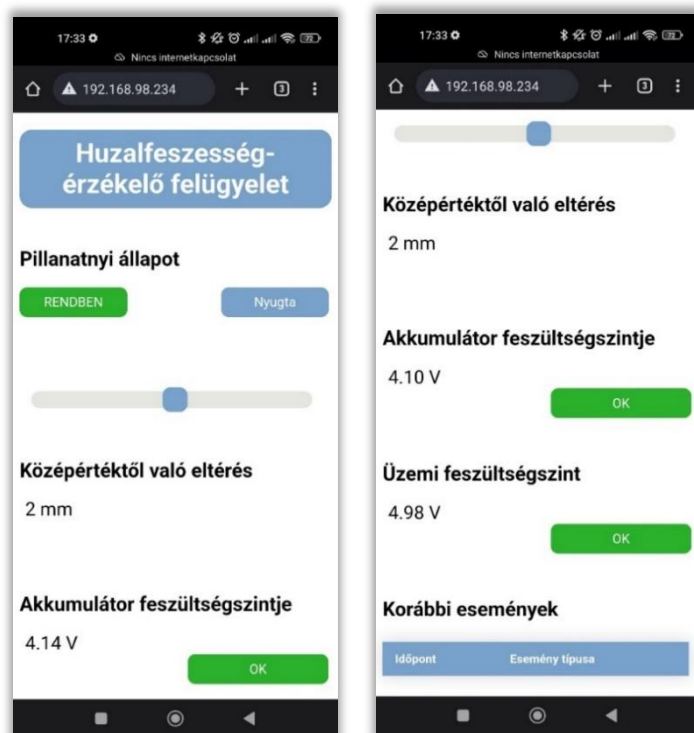
$$U_{akku} = \frac{U \cdot (R_1 + R_2)}{R_2} \quad (10)$$

ahol az U_{akku} az akkumulátor feszültsége, az R_1 , illetve az R_2 pedig a feszültségosztó ellenállásai.

Az üzemi feszültség szint ellenőrzésére szolgáló értékjelzéshez történő adatkonverzió hasonlóan történik, azzal a különbséggel, hogy a magas, illetve az alacsony feszültség szintekhez is tartozik figyelmeztetésre szolgáló változó egyaránt. A mérések segítségével megvalósítható a mikrovezérlő biztonságos tápellátása, így a mérés zavartalan, folyamatos működése.

4.3.4 Felhasználói felület

A honlapot alkotó HTML, illetve JavaScript kód szintén az Arduino IDE programban foglal helyet. Az alapvetően C és C++ nyelven alapuló programozási környezetben a webfelület arculatát megalkotó kódot, mint egy konstans változót kell bevinni egy erre kialakított szerkezet keretein belül. A befoglaló kereten belül pedig hagyományos módon írható a CSS, HTML, valamint a működésükért felelős JavaScript kód, nem szükséges külön függvények használata a parancsok lekezeléséhez. A kialakított webfelület a 24. ábrán látható.



24. ábra A kezelői felület indítási képe (saját ábra)

A honlapon megjelenő változók folyamatosan frissülnek, melyet az említett Async Web Server valósít meg. A beolvasott feszültségértékek, valamint az azokkal kapcsolatos változók a `loop()` függvényben egy eseményküldést figyelő parancs segítségével átadásra kerülnek a JavaScript kódrészben használt változóknak, melyek így folyamatosan frissülni tudnak. A 26. ábrán bemutatásra kerül példaként a behatolóra figyelmeztető változó átadásáról szóló programrész. Az esemény megjelenítése a webfelületen a 25. ábrán látható.



25. ábra A behatolásra figyelmeztető jelzés (saját ábra)

```

unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 100;

const char index_html[] PROGMEM = R"rawliteral(
<!DOCTYPE HTML><html lang="hu">
<body>
  <p><span class="rendben_jel" id="behat">RENDBEN</span></p>
<script>
  source.addEventListener('behat', function(a) {
    if (a.data == 1) {
      document.getElementById("behat").innerHTML = "BEHATOLÓ!";
      document.getElementById("behat").classList.replace("rendb
en_jel", "hiba_jel");
    };
  }, false);
</script>
</body>
</html>)rawliteral";

void loop() {
  if ((millis() - lastTime) > timerDelay) {
    szenzor_beolvasas();
    events.send(String(behatolo).c_str(), "behat", millis());
    lastTime = millis();
  }
}

```

26. ábra A behatolási vészjelzés webfelületen való megjelenítéséért felelős programrész (saját szerkesztés)

A fenti kód a mintavételezett feszültségértékek frissítésére szolgál, melyek a loop() függvényben teszik ciklikussá a szenzor_beolvasas(), azaz a szenzorból érkező adatok olvasására szolgáló, korábban meghatározott függvényt. Ezen felül ugyancsak a loop() függvényben a behatolo 26. ábrán meghatározott értéke átadásra kerül, mint behat. E változó a JavaScript kódban egy függvényen belül, változó értéként van megadva, valamint feltétel szerinti HTML hozzárendeléssel rendelkezik. A JavaScript, illetve a HTML kódban található rendben_jel, illetve hiba_jel osztályok a CSS kódban korábban meghatározásra kerültek. A változó jelző felirat kezdő azonosítója ugyancsak behat-ként van deklarálva, de ez nem

összekeverendő a `loop()` függvényben átadott megnevezéssel. A JavaScript függvény egy úgynevezett `classList.replace` paranccsal át képes írni a megadott HTML azonosítóhoz tartozó osztályt, így megvalósítva a kijelzett ábra változását.

Amennyiben vészjelzés keletkezik, az „set” állapotba kerül egészen addig amíg a nyugtázó gombbal le nem „reseteli” a személyzet. Ezáltal kivédhető az emberi tényező hatása, azaz, hogy észrevehetetlenné váljon egy behatolás. Szintén e célt szolgálja a korábbi események táblázata, mely egy folyamatosan bővülő táblázat. A behatolójelzés fellépésekor időbélyeggel ellátott sorral egészül ki a táblázat. Ez egyrészt hasznos, ha figyelmetlenségből adódóan már csak a figyelmeztető jelzés látható a webfelületen, ugyanis a táblázat alapján másodperc pontossággal megállapítható a keletkezésének ideje. Másrészt azért is hasznos, mivel összevethető a behatolások gyakorisága, azok statisztikai adatokként kezelhetőek. A megjelenített táblázat a 27. ábrán tekinthető meg.

The screenshot shows a mobile application interface with a black status bar at the top displaying the time 17:35 and various icons. Below the status bar, the text 'Nincs internetkapcsolat' is visible. The main content area has a white background and is divided into three sections:

- Akkumulátor feszültségszintje**: Shows a voltage of 4.13 V with a green 'OK' button.
- Üzemi feszültségszint**: Shows a voltage of 4.98 V with a green 'OK' button.
- Korábbi események**: A table listing previous events.

Időpont	Esemény típusa
2022. 10. 17. 17:34:54	Huzalvágás
2022. 10. 17. 17:34:54	Központosítási riasztás
2022. 10. 17. 17:34:47	Behatolás jelzés
2022. 10. 17. 17:34:34	Központosítás elvégezve
2022. 10. 17. 17:34:18	Központosítási riasztás
2022. 10. 17. 17:34:05	Nyugtázás
2022. 10. 17. 17:33:52	Behatolás jelzés

27. ábra A korábbi események táblázata (saját ábra)

Látható, hogy a táblázat nemcsak a behatolás-jelzés indításának, hanem nyugtázásának állapotát is jegyzi. Ezen felül a későbbiek folyamán kifejtésre kerülő központosítási riasztás, illetve a kalibráció elvégzettét is nyomon lehet követni a korábbi események táblázatával. A táblázat kódja a 28. ábrán látható.

```

<!DOCTYPE HTML><html lang="hu">
<body>
  <div><table class="styled-table" id="tablazat">
    <thead>
      <tr><th>Időpont</th><th>Esemény típusa</th></tr>
    </thead>
    <tbody></tbody>
  </table>
</div>
<script>
  function tablazat(szoveg){
    var table =
      document.getElementById("tablazat").getElementsByTagName("tbody"
    )[0];
    var row = table.insertRow(0); //Add after headings
    var cell1 = row.insertCell(0);
    var cell2 = row.insertCell(1);
    cell1.innerHTML = new Date().toLocaleString();
    cell2.innerHTML = szoveg;
  }
  function f_tabla_behat(behatolo_ertek) {
    if (behatolo_ertek == 1 && allapot == 0){
      allapot = 1;
      tablazat("Behatolás jelzés");}
  }
  function reset_pressed() {
    resetstate = 0;
    if (resetstate == 0){
      allapot = 0;
    }
    source.addEventListener('behat', function(a) {
      f_tabla_behat(a.data);
    }, false);
  }
</script>
</body>

```

28. ábra Behatolási jelzés esetén a táblázatbővítésért felelős programrész (saját szerkesztés)

A webfelületen továbbá helyet kapott egy, a potenciométert vizuálisan megjelenítő ábra, melyen a csúszka helyzete folyamatosan változik. E folyamathoz egy slider lett a programkódba építve, melynek értéke egy JavaScript függvény segítségével a szenzor_beolvasas() függvény

ertek változóját követi. A kód a 29. ábrán tekinthető meg.

```

unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 100;

const char index_html[] PROGMEM = R"rawliteral(
<!DOCTYPE HTML><html lang="hu">
<body>
  <p>
    <input id="Slider" type="range" disabled min="0" max="4095"
      step="1" class="slider">
  </p>
  <script>
    source.addEventListener('ertek', function(e) {
      console.log("ertek", e.data);
      document.getElementById("Slider").value = e.data;
    }, false);
  </script>
</body>
</html>)rawliteral";

void loop() {
  if ((millis() - lastTime) > timerDelay) {
    korrekcio_olvasas();
    events.send(String(ertek).c_str(), "ertek", millis());
    lastTime = millis();
  }
}

```

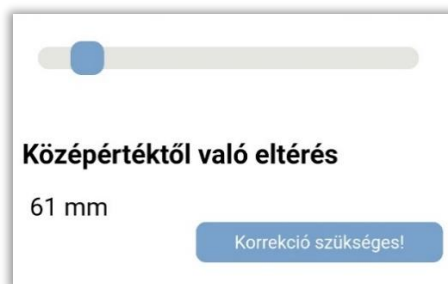
29. ábra A szenzor csúszkájának helyzetét kijelző kódrészlet (saját szerkesztés)

Ehhez kapcsolódik szorosan a középértéktől való eltérés megjelenítése is, mely egy egyszerű számítással milliméter pontossággal jelzi a csúszka legideálisabb, középső helyzetétől való eltérést. Az eltérés kiszámítása a következő:

$$\Delta = \frac{5}{2^{12}} \cdot |2048 - y_{ertek}| \quad (11)$$

Ahol a Δ , az eltérés értéke, az y_{ertek} pedig a mozgóátlagból kapott mennyiség. Maximálisan 75 mm kitérés lehetséges a gyártó adatlapjában megadott 150 mm-es mérési hossz szerint. (WayCon, 2022) Amennyiben a tartós kitérés meghaladja az 50 mm-t, az esetben egy a

korábbiakban már említett „*Korrekció szükséges!*” figyelmeztető jelzés kerül a webfelületre, így értesítve kezelőszemélyzetet a mihamarabbi korrigálás elvégzésére. A korrekcióra utaló bináris változó folyamata szintén egy analóg-digitális átalakítással történik, melyet követően egy nagyobb, 100 értéket magába foglaló mozgóátlag elvégzésére kerül sor. Erre azért van szükség, mivel a cél az, hogy a középponttól csak a tartósan távol levő értékek esetén keletkezzen korrigálási figyelmeztetés, a behatolási kitérések ne befolyásolják e jelzést. A központosítási jelzés a 30. ábrán látható.



30. ábra Korrigálási figyelmeztetés (saját ábra)

Szabotázs, azaz a kerítéshuzal elvágása esetén figyelmeztető üzenet jelenik meg a kezelőfelületen, a 31. ábrának megfelelően. Huzalelvágáskor a szenzor valamely szélső helyzetébe tér ki hirtelen, és úgy is marad. Ennek értelmében, amikor a korrigálási jelzéssel egyenértékűen stabilan a megadott zónán kívül van a szenzor csúszkája, illetve 75 mm-es kitéréssel rendelkezik és behatolójelzés is keletkezett, akkor érvénybe lép a riasztás, mely a táblázatban is jegyzésre kerül a 28. ábrán látható módon.



31. ábra Az elvágott huzal esetén megjelenő jelzés (saját ábra)

Az említett funkciókon felül, a 24. ábrán látható módon lehetőség nyílik még az akkumulátor, valamint az üzemi feszültség szint követésére. Az akkumulátor feszültség szintjének 3,7 V alá csökkenésekor „*Akkumulátor merül!*” figyelmeztető jelzés fogadja a felhasználót, az üzemi feszültség szint 4,8 V alatt „*Üzemi feszültség szint alacsony!*”,

5,2 V felett pedig „Üzemi feszültség szint magas!” üzenet jelenik meg. Egyéb esetekben zöld színű „OK” jelzés jelenik meg a pillanatnyi értékek mellett. Ezen információk az áramkör meghibásodása ellen/esetén nyújthatnak segítséget. Példaként a 32. ábra szemlélteti az alacsony akkumulátorszint hibajelzését.



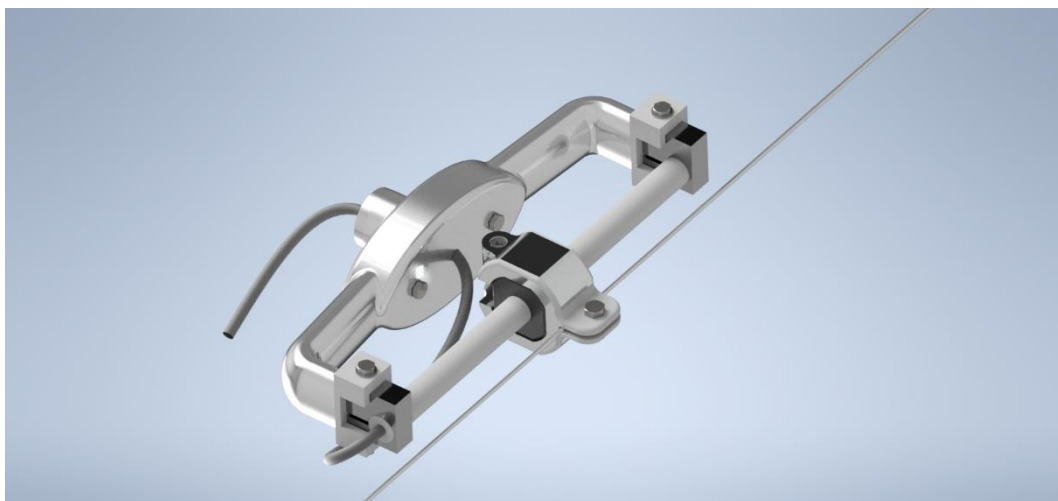
32. ábra Akkumulátor alacsony feszültség szintjének hibajelzése (saját ábra)

4.4 Mechanikai felépítés

4.4.1 Tartókonzol

A tartókonzol modellezését az Autodesk Inventor Professional 2022 szoftverével végeztem el. Figyelembevételre került a talapzat furatának befoglaló mérete, a talapzat és a dróthuzal távolsága, valamint az is, hogy több potenciométert lehessen vertikálisan egymás fölé telepíteni, így megvalósítva a nagyfelületű lefedettséget. Ezen kívül fontos szempont volt az is, hogy könnyen lehessen felhelyezni a szenzort a kerítés tartóoszlopaira. Nem elhanyagolható kritérium továbbá az sem, hogy a konzol a mechanikai behatásoknak ellenálljon. Természetesen az utóbbi feltétel az anyaghasználat gondos megválasztásával kielégíthető, melyre a legoptimálisabb választás az acél valamely ötvözete lehetne, de ha figyelembe vesszük a költségvetést, jó választásnak bizonyulhat a fröccsöntött műanyag kompozit is. Mivel a dolgozatom során csupán egy prototípus tervezése került megvalósításra, így a PLA+ anyagra esett a választásom. A modell egy Creality Ender 6 típusú FDM nyomtatóval készült 220°C-os fűvókával, 60°C-os tárgyasztalon, 40%-os kitöltéssel, 0,2 mm-es rétegvastagsággal, 1,75 mm átmérőjű filamentszálból.

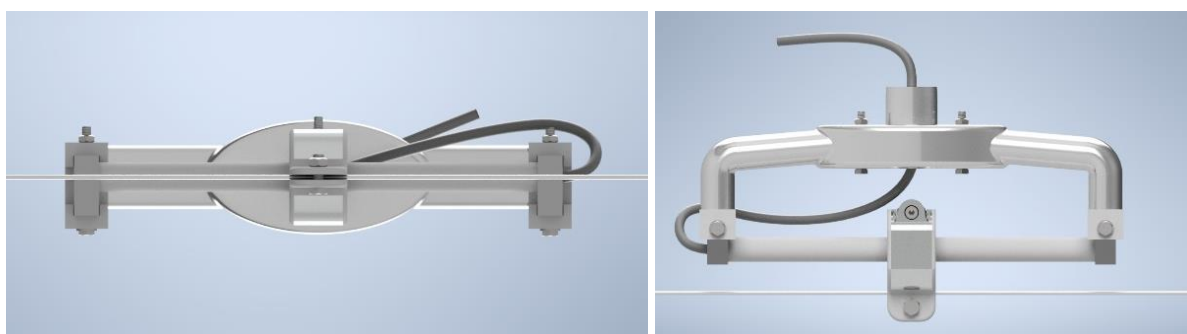
Az alakzat egy elemből áll, mivel így érhető el a legnagyobb kötőerő a modell elemei között. A modell látványterve a huzalbefogó fejjel kiegészítve a 33., 34. és a 35. ábrán látható különböző nézetek szerint. Mivel a szenzor esetleges tönkremenetele esetén biztosítani kell a gyors és egyszerű cserélhetőséget, így a tartókonzol és a szenzor kapcsolata csavarkötéssel megoldott. A tartószerkezet a szenzor gyárilag kialakított tartóihoz csatlakozik. Ezen oldható kötés akkor is jó szolgálatot tehet, amikor a konzol megsérül, viszont a szenzor ép marad. Így jelentős költség megtakarítására lehet szert tenni a sérült elem cseréjekor.



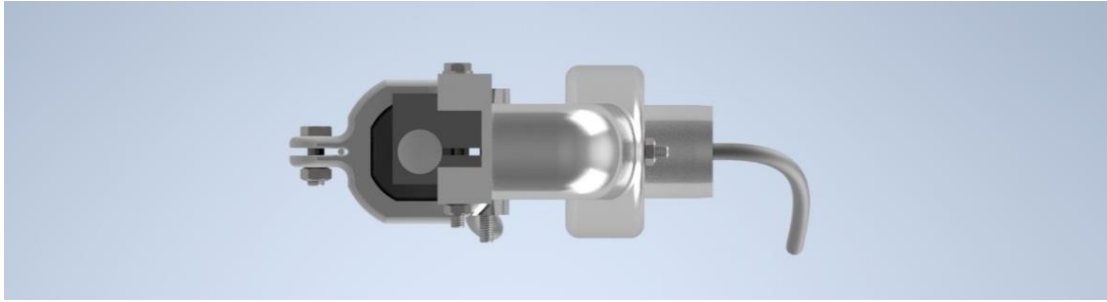
33. ábra A konzol és a behelyezett szenzor látványterve (saját ábra)

4.4.2 Huzalbefogó fej

Mivel a szenzor pozíciómérése egy mozgó csúszka által valósul meg, így arra egy huzalbefogó fejet volt célszerű tervezni. E fej kialakításánál az egyik legfontosabb feltétel volt, hogy a dróthuzalra történő kapcsolás is megvalósítható legyen anélkül, hogy meg kellene bontani a huzalrendszer kifeszítéseit. Így felszerelése, esetleges cseréje vagy kalibrálása könnyen megvalósíthatóvá válik. A fej egy belső kulcsnyílású csavarral szorítható a csúszkára, így a szűkös hely ellenére is megvalósítható a csatlakozás. A fejegység az imént megnevezett kötéssel átellenesen elhelyezkedő, oldalán pedig a dróthuzal számára kialakított horony helyezkedik el, melyet egy a huzalra merőleges irányban becsavarható, hatlapfejű csavarral van lehetőség befogatni. Ezáltal a huzal stabilan mozog együtt a szenzor csúszkájával, pontos mérési eredményeket szolgáltatva.



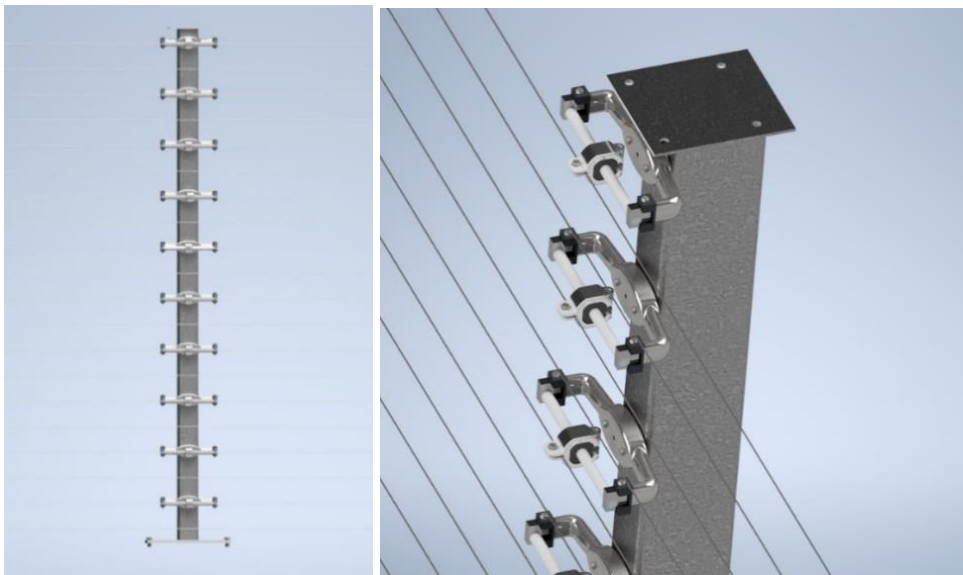
34. ábra A konzol és a szenzor elől- és felülnézetből (saját ábra)



35. ábra A konzol és a behelyezett szenzor oldalnézetből (saját ábra)

4.4.3 Kerítésoszlop

A szenzorok könnyű felszerelhetősége érdekében egy speciális kerítésoszlop tervezése volt szükséges, melyen megfelelő nagyságú furatok segítségével megvalósítható a szenzorok modularitása. A bemutató oszlop 2 m magasságú, mely egy közép méretű kerítések tekintetében. Ezen kerítés magasságnál egy normál méretű ember segédeszközök nélkül nem tud átjutni. A huzalszálak 100 mm távolságban helyezkednek el. Minden második huzalon található elmozdulásmérő szenzor, ugyanis elegendő 200 mm távolságban elhelyezni őket, hiszen egy felnőtt ember által keltett behatolás esetén biztosan el fog mozdítani olyan drótszálakat, melyen szenzor található. Az oszlop, valamint a felhelyezett szenzorok látványtervét a 36. ábra szemlélteti.

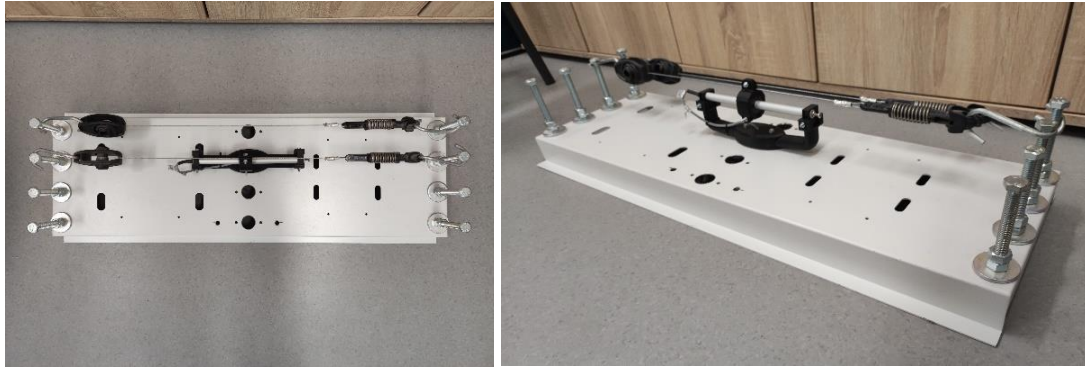


36. ábra Az oszlop látványterve (saját ábra)

4.4.4 Deszkamodell összeállítása

Ahhoz, hogy megfelelően modellezni tudjam az elkészült rendszert, egy deszkamodellt készítettem el, mely a 37. ábrán látható. A mérőrendszer kiépítésére segítségemre volt egy mérőtalapzat, melyet a metALCOM Zrt. készített el egy korábbi projektjéhez. Az általam tervezett eszközök fizikai kialakítása ezen talapzat méreteinek és tulajdonságainak

figyelembevételével történt. E talapzatra történő tervezéssel biztosítottam, hogy kompatibilis legyen a fejlesztés egy valódi működő rendszerrel, így előkészítettem a későbbiekben végzendő tesztek. A deszkamodellre egyidejűleg akár 4 huzalfeszességmérő-szenzor is applikálható, de dolgozatom keretein belül a modell próba mivoltának következtében csak egy szenzort tartalmaz.



37. ábra A deszkamodell (saját fotó)

5 ELVÉGZETT TESZTEK

5.1 Nagyfeszültségű teszt

A tartószerkezet elkészülte után a következő mérőföldkő a szenzorra ható nagyfeszültség vizsgálata volt. Ez egy kritikus mérésnek számított, mivel előre nem volt bebizonyítható, hogy milyen módon fogja befolyásolni a nagyfeszültség a szenzor mágneses mezejét, mellyel a pozíciómeghatározás történik. A teszt a deszkamodellen került elvégzésre, ugyanis így kontrollált, laboratóriumi körülmények között nyílt lehetőség a mérés végrehajtására.

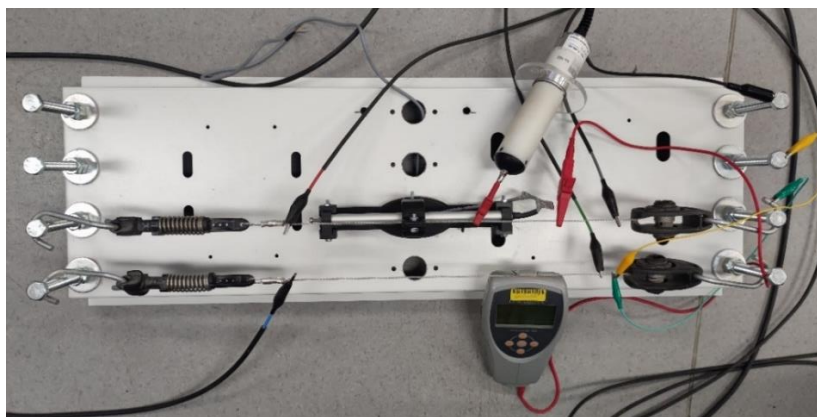
A nagyfeszültséget a 38. ábrán látható NEMTEK gyártmányú elektromos kerítés energizáló állította elő. A földpotenciál az „üres” huzalra, illetve a testre lett kötve, a pozitív polaritás pedig a szenzor által befogott huzalra került csatlakoztatásra. A metALCOM Zrt. saját fejlesztésű szoftverével történt a kiadni kívánt feszültségérték beállítása egy LAN kábel, illetve egy azt befogadó kiegészítő áramkör segítségével. A huzalokon folyó feszültség értéke a teszt során az elektromos kerítés üzeme szempontjából alacsonyabb tartományba tartozó 1,5 kV volt. Ennek ellenőrzésére a 38. ábra szerint egy NEMTEK FenceScope került csatlakoztatásra a rendszerre, mely egy elektromos kerítésekhez fejlesztett állapotdiagnosztizáló mérőeszköz. A készülék valamivel nagyobb értéket (1,6 kV-ot) mért, mint a valós érték, de ez a készülék pontatlanságából eredeztethető, hiszen nagyobb feszültség szintek mérésére hivatott szolgálni. A műszer a pozitív polaritással bíró és a földpotenciálon levő szálra való egyidejű csatlakoztatásával meg tudja állapítani a huzalok közti feszültség-, és áramerősségkülönbséget, aminek csúcserőssége a vizsgálat során 0,5 A volt. Ezen felül képes a mérőeszköz az energiaadó által kiadott impulzusok periódusidejének megállapítására, mely a méréskor az MSZ EN IEC 60335-2-76 szabványnak megfelelő 1 másodperc volt.



38. ábra Az energiaadó és a FenceScope-pal mért értékek (saját fotók)

A szenzor által kiadott feszültség szint vizsgálatához egy RHODE & SCHWARZ RTH1004 típusú oszcilloszkópra lett kötve a szenzor. Az érzékeny mérőeszköz védelme kiemelten fontos volt a nagyfeszültség okozta esetleges károsodás ellen. Ennek érdekében a

vizsgálat egy NORTH STAR PVM-12 megnevezésű speciális mérőfejjel lett elvégezve. A gyártó által kiadott információk szerint a mérőfej sajátossága, hogy különösen nagy feszültségek mérésére is használható, mivel alacsony hőmérsékleti- és feszültségegyütthatójú ellenállásokat, illetve kondenzátorokat tartalmaz, ezáltal kiemelt mérési pontosságot biztosít 1000:1 arányban. (North Star High Voltage) A mérési környezet a 39. ábrán látható.



39. ábra A huzalszál nagyfeszültségű terhelése melletti üzem tesztje (saját fotó)

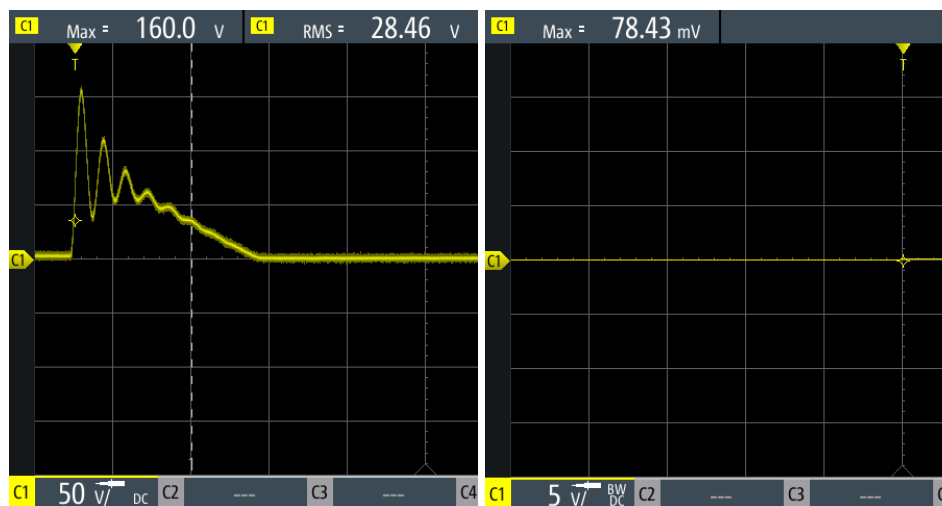
A mérés kezdetekor a mérőfej helyességét bebizonyítva egy gyors mérés került elvégzésre a huzalokban keringő nagyfeszültségről. A mért értékek megfelelőségét a 40. ábrán látható oszcilloszkóp kijelzőjéről készült képernyőkép is garantálja, melyről leolvasható, hogy a feszültségcsúcs az energiadón beállított 1,5 kV-tal közel megegyező.



40. ábra A huzalra eső feszültség nagysága oszcilloszkóp segítségével mérve (saját ábra)

A teszt eredménye megmutatta, hogy nem elegendő a deszkamodell fém alapzatára csatlakoztatni a földpotenciált, ugyanis az nem biztosít valódi leföldelést. Mivel az energiadó nyújtotta áram is a fémtalpra volt kötve, így a szenzor feszültség-idő karakterisztikája az energiadó által kiadott feszültségértékeket is elérte szélső kitérésénél. E jelenség magyarázata az lehet, hogy egy zárt teremben történt a vizsgálat és a talapzat nem volt tökéletesen földelt állapotban. A megoldás egy kültéri teszt elvégzését igényelte, hiszen ott valódi földelés biztosítható.

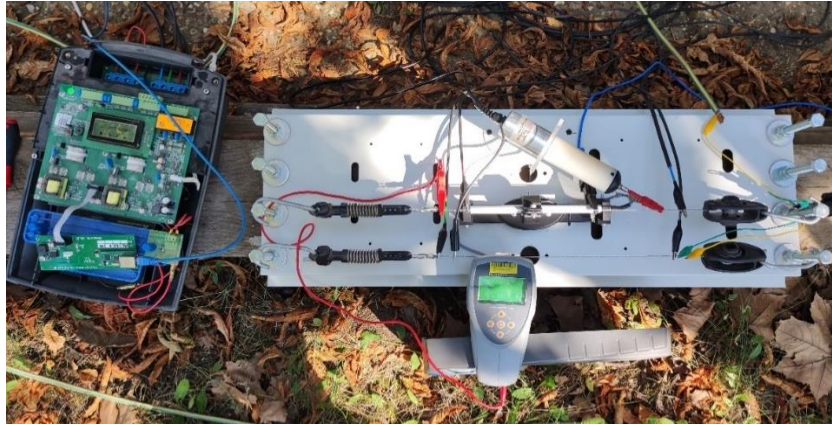
A kültéri teszt során bebizonyosodott, hogy közös földelés esetén a szenzorban feszültség indukálódik. Az indukálódott feszültség értéke elérheti akár a huzalra eső feszültség 10%-át. Ez nagyfeszültségű áram okozta mágneses mező jelenlétének tudható be, mely a huzallal párhuzamosan elhelyezkedő szenzort nagy felületen érinti hosszú, hengeres alakjának köszönhetően. Azonban ilyen magas feszültség nem eshet a szenzorra, mert annak idő előtti meghibásodását vonja maga után. Ezen felül a vezérlőszervekre is káros hatással van, továbbá nem mérhető az általa kiadott jel, ugyanis az nagyságrendekkel kisebb. A megoldást csak a lebegő földelés jelentheti, hiszen így nem kerülnek közös viszonyítási alapra a huzalokban keringő nagyfeszültséggel, az indukálódott feszültség nem jelenik meg a karakterisztikán. A lebegő földeléssel, valamint a közös földpotenciállal megvalósított üzemeltetést összehasonlító képernyőképek 41. ábrán láthatók.



41. ábra A közös földre kapcsolt szenzor (baloldal) és a lebegő földeléssel ellátott szenzor (jobb oldal) karakterisztikája (saját ábra)

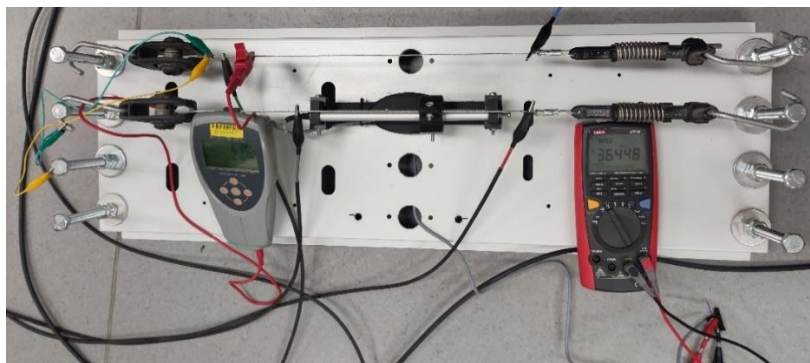
A lebegő földelés viszont némi kötöttséggel jár, hiszen nem megvalósítható vele az eredetileg tervezett soros kommunikáció. Tisztán vezeték nélküli adatcserén alapuló rendszer alkalmazása szükséges a felügyeleti program létrehozásához. A változtatás miatt a kezdetekben tervezett hagyományos Arduino UNO mikrovezérlővel történő adatgyűjtést nem eszközölhető, illetve csak hardveres átalakítással, mivel a készülék csak vezetékes kommunikációt tud folytatni. Választásom így az ESP32 mikrovezérlővel ellátott NodeMCU32-S fejlesztői alaplappra esett, mivel WiFi modullal ellátott, így könnyen megoldható a szenzor által szolgáltatott jelek kiolvasása nagyfeszültségű kerítésen való üzemeltetésekor is.

A kültéri teszt során emellett a szenzor alumíniumborítására eső feszültség is vizsgálat alá került, mely alátámasztotta a lebegő földelés alkalmazhatóságát, miszerint nem mérhető feszültség a szenzor burkolatán sem. A tesztről készült fotó a 42. ábrán látható.



42. ábra A szabadban elvégzett nagyfeszültségű teszt (saját fotó)

A nagyfeszültségű teszt során továbbá sor került az ellenállásértékek elmozdulás függvényében történő vizsgálatára is. A vizsgálat elvégeztével megállapítható volt, hogy a feszültségosztást nem befolyásolja a dróthuzalban keringő nagyfeszültség, így elektromos kerítésrendszerbe integrálva jó választásnak bizonyul a szenzor. A 43. ábrán a teszt során készített fényképen szereplő digitális multiméteren látható, hogy a 5 k Ω -os szenzor egyik kimenetét a csúszka jelen állása egy 3,6448 k Ω -os ellenállásra korlátozza, mivel a csúszóelem valamivel túl van a középső helyzeten.



43. ábra Nagyfeszültségű terhelés melletti ellenállásmérés (saját fotó)

5.2 Mechanikai teszt

A tervezett tartókonzol működésére irányuló vizsgálat a metALCOM Zrt. tesztkerítésén került elvégzésre. A kísérlet során lehetőség nyílt egy valódi rendszer részeként történő tanulmányra.

Mivel a konzol kialakítása a már elkészült kerítésrendszerhez igazodott, így gond nélkül fel lehetett helyezni az eszközt egy másik hasonló célt szolgáló szenzor helyére. A felhelyezett szenzor a 44. és 45. ábrákon látható.



44. ábra A kerítésre helyezett szenzor oldal- és előlnézetből (saját fotó)



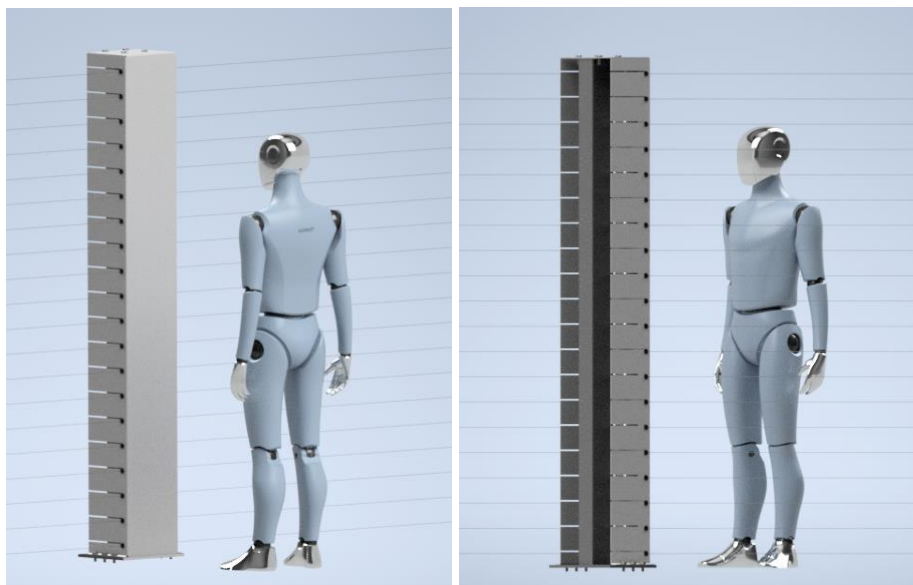
45. ábra A felhelyezett szenzor felülnézetből (saját fotó)

A teszt segítségével megállapítható lett a működőképesség. A csúszka a drót meghúzásával az elvártaknak megfelelően elmozdult.

Egyetlen probléma merült fel, mely a függőleges irányú, megvezetetlen huzalszál mozgásakor adódott. Ekkor ugyanis a szenzor feje főként a tengely körül fordult el, csekély mértékben végzett tengelymenti csúszást. A jelenség csak a bal oldalon meghúzott szál azon részén fordult elő, melyen nem volt huzalvezető szigetelő beépítve. A huzalvezető szigetelő beépítése bizonyos távolságonként kötelező az elektromos kerítésekben. Amennyiben ezen szigetelők megfelelően tervezetten beépítésre kerülnek – az érzékelő mindkét oldalán – a probléma nem áll elő.

A vizsgálat alapján további fejlesztés szükséges a megfelelő mechanikai működéshez,

mely alatt egy fizikai behatások ellen védelmet nyújtó burkolat tervezése értendő. A burkolat védelmet nyújtana csapadék, és egyéb szennyeződés ellen, mely a csúszófelületen a kurzor akadálytalan csúszását biztosítaná. Ezen felül az oszlop mentén történő mászhatóság is radikálisan csökkenne. Mindemellett a már korábban említett huzalvezetési problémát is orvosolná, így a szenzor feje csak oldalirányba, vízszintesen mozdulhatna el. A tervezett burkolat látványterve a 46. ábrán látható.



46. ábra A burkolattal ellátott kerítésoszlop (saját szerkesztés, emberi alak forrása: www.grabcad.com)

A burkolat polisziloxán típusú szilikongumiból készült vezetőkkel van kiegészítve az oldalt elhelyezkedő furatain, melyet a 47. ábra szemléltet. Így az elektromos huzalszál burkolattal történő érintkezésekor nem fog földelés vagy rövidzár kialakulni. A burkolat a talpán 6 db, a felső részén 4 db M10-es csavar helyezkedik el a biztos rögzítés és a könnyű oldhatóság érdekében. Ahhoz, hogy a huzalokra egyszerűen, azok kioldása nélkül felhelyezhető legyen, hosszanti vágatok helyezkednek el az oldalakon. Ezáltal egy esetleges szenzorcserekor könnyen levehető a burkolat a huzalok megbontása nélkül, ugyanakkor a lehető legjobban zárja el a külső szennyeződésektől a bent elhelyezett szenzorokat.



47. ábra A szigetelőkkel ellátott burkolat (saját szerkesztés)

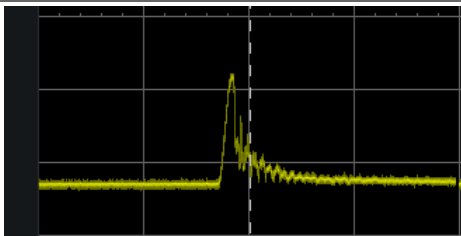
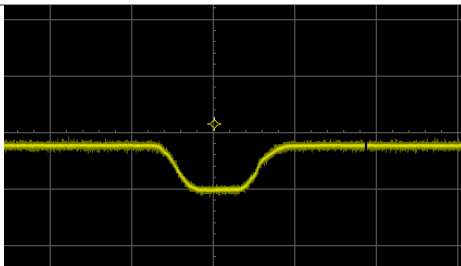
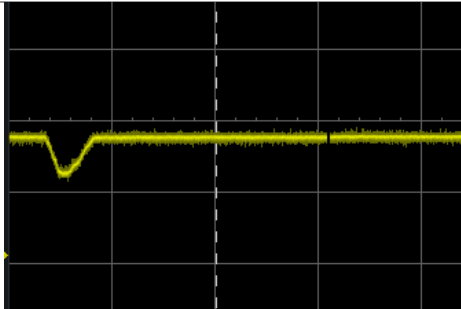
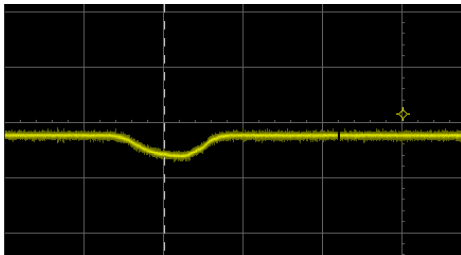
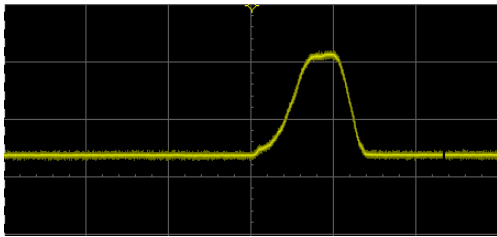
5.3 Komplex rendszervizsgálati teszt

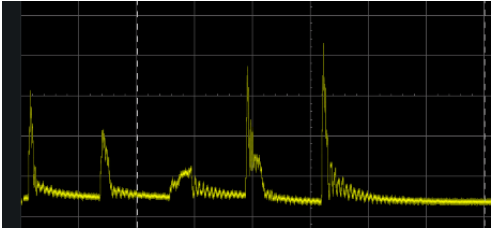
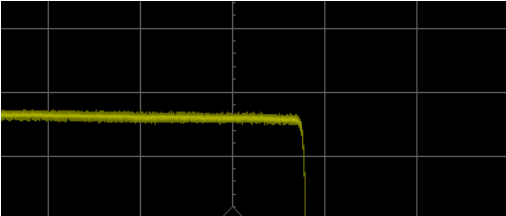
A tanulmány annak érdekében került elvégzésre, hogy a felügyelőszoftverrel ellátott mechanikai kivitelezés és a szenzorrendszer az elvártaknak megfelelően generál-e riasztást a kerítésen történő átjutási kísérletekről, valamint a behatolók cselekményeiről. Az események mind mesterségesen kerültek generálásra egy tesztkerítésen. A vizsgált esetek a következők voltak:

- Huzal hirtelen, egyszeri, rövid ideig tartó megrántása, majd elengedése: az elektromos huzalhoz érő egyén szimulációjához.
- Átmászás: a huzalon keresztüljutás kísérlete.
- Huzalok közötti átbújás: a szálak felfelé irányba történő szétfeszítésével történő átjutási kísérlet.
- Kerítésnek rontás: a kerítésnek szaladó, ütköző ember esetén.
- Letaposás: A huzal letaposása, a maximális függőleges irányú elmozdulás létrehozása több másodpercig tartó intervallumban.
- Bottal ütügetés: a huzalszára mért periodikus, ismétlődő ütéssorozat szigetelő anyaggal (pl.: faággal) kivitelezve.
- Huzalszakadás: szabotázi kísérlet esetén a szál elvágása.

A teszt során felvett jelalakok segítséget nyújthatnak az eszköz további fejlesztésére, mellyel pontosabb eseményazonosítás valósítható meg. A vizsgálatokról készült összefoglalás a 4. táblázatban látható, mely tartalmazza az esemény leírását, a szenzor kimenetein eső feszültség szinteket oszcilloszkóp segítségével ábrázolva, valamint a felügyelőszoftveren generált jelzést.

4. táblázat A lehetséges események, keletkezett jelalakjaik, illetve a felügyelőközpontba érkezett jelzés (saját szerkesztés)

Esemény megnevezése	Jelalak képe	Felügyelőprogram jelzése
Megrántás		Pillanatnyi állapot BEHATOLÓ! Nyugta  Középértéktől való eltérés 3 mm
Átmászás		Pillanatnyi állapot BEHATOLÓ! Nyugta  Középértéktől való eltérés 42 mm
Átbújás		Pillanatnyi állapot BEHATOLÓ! Nyugta  Középértéktől való eltérés 39 mm
Kerítésnek rontás		Pillanatnyi állapot BEHATOLÓ! Nyugta  Középértéktől való eltérés 9 mm
Letaposás		Pillanatnyi állapot BEHATOLÓ! Nyugta  Középértéktől való eltérés 25 mm

Bottal ütégetés		Pillanatnyi állapot BEHATOLÓ! Nyugta <input type="range"/> Középértéktől való eltérés 6 mm
Huzalszakadás		Pillanatnyi állapot BEHATOLÓ! Nyugta HUZALVÁGÁS! <input type="range"/> Középértéktől való eltérés 75 mm Korrektúra szükséges!

A teszt sorozat elvégzésével a szenzor működőképessége bebizonyosodott. Megállapítható, hogy megállná a helyét egy komplex vagyonvédelmi rendszer részeként.

6 TOVÁBBI FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A legfőbb jövőbeni fejlesztési célként több szenzor egyidejű felügyelete tűzhető ki, melyekből érkező riasztások a szenzorok helyzetéről is információt szolgáltatnak. Ezen felül a potenciométer cseréje is indokolt lehet a minél pontosabb mérés érdekében, mely alatt egy magnetostrickiós elven működő potenciométer értendő a jelenlegi mágneses kapcsolatú mutatóval ellátott lineáris potenciométer helyett.

A jelalakvizsgálati tesztnél keletkezett jelalakok felhasználhatóak a pontos eseménydetektáláshoz, mely a behatolók cselekedeteit határozhatja meg, így adva pontos képet az átjutási kísérletükről.

A zord környezeti körülmények okozta áramköri meghibásodás ellen egy IP66-os védettségű fokozatú elektromos kötődobozba történő integráció szükséges, mely a megfelelő védelemmel látja el az érzékeny áramköri elemeket a vízzel és porral szemben.

A rongálás elleni védelem kialakítása szempontjából célszerű egy a 46. és 47. ábrákon látható burkolat elkészítése és szenzorokra történő felhelyezése, mely a szenzor nagyobb méretű csapadékok elleni védelmét is megvalósítja.

A kommunikációs mód fejlesztését illetően a jelenlegi WiFi hálózaton alapuló adatcsere helyett a LoRa (Long Range – Nagy Hatótávolságú) hálózaton történő adatátvitel előremutató alternatíva lehet, hiszen így a felügyelőközpont akár több, mint 10 km-re is elhelyezkedhet a szenzoroktól.

7 ÖSSZEGZÉS

A dolgozatom során kifejlesztett eszközzel egy évek óta üzemelő huzalfeszesség-mérő rendszer hibáinak kiküszöbölése volt a célom, melynél törekedtem a piaci egyedülállóságra, így piackutatást végeztem, mely során a piacon megtalálható termékek hiányosságait, illetve hátrányait tártam fel. Ezen felül megvizsgáltam a komplex vagyónvédelmi rendszerek alkotóelemeit, illetve az elektromos vagyónvédelmi kerítések felépítését, valamint az ehhez tartozó szabványokat is.

A jelenlegi eszközök problémáit kiküszöbölve, egy lineáris elmozdulású mágneses potenciométer köré lett kiépítve a behatolásjelző rendszer. A szenzor felhasználhatóságáról való meggyőződésem érdekében alapvető tulajdonságait vizsgáltam. A vizsgálatok elvégzését követően megkezdődhetett a huzalfeszességmérő eszköz koncepciójának tervezése.

A szenzorhoz egy kerítésoszlopra csatlakoztatható tartókonzol került megtervezésre, továbbá egy a csúszkára applikálható huzalbefogó fej lett tervezve. A számítógépes modellezést követően 3D nyomtatással készültek el a tartó- és rögzítőelemek. Egy deszkamodell összeállítására is sor került, melyen elvégzésre került néhány teszt, melyek főként a nagyfeszültség okozta hatásokra irányultak. A teszt során kapott eredmény szerint a nagyfeszültségű áramjárta kerítésen történő alkalmazáskor a szenzorban néhány százaléknyi feszültség indukálódik, mely közös földelés esetén mérhetetlenné teszi a szenzor által szolgáltatott jelet. Ennek kivédése csak a szenzor lebegő földelésével valósulhat meg, így az eredeti tervtől eltérve – miszerint soros kommunikáció segítségével történt volna az adatok továbbítása – változtatás eszközölése vált szükségessé. Ez mind hardveres mind szoftveres újratervezést igényelt. A megtervezett áramkör számára egy védődoboz is készült, mely a durva szennyeződések, valamint a fizikai behatások ellen védi az érzékeny áramköri elemeket.

A hardver pontos megtervezését követően a szoftver kialakítása következett. Az elkészült szoftver segítségével lehetőség nyílik a szenzor állapotának folyamatos felügyeletére. A program riasztást generál behatoló detektálása esetén, vizualizálja a potenciométer pillanatnyi helyzetét, megjeleníti a középértéktől való eltérését, mely segítségével figyelmezteti a felügyelő személyzetet az esetleges kalibráció elvégzéséről. Mindemellett monitorozza az akkumulátor töltöttségi állapotát, valamint a mikrovezérlőbe érkező feszültség szintet. Az előre definiált értékektől való eltérés esetén figyelmeztető jelzést ad. A webfelületen egy eseménykövető táblázat is megtekinthető, mely összegzi az oldal betöltésétől számított riasztásokat, azok nyugtázását, a kalibrációs jelzés kezdetét, valamint annak elvégzését időbélyeggel ellátva.

A behatolásjelző eszköz működőképességére vonatkozóan mechanikai, illetve komplex

rendszervizsgálati tesztet végeztem egy tesztkerítésen. A mechanikai teszt során a szenzor elmozdulását vizsgáltam. A komplex teszt elvégzésével a kifejlesztett eszköz webfelületén létrejövő riasztást vizsgáltam mesterségesen létrehozott különböző behatolási cselekmények mellett, mint például szabotázs, átmászás, hirtelen megrántás, letaposás stb. A tanulmány során a kiadott feszültség szintek is monitorozásra kerültek a jövőbeli fejlesztések érdekében. Az elvégzett tesztek alapján megállapítható, hogy a létrehozott behatolásjelző rendszer az elvártaknak megfelelően működik, képes a különböző cselekmények bizonyos szintű azonosítására.

IRODALOMJEGYZÉK

- AsyncTCP könyvtár.* (2022). Forrás: <https://github.com/me-no-dev/AsyncTCP>
- Beer, G. (1954). A villamospásztor. *Magyar Technika*(9(9)), 510.
- Berek, L. (2014). *Biztonságtechnika*. Budapest: Nemzeti Közszerológálati Egyetem.
- Csikós, S. (2018). *PLC programozás 2*. Szeged.
- Dr. Halmai, A., & Dr. Samu, K. (2014). *Mikromechanika*. Budapest: BME MOGI.
- Dr. Istvánffy, E., Dr. Neugebauer, T., Dr. Dénes, P., Dr. Hoffmann, T., Dr. Tardos, L., Pál, L., & Neuhöffer, J. (1958). *Válogatott fejezetek a ferromágnesség köréből*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Elprocus. (2013). *I2S Protocol : Working, Differences & Its Applications*. Forrás: <https://www.elprocus.com/i2s-protocol/>
- ESPAsyncWebServer könyvtár.* (2022). Forrás: <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>
- Espressif. (2022). *ESP32 Adatlap*. Forrás: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Gingl, Z. (2020). *Mikrovezérlők Alkalmazástechnikája - Kommunikációs áramkörök*. Szeged.
- JVA Security Systems. (2021). *Taut Wire Monitoring Solutions 2021/2022*. Letöltés dátuma: 2022. június 19, forrás: <https://jvasecurity.com/catalogues/pdf/taut.pdf>
- JVA Security Systems. (2022). *Product Catalogue*. Letöltés dátuma: 2022. június 15, forrás: <http://www.stafix.co.za/stafixcataloguesec.html>
- Kenyeres, Á. (1994). *Magyar Életrajzi Lexikon 1000-1990*. Budapest: Akadémiai Kiadó. Letöltés dátuma: 2022. június 4, forrás: <https://mek.oszk.hu/00300/00355/html/index.html>
- Kiss, I. (2014). Behatolsájelző rendszer biztonsági szintjét befolyásoló tényezők. *Hadmérnök*, old.: 26-28. Letöltés dátuma: 2022. június 3, forrás: http://hadmernok.hu/142_03_kissics.pdf
- Kovácsné, L. M. (2017). Beer professzor emlékére. Letöltés dátuma: 2022. június 3, forrás: <https://www.gek.szie.hu/node/1840>
- Marrier, K. (2012). The 5 D's of Outdoor Perimeter Security. *Security Magazine*. Letöltés dátuma: 2022. június 15, forrás: <https://www.securitymagazine.com/articles/82833-the-5-ds-of-outdoor-perimeter-security>
- MTS Sensors. (2006). Magnetostrictive Linear-Position Sensors. Letöltés dátuma: 2022. június 18, forrás: https://www.controldesign.com/assets/wp_downloads/pdf/mts_sensors.pdf

- North Star High Voltage. (dátum nélk.). High Voltage Probes. Letöltés dátuma: 2022. június 11, forrás: <https://www.highvoltageprobes.com/products/high-voltage-probes/>
- P3 America. (2022). HEM16 Series. *Linear Motion Transducers*. Letöltés dátuma: 2022. június 18, forrás: <https://p3america.com/hem16-series/>
- Szikora, A. (1952). Tapasztalatcserenap a herceghalmi gazdaságban. *Újítók Lapja*, 4(14), 19.
- Utassy, S. (2009). *Komplex villamos rendszerek biztonságtechnikai kérdései*. Budapest: Doktori (PhD) értekezés.
- Variohm Eurosensor. (2022). What is a Linear Potentiometer? *Technical Blog*. Letöltés dátuma: 2022. június 18, forrás: <https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/what-is-a-linear-potentiometer->
- WayCon. (2022). Linear Potentiometers. Letöltés dátuma: 2022. június 18, forrás: <https://www.waycon.biz/products/linear-potentiometers/>

FELHASZNÁLT SZABVÁNYOK

- MSZ EN 60529:2015-ös szabvány: Villamos gyártmányok burkolatai által nyújtott védeettségi fokozatok (IP-kód) (IEC 60529:1989) (Degrees of protection provided by enclosures)
- MSZ EN IEC 60335-2-796 Háztartási és hasonló jellegű villamos készülékek. Biztonság. 2-76. rész: Villamos karám energiaellátó egységeinek kiegészítő követelményei (Household and similar electrical appliances. Safety. Part 2-76: Particular requirements for electric fence energizers)
- MSZ EN 50131-1:2007 Riasztórendszerek. Behatolás- és támadásjelző rendszerek. 1. rész: Rendszerkövetelmények (Alarm Systems. Intrusion and hold-up systems. Part 1: System requirements)
- IEEE-802.3-2008: IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra A komplex vagyonvédelmi rendszer összetevői	4
2. ábra Elektromos kerítés huzaljainak bekötése	9
3. ábra Az elvégzett karbantartások normalizált eloszlása.....	11
4. ábra JVA Genius Taut Wire Tensioner	12
5. ábra NEMTEK Tension Wire Sensor és GALLAGHER Tension Sensor	12
6. ábra EL-FAR EL-SENS és VIPER szenzorok	13
7. ábra GALLAGHER Disturbance Sensor és MAGAL Fensor	13
8. ábra MAGAL YAEL szenzor	13
9. ábra SENSTAR FiberPatrol FP1150.....	14
10. ábra STINGER Climb Detection System.....	14
11. ábra WayCon LME12-F-150 lineáris potenciométer.....	17
12. ábra Magnetostrikiós elven működő lineáris potenciométer.....	18
13. ábra A szenzor oszcilloszkópos jelalakvizsgálata.....	19
14. ábra A potenciométer karakterisztikája.....	19
15. ábra A szenzor kitérésekor felvett jelalak	20
16. ábra Az összeállított hardver	20
17. ábra Az akkumulátor áramkörének kapcsolási rajza.....	23
18. ábra A DC-DC konverter áramkörének kapcsolási rajza	24
19. ábra A szenzor áramkörének sematikus ábrája	25
20. ábra Az áramkör védőburkolata	26
21. ábra A kommunikáció kapcsolati ábrája	27
22. ábra A WiFi kapcsolat létrehozásának kódja	28
23. ábra A behatolást jelző kódrészlet.....	29
24. ábra A kezelői felület indítási képe	31
25. ábra A behatolásra figyelmeztető jelzés	31
26. ábra A behatolási vészjelzés webfelületen való megjelenítéséért felelős programrész	32
27. ábra A korábbi események táblázata	33
28. ábra Behatolási jelzés esetén a táblázatbővítésért felelős programrész	34
29. ábra A szenzor csúszkájának helyzetét kijelző kódrészlet	35
30. ábra Korrigálási figyelmeztetés.....	36
31. ábra Az elvágott huzal esetén megjelenő jelzés	36
32. ábra Akkumulátor alacsony feszültség szintjének hibajelzése.....	37

33. ábra A konzol és a behelyezett szenzor látványterve	38
34. ábra A konzol és a szenzor elől- és felülnézetből	38
35. ábra A konzol és a behelyezett szenzor oldalnézetből	39
36. ábra Az oszlop látványterve	39
37. ábra A deszkamodell	40
38. ábra Az energiaadó és a FenceScope-pal mért értékek	41
39. ábra A huzalszál nagyfeszültségű terhelése melletti üzem tesztje	42
40. ábra A huzalra eső feszültség nagysága oszcilloszkóp segítségével mérve.....	42
41. ábra A közös földre kapcsolt szenzor (baloldal) és a lebegő földeléssel ellátott szenzor (jobb oldal) karakterisztikája	43
42. ábra A szabadban elvégzett nagyfeszültségű teszt	44
43. ábra Nagyfeszültségű terhelés melletti ellenállásmérés	44
44. ábra A kerítésre helyezett szenzor oldal- és előlnézetből	45
45. ábra A felhelyezett szenzor felülnézetből	45
46. ábra A burkolattal ellátott kerítésoszlop.....	46
47. ábra A szigetelőkkal ellátott burkolat.....	47

MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

1. melléklet: A vezérlőegység kapcsolási rajza
2. melléklet: Huzalfeszességmérő rendszer összeállítási rajza
3. melléklet: Védőburkolat
4. melléklet: Oszlop
5. melléklet: Konzol
6. melléklet: Huzalbefogó fej
7. melléklet: Huzalvezető gyűrű

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Mindenkinek, aki segítségével hozzájárult dolgozatom megírásához. Köszönöm a témavezetőmnek, Dr. Gogolák Lászlónak a hasznos útmutatásait, támogatását. Továbbá köszönöm a konzulensemnek, Dr. Koncz Miklósnak a témaötletet, a szakmai segítséget. Köszönettel tartozom a metALCOM Zrt.-nek, valamint a cég Mérnöki támogatás csoportjának, hogy betekintést nyerhettem az általuk kialakított vagyonvédelmi rendszerbe és vizsgálatokat végezhettem rajta. Illetve külön köszönöm a családomnak és barátaimnak a tanácsaikat, támogatásukat.