

SZAKDOLGOZAT

Tumó Márkó Renátó
Mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnök, BSc

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnök, BSc

Élelmiszeripari mérőrendszer tervezése

Belső konzulens:	Dr. Korzenszky Péter Emőd habilitált egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék
Külső konzulens:	Kurgyis Gábor Műszaki Tanácsadó, Arany Kapu Zrt.
Készítette:	Tumó Márkó Renátó (HSDKN8) Nappali tagozat

Gödöllő

2024

**MŰSZAKI INTÉZET MEZŐGAZDASÁGI ÉS ÉLELMISZERIPARI
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Erőgéptechika specializáció
SZAKDOLGOZAT
feladatlap**

Tumó Márkó Renátó (HSDKN8)

részére

A szakdolgozat címe:

Élelmiszeripari mérőrendszer tervezése

Feladatkiírás:

Irodalmi adatok alapján gyűjtse össze az élelmiszeriparban alkalmazott súly- és hőmérsékletmérési alkalmazásokat. Tervezzon Arduino alapú mérőrendszert, mely alkalmas a két vizsgált paraméter megjelenítésére és az adatok gyűjtésére. Végezze el a mérőrendszer kalibrálását is. Végezzon költségszámítást az új mérőrendszer kialakítására.

Közreműködő tanszék: Járműtechnika Tanszék

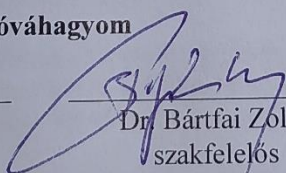
Külső konzulens: *Kurgyis Gábor, Műszaki tanácsadó, Arany Kapu Zrt.*

Belső konzulens: *Dr. Korzenszky Péter Emőd, habilitált egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék*

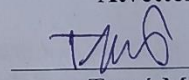
Beadási határidő: 2024. április 22. (hétfő) 12.00 óra Gödöllő,
2023. november 15.

Jóváhagyom


Prof. Dr. Kiss Péter
tanszékvezető

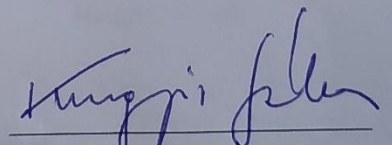

Dr. Bártfai Zoltán
szakfelelős

Átvettem


Tumó Márkó Renátó
hallgató

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024. *04.* hó *18.* nap


(külső konzulens)
Arany Kapu Zrt.
6413 Kunfehértó, IV. körzet 6.
OTP Bank Rt.: 11732064-20049021
1.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS.....	1
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	2
2.1 Tömeg és hőmérsékletmérés alkalmazása az élelmiszeriparban	2
2.1.1 Tömegmérés alkalmazása az élelmiszeriparban	2
2.1.2 Hőmérsékletmérés alkalmazása az élelmiszeriparban	7
2.2 Analóg és digitális jel fogalma	11
2.3 Mikroelektronika fejlődése és jelentősége az élelmiszeriparban	13
2.4 Mérőcellák alkalmazásának módszerei	16
2.4.1 Az erőmérő cellák működése	16
2.4.2 A nyúlásmérő bélyegekkel szerelt erőmérő cella felépítése	16
2.4.3 A piezoelektromos cellák.....	18
3. A TÖMEG ÉS HŐMÉRSÉKLET MÉRŐRENDSZER KIALAKÍTÁSA	20
3.1 A mérőrendszer kalibrációja.....	20
3.1.1 A hőmérséklet mérő szenzor kalibrációja	20
3.1.2 A tömegmérés kalibrációja	23
3.2 A felhasznált eszközök.....	25
3.2.1 A tápegység jellemzői.....	25
3.2.2 A mikrokontroller jellemzői	26
3.2.3 Az erőmérő cella jellemzői	27
3.2.4 A mérőerősítő egység jellemzői.....	28
3.2.5 A hőmérsékletmérő szenzor jellemzői.....	29
3.2.6 Az LCD panel jellemzői	29
3.3 A megépített mérőrendszer felépítése és működése.....	30
3.3.1 A mérőrendszert működtető programkód	31
3.3.2 A mérőrendszer tulajdonságai.....	36
3.3.3 A mérőrendszer teljes bekötése.....	37
4. GAZDASÁGI SZÁMÍTÁS	38
5. Összefoglalás	42
6. IRODALOMJEGYZÉK	46
MELLÉKLETEK	49
Nyilatkozatok	50
Köszönetnyilvánítás	52

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

Napjainkban a mérőrendszerek kritikus részét képezik a precíziós mezőgazdaságnak és az élelmiszeriparnak. Különböző rendszerekbe és technológiákba integrálva megtalálhatóak. Kiváló példáját szemlélteti a modern mezőgazdaság és a malomipar, ahol a vetőmag talajba juttatásától kezdve, a termény betakarításán majd a feldolgozásán keresztül, egészen a kiszolgálásig szükség van tömeg mérésre. A hőmérséklet mérés nem csak azért fontos, mert az élelmiszeriparban gyakran a gazdaságossággal és a megfelelő élelmiszeripari minőséggel van együtt említve, hanem mert precíz mérés elvégzése esetén, fontos a környezeti hőmérséklet figyelembevétele. Személy szerint mindig érdekelt a mikroelektronika, és a mérések lehető legpontosabb kivitelezése.

A szakdolgozatomban azt tűztem ki célomul, hogy megvizsgálom a gyakorlatban a leghatékonyabb mérőrendszereket, és azok alkalmazási területeit. Először megvizsgálom a tömeg és hőmérés jelentőségét az élelmiszeriparban. Kitérek a szenzorok által is használt jelekre, a mikroelektronika fejlődésére és jelentőségére, illetve a mérőcellák alkalmazására, működésére. Majd megtervezek, megépítek egy Arduino alapú tömeg és hőmérőrendszert, amely képes szigetüzemben is működni. A mérőrendszert meglévő ismereteim alapján a célnak megfelelően programozom, és ezt követően a megépített mérőrendszerben használt szenzorokat kalibrálom. A tömeg- és a hőmérsékletmérést egy általam meghatározott mérési tartományban fogom kalibrálni: előbbinél 0-1000g, utóbbinál pedig 0-100 °C mérési tartományt alkalmazva. A kalibrált mérőrendszer mérési eredményeit elemzem, és valós időben leolvashatóvá teszem egy LCD kijelzőn, és a soros porton keresztül az Arduino fejlesztő környezetben is. A megépített mérőrendszert összehasonlítom már létező mérlegekkel, és a mérési tulajdonságait ezekhez a mérlegekhez viszonyítva összegezem és értékelem. Végül gazdasági összeggést végzek a mérleg megépítésénél felmerülő költségek alapján.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Tömeg és hőmérsékletmérés alkalmazása az élelmiszeriparban

Ebben a fejezetben az élelmiszeriparban alkalmazott tömeg és hőmérséklet mérési módszerek eszközeit, és lehetőségeit fogom bemutatni néhány gyakorlati példával.

2.1.1 Tömegmérés alkalmazása az élelmiszeriparban

A különbséget a tömeg és a súly között az alábbi 1. táblázatban fogom bemutatni.

1. táblázat: A különbség a súly és a tömeg között

Tömeg	Súly
A tömeg nem más, mint a test tehetetlenségének a mértéke.	Az az erő, amellyel nyugalom esetén a test hat az alátámasztásra vagy felfüggesztésre
jele: m	jele: G
mértékegysége: kg	mértékegysége: N
Állandó mennyiség, értéke független a földrajzi helytől.	Változó mennyiség, az értéke függ a földrajzi helytől.

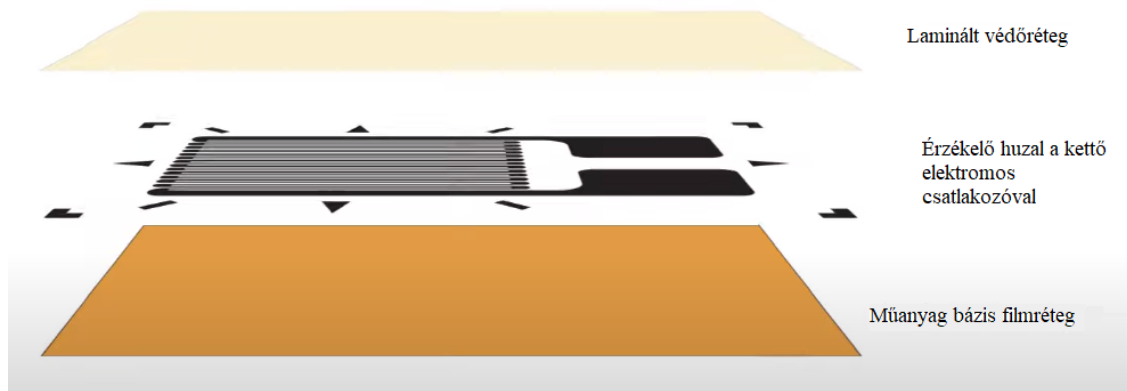
A tömegmérés élelmiszeripari szempontból több termék technológiáját is végig kíséri. Kiváló példa erre a malomipar, ugyanis itt a gabona betakarításától a feldolgozáson át, egészen a kiszolgálásig minden folyamatban jelen lehet egy mérleg. Amennyiben precíziós hatékonyabb termelést szeretnénk elérni elengedhetetlen az alkalmazása, akár egy betakarítógépben használva a betakarított termény tömeg alapján a termés ellenőrzésére. **(Jóri, 2017)**

A tömegmérés élelmiszeripar béli felhasználási területei közül az egyik kiválóan szemléltethető terület a malomipar. A malomiparban szemes termény őrlésekor könnyen mérhetővé válik az őrlőberendezésbe bemenő, áthaladó tömegáram, valamint a kilépő tömegáram is. A leggyakoribb mértékegysége ennek a $\frac{t}{h}$ illetve a $\frac{kg}{s}$. Ezen paraméterek vizsgálatának segítségével meghatározható a töltettömeg, úgy, hogy a belépő is kilépő adattömeg idő szerinti felvett diagramjait egymáshoz hasonlítjuk. További összefüggések vonhatóak le belőle kalapácsos őrlő berendezés esetében a kalapácssebességre, és a darafinomságra vonatkozóan is. **(Fogarasi, 2008)**

A kalapács sebesség és a darafinomság módosíthatóságával már befolyásolható, hogy milyen liszt fog készülni az őrlés során. Az elkészült lisztnél egy egységes jelölési rendszert használnak csomagoláson feltüntetve, amelyből megtudhatjuk a liszt tulajdonságait. A jelölési rendszert tekintve áll egy betű és egy számjelzésből. A betű jelölésből megtudhatjuk azt, hogy

milyen fajtájú a liszt. Fajtáját tekintve lehet búzafinomliszt (BL55), búzakenyérliszt (BL80), búzarétesliszt (BFF55), világos rozsliszt (RL90), sötét rozsliszt (RL125), tésztaipari búzaliszt (BTL50), félféher búzakenyérliszt (BL112). A felsorolt fajtáknál a számjelzés a hamutartalmat adja meg, amiből a liszt színére lehet következtetni. Ez azért fontos, mert a különböző lisztek különböző tulajdonságokkal bírnak, amik miatt könnyebb a különböző területeken felhasználni őket. Például az eteltcsakokosan.hu-n olvashatóan: „A BL55 is finomszemcsés őrlemény, a búzamagbelsőre jellemző színű. Héjrészt ez a liszt típus gyakorlatilag nem tartalmaz, hamutartalma legfeljebb 0,60%. A búzafinomliszt nedves sikér tartalma legalább 27%, ami kenyér készítésére is alkalmassá teszi, bár inkább olyan pékáruk, mint a vizes zsemle készítésére gondolják legjobbnak.” Amíg egy búzakenyérliszt teljesen más felhasználásra alkalmas. Az eteltcsakokosan.hu oldalon olvashatóan „A BL80 finomszemcsés őrlemény, púderfinomságú, melynek színe a búzamagbelső és a héj árnyalatától függ. A liszt típusának megfelelő mértékű finomszemcsés héjrészt tartalmaz, amit a szabvány szerinti 0,61-0,88 százaléknyi hamutartalomra utaló 80-as szám is mutat. A búza (fehér) kenyérliszt nedves sikér tartalma legalább 28% kell legyen, és fehér kenyér készítésére ezt a liszt fajtát tekintik a legalkalmasabbnak.” **(http1)** A tömegmérést a gyakorlatban a nyúlásmérő bélyeggel, illetve bélyegekkel célravezető meghatározni. A nyúlásmérő bélyegeket egy hagyományos mérleghez képest a precízebb, gyorsabb, és egyszerűbb digitális mérés miatt, valamint a mért adatok kezelhetősége, és ezáltal ellenőrizhetősége miatt célszerűbb alkalmazni. Ez főképpen olyan helyen előnyös, ahol több mérést is kell alkalmazni. A nyúlásmérő bélyegekben a működésüket tekintve nyomó, illetve húzó terhelő erővel arányos nagyságú ellenállásváltozások lépnek fel. **(SUBA, 1973)**

A nyúlásmérő bélyegek az 1. ábrán látható módon áll egy laminált védőrétegből, egy elektromos vezetőből, aminek a nyúlásból adódó keresztmetszet változásból eredően megváltozik az ellenállása, valamint egy hordozó bázis alaprétegből, ami a legtöbb esetben műanyag. A nyúlásmérő bélyegek felépítése az alkalmazási területtől függően eltérhet.

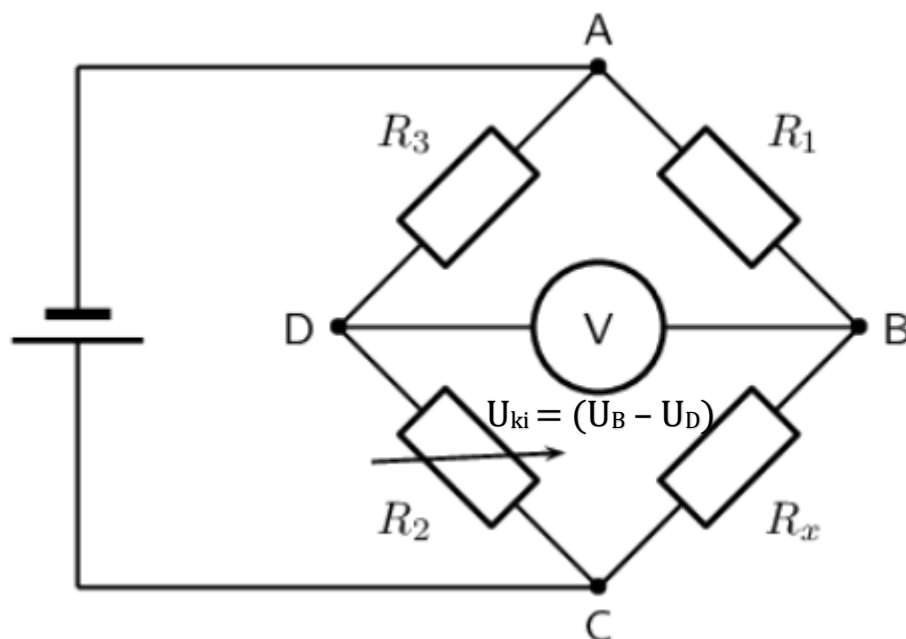


1.ábra: A nyúlásmérő bélyeg felépítése

(http2)

A nyúlásmérő bélyegeket többféle módon köthetjük be az erre a célra kialakított erőmérő cellákban. Mindegyik módszer esetében Wheatstone hídba kell kötni a nyúlásmérő bélyeget. Ezt a bekötést az alábbi 2.ábra szemlélteti. A Wheatstone híd nagyon fontos találmány abból a szempontból, ha kismértékű ellenállás változást szeretnénk mérni. Amint említettem be köthetünk egy vagy több bélyeget a hídba. Több bélyeget akkor célszerű bekötni a hídba, ha a hidat önkompenzálóvá szeretnénk tenni a hőtágulással szemben, mivel a nyúlásmérő bélyegnek is van hőtágulási együtthatója. A nyúlásmérő bélyegek hőtágulásából adódó hibákat kétféle módon lehet kiszűrni:

- Aktív kompenzálással: Az egyik esetben az aktívan mérő bélyeg mellé a hídba beépítenek egy passzív bélyeget ugyanazon anyag terheletlen pontjára, félhidas vagy teljes hidas kapcsolással, illetve a másik esetben egy ugyanolyan anyagra ragasztják fel a passzív bélyeget. Ezt a megoldást alkalmazva így félhídba lesznek kötve.
- Önkompenzáló bélyegek használatával, ahol a nyúlásmérő bélyegek érzékelő huzala azonos hőtágulási együtthatóval rendelkezik, mint a vizsgált test. A valóságban az ötvözeteken végzett kismértékű ötvözőanyagváltoztatásokkal végzik a hőmérséklet tágulásának befolyásolását és finomhangolását.



2. ábra: A Wheatstone híd kapcsolás

(http3)

Működését tekintve az ábrán lévő C és A pontokon tápláljuk meg a hidat, míg a B és D mérőpontokon a nyúlásmérő bélyegekből adódó feszültségnövekedés arányos lesz a terhelés növekedésével. Az híd lényege, hogy az R_1 , R_2 , R_3 , ellenállások ismert értékűek és az R_x ellenállás helyére kötjük be a nyúlásmérő bélyeget. Amennyiben összekötjük a B és D pontot, és a kettő között galvanométerrel feszültséget mérünk akkor megtudhatjuk az R_x ellenállás helyére bekötött nyúlásmérő bélyeg ellenállását, amiből pedig a megfelelő számítással következtethetünk a nyúlás vagy a rá ható erő értékére. Amennyiben a galvanométerrel a mért érték 0, abban az esetben a hidat kiegyensúlyozott állapotúnak tekintjük. Ez azért fontos, mert ha a nyúlásmérő bélyeg ellenállása megváltozik, akkor a híd kiegyensúlyozatlanná válik, és áram fog folyni a B és D pont között, arányosan a terhelés mértékével. A híd terheléskor akkor válik ismét kiegyensúlyozottá, ha az ábrán is látható módon az R_2 ellenállás helyére egy változtatható ellenállású potenciométert kapcsolunk, és addig állítjuk az ellenállását, amíg meg nem egyezik az nyúlásmérő bélyeg megnövekedett ellenállásával, ekkor a híd újra kiegyensúlyozottá válik, és a B valamint a D pont között a galvanométer ismét 0 átmenő áramot mér. A példának említett esetben $\frac{1}{4}$ hídról beszélünk. Azért nevezzük $\frac{1}{4}$ hídnak mert a nyúlásmérő bélyeg a 4 ellenállás közül 1-et tesz ki. A $\frac{2}{4}$ vagy más néven félhídnak nevezett esetben már 2 nyúlásmérő bélyeget alkalmazunk a hídban, amíg a teljes híd esetében pedig mind a 4 ellenállás helyén nyúlásmérő bélyeget fogunk alkalmazni. A gyakorlatban a teljes

hidat szokták erőmérő cellákban, illetve mérlegben használni, ugyanis ebben az esetben a híd magától képes kiszűrni azokat az erőket, amelyek befolyásolnák a pontos mérés eredményét, illetve kiszűrjük a hőtágulásból adódó pontatlanságot, amit ha figyelmen kívül hagynánk statikus hibához, azon belül pedig véletlen hibákhoz vezetne. A véletlen hiba értéke ismeretlen volna, valamint véletlenszerűen változhatna. A leggyakrabban használt ötvözetek a mérőhuzalok esetében a következő hőtágulási együtthatóval rendelkeznek:

- Titán: $9.0 \frac{PPM}{^{\circ}C}$
- Ferrites acél: $11 \frac{PPM}{^{\circ}C}$
- Ausztenites acél: $16 \frac{PPM}{^{\circ}C}$
- Alumínium: $23.1 \frac{PPM}{^{\circ}C}$

A mérőhuzalnak az ellenállása függ a keresztmetszetétől, így az ellenállását az alábbi képlettel határozhatjuk meg:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (1)$$

ahol:

ρ – a vezető fajlagos ellenállása [$\Omega \text{ m}^2/\text{m}$],

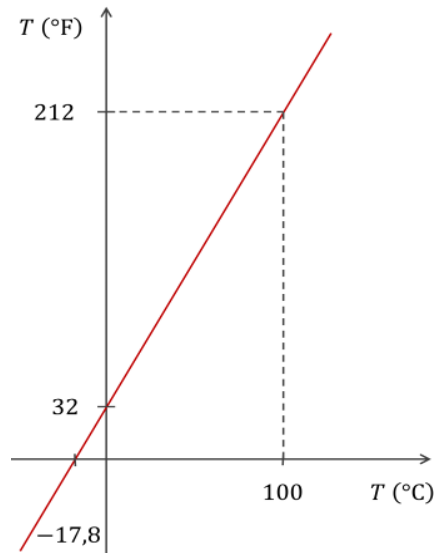
l – a vezető hossza [m],

A – a vezető keresztmetszete [m^2].

A nyúlásmérő bélyegeknél azonban szignifikáns hátrányai közé tartozik, hogy csak normál erőt tud mérni egy adott irányban. Ez azért probléma, mert a nyúlás egy testen általában nem egy értékű, hanem egy tenzor mennyiség. Ennek a problémának a megoldására a nyúlásmérő bélyegeket általában 3 darabjával használják egymástól 45° -ra vagy 60° -ra beépítve. Ezt az elrendezést rozettának hívják. A rozettákat az erre a célra gyártott erőmérő cellák megfelelő beépítési helyére lehet felhelyezni ragasztási eljárással, amely egy nagy technológiai figyelmet igénylő folyamat. ([http4](#))

2.1.2 Hőmérsékletmérés alkalmazása az élelmiszeriparban

A hőmérséklet mérésénél több hőmérséklet mérőskálát is használhatunk, az SI rendszerben is használatos Kelvin mértékegységen kívül a gyakorlatban a legelterjedtebb a 3. ábrán is látható Fahrenheit és a Celsius.



3.ábra: Fahrenheit-Celsius hőmérséklet skála

(http5)

A hőmérő használatával képesek vagyunk a hőmérséklet mértékéről információt szerezni, az adott hőmérőben lévő mérési határon belül. Egy hőmérő választásánál fontos szempont, hogy a hőkapacitása elenyésző legyen a mérni kívánt közegéhez képest. Ha ezt a szempontot figyelmen kívül hagyjuk, akkor a hőnek egy adott mennyisége a hőmérő belső hőmérsékletének megváltoztatására fog felhasználandni, ezáltal téves mérési eredményekre vezetne. A hőmérőnek az anyagától függően változó időre van szüksége ahhoz, hogy felvegye a mérendő közeg hőmérsékletét. A változáshoz szükséges időt időállandónak nevezzük. Az időállandó függ a hőmérő hőtároló képességétől és a hőátadó képességétől. Az időállandó ezért nem csak a mérési pontosságot, hanem a mérési időt is befolyásolja, ami az élelmiszeriparban használt folyamatok esetében kritikus fontossággal bír. Ezért a gyakorlatban a hőmérő időállandója alapján választjuk ki, hogy melyik hőmérő típust alkalmazzuk. Gyorsan változó folyamatok esetében, mint a hőkezelés olyan hőmérőre van szükség, amelynek az időállandója, és ezáltal a hőtehetetlensége is minél kisebb. (Márföldi, 2010)

Az élelmiszeriparban a hőmérséklet mérés egy kritikus folyamat. A hőmérsékletmérést alkalmazhatjuk hús hűtőházban, ahol a környezeti hőt, és a hűtőház energetikai tulajdonságait vesszük figyelembe. Az optimális hőmérséklet szint elérésére nem csak a gazdaságosság miatt kell törekedni, hanem azért, mert a hőmérséklet befolyással van a hús, vagy egyéb hűtést, illetve

fagyasztat igénylő élelmiszeripari termék mikrobiológiájára. Egyes élelmiszeripari termékek, mint a gyorsfagyasztott parajkrém esetében az optimális hűtést vizsgálva a mezofil aerob mikrobaszám nem csak lelassulhat hanem csökkenésnek indulhat. **(Wimmer, et al., 1980)**

A hőmérőket csoportosíthatjuk aszerint, hogy a mért testel vagy közeggel érintkezésbe kerülnek-e. Az érintkezés nélküli hőmérőket pirométernek nevezzük, amellyel egy test által sugárzott hőt lehet mérni. Az érintkezéses hőmérőket pedig kontakt hőmérőnek nevezzük, és működésük szerint tovább csoportosíthatjuk mechanikus és elektromos elven működő hőmérőkre.

A mechanikus elven működő hőmérők az alábbiak:

- Fémrudas hőmérő: Ebben az esetben egy fémrúd lineáris jellegű hőtágulását használjuk fel,
- Bimetál: Két különböző hőtágulási együtthatóval rendelkező összeerősített fémréteg hőtágulásakor hajlító feszültség keletkezik. Ezt mérve tudhatjuk meg a hőmérsékletet,
- Folyadéktöltésű: A folyadékok (higany, etanol) térfogati tágulását kihasználva tudhatjuk meg a hőmérsékletet egy skála segítségével,
- Folyadéknymásos rugós hőmérő: A rendszer folyadékkal van feltöltve és a hőmérséklet hatására megnövekvő nyomásváltozást tudjuk mérni, ebből következtethetünk a hőmérsékletre.

Az elektromos elven működő hőmérőket a következő felsorolás mutatja:

- Termoelemek: Két különböző fém összeérintésekor a két fém között elektromos potenciál különbség lép fel, ezt kontaktpotenciálnak is nevezik. Egy zárt vezető hurokban azonos hőmérséklet esetében a kontaktpotenciál összege zérus. Amennyiben hőmérséklet különbség lép fel a csatlakozási pontok között, akkor termoelektromos erő lép fel, és egy zárt körben ennek hatására termoáram keletkezik.

A termofeszültség (ε) függ a két fém anyagi minőségétől, valamint a csatlakozó a huzalok csatlakozó pontjain mérhető hőmérséklettől. Egy összefüggésben ez a következő módon írható le:

$$\varepsilon = a \cdot (T_A - T_B) = a \cdot T_{AB} \quad (2)$$

ahol:

a – A termoelem érzékenysége, melynek mértékegysége $[\frac{mV}{K}]$,

$T_{AB} - T_A$ és T_B csatlakozási pont hőmérséklet különbsége [K].

- Ellenállás hőmérők: Az elektromos ellenállás összefüggésben van a hőmérséklettel. Hőmérséklet esetében egy széles intervallumban megfelelő az alábbi lineáris összefüggés:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha (T - T_0)) \quad (3)$$

ahol:

T – tetszőleges hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$],

T_0 – referencia hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$],

R – az ellenállás T hőmérsékleten [$^{\circ}\text{C}$],

R_0 – az ellenállás T_0 hőmérsékleten [$^{\circ}\text{C}$],

α – a hőmérsékleti együttható, (réz esetén: $3,92 \cdot 10^{-3}$) [$1/^{\circ}\text{C}$].

A fém ellenállás hőmérőkben lévő huzal az anyagukat tekintve készülhet rézből, alumíniumból és más anyagból. Az ellenállás hőmérők egyik jellegzetes tulajdonsága, hogy hőtehetetlenségük nagy. (**http6**)

- Érintkezés nélküli hőmérők: Az érintkezés nélküli hőmérséklet mérési feladatokra gyakran alkalmaznak infravörös hőmérsékletmérőt.

Az infravörös hőmérsékletmérők (pirométerek) az érintkezésmentes hőmérsékletmérési adottságukból fakadóan egyszerűen használhatóak. Működésükben kulcsszerepet játszik, hogy egy abszolút nullafoknál nagyobb hőmérséklettel rendelkező test infravörös sugárzást bocsát ki. A kibocsátott sugárzás hullámhosszt befolyásolja a mérés pillanatában a test hőmérséklete. Általában akkor lehet a legoptimálisabb méréseket végezni velük, ha a környezeti hőmérséklet alacsonyabb, mint a mérni kívánt test hőmérséklete. A hőmérséklet sugárzásának egyik alap törvénye az alábbi Stefan-Boltzmann törvény. (**Haraszti,2017**)

$$E_{(f)}(T) = \sigma \cdot T^4 \quad (4)$$

ahol:

$E_{(f)}$ – fekete test kibocsátó képessége,

σ – Stefan-Boltzmann féle állandó $5,67 \cdot 10^{-8} [\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}^4]$,

T – A hőmérséklet [K].

A képletből megállapítható, hogy egy T hőmérséklettel bíró fekete test egységnyi felülete egységnyi idő alatt kisugárzott energia arányos a test hőmérsékletének negyedik hatványával. Egy ideális esetben a fekete test képes az összes hőenergiát felvenni, és azt emittálni. A valóságban azonban ilyen nem létezik, hiszen a különböző anyagok különböző tulajdonságokkal rendelkeznek, és ebből fakadóan különböző módon képesek az elnyelt hőenergiát kisugározni. Minél eltérőbb tulajdonságokkal rendelkeznek egy fekete testtől, annál

nagyobb korrekcióra van szükség a mérési eredményeknél. A valós hőmérsékleti intenzitást úgy tudjuk meg, ha figyelembe vesszük az emissziós, a reflexiós, és a transzmissziós tényezőt. Ezen tényezők közül a valóságban a transzmissziós tényező a legtöbb anyagnál elhanyagolható. A hőmérséklet mérés pontosságát jelentősen befolyásolja az, hogy a test emissziós képességét minél jobban megközelítsük. A napjainkban használatos hőmérséklet mérőkkel ez megoldható. **(Haraszti,2017)**

A hőmérsékletváltozást a lehető legpontosabban olyan testeknél tudunk mérni amelyeknek sötét érdes anyaguk van. Az érintésnélküli hőmérséklet mérés azonban kivitelezhetetlen olyan testeken, amelyeknek felületük polírozott, vagy optikailag átlátszó. A mért érték pontatlanságát az befolyásolhatja, hogy az infravörös fénynek milyen közegen kell áthaladnia, és hogy helyesen vagy helytelenül választják-e meg a méréshez használt hullámhossz tartományt. További hibás eredményekhez vezetnek a kibocsátott infravörös sugár és a napsugárzás közti interferenciák. A művelet gyorsasága miatt is célszerű a mérést többször is elvégezni. Összességében a mérési művelet gyorsasága, biztonságossága és hatékonysága miatt érdemes ezt a hőmérési módszert használni. **(Haraszti,2017)**

Az infravörös sugarak típusai között különbséget tehetünk. Az egyik típus a közeli infravörös sugárzás (*angolul Near InfraRed, rövidítve NIR*) amelynek hullámhossza 750-1400 nm. Ezt a hullámhosszt a gyakorlatban kommunikációs célokra alkalmazzák. Azt az infravörös sugárzást, aminek hullámhossza 1400-3000 nm között van, rövid hullámhosszú infravörös sugárzásnak nevezik (*angolul Short-Wave InfraRed, rövidítve SWIR*), és telekommunikációs célokra használják. Az infravörös sugárzáson belül a közepes hullámhosszú infravörös sugárzásnak (*angolul Mid-Wave InfraRed, rövidítve MWIR*), nevezik azt az infravörös sugárzást aminek a hullámhossza 3000-8000 nm. A közepes hullámhosszú infravörös sugárzást a gyakorlatban a haditechnikában használják pl. önirányító rakéták önmaguk irányításakor. Az infravörös sugárzás további típusai közé tartozik a hosszú hullámhosszú (*angolul Long-Wave InfraRed, rövidítve LWIR*) aminek hullámhossza 8000-15 000 nm, és a távoli hullámhosszú infravörös sugárzás aminek a hullámhossza 15 000 nm és 1mm között van (*angolul Far InfraRed, rövidítve FIR*). **(Kutasi, 2022)**

2.2 Analóg és digitális jel fogalma

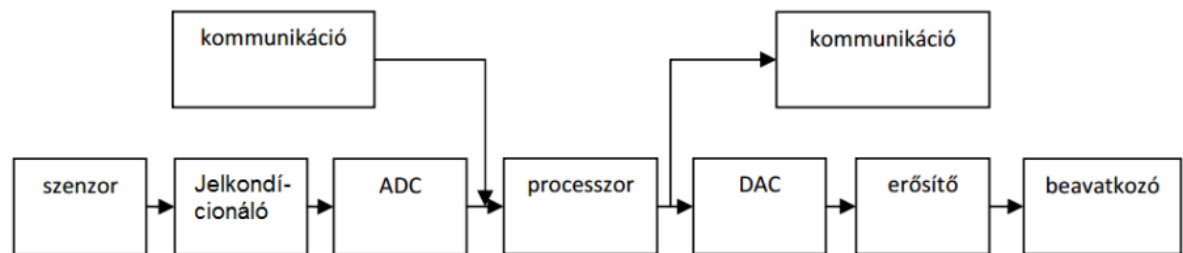
A jelek fontosak az információ hordozás szempontjából, és a gyakorlatban matematikailag függvényekkel írhatóak le. A függvények egy függő és független változót tartalmaznak, és ezek között teremtenek kapcsolatot. A független változó értékeiből épül fel a függvény értelmezési tartománya, amíg a függő változó értékeiből a függvény értékkészlete épül fel. A legtöbb függvény például tekinthető úgy, hogy az értelmezési tartomány alatt az időt, az értékkészleten pedig a fizikai értéket értjük. Az értelmezési tartományuk és az értékkészletük alapján 4 típusú jelet tudunk megkülönböztetni. **(Kuczmann,2006)**

- Folytonos idejű jel: A jel az idő összes értékére értelmezve van, amennyiben a jel értéke is folytonos, akkor analóg jelről beszélünk.
- Diszkrét idejű jel: Amennyiben az analóg jelből mindig meghatározott időközönként veszünk mintát, akkor az időt tekintve diszkrét, amíg az értékkészletében tekintve folytonos jelet kapunk.
- Kvantált (diszkrét értékű) jel: A jelek csak bizonyos értéket vehetnek fel az értékek közül.
- Digitális jel: A jel az időt és az érték készletét figyelembe véve diszkrét értékeket vesz fel.

A jelek tovább csoportosíthatóak az adott időpillanatban ismert értéke alapján. Determinisztikusnak nevezzük akkor, ha a mért értéke minden időpillanatban ismert, vagy ha nem ismert, de meghatározható valamilyen módszerrel. Ebben az esetben a jelet időfüggvénnyel le tudjuk írni. Amennyiben a jel mérésekor kapott eredmények eltérő eredményeket szolgáltatnak, nem tudjuk időfüggvényekkel leírni. Ebben az esetben statisztikai úton a valószínűség számítás használatával tudjuk meghatározni többek között a jel várható értékét. **(Hetesi, 2017)**

A gyakorlatban használt szenzorok általában egy fizikai jellemző érzékelésekor az érzékelt mennyiségnek megfelelő analóg jelet bocsátanak ki. A kibocsátott analóg jelet a legtöbb esetben kezelni kell. A kezelése, más néven kondicionálása a 4.ábrán látható módon az első feladatkörbe tartozik. A kondicionálás alatt érthető egy jelerősítő beiktatása, a beérkező analóg jel felerősítésére, vagy egy RC szűrő alkalmazása a zajok, tehát a zavaró jelek kiszűrésére. Ezt követően, ahogyan a szakdolgozatomban esetében is, szükség van a kondicionált jel digitális jellé való alakítására, egy analóg-digitális jelátalakító (*angolul Analog Digital Converter, rövidítve ADC*) amit a jelfeldolgozó processzor, másnéven jelprocesszor képes feldolgozni, és amennyiben szükséges ezek alapján utasításokat adni a beavatkozóknak. Valós környezetben a jelprocesszor külső jelek által van kapcsolatban a környezetével. A külső jelek kétfélek

lehetnek. Lehetnek vezérlőjelek, amik valamilyen aktivitást váltanak ki a processzorban.
(Hetesi, 2017)



4.ábra: A jelfeldolgozás lépéseit szemléltető blokkvázlat

(http7)

2.3 Mikroelektronika fejlődése és jelentősége az élelmiszeriparban

Ebben a fejezetben Magyarországon a mikroelektronika élelmiszeriparban történt fejlődések történetét mutatom be, olyan példákkal, amelyek aktuálisak és hasznosak. A mikroelektronika fejlődésének az elején, az 1950 és az 1960-as években két fontos célt kellett elérnie: az elektromos rendszerek méretének csökkentését és a csökkentett mérethez képest magasabb funkcionalitást. Ugyanakkor a mikroelektronikai technológiák már akkor is, csak úgy, mint napjainkban rohamos fejlődésben voltak, aminek főbb okai közé tartozott a gazdaságosság és hatékonyság növelése, és a mikroelektronika terjedése különböző felhasználási területeken. **(Szanyi, 2018)**

A mikroelektronika terjedésének egyik meghatározó ereje többek között az élelmiszeriparban is abból adódik, hogy kevesebb befektetéssel kompakt, magas funkcionalitást és minőséget lehet realizálni, ezáltal ösztönzően hat a technológiában kevésbé fejlett, illetve kevesebb tőkével rendelkező vállalkozóra a nagyobb mértékű beruházás és fejlődési lehetőség tekintetében. A technológiai forradalmak közül az ötödik volt, aminek áttörései közé sorolhatjuk a mikroprocesszort. Az ötödik technológiai forradalmat azért tekintjük 1971-től, mert az Intel ekkor jelentette be az első processzorának kifejlesztését, amit a későbbiekben számítógépekben, mikrokontrollerekben, és mérőműszerekben is felhasználtak. A technológiai forradalmak vagy másnéven műszaki-gazdasági paradigmaváltások azért tekinthetők korszakos változásnak, mert az érintett technológiák fejlődése összekapcsolódik, és ezáltal egyik technológia segíti előre a másikat, és fordítva. Tehát például a mikroprocesszorok megjelenése nagy hatással volt a mérőrendszerek digitalizációjában, ezáltal pedig akár a hatékonyabb gyártástechnológiákban. Ezek a forradalmak innovációjuk révén társadalmi létformák egészére kiterjednek, és ezért tekinthetők paradigmáknak. A paradigmák által újabb technológiák és ezáltal újabb iparágak jöhetnek létre, és ezáltal újabb, hatékonyabb termelő eszközök is. **(Szanyi, 2018)**

Már régen is tisztában voltak azzal, hogy az élelmiszeriparban is a mikroelektronikai rendszerek alacsony meghibásodási eséllyel működtek, manapság pedig minél inkább fejlettebb a gyártástechnológia, annál nagyobb a megbízhatósága egy mikroelektronikai terméknek. Ugyanakkor azzal is tisztában voltak, hogy a mikrochipek fejlesztése során, ha nagyobb teljesítményt szeretnének elérni akkor a teljesítmény mellett nagyobb meghibásodási kockázatot rejt magában. A megbízhatóságot tudták, hogy tovább növelhetik azáltal, hogy az IC-ket nagyobb integráltsággal alkalmazzák. További problémát képviselt a jelfeldolgozási idő, ezért csökkenteni kellett a belső késleltetést, és a jel futási idejét. Ezt a problémát két féle módon is megoldhatták. Az egyik megoldás a már említett integráltság növelése, hiszen ezzel a

megoldással csökken a jelvezetékek geometriai értelemben vett hossza, ezáltal a fizikai méret tovább csökkenne, a sebesség pedig növekedne. A másik megoldás az újabb félvezető anyagok alkalmazása, mint például a GaAs és InP, valamint az ezeken alapuló három és négykomponensű szilárd oldatok. Az integrált áramkörök sebességét összehasonlítva megfigyelhető, hogy a szilíciumban a telített elektronsebesség $10^7 \frac{cm}{sec}$ ami alig kevesebb, mint a GaAs-ban elérhető elektronsebesség. Ezért kicsi a különbség a GaAs IC (FET) és a szilícium IC sebessége között. **(Schneider, 1988)**

A már említett integráltságot úgy tudták növelni, ha a chip felületét, vagy pedig a chip elemsűrűségét növelték. Amennyiben a chip felületét szerették volna növelni akkor gazdaságossági problémákba ütközhettek. A gazdasági problémák több gyártási probléma egyidejű megoldásának kihívásából eredtek. Ilyen probléma a gyártáskor a környezetből bekerülő por, és szennyező anyagok, a maszkokon lévő hibák a gyártás alatt, és magának a gyártástechnológiának a hatékonysága. Amennyiben a chip elemsűrűségét szerették volna növelni, abban az esetben 4 megoldási lehetőségük adódott. Az egyik megoldási lehetőség az volt, hogy az úgynevezett legkisebb elemek méretét tovább csökkentették. A második az volt, hogy a helykihasználás szempontjából tovább optimalizálták az alkatrészek tervezését. A harmadik az volt, hogy túréseket csökkentik, a negyedik pedig az volt, hogy a szigetelések, és az összeköttetések által elfoglalt területet csökkentik. Azonban ez újabb problémákat vetett fel, mint például a hőmérséklet leadó felület csökkenése, amivel magasabb üzemi hőmérséklet keletkezik, valamint egyes tranzisztorok csatornájában csökken az elektronszám, ezáltal fennál annak a veszélye, hogy az általános radioaktív háttérsugárzás képes kapcsolni a kondenzátort, vagy hogy a $0,25 \mu m$ csatorna hosszúságnál az adalékolás változásai hatnak a nyitófeszültségre, ami azt jelentette, hogy a nyitófeszültség szabályozhatatlanná válik. Ezért teljesen új technológiai műveletek bevezetését látták szükségesnek, mint például az ion implantáció, a száraz kerámiai marás, vagy a plazmás oxidáció. **(Schneider, 1988)**

A mikrokontrollerek speciális számítógépeknek definiálhatjuk, amik egy chipből épülnek fel. A chipben integráltan megtalálható a processzor, a memóriák, és az Input/Output vezérlők. A processzort két fő részből áll. Áll egy logikai, vagy másnéven aritmetikai egységből, és áll egy CU egységből, amely vezérlő jelre reagál, és vezérlő jeleket ad. A mikrokontrollereket rendeltetésüktől függően gyárthatják 8, 16, és 32 bites processzorral, azonban a legelterjedtebbnek a 16 bites mondható. Architektúráját tekintve a mikrokontrollerek úgynevezett Harvard architektúrát használnak, ami eltér a számítógépekben használt Neumann architektúrától. Neumann János 1945-ben írta meg „First Draft of a Report on the EDVAC”

című tanulmányát, amiben leírta a manapság is használt Neumann féle tárolt programvezérlésű számítógépek működését. **(Menyhárt, 2014)**

Az első ilyen számítógépet a Princeton Egyetemen építették meg. Az újítás a régebbi számítógépekhez képest az, hogy a programok az adatokkal együtt a memóriában vannak tárolva, és nem pedig mechanikus kapcsolókkal kellett beállítani. Ezáltal egyik előnye az volt, hogy kevesebb volt az időigénye annak, ha a parancsokat meg szerették volna változtatni, vagy újabb parancsokat bevinni. A másik előnye pedig az volt, hogy így lehetségessé vált a programot generáló program létrehozására, ami a fordítóprogramok alapját képezi. A Neumann féle számítógép felépítését tekintve állt egy CPU egységből, egy memória egységből, és Input/Output perifériákból. A Harvard architektúra megnevezése a Harvard Mark 1-es számítógépből ered. A számítógép úgynevezett lyukkártyáról volt képes beolvasni az utasításokat, és az adatok fizikailag is különböző tárolókban voltak tárolva. A processzorok két elválasztott interfésszel vannak felszerelve. Az egyik az utasításmemóriával áll kapcsolatban, amíg a másik az adatmemóriával. Egyik legjelentősebb előnye abból származik a Neumann elven működő számítógépekkel szemben, hogy képes volt egyszerre két műveletet is végezni. A Harvard architektúrát ezért már nem csak számítógépekben, hanem jelfeldolgozó processzorok is alkalmazzák. A mikrovezérlők különböző memória típussal vannak ellátva. A többféle memória típus nagyban meghatározza felhasználhatóságának sokszínűségét. Ezek az alábbiak **(Menyhárt, 2014)**:

- ROM: csak olvasható memória (*angolul Read Only memory*).
- EPROM: Elektronikusan programozható ROM. Ebből adódóan újraprogramozható, és teljes tartalmát csak UV fénnel lehet törölni.
- EEPROM: Elektronikusan törölhető és programozható ROM.
- FLASH: EEPROM egyik változata, előnye, hogy gyorsan írható és olvasható.
- RAM: Véletlen elérésű memória, tartalmát csak tápfeszültség mellett őrzi meg (*angolul Random Access Memory*).

A mikrovezérlők általában 5V-os tápfeszültséggel üzemelnek, ezért könnyen mozgathatóvá tehetőek, például zsebtelepek használatával. Amennyiben a zsebtelepek közel vannak a lemerülésükhöz, és a tápfeszültség a minimális szint alá csökken abban az esetben beavatkozik egy úgynevezett Brown out érzékelő. Erre azért van szükség mert a túl alacsony tápfeszültség instabillá és kiszámíthatatlanná teszi az elektromos rendszert. **(Menyhárt, 2014)**

2.4 Mérőcellák alkalmazásának módszerei

Ebben a fejezetbe az erőmérő cellák alkalmazásának lehetőségeit mutatom be a végén egy olyan példával, ami jól szemlélteti az oktatásban és azon belül a mechanikai tanulmányokban látványossága miatt segítő hasznát.

2.4.1 Az erőmérő cellák működése

Az erőmérő cellák hatalmas előnye az alkalmazási területük szélessége. Az erőmérő egység két féle képen működhet, de fontos, hogy mind a két esetben az alakváltozásukból adódóan generálnak alacsony feszültség jelet. A két módszer a következő: nyúlásmérő bélyegek alkalmazása és a piezoelektromos cellák alkalmazása.

2.4.2 A nyúlásmérő bélyegekkel szerelt erőmérő cella felépítése

A nyúlásmérő bélyeges megoldásnak előnyei közé tartozik, hogy a nyúlásmérő bélyegek hosszú élettartamúak és alkalmasak statikai, dinamikai mérésekre egyaránt, ezeket a méréseket kiválóan lehet alkalmazni modelleknél oktatási célra, ahogy azt a 5. ábra is szemléltetik.

A cellák különböző kialakításukból adódóan képesek a rájuk ható különböző erőkomponenseket kimutatni feszültség értékekkel, ez azért fontos mert a mérnöki gyakorlatban kevésszer adódik tisztán egy irányú erő. A kialakításuk a következő lehet:

- Nyomócella: jellemzően hengeres alakú, kizárólag a tengely irányba ható nyomó erőket képes felvenni.
- Húzó-nyomó cella: alakja azonos a nyomócella alakjával, szintén tengely irányba ható erőket képes felvenni, de nem csak húzó, hanem nyomó erőt is.
- S-cella: S-alakú hasáb amelynek működése azonos a húzó-nyomó cellákkal.
- Többkomponensű erőmérő cella: alakja szintén hengeres, azonban alkalmas X,Y, és Z tengely irányú erők húzó és nyomó felvételére is.



a)



b)



c)



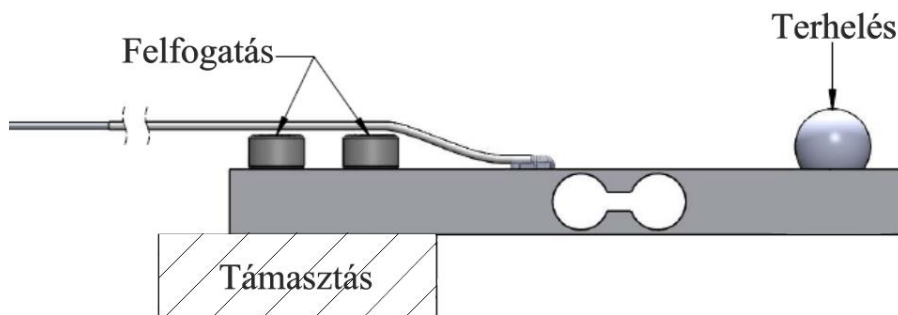
d)

5. ábra:

Az erőmérő cellák típusai

a) K-2222 Nyomócella ([http8](#)); b) K-1427 Huzó-nyomó cella ([http9](#));
c) STG S-cellá ([http10](#)); d) MCS 10 Többkomponensű erőmérő cella ([http11](#));

A gyakorlatban igen sokszor előforduló mérőcella alkalmazást szemléltet a következő 6. ábra. Ezt a megoldást egy befogott tartó modelljeként lehet felfogni, mely koncentrált erő hatására változtatja a felragasztott bélyegek ellenállását, mely arányos a terhelő erő nagyságával.



6 ábra: A mérőcella alkalmazása mérési pozícióban

([http12](#))

2.4.3 A piezoelektromos cellák

Mint említettem, a piezoelektromos cellák esetében elhelyezett piezo elemek (melyek anyaga lehet kerámia vagy kristály) is a nyomásból adódó deformáció hatására állítanak elő töltést, azonban fontos megemlíteni, hogy a piezo kristályok képesek fordítva is működni.

Feszültség változáskor minimális alakot változtatnak, ezt használják ki a modern, közvetlen befecskendező rendszerrel szerelt, számítógép által vezérelt autók injektoraiban a precíz többmenetes befecskendezéskor, ugyanis gyorsan és jól vezérelhető, ezáltal CO₂ emisszió és fogyasztás csökkentést generálva. **(Madarász Róbert Rossi, 2015)**

A piezoelektromos cellákat régebben kizárólag dinamikus mérésekhez használták, ugyanis csak dinamikus nyomó erő hatására keletkezik pár pC (pikocoulomb) mennyiségű töltés. Ezt bár kiküszöbölték technikailag a töltés erősítők alkalmazásával, de a piezoelektromos cellákat hosszútávon továbbra sem célszerű statikus mérésekre használni és mint említettem csak nyomásból adódó erő esetén képesek töltést felhasználni, bár ezek helyigénye még kisebb.

A rendelkezésre álló eszközök, és információ alapján úgy döntöttem, hogy a mérőrendszer célja érdekében fontosabb az élettartam, mint a kompaktsága, így a mérőrendszerben nyúlásmérő bélyegekkel felszerelt erőmérő cellákat alkalmaztam. A mérlegcellák körül övezik az élelmiszeriparban az ellátási lánc egészét. A mezőgazdaságban például a kompaktságából és egyszerűségéből adódóan vetőmag előkészítéskor ezermagtömeg mérésre is alkalmazhatunk mérlegcellát, valamint a vetés folyamata közben a vetőgépben található precíz mag tömeg mérésre. A precíziós talajelőkészítés során számtalan esetben fontos információ a talaj ellenállási erő ismerete, melynek mérése ugyancsak megvalósítható nyúlásmérő bélyegek segítségével. Alkalmazhatjuk akár mezőgazdaságban egy magtartályban lévő mag mennyiségének meghatározására is. **(Antal et al., 2010)**

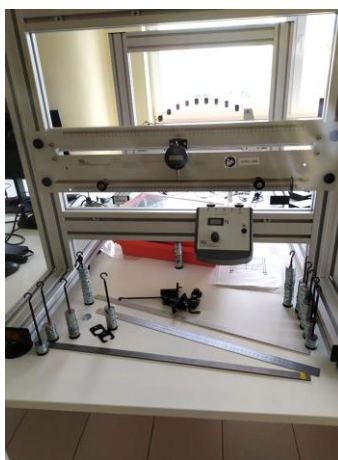
Az Arduino csak pár programsorral többet igényel ahhoz, hogy ha az említett magtartályon belüli, vagy vetőgépben magtömeg mérésre használjuk, akkor az LCD kijelzés mellett hang vagy fényjelzéssel jelezzon a gépkezelőnek a magok tömegéről. A régebbi kombájnnak esetében ezáltal kiküszöbölhető az a probléma is, hogy egy esetlegesen helytelenül beállított cséplő berendezéssel, aratás során túl gyorsan, vagy túl lassan töltse a magtartályt, ezáltal csökkentve az ebből adódó veszteségeket. Mivel Arduino-t alkalmaztam ezért a bő szoftveres és hardveres háttérnek köszönhetően, ha összekötjük egy GPS egységgel, egy adat tárolóval és egy GSM egységgel, akkor egy régebbi kombájn esetében is a precíziós gazdálkodáshoz hasonlóan az adott földterület különböző pontjain betakarított termény mennyiséget láthatjuk, vagy vizualizálhatjuk egy központi számítógép segítségével, ahol megtalálható lesz az összes adat.

Ugyanakkor működőképes volna, ha ugyanerre a mérlegcellás alapra az Arduinora kötünk egy hang érzékelőt, amit berakva a kombájn szalmarázó ládája mögé hang alapján képes volna a magveszteséget, vagy az eddig felsoroltokat együttvéve költséghatékonyan elemezni, ezáltal serkenteni a mezőgazdaságban dolgozó kisebb vállalatokat az olcsóbban megvalósítható precíziós gazdálkodás felé. **(Tamás, 2001)**

Alkalmazhatjuk még ezen túl a betakarítást követően a szállító tehergépjármű mérésére, alkalmazhatjuk a malomiparban, akár a liszt mérést követően a lisztből élelmiszeripari terméket előállító pékségben is. Ugyanez a körforgás elmondható a haszonállat tenyésztés szempontjából is, hiszen meghatározó egy vállalat életében a költséghatékonyság. Amennyiben a haszonállat tenyésztő vagy mezőgazdasági termelést végző vállalatnak több mérlegre van szüksége, akkor elég akár egy már hitelesített mérleghez kalibrálni a projektben épített mivel az előállítás szempontjából sokkal kedvezőbb, így a mérlegeken sok költséget megspórolhat vele a vállalkozó. A projektben készített mérő elektronikát kalibrálhatjuk erőmérő cellákhoz is, melyeket használhatunk kutatási vagy oktatási célra. A következő fényképek az oktatás szempontjából való hasznosítását mutatják be, Mechanika témakörből. **(Tamás, 2001)**



a)



b)



c)

7. ábra:

*Nyúlásmérő bélyeg alkalmazása az oktatás szempontjából
a) mérőerősítő; b) lehajlást mérő modul; c) tartószerkezet rúderőinek meghatározására
alkalmas egység*

3. A TÖMEG ÉS HŐMÉRSÉKLET MÉRŐRENDSZER KIALAKÍTÁSA

Az élelmiszeriparban is alkalmazható mérlegcella szoftveres részét Arduino nyílt forráskódú elektronikai fejlesztőplatform alkalmazásával valósítottam meg. Az eszköz hardveres részét további mikroelektronikai eszközöket felhasználva építettem meg. A megvalósításra került eszköz hat fő részből, tápegységből, központi feldolgozó egységből, a tömeg mérésére használt mérőcellából, az ehhez szükséges mérő erősítő egységből, egy hőmérséklet mérő szenzorból, és egy LCD kijelzőből áll. A szükséges kalibrációkat, és az összetevők jellemzőit az alábbiakban fogom ismertetni. Az összetevők pontos megnevezését az alábbi felsorolás tartalmazza.

- Tápegység: YwRobot Power MB-102,
- Központi feldolgozó egység: Arduino Nano,
- Erőmérő cella: 1Kg YZC-131,
- Mérőerősítő egység: HX711,
- LCD kijelző egység: Qapass LCD ,
- DS18B20 hőmérő szenzor.

3.1 A mérőrendszer kalibrációja

Ismertetve a mérőrendszer fő összetevőit, megkezdtem a hőmérséklet mérő szenzor, majd a mérőcella kalibrációját.

3.1.1 A hőmérséklet mérő szenzor kalibrációja

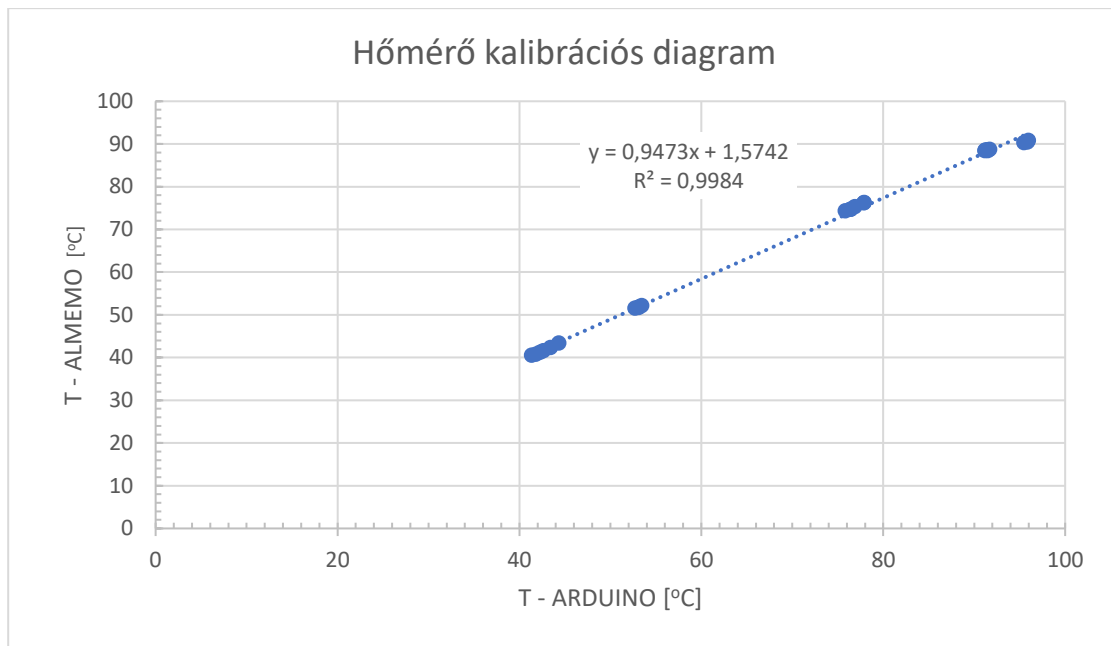
A mérőrendszerben használt DS18B20 hőmérő szenzornak hőmérsékletét egy Almemo típusú műszerhez csatlakoztatott Pt-100 (platina huzallal rendelkező) ellenállás hőmérő hőmérsékletével hasonlítottam össze. Az összehasonlítás menete úgy történt, hogy először csapvizet kezdtem melegíteni az élelmiszerlaborban egy elektromos fűtő berendezéssel, aminek 6 fokozata volt. A fűtő berendezésen található volt egy visszajelző lámpa, ami akkor aludt el, ha a fűtő relé lekapcsolt. Így a mérés kezdetekor amikor kialudt a visszajelző lámpa, akkor az 1. fokozatú tartományban lévő hőmérséklet értékek között volt a fűtőberendezés hőátadó lapjának hőmérséklete. Azonban figyelembe kell venni, hogy a vizsgált folyadék közeg később éri el a fűtőberendezés által kibocsátott hőt, továbbá a szenzoroknak is figyelembe kellett venni az időállandóját. A folyadék melegítése közben a szenzorok végig a közegben voltak, így hamarabb és fokozatosabban vették át a közeg hőmérsékletét. A mért értékek leolvasását akkor

kezdttem meg, amikor a mért hőmérséklet értékek az etalonműszer kijelzőjén állandósulni látszottak. Ekkor elkezdtem leolvasni és feljegyezni az egyidőben mért hőmérséklet adatokat az etalonműszer és a kalibrálni kívánt mérőrendszer esetében. Minden adatgyűjtéskor 3-3 adatot olvastam le azért, hogy ezeknek az átlagát véve minél pontosabb adatokat kapjak a kalibráció beállításakor. A hőmérséklet növekedésekor az Arduino platformon használt DS18B20 adatai eltértek a hőmérséklet növekedésével. Ezt vizsgálva kettő megoldási lehetőségre jutottam.

- A vizsgált adatok átlagát figyelembe véve egy átlag kalibrációs értéket határozok meg a vizsgált hőmérséklet tartományban, amit végig figyelembe fog venni a rendszer a hőmérséklet értékek feldolgozásakor.
- Az összehasonlítás során feljegyzet adatokat figyelembe véve elkülöníték olyan tartományokat, ahol a két rendszer által mért hőmérséklet eltérés nagyobb egy általam meghatározott értéknél.

Amennyiben az első lehetőséggel kívánok korrigálni, akkor készítenem kell egy kalibrációs görbét. Amennyiben a második lehetőséggel kívánok korrigálni, akkor a feljegyzett adatokat veszem figyelembe. A vízmelegítő 1. fokozatában 40 °C mért értéknél a kettő mérőrendszer között az eltérések átlaga 1,29 °C ,ezért ebben a tartományban ez lenne a korrekciós érték. A következő tartomány a vízmelegítő 2. fokozata 70 °C hőmérséklettel, ahol a mért értékek különbsége az 1. fokozatban történt kalibrációt figyelembe véve is 1,6 °C. Ezért ebben a fokozatban az átlagolt hőmérséklet különbség már 2,9 °C. A harmadik kalibráció a vízmelegítő 3. fokozatában 95 °C történik, ahol a mért értékek különbsége már 2,3 °C. A mért értékek leolvasása előtt mindig vártam, hogy a mért értékek az etalonműszeren állandósuljanak.

A mért adatokat koordináta rendszerben ábrázolva az x-tengelyre az Arduino által mért hőmérséklet adatokat, az y-tengelyre pedig a kalibráló mérőműszer (Almemo) értékeit vettem fel. A következő ábra a hőmérő kalibrációs diagramját mutatja.



8.ábra: A hőmérő kalibrációs egyenlete

A kalibrációs ábra tanulmányozása alapján arra jutottam, hogy az Arduino és az Almemo által mért értékek egyezését kifejező R^2 értéke alapján a kalibrációból eredő hiba kevesebb, mint 1%, ezáltal a jelenlegi kalibrációval az épített mérőrendszer alkalmas a pontosságot igénylő hőmérséklet mérési feladatok elvégzésére 0 és 100 °C közötti hőmérséklet tartományban.

A kalibrációs egyenlet azt mutatja meg, hogy az Arduino által mért hőmérséklet értékek hogyan viszonyulnak egy pontosabb műszer által mért hőmérsékleti adatokhoz. Az általam készített hőmérő egység kalibrációs egyenlete:

$$T_{\text{alm}} = 0,9473 T_{\text{ard}} + 1,5742$$

ahol,

T_{ard} – az Arduino által mért adatok [°C],

T_{alm} – a tényleges mért és kijelezni kívánt adatok [°C].

3.1.2 A tömegmérés kalibrációja

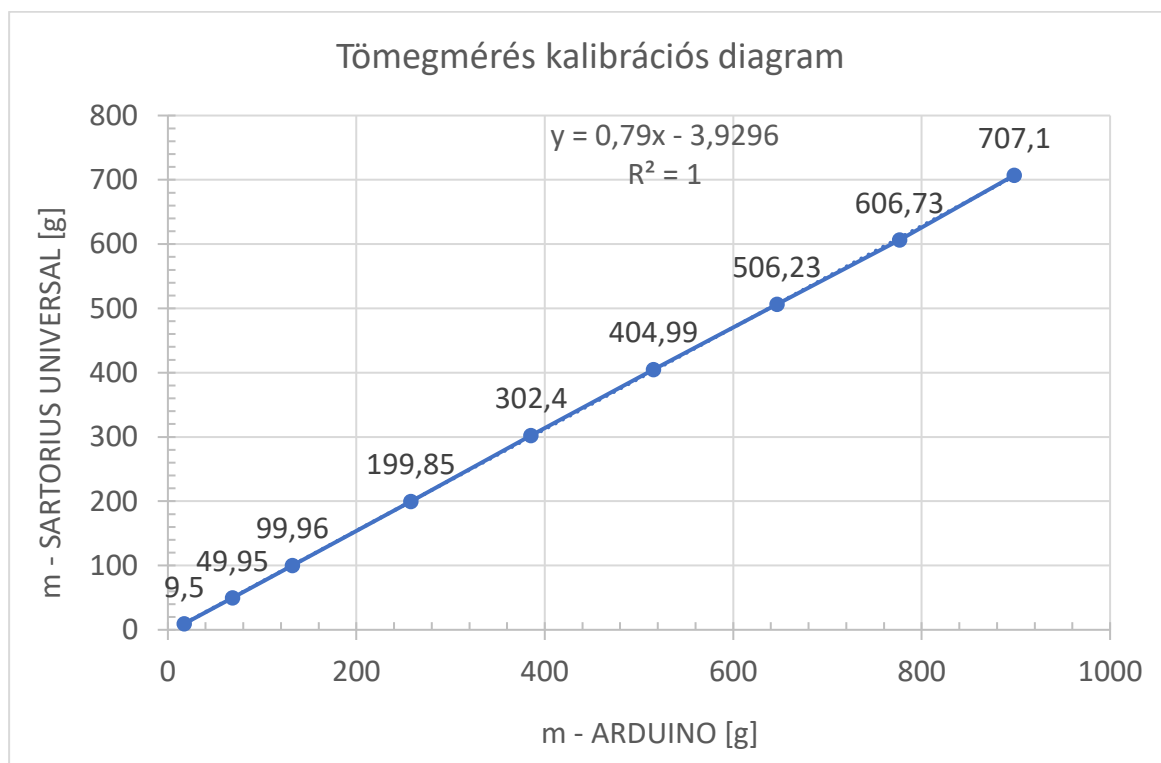
A tömegmérés kalibráció elvégzésekor a megépített mérőrendszer tömegmérési eredményeit hasonlítottam össze egy Sartorius Universal U6100S típusú mérleggel.

A Sartorius Universal mérleg jellemzőit az alábbi 2.táblázat részletezi.

2.táblázat: A Sartorius Universal mérleg jellemzői ([http13](http://13))

Mérleg neve [-]	Mérési felbontás [g]	Mérési tartomány [g]
Sartorius Universal U6100S	0,01	5-6100

Az alábbi 9.ábra a tömegmérésre vonatkozó kalibráció egyenletet és a kalibrációhoz felhasznált ismert tömegeket is szemlélteti. A felhasznált tömegek a következők voltak: 10g, 50g, 100g, 200g, 300g, 400g, 500g, 600g, 700g. A mért adatokat koordináta rendszerben ábrázolva az x-tengelyre az Arduino által mért tömeg adatokat, az y-tengelyre pedig a kalibráló mérleg (Sartorius) értékeit vettem fel. A következő ábra a tömegmérés kalibrációs diagramját mutatja.



9. ábra: A tömegmérés kalibrációs diagramja

A kalibrációs egyenlet azt mutatja meg, hogy az Arduino által mért értékek hogyan viszonyulnak egy pontosabb műszer által mért tömeg adatokhoz. Az általam készített tömegmérő egység kalibrációs egyenlete:

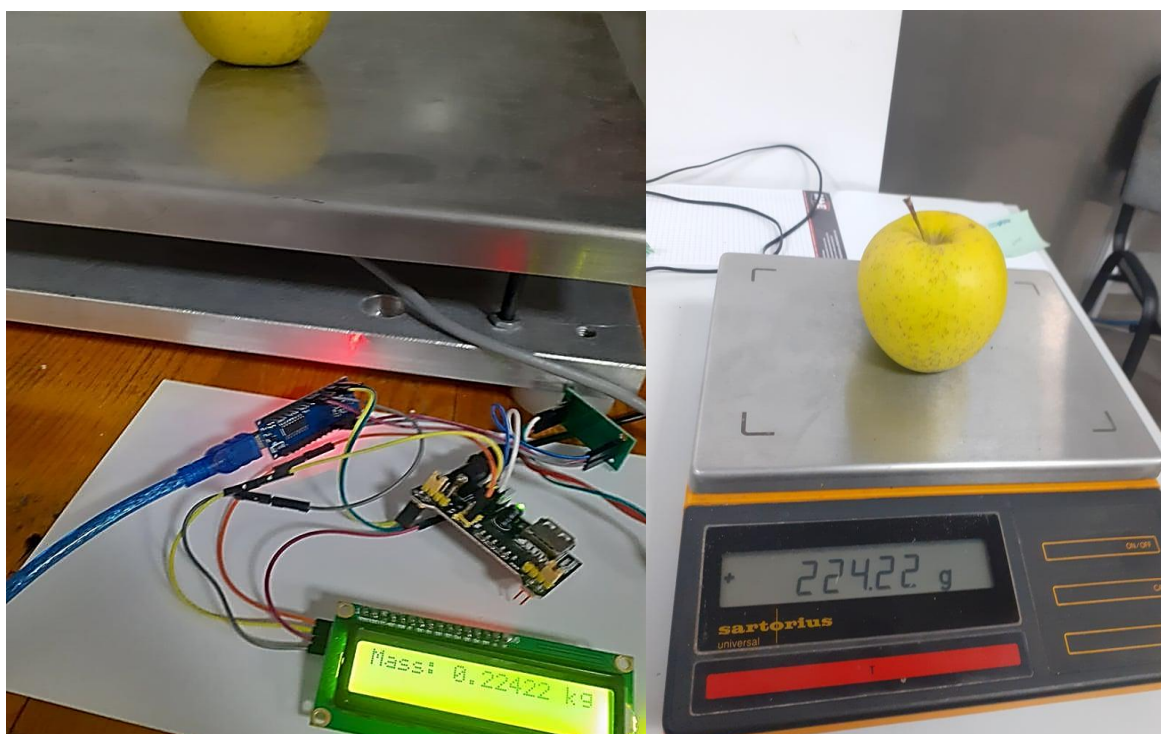
$$m_{\text{sar}} = 0,79 m_{\text{ard}} - 3,9296$$

ahol,

m_{ard} – az Arduino által mért adatok [g],

m_{sar} – a tényleges mért és kijelezni kívánt adatok [g].

A mérési eredményeket úgy nyertem, hogy már meghatározott tömegeket helyeztem a Sartorius mérlegre, majd az Arduino nano-val összekapcsolt mérlegcellára. Az alábbi ábrán megfigyelhető a kalibrálás ellenőrzésére szolgáló gyümölcs. A kalibráció elvégzésekor mindig megvártam, hogy a mért értékek állandósuljanak, vagy a két szélső érték közötti értékét vettem sikeres mért eredménynek.



a)

b)

10.ábra: A mérőrendszer tömegmérésének kalibrálása

a) Az általam kialakított mérlegelektronika mért értéke; b) A laboratóriumban rendelkezésre álló kalibrált mérlegen mért érték

3.2 A felhasznált eszközök

Ebben a fejezetben a felhasznált eszközök fontosabb jellemzőit, és beépítési lehetőségeit fogom bemutatni.

3.2.1 A tápegység jellemzői

A tápegység egy YwRobot Power MB-102 kapcsológombbal ellátott tápegység (11. ábra), ami 6,5V–12V-ig terjedő egyenáram tápfeszültséggel üzemeltethető külső energiaforrásból, ami lehet Lítium-Ion akkumulátor, zsebtelep, vagy fali adapter.



11. ábra: A YwRobot Power MB-102-típusú tápegység
([http14](http://14))

Az általam alkalmazott tápegységen található be- és kimenetek:

- 4db DC5V-os kimeneti pont,
- 4db 3,3V-os kimeneti pont,
- 8db GND,
- 1db A-típusú USB 2.0 bemenet,
- 1db 5,5mmx2,1mm tápcsatlakozó bemenet (6,5-12V).

A megépített mérőrendszer esetében az Arduino Nano mikrokontrollert, a szenzorokat, valamint az LCD kijelzőt a tápegység 5V-os kimeneti, és földelési pontjaihoz csatlakoztatva látom el a szükséges árammal, úgy, hogy mindegyik egység külön csatlakozási pontról legyen ellátva az 5V-os egyenáramú feszültséggel. Ezt a módosítást azért csináltam, mert a mérőrendszer megépítésekor a tápegységnek csak azt a funkcióját használtam ki, hogy a zsebtelepet hozzá csatlakoztatva az USB kimenetén keresztül lássa el a próbapanelt, és az

Arduino nano-t is a megfelelő árammal. Ahogyan már említést tettem róla, a mérési rendszerben az alacsony feszültség instabilitást eredményezhetett volna, és mivel gyakorlatilag csak a mérő eszközök és a mikrokontroller volt külön feszültséggel táplálva, ezért az összetevők feszültségigényét figyelembe véve alulméretezett volt az energiaellátásuk. A javítást követően megbizonyosodtam róla, elkerültem a feszültségesés okozta mérési hibákat. A tápegységet a bemenő áramforrás csatlakoztatása után egy kapcsolóval tudjuk be, vagy ki kapcsolni. Amennyiben a későbbiekben szeretném egy erre megfelelő dobozba integrálni a mérőrendszert, akkor ennek a kapcsológombnak a dobozon kívülről is elérhetőnek kell lennie.

3.2.2 A mikrokontroller jellemzői

A központi feldolgozó egység az Arduino Nano nyílt forráskódú. A mikrokontrolleren található ATmega 328 mikroprocesszor felelős a számítási feladatok és mérési eredmények feldolgozásáért, a mikroprocesszor AVR architektúrával működik. A következő 12. ábra az Arduino Nano eszköz képét mutatja.



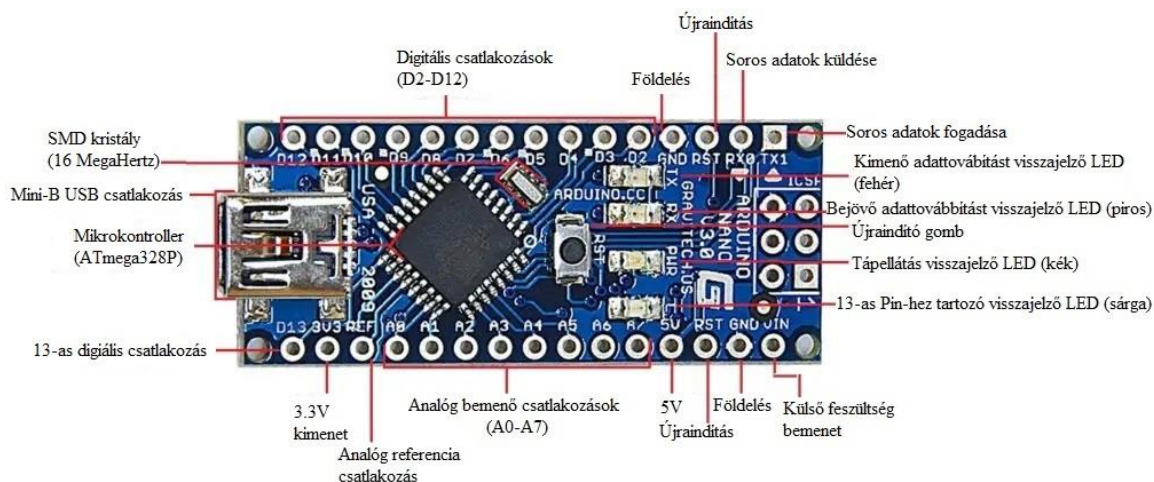
12. ábra: Az Arduino Nano eszköz fényképe

(<http15>)

Az Arduino Nano specifikációját a következő felsorolás tartalmazza:

- 7db Analóg variálható ki/bemenet,
- 12 db Digitális variálható ki/bemenet,
- 1db DC3,3V feszültségű kimenet,
- 1db DC5V feszültség kimenet,
- 2db földelés (GND).

Az Arduino Nano üzemi minimális feszültség szintje 5V, ezért mindenképpen egy stabil tápegység beiktatása szükséges az áramkör összes elemének működtetéséhez. Az épített mérőrendszer feldolgozó egységének felépítését az alábbi ábra jellemzi.



13. ábra: Az Arduino Nano eszköz lábkiosztása

(http16)

A mérőrendszerben is használt Arduino Nano mikrokontroller az analóg 4-es (A4), és az analóg 5-ös (A5) csatlakozásokat használja az LCD-vel való kommunikációhoz, és a digitális 4-es (D4) csatlakozáson van összecsatlakoztatva a DS18B20 hőmérővel. A digitális 6-os és 7-es (D6, D7) pedig a HX711 mérőerősítővel, és azon keresztül a mérőcellával.

3.2.3 Az erőmérő cella jellemzői

Felszerelhető szinte bármilyen mérőplatformhoz. Egyetlen műveletet, a tárazást követően alkalmassá válik az azonnali használatra. A projekt során egy YZC-131-típusú 1kg-os mérőcellát alkalmaztam. A szakdolgozatban is megépített mérőrendszer alkalmas arra, hogy a megfelelő kalibrációval már bármilyen mérési tartománnyal rendelkező mérőcellát fel lehessen vele szerelni, ez alkalmassá teszi a rendszert arra, hogy különböző mérnöki megoldást szolgáljon arra az esetre, ha a már említett mezőgazdasági, akár élelmiszeripari alkalmazására kerülne sor. Jól látható az alábbi 14-es ábrán, hogy a mérőcellán hova vannak felragasztva a nyúlásmérő bélyegek. A nyúlásmérő bélyegek felragasztása egy nagy technológiai fegyelmet igénylő folyamat.

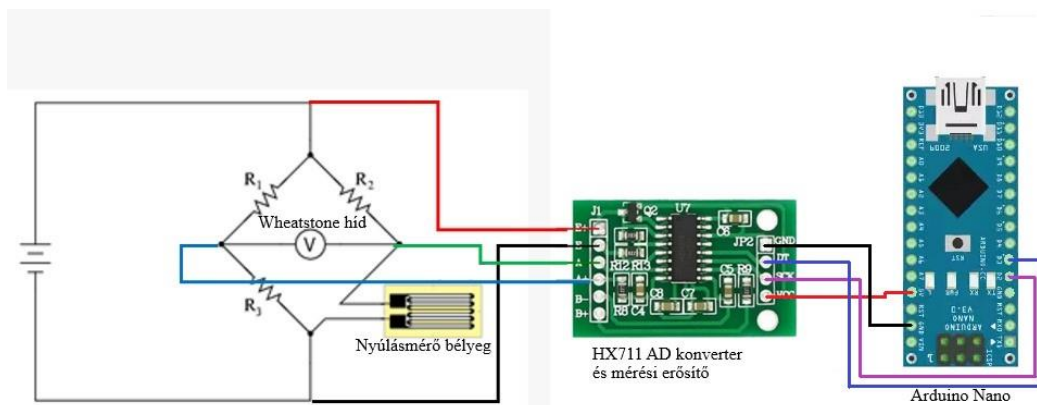


14. ábra: A nyúlásmérő bélyeggel ellátott erőmérő cella
(http17)

3.2.4 A mérőerősítő egység jellemzői

A mérőrendszerben alkalmazott erőmérő cella jelfeldolgozását a HX711-típusú mérőerősítő modul segítségével valósítottam meg. A modul a nyúlásmérő bélyegek gyenge jelének erősítése mellett azért is használatos, mert analóg-digitál konvertálást is végez.

Az alábbi ábra azt szemlélteti, hogy a nyúlásmérő bélyeg, az ábrán látható bekötéssel van az erőmérő cellában elhelyezve és ott $\frac{1}{4}$ -es Wheatstone híd kapcsolásba kötve. A Wheatstone híd mind a 4 vezetéke összeköttetésben van a HX711 mérési erősítővel, erre azért van szükség mert két vezetéken a hidat tápláljuk meg.



15. ábra:

A HX711-es modul bekötési vázlatja nyúlásmérő bélyeg alkalmazása esetén
(http18)

Az ábra azt is szemlélteti, ahogyan a mikrokontroller van összekötve a mérési erősítővel, és a mérőcellával. Az egyszerűség kedvéért az ábra nem veszi figyelembe a külső egyenáramú feszültséget és a többi eszközt. Ebben az esetben a legegyszerűbben, az ábrán is látható módon tudjuk ábrázolni a felépítését. Jól megfigyelhető az ábrán, hogy a HX711-es mérési erősítő áramellátásáért a mikrokontroller és a mérési erősítőt is összekötő piros, és fekete színű vezetékek felelnek meg. A piros az 5V-os egyenfeszültség (az ábrán VCC), amíg a fekete a földelést jelzi (az ábrán GND). A vezetékek ugyanezzel a színkóddal táplálják meg a hidat. Az ábrán a mikrokontroller 3-as digitális csatlakozásába megy a mérési erősítőn látható DT csatlakozási jelzéssel (a DT jelölés angolul a Data és ebben az esetben adatként értelmezendő) ellátott, lila színnel jelölt vezeték. A vezeték feladata, hogy a mikrokontroller képes legyen adatot fogadni a mérőerősítőtől.

A mikrokontroller 2-es digitális csatlakozásával van összeköttetésben a mérési erősítőn látható SCK jelzésű csatlakozó. Ennek a kapcsolatnak az a szerepe, hogy időben meghatározza az adatok áramlását (a SCK jelölés angolul Serial Clock és ebben az esetben szinkronizációként értelmezendő). Ennek köszönhetően lesznek a mérési eredmények szinkronban.

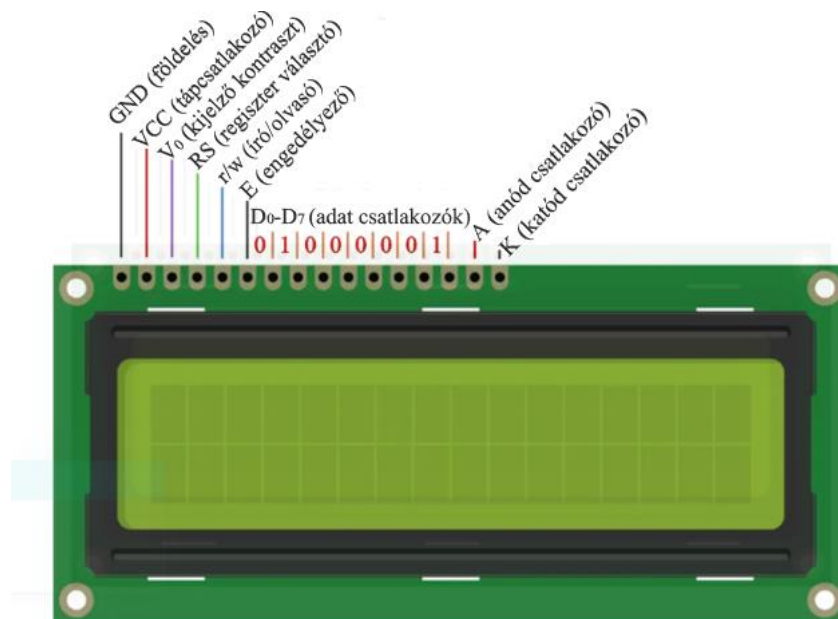
3.2.5 A hőmérsékletmérő szenzor jellemzői

A hőmérséklet mérésére egy DS18B20 hőmérő szenzort választottam a mérőrendszerbe. A jellemzői közé tartozó hőmérséklet mérési tartománya -55°C és 125°C között van. A legpontosabb azonban -10°C és 70°C között, ahol mindössze $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ az eltérés. A szenzor nem igényel külön áramellátást, hanem a mérési jelvezetéről kapja meg, a mérőrendszer esetében egy $4,7\text{ k}\Omega$ 1 Watt-os ellenállás beiktatását követően. A felhasznált szenzorban lévő hőmérő csipp egy rozsdamentes acél tokozatban van, így vízálló a környezetével szemben és akár folyadék hőmérsékletet is képes mérni, és így IP68-as védettséggel rendelkezik. Az adottságaiból fakadóan a gyártó is alkalmasnak tartja a szenzort akár ipari, fogyasztói felhasználásra, és kiter arra is, hogy a szenzor felhasználható akár fűtő hűtő rendszerek, épületek, és gépek hőmérsékletének felügyelésére és szabályzására. A mérési felbontását a felhasználó szabhatja meg 9 és 12 bit felbontás között. Így képes érzékelni a beállítástól függően a $0,5^{\circ}\text{C}$, $0,25^{\circ}\text{C}$, $0,125^{\circ}\text{C}$ és akár a $0,0625^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletváltozást is. ([http19](#))

3.2.6 Az LCD panel jellemzői

Az LCD panelen a bekapcsoláskor a név, a szakdolgozati projekt, majd a felhasznált DS18B20 hőmérséklet mérő szenzor, és a HX711 mérési erősítő, és analóg-digitális konverter neve jelenik meg. Ezt követően a felső sorban a hőmérséklet értékeket lehet látni $^{\circ}\text{C}$ -ban, az

alsó soron pedig a tömeg mérési értékeket g-ban. Az LCD panel két sor kiírására alkalmas soronként 16 karakter megjelenítésével, felépítését a 16. ábrán lehet látni.



16. ábra: Az Arduino LCD kijelzője

(<http20>)

3.3 A megépített mérőrendszer felépítése és működése

Az eszköz működését tekintve már a bekapcsolás után pár másodperccel üzemképes. Bekapcsoláskor a ház külső oldaláról a házban található tápegység bekapcsoló gombját nyomjuk meg. A bekapcsolást követően ellenőriznünk kell, hogy megfelelően van-e kalibrálva az erőmérő cella. A rendszer a bekapcsoláskor automatikusan tárazza magát. Azonban javasolt a pontosság ellenőrzése érdekében a mérések előtt egy próba mérést végezni etalon tömegek, és ha szükséges erők felhasználásával. A mérés ezután többféle képpen is lefolyhat, attól függően, hogy milyen terhelést (statikus vagy dinamikus erőket) szeretnénk mérni, de ez az erőmérőcella alkalmazásától, kialakításától és beépítésétől is függ akár csak a mért erő iránya.

A mérés optimális elvégzését a következő két példa szemléltetésével mutatom be:

- Amennyiben árut vagy terményt szeretnénk mérni, akkor ráakjuk a mérleg cellához csavarkötéssel rögzített mérő lapra,
- Amennyiben erőt szeretnénk mérni akár kutatási, oktatási, vagy ipari célból, abban az esetben elkezdhetjük az erőket aktiválni akár a korábbi ábrákon lévő mechanikai modellre ható szimulált erőket.

A mérést követően az aktuálisan mért eredményeket többféle képen is dokumentálhatjuk. A legpraktikusabb a dokumentáció a programkódban megtalálható a soros port folytonos nyitvatartása miatt lehetséges, amit a kalibráláskor is használtam ellenőrzés képen. Így az Arduino fejlesztő környezetben belül elérhető a Soros Monitor (a továbbiakban: Serial Monitor) és a Soros Megjelenítő (a továbbiakban: Serial Plotter) megnyitásával. A Serial Monitor esetében időrendben az értékeket láthatjuk, amiket könnyen exportálni tudunk egy szöveges fájlba, akár Microsoft Excel táblázatba. A Serial Plotter esetében az Arduino fejlesztőkörnyezetén belül grafikusán láthatjuk a mérési adatokat. Egy másik megoldás lehet, ha egy harmadik féltől származó programmal kapcsolódunk ahhoz a soros parthoz amin az Arduino mikrokontroller küldi a mérési eredményeket. Ennek előnye, hogy harmadik féltől származó programon keresztül további megoldások nyílnak a dokumentálásra, és megfigyelésre, hátránya, hogy így csak az egyik program fér hozzá egy időben a porthoz, így nem lehet már használni az Arduino eredeti fejlesztőkörnyezetében lévő Serial Monitort, és Serial Plottert.

Az Arduino fejlesztő környezetben a programot azonban nem csak az előző bekezdésekben említett módon oszthatjuk szegmensekre, hiszen, ha így volna ebben az esetben a program nem tudná elkülöníteni az utasításokat, és nem tudná végrehajtani az felhasznált iterációkat. Ennek elkerülése érdekében célszerű a programozáskor minden utasítás végét „;” jellel zárni. Ciklusok, vagy az előző bekezdésekben megnevesített „setup”, és „loop” szegmenseket, valamint a programban a futáshoz szükséges blokkokat „{, jellel kezddhetjük és „}” jellel fejezhetjük be.

3.3.1 A mérőrendszert működtető programkód

A mérőrendszert az Arduino fejlesztőkörnyezetében programoztam, és módosítva felhasználtam már létező könyvtárakat. A fejlesztőkörnyezetben lévő programkódot 3 részre oszthatjuk. Az első részt a fejlesztőkörnyezetben a „void setup()”-előtt tekinthetjük. A 17. ábrán is látható első részben a szükséges könyvtárakat adom hozzá a programhoz, valamint definiálom a mikrokontrolleren, hogy melyik portjait használom, és hogy adatküldő vagy adatfogadóak legyenek azok. Definiáltam még bináris kóddal a kijelzéskor használt fok szimbólumát. Ezen kívül létrehozok egy változót, amiben a kalibrációs értéket fogom tárolni és módosítani a kalibráció során. Ezen kívül egy újabb változót is létrehozok, amiben azt az időértéket fogom tárolni, amit a program a mért értékek szűrése, és pontossága érdekében felhasznál ahhoz, hogy a megfelelő időben olvassa le az értéket.

```

1  #include <HX711_ADC.h>
2  #include <OneWire.h>
3  #include <DallasTemperature.h>
4  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5  #define DS18B20 4
6
7  OneWire ourWire(DS18B20);
8  DallasTemperature sensor(&ourWire);
9  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
10 byte degree_symbol[8] =
11 {
12  0b00111,
13  0b00101,
14  0b00111,
15  0b00000,
16  0b00000,
17  0b00000,
18  0b00000,
19  0b00000
20 };
21
22 const int HX711_dout = 6;
23 const int HX711_sck = 7;
24 HX711_ADC LoadCell(HX711_dout, HX711_sck);
25
26 const int calVal_calVal_eepromAddress = 0;
27 unsigned long t = 0;
28
29 void setup() {

```

17.ábra: A programsor első része

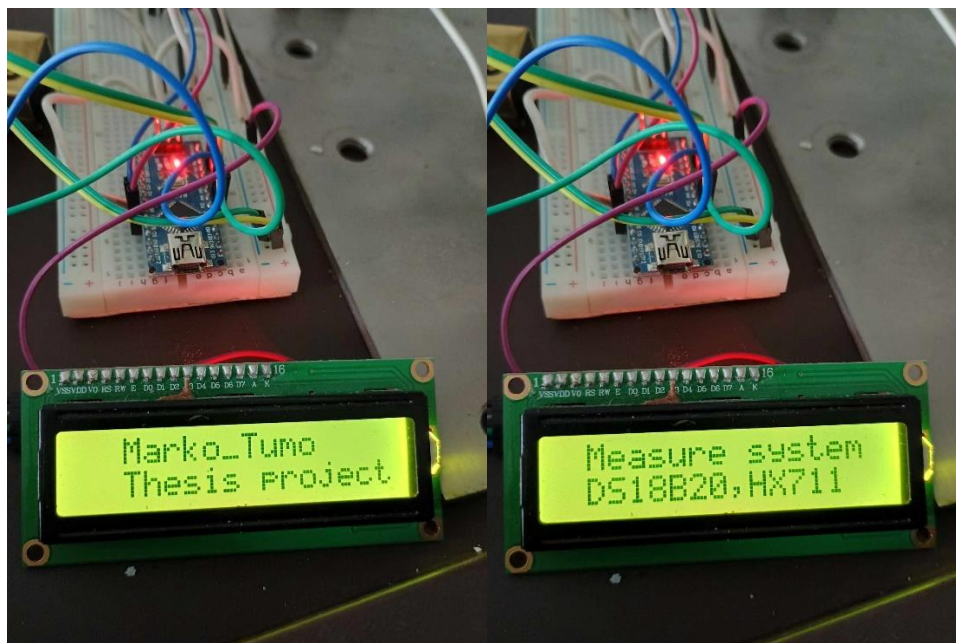
A programsor második részét a „void setup()” és a „void loop()” között tekinthetjük. Ebben a részben a 18. ábrán látható módon megnyitom a soros kommunikációt 9600 baud-al, megjelenítem az LCD kijelzőn a nevem, azt, hogy a mérőrendszer a szakdolgozat érdekében jött létre, és a mérőrendszerben felhasznált létfontosságú összetevő modulok, vagyis a HX711 mérési erősítő és a DS18B20 hőmérséklet mérő szenzor nevét. A 20. ábrán is látható módon számításba vetetek a programmal egy kalibrációs tényezőt, hogyha az automatikus tárázást ki kapcsolnám, és egy kalibrációs idő változót, ami arra szolgál, hogy a rendszer ez idő alatt tárázhassa önmagát. Én erre 3 másodpercet (3000 milliszekundum) állítottam be, hogy a tárázást minél pontosabban elvégezhesse, valamint utána található az automatikus tárázás be-ki kapcsolója. Ezen kívül aktiválom az LCD kijelzőn a megfelelő pozícióban a ° szimbólumot, és helyére kerül az LCD kijelzőn a 19. ábrán látható módon a „hő”, és a „tömeg” szó ami után láthatóvá fognak válni a mérőrendszer által mért értékek.

```

28
29 void setup() {
30     float calibration;
31     calibration =0,9998;
32
33     [
34         Serial.begin(9600);
35         delay(1000);
36         sensor.begin();
37         lcd.init();
38         lcd.backlight();
39         lcd.createChar(1, degree_symbol);
40         lcd.clear();
41         lcd.setCursor(2,0);
42         lcd.print("Marko_Tumo");
43         lcd.setCursor(2,1);
44         lcd.print("Thesis project");
45         delay(3000);
46         lcd.clear();
47         lcd.setCursor(1,0);
48         lcd.print("Measure system");
49         lcd.setCursor(1,1);
50         lcd.print("DS18B20,HX711");
51         delay(3000);
52         lcd.clear();
53         lcd.setCursor(0,0);
54         lcd.print("Ho: ");
55         lcd.setCursor(0,1);
56         lcd.print("Tomeg: ");
57     ]
58     Serial.begin(9600); delay(10);
59     Serial.println();
60     Serial.println("Starting...");
61

```

18.ábra: Programsorok az LCD megjelenítéshez



19.ábra: Az LCD kijelzőn megjelenített programsor

```

61
62     float calibrationValue;
63     calibrationValue = 696.0;
64
65     LoadCell.begin();
66
67     unsigned long stabilizingtime = 3000;
68     boolean _tare = true;
69     LoadCell.start(stabilizingtime, _tare);
70 }
71 void loop()

```

20.ábra: Programsorok az automatikus tárázáshoz

A programsor harmadik részének a „void loop()”-ban található programot tekinthetjük. Ezen blokkon belül vannak a program azon sorai, amelyek újra és újra lefutnak, tehát a mintavételezések, és a változó értékek kijelzése. A programnál megtaláltam az importált könyvtárból egy példában azt a lehetőséget, hogy lehetséges a mért eredmények mennyiségét befolyásolni olyan módon, hogy a kijelzés akkor induljon el a soros monitoron, ha a 21.ábrán is látható 78-as sorban található „serialPrintInterval” értéket túl lépte az eltelt idő. Ez azt fogja eredményezni, hogy nem minden adatot fog kijelesni. Ez alatt pedig a soros kapcsolaton keresztüli adatkommunikáció valósul meg, ahol a mért értékeket ki jeleztetem a Serial Monitoron. Ennek a legnagyobb szerepe a kalibrációnál volt, mivel amennyiben tárázni szeretnénk a soros monitoron keresztül a konzolba kell írunk egy „t” betűt, ezt majd nyugtázza a program a soros monitoron egy „Tare Complete” jelzéssel.

```

71 void loop()
72 {
73     float calibrationValue;
74     calibrationValue = 696.0;
75
76     {
77         static boolean newDataReady = 0;
78         const int serialPrintInterval = 100; |
79
80         if (LoadCell.update()) newDataReady = true;
81
82         if (newDataReady) {
83             if (millis() > t + serialPrintInterval) {
84                 float i = LoadCell.getData();
85                 Serial.print("Cella terhelés értéke: ");
86                 Serial.println(i);
87                 Serial.print("Detektált hőmérséklet értéke: ");
88                 Serial.print(sensor.getTempCByIndex(0));
89                 Serial.println("°C");
90                 newDataReady = 0;
91                 t = millis();
92             }
93         }
94
95         if (Serial.available() > 0) {
96             char inByte = Serial.read();
97             if (inByte == 't') LoadCell.tareNoDelay();
98         }
99
100         if (LoadCell.getTareStatus() == true) {
101             Serial.println("Tare complete");
102         }

```

21.ábra: Programsorok a soros porton történő kijelzéshez

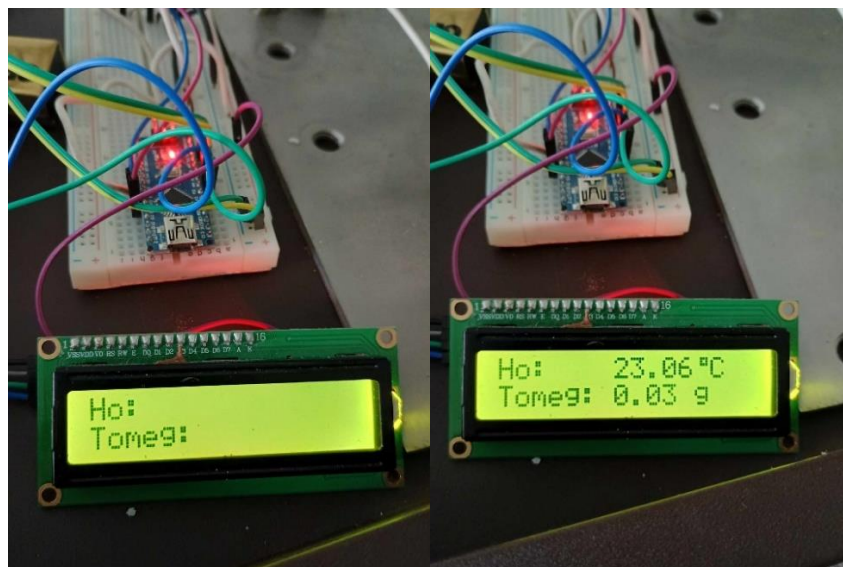
Ez alatt a 104-es sortól a 22. ábrán is látható újabb blokk következik, ahol a program leolvassa a hőmérő szenzor által mért értéket (*angolul value*) a változójából, és kijelezteti az LCD-n az előző értékek törlése, és a pozicionálást követő helyre. Ezt követően a program az „i” változóban tárolt mérőcella által mért értéket jelzi ki az LCD megfelelő pozíciójára a 23. ábrán látható módon.

```

95  if (Serial.available() > 0) {
96      char inByte = Serial.read();
97      if (inByte == 't') LoadCell.tareNoDelay();
98  }
99
100  if (LoadCell.getTareStatus() == true) {
101      Serial.println("Tare complete");
102  }
103
104  {
105      sensor.requestTemperatures();
106      lcd.setCursor(7,0);
107      float value= sensor.getTempCByIndex(0);
108
109      value + calibrationValue;
110      lcd.clear();
111      lcd.setCursor(0,0);
112      lcd.print("Ho: ");
113      lcd.setCursor(0,1);
114      lcd.print("Tomeg: ");
115      lcd.setCursor(7,0);
116      lcd.print(value + calibrationValue);
117  }
118
119  lcd.write(1);
120  lcd.print("C");
121  lcd.setCursor(7,1);
122  float i = LoadCell.getData();
123  lcd.print(i);
124  lcd.print(" g ");
125  delay(500);
126  }
127  }

```

22. ábra: Programsorok a mért értékek kijelzéséhez



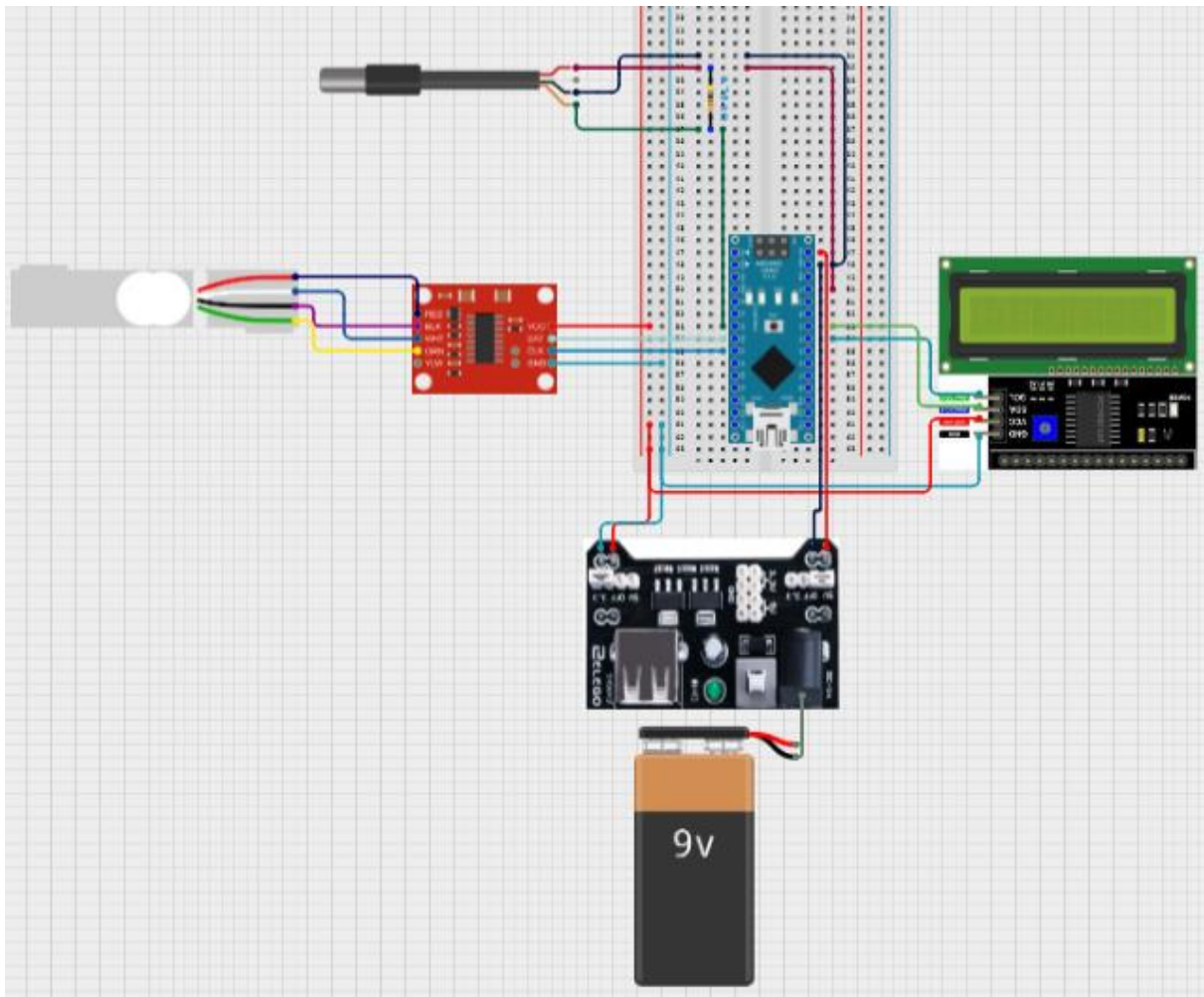
23. ábra: Az LCD kijelzőn megjelenített programsor

3.3.2 A mérőrendszer tulajdonságai

A mérőrendszer árához képest tömeget megfelelő pontossággal ($\pm 0,1\text{g}$) mér $0,1\text{g}$ - 1000g mérési tartományban. A mérőrendszer pontossága tovább fejleszthető pontosabb kalibráló tömegek használatával. A mérőrendszer hőmérsékletet -55 és $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ között képes mérni, de a kalibráció egyelőre nem terjedt ki a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérséklet tartományra. A hőmérséklet mérése esetében a mérőrendszer $0,125\text{ }^{\circ}\text{C}$ mérési felbontással rendelkezik.

3.3.3 A mérőrendszer teljes bekötése

A mérőrendszer összes elemének bekötése az alábbi ábrán látható. Ezt az ábrát egy ingyenesen használható programmal készítettem. A projectben leginkább a vékony pin tű-vel rendelkező kábeleket részesítettem előnyben. A projekt során megállapíthattam, hogy a próbapanel egyes pin-tű-vel rendelkező kábeleket nem lehet megfelelően becsatlakoztatni. Ez a rendszer mozgatasakor mérési hibákhoz vezetett a projekt készítésben, legtöbbször a mérőrendszer mozgatasakor figyelhettem meg ezt a jelenséget.



24. ábra: A modellezett bekötési rajz

4. GAZDASÁGI SZÁMÍTÁS

Ebben a fejezetben több kereskedelmi forgalomban kapható mérleggel szeretném összehasonlítani az általam összeállított mérőrendszert. Egyrészt a pontosabb eredmények érdekében, másrészt pedig a multifunkcionalitása miatt, hogy melyik használati körben alkalmazható a legjobban ár/pontosság szempontjából.

Amint azt már említettem, számomra a következő pontok voltak mérvadóak a fejlesztésnél, ezeket sorolom most fel prioritás szerint és ezek szerint is hasonlítom majd össze a mérlegeket:

- kedvező ár,
- mérési felbontás,
- mérési tartomány.

A következő 3. táblázatban az általam összeállított mérleg egység bekerülési költségeit összesítettem.

3. táblázat: Az új kialakítású mérleg bekerülési költségek (ÁFA-val) az alábbiak:

Egység megnevezése	Csatlakozók, próba panel	Tápegység	Arduino nano	LCD	Jel erősítő	Hőmérő	Mérő cella
Bruttó bekerülési költség [Ft]	1850	959	2 166	1 625	396	1290	1 833
Bruttó összesen [Ft]	10 119						

Az így összegzett 10 119 Ft előállítási költséget fogom összevetni más forgalomban kapható mérlegek árával.

A következő 25. ábra a vizsgálatba bevont mérlegeket ábrázolja.



a) (http21)



b) (http22)



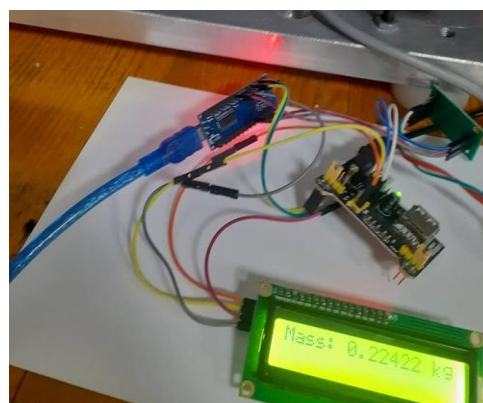
c) (http23)



d) (http24)



e) (http25)



f)

25. ábra

A vizsgálatba bevont mérlegek

a) Digitális levélmérleg; b) Digitális csomagmérleg; c) Precíziós mérleg d) Precíziós mérleg2; e) Digitális konyhai mérleg; f) Az összeállított mérőrendszer prototípus

A következő 4. táblázatban a kereskedelmi forgalomban kapható mérlegek árát, mérési felbontását, és mérési tartományát fogom összevetni.

4. táblázat: Kereskedelmi forgalomban kapható mérlegek összehasonlítása (ÁFA-val)

Mérleg	Szakdolgozat épített mérleg	Digitális levélmérleg	Csomag mérleg	Precíziós mérleg 1	Precíziós mérleg 2	Konyhai mérleg
Bruttó Ár [Ft]	10 119	17 990	24 190	45 090	33 490	3489
Mérési felbontás [g]	0,1	0,1	2	0,01	0,1	1
Mérési tartomány [g]	1000	5 000	50 000	2 000	10 000	5 000

A vizsgált mérlegeknél nem az akciós árat, hanem az általános értékesítési bruttó árat vettem figyelembe, illetve a valósabb eredményekért különböző alkalmazási területű mérleg családokból választottam a mérlegeket, továbbá nem a legolcsóbb és nem a legdrágább árkategóriából hasonlítottam össze. Az összehasonlítandó mérlegek kiválasztása ezen kívül teljesen véletlenszerű módon történt.

A hasonló mérési felbontással rendelkező levélmérleggel és egy kisebb mérési felbontású csomag mérleggel összehasonlítva látható, hogy a csomag mérlegeknél nagyobb mérési tartományra van szükség, illetve kevésbé számít a pontosság amíg egy levélmérleg esetében fordítva van. Az épített mérőrendszer azonban így is a levélmérleg árának 56,24%-a valamint a csomagmérleg árának 41,83%-a. A projektben épített mérleg a mérési tartományt szemlélve alul marad egy 50 000g mérési terjedelmű csomagmérleghez és egy 5000g mérési terjedelmű digitális levélmérleghez képest is, azonban pontossága azonos a levélmérlegével.

Összehasonlítva a “precíziós mérleg 1”-el, láthatjuk, hogy a vizsgált mérleg nagyobb pontossággal, a megépített mérleg mérési tartományához képest kétszeres tartományban mér. Az épített mérleg pozitívuma, hogy csak a 22,44%-ába kerül tehát több mint négyszer olcsóbb. Az összehasonlításból továbbá látható, hogy a felbontásban az épített mérleggel azonos “precíziós mérleg 2” az épített mérleg a 30,21%-ába kerül mérési tartománya pedig a tízszerese. A csomag mérleggel összehasonlítva észrevettem, hogy a csomagmérleg a mérőrendszernek ötvenszer nagyobb tartományban mér, 2g-nál pontosabb mérésre nem alkalmazható és az ára több mint kétszer annyi. Az utolsó összehasonlítás egy konyhai mérleggel történt, ahol elég széles a mérési felbontások skálája, így kezezttem itt is a közép árkategóriából véletlenszerűen

kiválasztani egyet. Nagy erőssége a kiválasztott mérlegnek, hogy nagyon olcsón beszerezhető, és a mérési tartománya is konyhai célokra kiváló, viszont a mérési pontossága elmarad az épített mérlegétől.

A táblázatból megállapítottam, hogy a projektben épített mérleg pontosságához viszonyítva olcsón megépíthető, illetve, hogy a mérlegek körében általánosan elmondható, hogy a mérési tartomány növekedésével egyre nehezebb magas felbontásban tömeget mérni, attól függően, hogy rendeltetésszerűen az adott célra használjuk-e az adott mérleget.

A vizsgált mérlegek linkjei:

- Digitális levélmérleg - 5 kg / 0,1 g - Basic | expondo.hu,
- Digitális csomagmérleg - 50 kg / 2 g - Basic - külső LCD | expondo.hu,
- Precíziós mérleg 2000 g / 0,01 g - LCD | expondo.hu,
- Precíziós mérleg - 10.000 g / 0,1 g | expondo.hu,
- Digitális konyhai mérleg max. 5 kg, 1 g felbontás, elemes, LCD,Hyundai KVE893B

5. Összefoglalás

A szakirodalomfeldolgozás során kigyűjtöttem az élelmiszeriparban alkalmazott tömeg és hőmérséklet mérési eljárásokat. Megállapítottam, hogy a gyakorlatban a leghatékonyabban a mikroelektronikával ötvözött rendszerek mondhatók figyelembe véve a gyorsaságot, precizitást, és integrálhatóságot. Megállapítottam, hogy élelmiszeri technológiák esetében kritikus a megfelelő időállandóval rendelkező hőmérő kiválasztása, és a precíz tömegmérés megvalósítása.

Az általam összeállított mérőrendszer esetében egy DS18B20 hőmérő szondát, és egy HX711 mérő erősítővel összekötött 1kg-os mérőcellát alkalmaztam. A rendszerkialakításánál figyelembe vettem, hogy szigetüzemben is alkalmazható legyen, ezért 9V-os elemmel tápláltam meg.

A mérőrendszert megfelelő működése érdekében kalibráltam. A hőmérséklet mérése esetében egy Almemo mérőegységgel hasonlítottam össze az általam mért adatokat. A tömegmérése esetén egy Sartorius típusú mérleget alkalmaztam az adatok összehasonlításához. Mind a két esetben egy nagyságrenddel pontosabb eszközzel hasonlítottam össze az általam összeállított mérőrendszert.

A meglévő ismereteim alapján elkészítettem Arduino fejlesztőkörnyezetben az általam gondolt mérőrendszer programját. Az első programrészben paraméter identifikációt hajtottam végre, majd ezt követően a kijelző funkcióihoz szükséges programsorokat írtam le, legvégül a mért adatok feldolgozásához szükséges szubrutinokat írtam meg. A második programrészben meghatároztam a kalibrációs értékeket a tömeg és a hőmérséklet mérés esetében is, és az automatikus tárázáshoz szükséges időt. A harmadik programrészben a mérési eredmények megjelenítésének programsorát írtam meg.

A megépített mérőrendszer a tömeg és hőmérséklet mérési kalibrálások elvégzését követően a tömegmérést kielégítő pontossággal 0-1000g közti mérési tartományban képes elvégezni, a hőmérséklet mérést pedig 0-100 °C.

Az eszköz számos alkalmazási lehetőséget rejt magában. Használható elsősorban laboratóriumi körülmények között tömegmérésre, ahol 0,1g mérési felbontásra van szükség, és hőmérsékletmérésre, ahol 0,25°C mérési felbontásra van szükség.

Az általam összeállított mérőrendszer esetén Arduino mikroelektronikát alkalmaztam melynek előnye, hogy könnyen fejleszthető és egyszerűen integrálható. A mért adatok valós

időben leolvashatók az LCD kijelzőn vagy Arduino fejlesztőkörnyezetében a soros monitoron. Utóbbi lehetővé teszi a mérési eredmények kigyűjtését, hogy azt követően grafikonokat vagy elemzéseket hozhassunk létre belőle. Más adatokkal történő kombinálása esetén (például GPS-koordinátákkal) egy komplex rendszer állítható elő belőle.

6. Summary

During the processing of the literature, I collected the significant mass and temperature measurement procedures used in the food industry. I found that in practice, the systems combined with microelectronics can be the most effective, considering speed, precision, and integrability. I have found that in the case of food technologies, it is critical to choose a thermometer with a suitable time constant and to implement precise mass measurement.

In the case of the measuring system that I built, I used a DS18B20 temperature probe and a 1 kg measuring cell connected to an HX711 measuring amplifier. When designing the system, I considered that it could also be used in isolated operation, so I powered it with a 9V battery.

I have successfully calibrated the measuring system for proper operation. In the case of temperature measurement, I compared the data that I measured with an Almemo measuring unit. In the case of measuring weight, I used a Sartorius scale to compare the values. In both cases, I compared the measuring system that I built to a device that was more accurate.

Based on my existing knowledge, I prepared the program of the measuring system I had in mind in the Arduino development environment. In the first part of the program, I performed parameter identification, then I wrote the program lines needed for the display functions, and finally I wrote the subroutines needed to process the measured data. In the second part of the program, I determined the calibration values for mass and temperature measurement as well as the time needed for automatic taring. In the third part of the program, I wrote the program sequence for displaying the measured results.

The built measuring system can perform mass and temperature measurement calibrations with satisfying accuracy in the measurement range between 0-1000g, and temperature measurement between 0-100 °C.

The device has many possible applications. It can be used primarily in laboratory conditions for mass measurement, where the measurement resolution required to be at least 0.1g. The measuring system can also be applied for temperature measurement, where at least 0.25°C measurement resolution required.

In the case of the built measuring system, I used Arduino microelectronics, which has the advantage of being easy to develop and also to integrate. The measured data can be read real time on the LCD display or on the serial monitor in the Arduino development environment. This feature allows the collection of measurement results, in this way graphs or analytics can

be easily created from the values. When combined with other data (e.g. GPS coordinates), a complex system can be created from it.

7. IRODALOMJEGYZÉK

1. ANTAL Tamás et al. (2010): A vákuum-fagyasztva szárítás anyag-transzport folyamatainak modellezése, Műszaki tudomány az Észak-Alföldi régióban 2010, 17.o
2. Dr. Suba János, Kulcsár János (1973): Elektronikus mérő- és regisztráló műszerek alkalmazása növényfiziológiai vizsgálatoknál, 431-436.o
3. Fogarasi Lajos (2008): Aprítógépek vezérlésének örlésdinamikai és energetikai megalapozása, 1-4.o
4. Haraszti Ferenc (2017): Villamos kötések vizsgálata hőkamerával, XXII. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka, 2017. Kolozsvár, 179–182.o
5. Hetesi Krisztián (2017): Analóg-digitális átalakítók tesztelése szabványos eljárásokkal, 7-10.o
6. Jóri J.I. (2017): A jövő mezőgazdasága -Intelligens mezőgazdasági gépek (1.). Agrofórum
7. Kuczmann Miklós (2006): Jelek és jelrendszerek, 10-13.o
8. Kutasi Csaba: Optimális infra-remissziót elősegítő textílszínezékek álcázáshoz, LXXVII. ÉVFOLYAM 1. SZÁM, 2022. JANUÁR, DOI: 10.24364/MKL.2022.01, 9-11.o
9. Madarász Róbert Rossi (2015): Diesel befecskendező rendszerek bevizsgáló eszközeinek tanulmányozása, tervezése és gyakorlati kivitelezése
10. Márköldi Anna (2010): A környezeti mérések pedagógiai módszertana a környezetvédelmi szakképzésben, 41-42.o
11. Menyhárt József (2014): Villamos feszültségmérése arduinoval, Hadmérnök, IX. Évfolyam 4. szám - 2014. december, 171-172.o
12. SCHNEIDER H. G., JUNGHANS B. (1988): A mikroelektronikai technológiák és anyagok fejlődésének mai irányzatai, Híradástechnika, XXXIX. évfolyam, 6. szám, 241-253.o
13. Szanyi Miklós (2018): Műszaki fejlődés és hosszú távú gazdasági ciklusok Szalavetz Andrea hozzászólásával, Műhelytanulmányok 122. 11.o
14. Tamás János (2001): Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 2001
15. Wimmer Józsefné, Nágel Vilmos, Szabolcs László (1980): Gyorsfagyasztott parajkrém mikrobiológiai minőségi jellemzőinek összefüggése a tárolási hőmérséklettel, 177-182.o

16. **http18:** <https://community.robotshop.com/forum/t/hx711-and-a-single-strain-gauge/48600>
17. **http7:** <http://dsp.mit.bme.hu/userfiles/szakdolgozat/hetesiszakdolgozat17.pdf> (letöltés dátuma: 2024.04.02)
18. **http1:** <https://eteltcsakokosan.hu/lisztek-es-tulajdonsagaik/> (Letöltés dátuma: 2024.03.15)
19. **http14:** <https://forum.arduino.cc/t/ywrobot-breadboard-power-supply-passing-voltage-problem/647294/5> (letöltés dátuma: 2023.11.08)
20. **http13:** <https://www.geminibv.com/labware/sartorius-universal-u6100-balance/>
21. **http20:** https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/lcd-tutorial/?utm_content=cmp-true
22. **http9:** <https://htools.hu/huzo-nyomo-eromero-cella/509-k-1427-huzo-nyomo-eromero-cella.html> (letöltés dátuma: 2024.03.16)
23. **http8:** <https://htools.hu/nyomo-eromero-cella/492-k-22-nyomo-eromero-cella.html> (letöltés dátuma: 2024.03.16)
24. **http11:** <https://ipari-meresteknika.hu/termek/mcs10/> (letöltés dátuma: 2024.03.20)
25. **http10:** <https://pentagruppo.hu/termek/stg-huzo-nyomo-merlegcella/> (letöltés dátuma: 2024.03.16)
26. **http6:** https://physics.bme.hu/sites/physics.bme.hu/files/users/BMETE14AX00_kov/K1A_homerseklet_2021.pdf (letöltés dátuma: 2024.03.19)
27. **http16:** <https://solderingmind.com/arduino-nano-pinout/>
28. **http15:** <https://tkiraaly.hu/arduino/arduinorol/arduinorol.html>
29. **http19:** <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1793673/UMW/DS18B20.html>
30. **http22:** https://www.expondo.hu/steinberg-basic-digitalis-csomagmerleg-50-kg-2-g-basic-kuelso-lcd-10030136?gclid=CjwKCAiA1uKMBhAGEiWAXzvX96bSKgtPJsrQK4APEfybeDIeH7245urps7bLXhCl011TOdi_c_EpZBoCFIMQAvD_BwE
31. **http21:** https://www.expondo.hu/steinberg-basic-digitalis-levelmerleg-5-kg-0-1-g-basic-10030139?gclid=CjwKCAiA1uKMBhAGEiWAXzvX92-0toh1TsxTEtu_aS26Hh4McHXjupYZ0e7iDnK3pS9qYAKijbNqAxC_VYQAvD_BwE (letöltés dátuma: 2024.03.20)
32. **http17:** https://www.hestore.hu/prod_10046157.html?gross_price_view=1&source=gads&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwiYOxBhC5ARIsAIvdH50KMlG7IW1k4NFFMpt0EiFIxP2ar3g_mxlw2Wuhm1dJPkuAAON3jWIaAkLQEALw_wcB
33. **http5:** <https://www.netfizika.hu/tudas/node/7113>
34. **http3:** <https://www.siyavula.com/read/za/physical-sciences/grade-12/electric-circuits/10-electric-circuits-05> (letöltés dátuma: 2024.03.17)

35. **http12:** <https://www.smdsensors.com/resources/s220-application-notes/> (letöltés dátuma: 2024.03.05)
36. **http4:** <https://www.youtube.com/watch?v=CRa9djnZRu0>
37. **http2:** <https://www.youtube.com/watch?v=BH8hAWRDTkA> (letöltés dátuma: 2024.03.17)

MELLÉKLETEK

Nyilatkozatok

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat
III. Hallgatói Követelményrendszer
III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat
6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója
4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Turnó Márkó Renátó
A Hallgató Neptun kódja: HSDKN8
A dolgozat címe: Élelmiszeripari mérőrendszer tervezése
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Mérőgondozási és Élelmiszeripari Gépek Tansz.

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

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

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

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

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

Kelt: 2024 év 04 hó 17 nap

Turnó Márkó Renátó
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat
III. Hallgatói Követelményrendszer
III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat
6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója
4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat

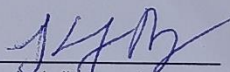
NYILATKOZAT

Turó Márkó Róbert (név) (hallgató Neptun azonosítója: HSDKN8)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2024 év 04 hó 17 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

Köszönetnyilvánítás

Hálasan köszönöm Dr. Korzenszky Péter Emőd témavezetőmnek, hogy a szakdolgozatom írása során a dolgozat megírásához tanácsaival, odafigyelésével és a szükséges eszközökkel járult hozzá.

Szeretném megköszönni Kurgyis Gábornak, a szakdolgozatomhoz szükséges segítségeket.

Tisztaszívvvel köszönöm szüleimnek a sok gondoskodást, ami elkísért a tanulmányaim során. Köszönöm párom kitartó türelmét és a mindennapi feladatokban nyújtott segítségét.