

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Szentgyörgyi Ábel

**Elektronikus orr felhasználása precíziós mezőgazdaságban**

Konzulens

Dr. Szabó Sándor

BUDAPEST, 2023

Tartalomjegyzék

[Összefoglaló 4](#_Toc151671722)

[Abstract 5](#_Toc151671723)

[1 Bevezetés 6](#_Toc151671724)

[1.1 Mezőgazdaság fejlődése 6](#_Toc151671725)

[1.2 Precíziós mezőgazdaság 7](#_Toc151671726)

[1.3 Elektronikos orr 8](#_Toc151671727)

[1.4 Dolgozat célja 9](#_Toc151671728)

[2 Irodalomkutatás 10](#_Toc151671729)

[2.1 Állatjólét 10](#_Toc151671730)

[2.2 Gazdasági tényezők 12](#_Toc151671731)

[2.2.1 Mezőgazdaság 12](#_Toc151671732)

[2.2.2 Energiagazdálkodás 12](#_Toc151671733)

[2.3 Feladat indokoltsága 13](#_Toc151671734)

[2.4 Hasonló kutatások összevetése 13](#_Toc151671735)

[3 Feladat megoldása 15](#_Toc151671736)

[3.1 Pontos célkitűzés 15](#_Toc151671737)

[3.2 Kezdeti lépések 15](#_Toc151671738)

[3.3 Használt eszközök 16](#_Toc151671739)

[3.3.1 Számítási rendszer 16](#_Toc151671740)

[3.3.2 Érzékelő rendszer 18](#_Toc151671741)

[3.3.2.1 Előzetes számítások 22](#_Toc151671742)

[3.3.3 Egyéb eszközök 25](#_Toc151671743)

[3.3.3.1 Hőmérséklet és páratartalom mérő szenzor 25](#_Toc151671744)

[3.3.3.2 Multiplexer 25](#_Toc151671745)

[3.3.3.3 Tápegység 26](#_Toc151671746)

[3.3.3.4 Feszültségosztó 27](#_Toc151671747)

[3.3.3.5 Breadboard, kábelek 27](#_Toc151671748)

[Irodalomjegyzék 28](#_Toc151671749)

Hallgatói nyilatkozat

Alulírott **Szentgyörgyi Ábel**, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző, cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2023.10.16.

Szentgyörgyi Ábel

Összefoglaló

Az állattenyésztés egy nagy részét képzi a baromfitenyésztés. Az állatok jóléte kulcsfontosságú tényező az állatok szempontjából is és a gazda szempontjából is. Ha rossz körülmények között fejlődnek az állatok kevesebb tojást tojnak, lassabb ütemben növekednek, de akár végzetes kimenetelekhez is vezethetnek. Mivel a baromfikat elsősorban zárt tartásban tartják, az egyik legfontosabb környezeti tényező a levegőminőség. Fontos, hogy az állatok állandóan jó minőségű légtérben legyenek, mivel több kutatás is kimutatta, hogy a levegő különböző paraméterei valóban hatással vannak az állatokra. Egyik ilyen paraméter az ammóniakoncentráció, melyet folyamatosan monitorozni kell. A probléma az ammóniaszenzorok költsége. Sajnos egyelőre csak elég magas áron lehet beszerezni komplett ammónia érzékelőket, ami így az alacsonyabb költségvetésű gazdaságoknak nehézséget jelent.

Szerencsére több kutatás is arra mutat, hogy van lehetőség olcsóbb szenzorokból álló ammónia érzékelő rendszer építésére fém-oxid szenzorok bevonásával. Az ötlet izgalmas része az, hogy mindezt úgy lehet kivitelezni, hogy közben konkrét ammónia szenzor nincs a rendszerben. A célom az, hogy egy saját kutatás során én is közelebb kerülhessek ezen megoldáshoz, illetve beleláthassak az ehhez potenciálisan szükséges technológiák működésébe.

A dolgozat írása során sikerült összeállítanom egy olyan rendszert, amivel megvizsgálhattam a szenzorok tulajdonságait, mindezt egy olyan környezetben felépítve, ami akár a kész rendszer alapját is képezheti a továbbiakban.

Mint minden elektronikai rendszer esetén, itt is szembesültem néhány problémával, nehézséggel, amiket a tőlem telhető módon igyekeztem javítani, viszont előzetes konklúzióként elmondhatom, hogy bár az alapgondolatot az ammóniaszenzor kiváltására a kutatásom során én is működőnek véltem, precízebb műszerekre van szükség a teljes siker érdekében.

Abstract

Animal husbandry is a significant part of poultry farming. Animal welfare is a crucial factor for both the animals and the farmer. If animals develop in poor conditions, they lay fewer eggs, grow more slowly, and can even lead to fatal outcomes. Since poultry are primarily kept in enclosed spaces, one of the most important environmental factors is air quality. It's essential for the animals to be in a constantly high-quality airspace because several studies have shown that various parameters of the air indeed affect the animals. One of these parameters is ammonia concentration, which needs to be continuously monitored. The problem lies in the cost of ammonia sensors. Unfortunately, complete ammonia sensors are currently only available at a relatively high price, which poses a challenge for low-budget farms.

Fortunately, several studies suggest that it's possible to build a cheaper ammonia sensor system using metal-oxide sensors. The exciting part of the idea is that this can be achieved without having a specific ammonia sensor in the system. My goal is to get closer to this solution through my own research and gain insight into the potentially required technologies.

During the writing of the thesis, I managed to assemble a system that allowed me to examine the properties of the sensors, all in an environment that could potentially serve as the basis for further development.

As with any electronic system, I encountered some problems and challenges in this project, which I tried to improve to the best of my ability. However, as a preliminary conclusion, I can say that while I considered the concept of replacing the ammonia sensor to be feasible during my research, more precise instruments are needed for complete success.

# Bevezetés

A bevezetésen belül szeretném bemutatni a precíziós mezőgazdaság fejlődését, dolgozatom indokoltságát és motivációit, illetve azokat a háttérinformációkat, amik a téma megértéséhez szükségesek.

## Mezőgazdaság fejlődése

Az ipari forradalom Ipar 4.0-ként [1] elnevezett 4. állomása a különböző elektronikai és informatikai technológiák gyors fejlődésével bontakozhatott ki igazán. Az új vívmányok megjelenésével lehetőség nyílt a korábban csak rengeteg ember és idő igénybevételével megoldható folyamatok automatizálásához, korszerűsítéséhez. A régi módszerek nagy problémája az volt, hogy az emberi tényezővel sok hiba keletkezett, egyszerűen nem tudott olyan precíz lenni az összes folyamat, mint a gépek segítségével. Humán munkaerővel pedig komplex, magas integráltságú rendszerek átlátása pedig egyenesen lehetetlen volt. A mezőgazdaságot tekintve, egy másik probléma az, hogy manapság egyre kevesebb fiatal kezd bele a gazdálkodásba. Ez azzal jár, hogy a növénytermesztéshez és állattenyésztéshez szükséges munkaerő lecsökken, amit valahogy meg kell oldani. A csökkenést a KSH adatai alapján igazolni is lehet. [2]

A gyors fejlődés hatással volt a társadalomra, gazdaságra, de legfőképpen az iparra. A mezőgazdaság egy jó példa ezen fejlődés ütemének megfigyelésére, mivel még ma is sok újdonság érkezik és sok részén van lehetőség fejlesztésre. Külön érdemes megemlíteni, hogy a mezőgazdaság fejlődése nem teljesen homogén. Ezt úgy értem, hogy a nagyobb újításokat, automatizálást elsősorban a nagyobb gazdaságok veszik fel, a kisebb, vidéki gazdák gyakran nem lépnek túl a hagyományos módszereken és eszközökön, ami nyilvánvalóan financiális tényezőkön is múlik, ugyanakkor a legtöbb esetben akár kisebb költségű technológiai befektetésekkel is nagy nyereséget lehet elkönyvelni. A nagyobb gazdálkodások befektetései azonban lehetőséget nyújtanak az újdonságok fejlesztésére, így elérkezhettünk a precíziós mezőgazdaság megjelenéséhez is.

## Precíziós mezőgazdaság

A PLF-en (Precision Livestock Farming – Precíziós mezőgazdaság) belül növénytermesztési és állattenyésztési precíziós megoldásokról beszélhetünk, amik azt jelentik, hogy valamilyen precíziós eszköz segítségével az állatok és növények tartásához kellő munkálatokat és környezeti tulajdonságokat tudjuk a lehető legoptimálisabban befolyásolni. Az ehhez kellő eszköz az informatika, mely segítségével adatokat tudunk gyűjteni és ezen adatok feldolgozásával és elemzésével optimalizálni tudjuk a rendszereinket.

Az optimalizáláshoz gyakran közvetlen beavatkozás tartozik, például amikor a hőmérsékletet egy adott intervallumon belül kell tartani és egy automatizált hőmérsékletszabályzó rendszer azonnal elvégzi a kellő beavatkozásokat, például a fűtés fentebb vagy lentebb állításával. Néha közvetett beavatkozás oldható csak meg, mely emberi tevékenységeket igényel. Például amikor egy kamerarendszer észleli, hogy egy etetőhöz nem járnak állatok, mivel az eldugult, a gazdának szükséges odamennie és javítani a hibán, mivel ez a feladat csak nehezen automatizálható.

A PLF egy folyamatosan újabbnál újabb megoldásokat igénylő ágazat, mely nagyszerű módon ötvözi a mezőgazdaság több évszázados tapasztalatát a mérnöki világ újdonságaival. Ez a munkában szoros együttműködést igényel a gazda és a mérnök között, így úgy gondolom, ez a terület egy nagyon izgalmas kitekintést nyújthat a mérnöknek, hogy egy igazán életközeli területen dolgozhasson, néha a számítógépes asztalt elhagyva. A PLF kulcsa tehát az adatelemzés, melynek hála az állatok jóléte javítható, a gazdaság kiadásai csökkenthetők, a gazda kényelmesebben tud dolgozni és elkerülhetők a felesleges munkálatok, kiadások.

Egyetemi tanulmányaim alatt lehetőségem nyílt a témalabor és önálló labor tárgyak során több precíziós mezőgazdasághoz köthető kutatást, fejlesztést is megismerni, amik mind azt mutatták, hogy van jövője az ilyesfajta törekvéseknek. A mesterséges intelligencia bevetésével pedig számos olyan munkafolyamatot és problémát oldhatunk meg a gazdálkodásoknak, amikhez eddig csak emberi beavatkozásos módszerek voltak.

## Elektronikos orr

Az elektronikus orr [3] egy már ma is széleskörűen alkalmazott eszköz, mely alapvetően az emberi szaglás helyettesítésére, szagok, gázok érzékeléséhez használatos. Rendkívül sok problémára megoldást tud nyújtani, például a gyenge szaglású embereket figyelmeztetheti földgáz jelenlétére, tüdőrák, vagy más egészségügyi állapotok kimutatására is alkalmas lehet, illetve minőség-ellenőrzés is végezhető vele a húsfeldolgozáskor.

Az eszköz 3 fő részből áll:

* mintaszállító rendszer
* érzékelő rendszer
* számítási rendszer

A minaszállító rendszer felelős azért, hogy az adott mintát az érzékelőkhöz juttassa. Ez abban az esetben fontos, ha a minta nem tud közvetlenül az érzékelőkhöz jutni, esetleg nagyobb koncentrációt kell előre készíteni és azt érzékelik a szenzorok. Ez a rész az tervezett rendszeremben nem szükséges, mivel a mintát a légtérből kapja a rendszer, így azt direkt módon fogja monitorozni. A tesztrendszeremben viszont valamilyen formában ez is megjelenik majd.

Az érzékelő rendszer több különböző érzékenységű szenzor együttese. A legelterjedtebb szenzortípusok: fém-oxid-félvezető (MOSFET) eszközök, vezető polimerek - szerves polimerek, polimer kompozitok, kvarckristály-mikromérleg (QCM), felületi akusztikus hullám (a mikroelektromechanikus rendszerek (MEMS) egy osztálya), tömegspektrométerek. Én ezek közöl a fém-oxid félvezetőket alkalmazom.

A számítási rendszer az elektronikus orr agya, ő végzi a szenzoroktól érkező jelek mintavételezését, rögzítését, feldolgozását. A feldolgozás során a szenzorok jeleit együttesen elemzi, amiket összehasonlítva tud eredményeket adni. Én a rendszeremben egy ESP32 elnevezésű mikrokontrollert használok.

Az elektronikus orr tehát egy nagyszerű és jelentőségteljes eszköz, ami bevethető lehet akár a precíziós mezőgazdaság különböző területein is, viszont én most elsősorban a baromfitenyésztésre koncentrálok.

## Dolgozat célja

A dolgozatomban a fő cél az, hogy kimutassam, hogy a lentebb bővebben is bemutatásra kerülő fém-oxid félvezető szenzorok (későbbiekben MQ (Metal-Oxid) szenzor) képesek az ammóniakoncentráció kimutatására. Ehhez összesen 9 különböző MQ szenzort használok, kiegészítve egy szintén MQ típusú ammónia szenzorral, illetve egy hőmérséklet és páratartalom mérésére alkalmas szenzorral.

További célnak tűztem ki, hogy az összeállított szenzorrendszer egy olyan platformon működjön és képes legyen egy olyan kommunikációra, ami a valós felhasználás során is működő lehet. Elsősorban vezeték nélküli kommunikációt szerettem volna megvalósítani, mivel egy nagy telepen sok nehézséget és extra költséget jelentene a vezetékes megoldás, így ez tűnt optimálisabbnak, továbbá a rendszer bővíthetősége is könnyebb lesz ezáltal.

Mindezeket beleértve a személyes célom az volt, hogy a rendszer felépítéséhez szükséges technológiákat mélyebben is megismerhessem, jobban belelássak a mikrokontrollerek és szenzorok világába és a kommunikációs protokollok működési elveit is elsajátíthassam.

Mivel a későbbiekben taglalt irodalomkutatás során talált eredmények megfelelően sikeresnek tűntek, bele mertem vágni egy hasonló kutatás elkészítésébe, azonban mivel egyik kutatás sem foglalkozik valós körülmények közötti teszteléssel, komplex adatfeldolgozással és nekem sincs lehetőségem valós körülmények közötti tesztelésre, a rendszer valós hatékonyságának vizsgálatát nem tudtam biztosan ellenőrizni, így a konklúzióként várt eredmények kifejezetten a szenzorok ammóniára való érzékenységének vizsgálatára irányulnak.

# Irodalomkutatás

A továbbiakban a dolgozathoz szükséges kutatásokat, cikkeket fogom áttekinteni, mely után a feladat megoldásához kellő paraméterek könnyebben eldönthetők lesznek.

## Állatjólét

Az állatjólét szerencsére napjainkban már nagyon fontos és komolyan is veszik mind a gazdák, mind pedig a hatóságok. Több ezzel kapcsolatos rendeletet is kiadtak világszerte, melyek arra hivatottak, hogy az állatok megfelelő környezetben növekedhessenek. A dolgozatomban kulcsfontosságú, hogy a szenzorok milyen határokon belül mérjenek és mennyire legyenek pontosak, ezért több ehhez kapcsolódó rendeletet is áttekintettem, amik az ammóniakoncentrációt vizsgálják.

A szárnyasokat általában zárt térben tartják, így könnyen mérhetjük és szabályozhatjuk a környezeti viszonyokat. Kuney (1998) [4] felfedezte, hogy minimális hőmérsékleti ingadozások is szignifikánsan befolyásolják a baromfik takarmányfogyasztását, ami befolyásolja a termelést. A nem megfelelő környezeti tényezők ezen túl hozzájárulhatnak az állatok megbetegedéséhez, stresszt okozhatnak.

A baromfik jólléte érdekében az agrárminisztérium által kiadott „*11/2019. (IV. 1.) AM rendelet a baromfi ágazatban igénybe vehető állatjóléti támogatások feltételeiről*” című rendeletének 9. § (3) b) pontjának értelmében csak úgy lehet uniós támogatáshoz jutni, ha a gazda teljesíti az ammóniára vonatkozó feltételt: *(3) „Az igénylőnek* *az istálló gázkoncentrációjának javítása érdekében biztosítani kell az istállóban az ammónia 14 ppm-nél alacsonyabb mértékét.”* [5]A továbbiakban ki is emelik, hogy ezen feltétel teljesülését szolgáltató állatorvos helyszíni ellenőrzése során igazolni is kell.

Egy 2013-mas, *Incorporating Smart Sensing Technologies into the Poultry Industry* [4]című tanulmányban sok fontos paramétert összegyűjtöttek a baromfik élettani jellemzőikről a környezetük függvényében. A kutatás a legnagyobb problémának a megfelelő szellőztetés hiányát említi. Az energiagazdálkodás miatt fontos odafigyelni a megfelelő szigetelésre, hogy a hőmérséklet a lehető legkevesebb energiával tudjon konstans szinten maradni, viszont szellőztetés nélkül a NH3, CO2, magas páratartalom és por nem, vagy csak nehezen tud alacsonyabb szintre kerülni.

Az ammónia elsősorban az állatok trágyájából keletkezik. Ha nő a páratartalom, nő a trágyában lévő mikroorganizmusok száma, ami így növekvő ammóniatartalomhoz vezet. Ehhez, ha magasabb hőmérséklet is társul, az tovább tudja gyorsítani a folyamatot. Például 10 °C-ról 25 °C-ra való növekedés 10 ppm-ről 25-30 ppm-re való emelkedést mutatott. Czarick and Fairchild (2012) kutatása alapján a páratartalom 60%-on való tartása esetén az ammónia elfogadható tartományban maradt, 70% fölött viszont 50 ppm fölé került.

25 ppm ammónia koncentráció esetén észlelhetően lassul a brojlercsirkék (húsfeldogozásért tenyészetett csirkék) növekedése, 50-75 ppm-es ammónia szintnél pedig már kimutathatóan nagyobb a csirkék halálozása, így több ország szabályozásában ezek a szintek jelennek meg. Írországban a szabályozás értelmében nem szabad túllépni az ammónia tartalomnak 8 órán keresztül 20 ppm szintet, 10 perces időtartamot tekintve pedig 35 ppm-et *(European Communities, 2007: Bord Bia, 2008).* A többi európai ország hasonló értékekkel állították be a határokat, Németország 20 ppm, Svédország és Egyesült Királyság 25 ppm 8 órás ciklusra. Svédországban ezen felül 50 ppm-es határt kell tartani 5 perces ablakban. Érdekességként a sertések esetét is tekintve egy sertéstartásra vonatkozó hasonló rendeletben 9,5 ppm [6] szint a maximáls.

A fenti számokat tekintve eldönthető, hogy a dolgozatomban tervezett elektronikus orrnak legalább az 50 ppm-es ammónia szintet ki kell tudnia jelezni, mivel ezen szint fölött tapasztalható jelentősebb élettani romlás a baromfiknál, viszont, ha jogszabályi limitek mérésére is alkalmasnak szeretnénk tekinteni, akkor legalább a 20 ppm-es gázkoncentrációt is eredményesen kell jeleznie, továbbá célszerű hőmérsékletet és páratartalmat is mérni.

## Gazdasági tényezők

A mai árfolyamok és energiaárak mellett nagyon fontos odafigyelni, hogy mire és mennyit költünk. Ezek közül a mezőgazdaságban és azon is belül a baromfitenyésztésben számos olyan paraméter van, amin sokat spórolhatunk, vagy bukhatunk, ha nincs megfelelő kontroll alatt.

### Mezőgazdaság

Ahogy fentebb említettem, természetesen más-más kasszából tudnak gazdálkodni a más méretű tenyészetek, így valószínűleg nagyobb gazdálkodások könnyebben vesznek új eszközöket, fejlesztik a rendszereiket precíziós mezőgazdasági eszközökkel. Egyik célom így az, hogy minden gazdának elérhető áron fejlesszek egy olyan terméket, ami akár rövid távon is kifizetődő hatással van az termelésre és az állatokra is. Mivel a legtöbb pályázatban az ammóniakoncentrációra vonatkozó feltételek is vannak, így a gazdák ennek segítségével akár könnyebben nyerhetnek el pályázati forrásokat.

Az ammóniaszint mérésére természetesen léteznek szenzorok, viszont ezek igen költséges rendszereket jelentenek. Egy szenzor (mindenféle elektronikai, informatikai feldolgozó egység nélkül) 30-40 ezer forint is lehet, összetettebb rendszerbe integrálva pedig akár több százezer forintos költséget is jelenthet. Általam is használt MQ szenzort alapul véve egy kicsit jobb a helyzet, az MQ137 elnevezésű ammónia mérésére alkalmas szenzor 10-20 ezer forint között kapható, viszont összevetve a többi fém-oxid szenzorral, amik akár 600-700 forint között kaphatóak, így is elképesztő az ára.

### Energiagazdálkodás

Mindannyian tisztában vagyunk a mai fűtési árak magasságával, ami a baromfik zárt tartása miatt az állattenyésztésre is nagy hatással van. A már említett kutatás [4] egy 2011-es mérés eredményét közölte, amiben a teljes energiafelhasználás 84%-a a fűtésre, teljes elektromos áram felhasználás 45%-a pedig a szellőztetésre fordítódik. Ebből könnyen levonhatjuk, hogy a fűtésre és szellőztetésre különös figyelmet kell szentelni. Mivel a levegőminőség szintén kritikus paraméter, aminek javítását szellőztetéssel érhetjük el, még nagyobb hangsúlyt kap a teljes energiagazdálkodás kontroll alatt tartása és állandó monitorozása.

## Feladat indokoltsága

A fejezetben leírtakat figyelembevéve indokolt alkotni egy olyan szenzorrendszert, ami méri a levegő ammóniakoncentrációját, olcsóbb a kapható ammóniaszenzoroknál és megfelelően pontos is. Ha sikerülne a célnak megfelelő több szenzorból álló, de olcsóbb rendszert megalkotni, sok gazdának jelenthetne könnyebbséget. További jó indok a megoldásra, hogy az MQ szenzorok felhasználási körét tovább bővítsem.

## Hasonló kutatások összevetése

A dolgozatom egy másik motivációja az, hogy léteznek az enyémhez hasonló kutatások, amikből ki tudtam indulni és amik bátorítottak, hogy működőképes lehet a készülő rendszer. A módszer eredményességének vizsgálatáról több kutatás is készült, melyek közül a leginkább releváns az „*Advance in electronic nose technology developed for the detection and discrimination of ethanol, ammonia, and hydrogen sulfide gases”* [7]című. A kutatás 3 gázt is megvizsgált az olcsóbb MQ szenzorok segítségével, mely gázok az ammónia, etanol, hidrogén-szulfid.

A szenzorokat egy erre a célra létrehozott vizsgáló csőbe helyezték, amelybe az adott gázból meghatározott koncentrációban engedtek, és figyelték a szenzorok válaszát.

A képen szöveg, diagram, sor, Diagram látható

Automatikusan generált leírás

1. ábra - Különböző gázokra adott szenzorválaszok [7]

A beillesztett ábrán jól látható, ahogy a különböző szenzorok milyen görbét mutatnak az adott gázzal való érintkezésükkor az idő függvényében. Érdemes megfigyelni, hogy az ammónia jelenléte esetén az MQ9, MQ135 és MQ5 szenzorok mutatnak nagyobb kilengést. Ez a tény teszi végső soron lehetővé az ammónia szenzor MQ szenzorokkal való helyettesítését.

Másik számomra releváns kutatást a***Spirocco KFT***.-nek köszönhetem, mely vállalkozás egyik munkatársa, ***Molnár Marcell*** foglalkozott egy hasonló konstrukció megalkotásában és tapasztalatával segítette az én haladásomat is. A kutatásukban felhasznált szenzorok ugyanolyan típusúak voltak, mint a fentebb említett kutatásban szereplők, azonban ők kihagyták az MQ9-es szenzort, mely az előző kutatás eredményei alapján a legnagyobb érzékenységet mutatta az ammóniára. Ők nem tesztelték külön ammóniára a szenzorokat, viszont az alábbi képen egy valós környezetben való mérés eredménye látható, ahol hasonló kimozdulásokat mutatnak bizonyos szenzorok.

A képen képernyőkép látható

Automatikusan generált leírás

2. ábra - MQ szenzorok jelei valós környezetben [8]

A saját kutatásom során biztosra szeretnék menni, így az összes elérhető MQ szenzor hatékonyságát tesztelem, így nagyobb mérési adathalmazt kapva, hogy a lehető legjobban tudjam közelíteni az ammóniaszenzor eredményét.

# Feladat megoldása

A továbbiakban taglalom a feladat megoldásához használt eszközöket, technológiákat és ismertetem azokat a megfontolásokat, amelyekkel ezeket kiválasztottam.

## Pontos célkitűzés

Az ammóniaszenzor magas költsége és MQ szenzorok felhasználási lehetőségeinek bővítése céljából a fő célom az, hogy megállapítsam és feldolgozzam a kapható fém-oxid félvezető szenzorok ammóniára adott válaszát. Ezt egy több szenzorból álló rendszerrel teszem meg, ami tartalmaz 9 db olcsóbb (500-600 forintos) különböző gázokra érzékeny MQ szenzort, illetve egy ammóniára érzékeny MQ szenzort is. A mérési eredmények kiértékelése az ammóniaszenzor és a többi szenzor válaszának összehasonlítása során valósul meg. A mérési eredmények után a szenzorokra felállítok egy karakterisztikát, mely megmutatja, hogy milyen válasz várható bizonyos ammóniakoncentrációknál.

A rendszer megalkotása során igyekszek figyelni arra is, hogy a valós felhasználásnak megfelelő technológiákat használjon, illetve az elemzésem kiterjed a módszer pontosságának vizsgálatára is.

## Kezdeti lépések

A módszer átgondolásával és a rendszer összeállításával önálló labor keretein belül kezdtem el foglalkozni, az irodalomkutatás nagy részét és eszközök rendelését akkor sikerült elvégezni.

A rendelt hardverekből még akkor megépítettem egy olyan tesztelési rendszert, amivel a szakdolgozat alatt is dolgozni tudtam pár kisebb módosítás után, így több idő maradt a szoftver fejlesztésére.

## Használt eszközök

Ahogy a bevezetőben szerepelt, az elektronikus orr 3 fő egységből áll, a mintaszállító, érzékelő és számítási rendszerből, amikből a feladathoz elsősorban az érzékelő és számítási rendszer szükséges, mivel a mintát közvetlenül a légtérből fogjuk olvasni. A tesztelési rendszerhez azonban szükség lesz valamilyen rendszerre a minták kezelésére, így valamilyen formában az is meg fog jelenni.

### Számítási rendszer

A számítási rendszeremet egy mikrokontroller fogja képviselni. A mikrokontrollerek [9] manapság rendkívül elterjedt elektronikai eszközök, melyeket igen széleskörben alkalmazzák. Népszerűségének legfőbb oka, hogy könnyen programozhatóak, kis méretűek és nagyon kedvező áron hozzájuthatunk. Ezek közül a legfontosabb a mérete és az ára, mivel szeretném, hogy a lehetőségekhez mérten elég kompakt rendszert kaphassak, illetve, mivel a rendszerrel a költséghatékonyság is cél, az ára is fontos tényező.

Maga a mikrokontroller gyakorlatilag egy miniatűr számítógép, mely vezérlési feladatok ellátásához készült. Hogy kedvezzenek a hobbielektronikát kedvelőknek gyakran egy lapkára integráltan árulják, amin könnyebben hozzáférhetőek a ki- és bemenetei, illetve sokszor különböző kiegészítő modulokat, áramköri egységeket szintén integrálnak hozzá a könnyebb használat érdekében.

Manapság elég sok mikrokontrollert kaphatunk a piacon, így ezek közül ki kellett választanom a legjobbat. Ez egészen könnyen ment, mivel az egyik félévben hallgatott tárgyam keretein belül megismerkedhettem az ESP32 mikrokontrollerrel és egy kis kutatómunka után úgy döntöttem ez megfelel minden elvárásnak.

A döntés fő okai a versenytársaihoz képest (pl. Arduino Uno, Nano, STM32), hogy 12 bites analóg-digitális átalakítója (ADC) miatt nagy pontosságú adatgyűjtést tesz lehetővé (Arduino legtöbb modellje csak 10 bites ADC-jű). Ez azt jelenti, hogy a teljes mérési tartományt 212 db „szeletre osztva” tudja monitorozni. Az ESP32 ADC-jének felső mérési határa 3.3V (ez a FS, azaz Full Scale – mérési tartomány), 1 bit változásnak tehát 3.3V / 1012 = 0.806mV változás felel meg. (Ezt mérési felbontásnak is nevezzük, a jele Q, mértékegysége V/bit 🡪 ebben az esetben )

Ennek az ADC-nek az egyik fontos jellemzője, hogy nem teljesen lineáris a pontossága, ahogy az alábbi ábrán is láthatjuk [10]:

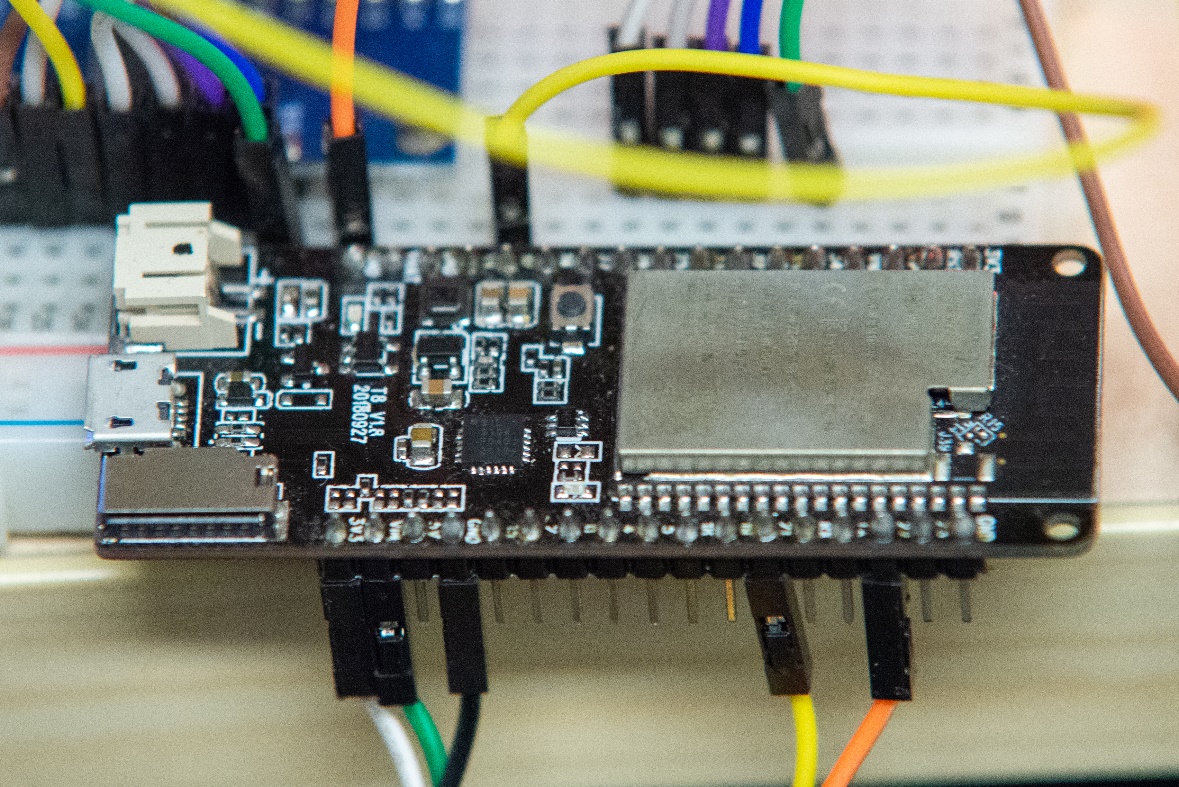
A képen szöveg, diagram, Diagram, sor látható

Automatikusan generált leírás

3. ábra - ESP32 ADC karakterisztikája

Az ábrán jól látható, hogy alacsony feszültségeken (0-0.13V között) gyakorlatilag nem érzékel az ADC, 0 körüli bit értékeket mér, 2.5V és 3.3V között nem lineáris, 3.2V-3.3V között pedig szintén nem érzékel, végig 4095 értékre áll, ami további mérési hibát eredményezhet. Ezeket összevetve tisztában kell lenni vele, hogy bizonyos mérési hiba biztosan keletkezni fog a tesztelés során.

Az általam választott TTGO T8 V1.8 típusú ESP32 további előnye, hogy beépített wifi és bluetooth modullal is rendelkezik, illetve van rajta egy SD kártyafoglalat, amit az adatok lokális mentése során ki is fogok használni a tesztelés során.



4. ábra - ESP32 TTGO T8 V1.8

### Érzékelő rendszer

Az elektronikus orrhoz érzékeléshez alapvetően szükséges érzékelő eszközök a már említett MQ szenzorok. Ezek fém-oxid félvezető (MOS) alapú érzékelők, ami azt jelenti, hogy a működésük során egy fém-oxid bevonat vezetőképességének változása fogja mutatni a gáz koncentrációját.

Az MQ szenzorokból egészen sok fellelhető, viszont én most kifejezetten az olcsóbbakat szeretném felhasználni, amik az MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8, MQ9, MQ135 nevű szenzorok. Minden szenzor eltérő gázokra érzékenyebb, illetve több átfedésük is van. Például metánra az MQ2 és MQ4 is érzékeny, LPG-re az MQ5 és MQ6. Felépítésük többnyire azonos, egyedüli különbség az érzékelésért felelős rétegben van, illetve néhány szenzor burkolata nem fém, hanem műanyag.

A teszteléshez, hogy tudjam, pontosan milyen koncentrációjú ammóniát mérek, használtam egy MQ137 nevű, ammóniára érzékeny szenzort is. Érdemes itt is megemlíteni, hogy az MQ137 ára ~8000 Ft volt (2023. március), a többi fent felsorolt szenzor pedig egyenként ~600 forintba kerültek. Ezeket mindet a könnyebb használat érdekében úgy rendeltem, hogy egy-egy egyszerű áramkörre integrálva legyenek, amit később részletesen is bemutatok. Sajnos a szenzorok megbízhatósága kétséges, mivel nem mellékeltek adatlapot a szenzoroknak, így amely áramköri paraméterekre szükségem volt, azt számolással vagy mérésekkel tudtam kihozni.

A védőháló (ami a lentebbi képeken is látszik) azért fontos, hogy a szenzornak biztosíthassuk, hogy például por ne, hanem csak a gázrészecskék jutnak el hozzá, illetve védelmi szerepe is van, hogy ne robbanjon be gyúlékony gáz vizsgálata esetén a szenzor.



5. ábra - MQ2 szenzor a védőhálóval [11]

A lenti ábrán a H pontok közötti vezeték fogja az üzemi hőmérsékletet (150-300°C[12]) biztosítani az fém-oxid bevonatú vezetőnek, az A és B pontok között pedig a mérés eredményéül szolgáló felszültséget mérhetjük.

A képen képernyőkép látható

Automatikusan generált leírás

6. ábra - MQ szenzor a védőháló nélkül [11]

A magas üzemi hőmérsékletet egy 33-os nikkel-króm tekercs 5V feszültséggel való táplálásával érjük el, ami így azt jelenti, hogy egy szenzor működéséhez szükséges áram ~150mA, így 10 szenzorhoz nagyjából 1.5A áram kell. Ez mikrokontrolleres környezetben igen nagy, főleg, ha összevetjük az ESP32 ~35mA-es áramfelvételével.

Az érzékelő elem egy Ón-dioxid (SnO2) réteg, ami egy alumínium-oxid (Al2O3) alapú kerámiahengeren helyezkedik el, ahogy a lenti képen is látható. Az alumínium-oxid alapú kerámia a fűtés hatékonysága és folyamatos üzemi hőmérséklet biztosítása miatt fontos elem. Ezeken felül az érzékelőhöz kapcsolódik egy platina vezeték, aminek segítségével a megfelelő 5V-os mérési tápfeszültséget visszük a szenzorra.

A képen képernyőkép, tervezés látható

Automatikusan generált leírás

7. ábra - Érzékelő elem felépítése [11]

Maga az érzékelés úgy működik, hogy az ón-dioxid magas hőmérsékletre való fűtése után, ha tiszta a levegő, a felületére oxigén molekulák kötődnek, amik magukhoz vonzzák az ón-dioxid vezetési sávjában elektronokat.

A képen szöveg, képernyőkép, Betűtípus, tervezés látható

Automatikusan generált leírás

8. ábra - Érzékelő tiszta levegő esetén [11]

Az oxigénmolekuláknál lévő elektronok ezáltal egy kiürített tartományt hoznak létre, „lekötnek” elektronokat közvetlenül a felszín alatt. Ez azt jelenti, hogy csökken a szabad töltéshordozók, vezetésre képes szabad elektronok száma, így nő az érzékelő elem ellenállása.

Ha redukáló/gyúlékony gázzal (pl. hidrogén, propán-bután) érintkezik a szenzor, a félvezető felületén lévő oxigén molekulával kapcsolódik és elvonja azt, amivel így az eredetileg tiszta levegőn az oxigénhez kapcsolódott elektron visszakerül a vezetési sávba, nő a szabad elektronok száma, így csökken az érzékelő ellenállása. [11]

A képen szöveg, képernyőkép, tervezés látható

Automatikusan generált leírás

9. ábra - Érzékelő gáz jelenlétében [11]

Az MQ szenzorokat a prototípushoz áramkörre építve szereztem be, hogy könnyebb legyen tesztelni őket. Az áramkörök felépítése megegyezik, de néhány áramköri elem (pl. RL) értéke viszont eltér a különböző szenzorok áramkörén. A kapcsolási rajz itt látható: A képen szöveg, diagram, sor, Diagram látható

Automatikusan generált leírás

10. ábra - MQ szenzor áramköri rajta [13]

Az ábra bal oldalán található maga a szenzor a 6 lábával. Látható, hogy a 2, 5-ös számmal jelzett lábakhoz csatlakozik a fűtésért felelős króm-nikkel tekercs, 1, 3 számmal jelzett lábakon pedig a méréshez szükséges VCC feszültséget kapja a szenzor, ami 5V.

A szenzor használatakor lehetőség van az áramkör analóg kimenetét vizsgálni. Ez úgy történik, hogy az RL ellenálláson eső feszültséget mérhetjük az AOUT és GND kimenetek között. Az érzékelő ellenállása (továbbiakban RS) és az RL egy feszültségosztót képez, így, ha ismerjük az RL ellenállás értékét és a bemeneti feszültséget, kiszámíthatjuk RS-t is, illetve annak változását, amiből a megfelelő karakterisztika alapján kiszámíthatjuk a gáz koncentrációját.

Az áramkör többi része egy digitális kimeneti jelet is biztosít számunkra egy komparátor és egy állítható potenciométer segítségével. A potenciométer lehetőséget nyújt a digitális kimenet döntési küszöbét állítani. A digitális kimenet magas állásban egy LED-et is meghajt, így közvetlenül is értesülhetünk az érzékelőnk állapotáról, illetve a tápfeszültség adásakor is nyit egy LED dióda, így láthatjuk is, ha tápfeszültség alá került a szenzor és üzemel.

#### Előzetes számítások

A szenzor karakterisztikájában az ammónia koncentráció ppm értékeihez vannak rendelve RS/R0 mért értékei, így ebből az arányszámból leolvashatjuk az ammónia ppm értékét. Itt RS a szenzor gáz jelenlétében mért ellenállása, R0 pedig a szenzor friss levegőn mért ellenállása, így RS/R0 a szenzor friss levegőn mért és gáz jelenlétében mért ellenállásának aránya. Ebből R0-t előzetesen meg kell határozni.

Mivel nincsenek pontos adatlapi értékeim, az áramkörön található RL értékét is meg kell határozni, amihez két módszert találtam. Mivel az áramkör úgy lett kialakítva, hogy RL-en eső feszültséget AOUT és GND kimenetek között mérni tudjuk, egy multiméterrel erre rámérve RL ellenállás értékét is megkaphatjuk. Másik módszer RL ellenállás megtalálására, hogy az áramkörről leolvassuk az SMD (Surface Mounted Device) ellenállás kódját, ami az áramkörön az alábbi pirossal keretezett helyen található:

A képen áramkör, Elektrontechnika, elektronika, Elektronikus alkatrész látható

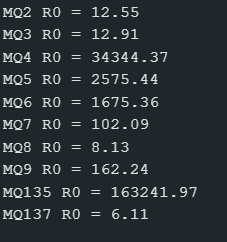
Automatikusan generált leírás

11. ábra - MQ137 szenzor áramköre

Erről leolvasható, hogy a kódja 102. A kódban az első két digit a szignifikáns, harmadik pedig a 10 hatványán áll, a következő számítással pedig megkaphatjuk annak értékét: **10**\*10**2**= 1000 , ami a multiméteres mérésnek is megfelel.

A fentebb írtaknak megfelelően az 5V-os Vcc tápfeszültséget a szenzor RS értéke és egy RL ellenállás osztja, az RL-en eső VRL -ből pedig kiszámíthatjuk az aktuális RS értéket a következő egyenlet átrendezése után:

R0 értékének meghatározásához az RS-hez használt képlet alkalmazható, mivel a R0 ugyanúgy a szenzor ellenállása, csak szabad levegőn. Mivel minden szenzoron el kell végezni ezt a mérést, hogy megkaphassuk végül az adott szenzor RS/R0-NH3 ppm karakterisztikáját, a mérés gyorsítása érdekében írtam egy Arduino kódot az ESP32-re, ami minden szenzorról leolvassa a VRL értékét, majd ebből kiszámítja R0-at. Az eredmények itt láthatóak mértékegységben:



12. ábra - ESP32 által mért értékek

Mivel nagyon kis feszültségeken (kb. 0.01-0.05V között) az ESP mérései nem lettek teljesen pontosak, kézzel is lemértem a szenzorok VRL értékét és kijavítottam az itt kiugróan magas értékeket, így a korrigálás után:

MQ4 = 1485

MQ5 = 61.5

MQ6 = 568.24

MQ135 = 124

Ahhoz, hogy tudjam a tesztelés során a levegő ammónia koncentrációját, alapul vettem az MQ137-es szenzor karakterisztikáját (Winsen gyártotta szenzor adatlapját [14] alapul véve, <https://apps.automeris.io/> és <https://plot.ly/> weboldalakkal digitalizálva a nagyobb pontosságért):

**A képen szöveg, képernyőkép, sor, Diagram látható

Automatikusan generált leírás**

13. ábra - MQ137 karakterisztikája

Ebből, ha tudom R0, RL és VRL értékét, meghatározható az NH3 ppm értéke. Ehhez szükség van a karakterisztika egyenletére. Ezt a karakterisztika 3 pontjából meghatározhatjuk [15]:

A logaritmikus skálán lévő egyenes egyenlete: log(RS/R0) = m\*log(PPM) + b

**m**: meredekség,   
**b**: egyenes metszéspontja RS/R0 = 1-el,   
**y1..y3**: RS/R0 értéke(növekvő sorrendben), **x1…x3:** PPM értéke(növekvő sorrendben)

m = [log(y3) - log(y1)] / [log(x3) - log(x1)]

**m** = log(0.16846/ 0.58427) / log(100/1) = **-0.2701**

b = log(y2) - m\*log(x2)

**b** = log(0.20587) - (-0.2701)\*log(50) = **-0,2276**

Ezekből pedig meghatározható a PPM értéke az alábbi képlettel:

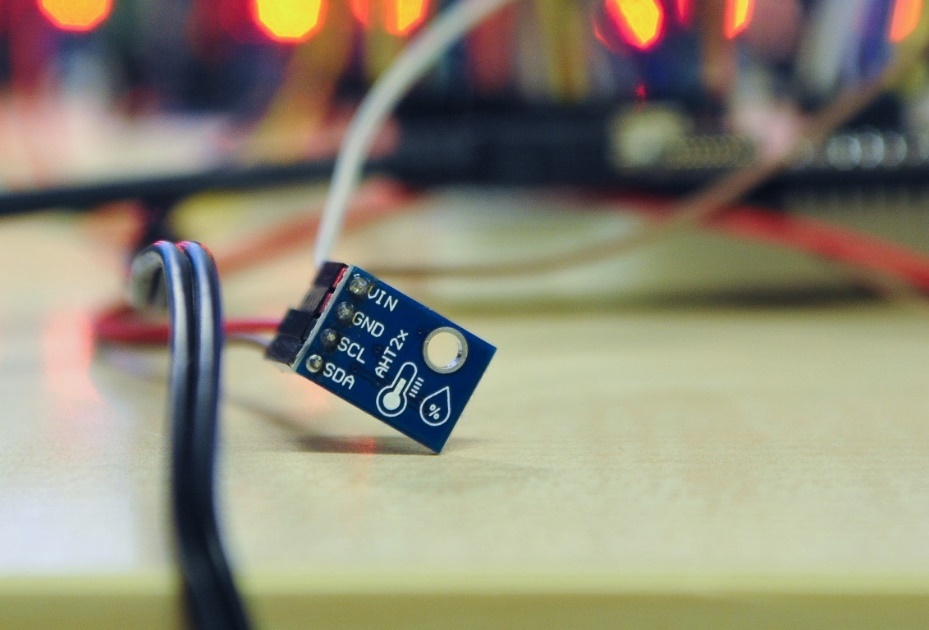
### Egyéb eszközök

A tesztrendszer megépítéséhez szükségem volt néhány további eszközre, szenzorra is, amiket itt felsorolok.

#### Hőmérséklet és páratartalom mérő szenzor

Ahogy az irodalomkutatásom alatt megállapítottam, a baromfikra és az ammónia koncentráció mértékére is nagy hatással van a hőmérséklet és páratartalom, így fontosnak gondoltam ennek a mérését is.

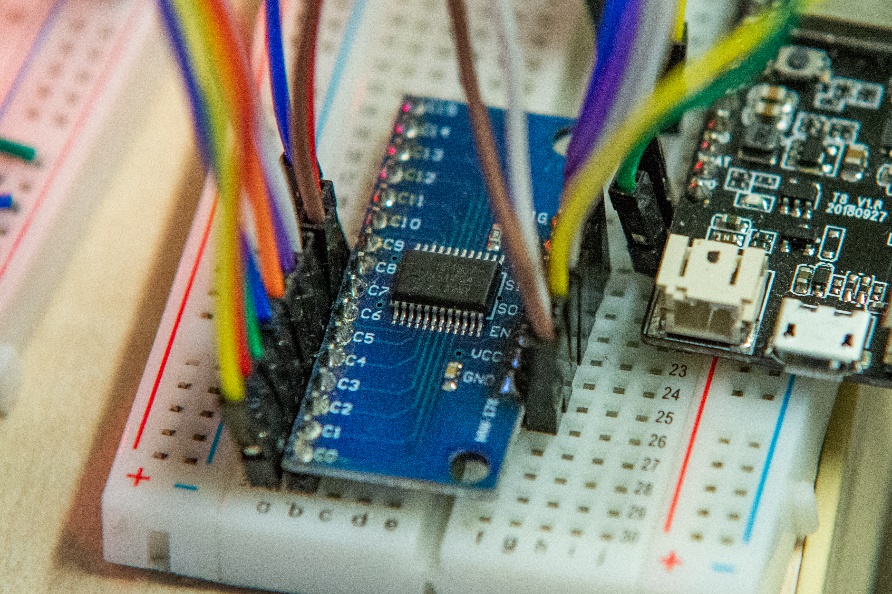
Ezek méréséhez egy AHT21 típusú szenzort használtam, mely hőmérsékletet és páratartalmat is képes mérni, ezen túl méretéből adódóan igen kompakt eszköz. Ez a szenzor I2C-n keresztül kommunikál, illetve az Adafruit termékcsalád könyvtára könnyedén használható a programozás során.

******

14. ábra - AHT21 hőmérséklet és páratartalom méréséhez

#### Multiplexer

A könnyebben átlátható rendszer érdekében és a sok szenzor miatt egy 16 csatornás multiplexert is használtam a rendszer megépítésénél. A multiplexerhez csatlakoztatva a szenzorok analóg kimenetét, megfelelő vezérléssel sorban kiolvashatjuk a rákötött jeleket. Ez jelentősen megkönnyítette a szenzorok adatainkat mintavételezését.



15. ábra - CD74HC4067 típusú multiplexer

#### Tápegység

A tesztrendszer összerakása során a legnagyobb kihívást az okozta, hogy a 10 db MQ szenzor egyenként ~150mA áramot igényel, így összességében végül ~1,5 A áramot kellett biztosítani a rendszer számára. Ez viszonylag soknak számít, így olyan probléma is felmerült, ami egy egyszerűbb rendszer esetén nembiztos, hogy előfordul. Ez a tápegység kábele miatti feszültségesésben mutatkozott meg.

Elsőnek egy 5V, 3A-es tápegységről próbáltam egy-egy kábellel a földet és 5V-ot tovább vinni a breadboardra, azonban így a teljes ~1.5A áram egy vezetéken folyt. A használt ~10 cm-es kábel ellenállása 200 volt, ami így R\*I2 = 0.2 \* (1.5A)2 = 0.45V feszültségesést eredményezett, amit a gyakorlatban le is tudtam mérni, a szenzor bemenetére ~4.6V került, amely rontott volna a mérési eredményeken. Ezt úgy tudtam kiküszöbölni és helyesen 5V-ot adni a szenzorok bemenetére, hogy a pozitív feszültségű kábelt 5 db kábellel 5 csatlakozási ponton csillagkapcsolásban adtam rá a breadboard „+” feszültségű sínjére. Ebben a konstrukcióban a kábelek összesen feszültségesést fognak okozni, ami már jóval kedvezőbb. Így éppen megfelelő 5V került a szenzorok bemenetére. A mérések során megfigyeltem, hogy különböző gyártású, de azonos hosszú kábelek is egészen különböző feszültségeséseket produkáltak, amit a vezetékek eltérő anyagának és keresztmetszetének tudok be.

A használt tápegység először egy 5V, 3A-es táp volt, melyet később lecseréltem egy megbízhatóbb 5.1V, 2.5A-es tápra, melynél magasabb feszültsége miatt nem okozott gondot az új 0.9V-os feszültségesés sem, 5V került a szenzorok bemenetére.

A képen kábel, elektronika, Elektromos vezetékek, Elektrontechnika látható

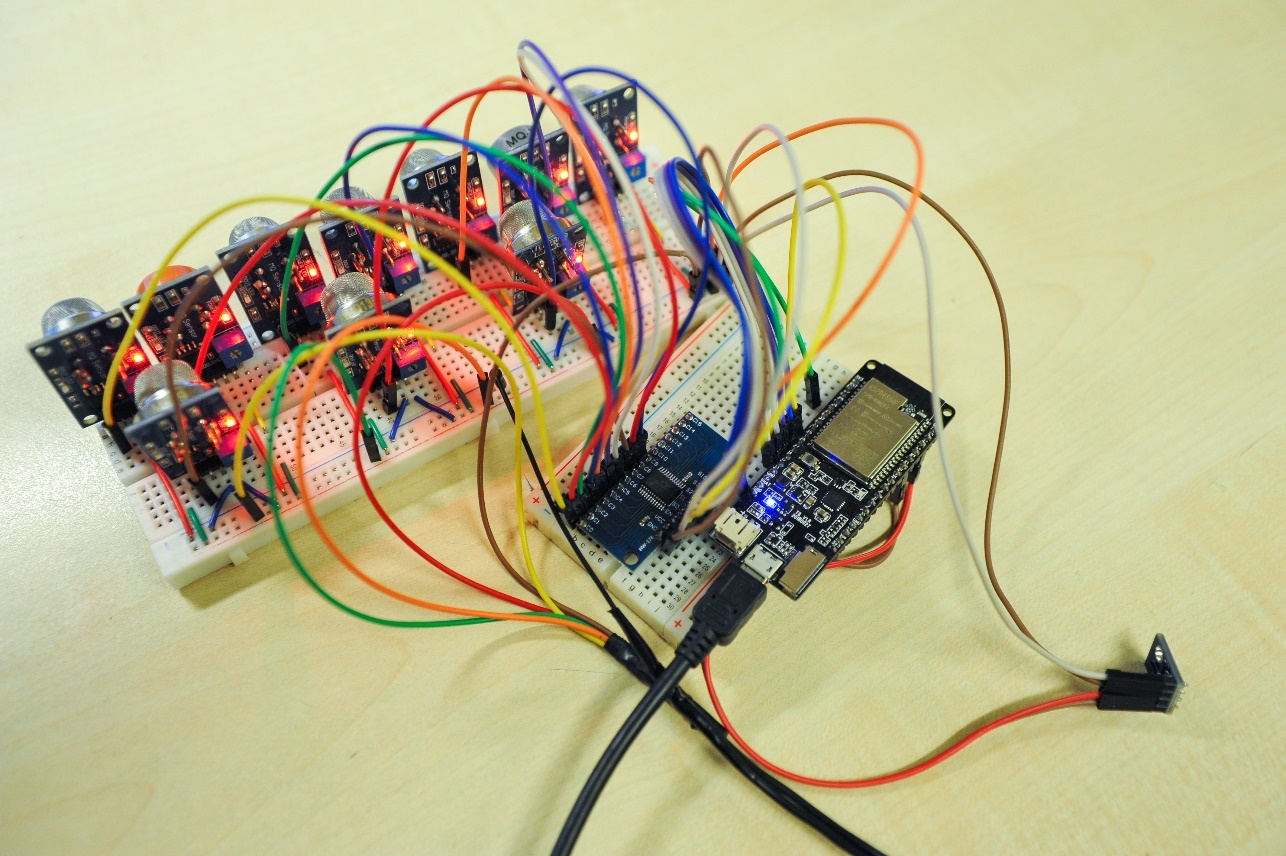
Automatikusan generált leírás

16. ábra 5.1V, 2.5A-es táp a szétosztott vezetékével

#### Feszültségosztó

Az ESP32 ADC 3.3V-os mérési tartománya és az MQ szenzorok 5V-os elvi maximális kimeneti feszültségének különbsége miatt egy 3 ellenállásból álló feszültségosztót is gondoltam beiktatni a breadboardra, hogy az ADC bemenetére eső feszültséget arányosan csökkenthessem. Ehhez egy 20 -os és két párhuzamosan kapcsolt 20 -os (RxR = R/2 🡪 így 10) ellenállást használtam, a kimenetet a 20 ellenállás egyik lábára, másik lábára az eredő 10 egyik lábát, 10 másik lábára pedig a GND-t kötöttem. A 10-on mérhető feszültség így maximálisan 3.33V, mely már optimális az ESP ADC-jéhez. Ez a megoldás elméletben jó, gyakorlatban viszont az ADC alacsony feszültségen való gyenge érzékenysége és több szenzor alacsony kimeneti feszültsége miatt végül kihagytam a tesztrendszerből. Ez a felépítés magasabb feszültségeket mért, amikből így pontosabb eredményeket hozhattam ki.

#### Breadboard, kábelek

A rendszerhez használtam még két breadboardot, illetve kábeleket is. Mivel sok szenzorom van, amiknek szükséges feszültséget, földet vinni és onnan az analóg kimeneti jelet a multiplexerhez, így nagyon sok kábel kellett. Ezek egy részét merev vezetékkel oldottam meg, amik a tápot és földet vitték a breadboard + és – jelű szekcióiról a szenzoroknak, a mért feszültségértékeket pedig 10cm-es hajlékony vezetékekkel vittem egy másik breadboardon lévő multiplexernek és ESP-nek, így egy kicsit átláthatóbb lett a rendszer.

# Irodalomjegyzék

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | „Ipar 4.0,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Negyedik\_ipari\_forradalom. [Hozzáférés dátuma: 20. 10. 2023.]. |
| [2] | „Csökken a mezőgazdasággal foglalkozók száma,” [Online]. Available: https://agraragazat.hu/hir/ksh-csokkent-a-mezogazdasaggal-foglalkozok-szama-az-elmult-harom-evben/. [Hozzáférés dátuma: 13. 11. 2023.]. |
| [3] | „Elektronikus orr,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Elektronikus\_orr. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2023]. |
| [4] | „Incorporating Smart Sensing Technologies into the Poultry Industry,” [Online]. Available: https://core.ac.uk/download/pdf/35316433.pdf. [Hozzáférés dátuma: 13. 03. 2023.]. |
| [5] | „Jogszabály - ammóniatartalom 1,” [Online]. Available: https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1900011.am. [Hozzáférés dátuma: 10. 03. 2023]. |
| [6] | „Jogszabály - ammóniatartalom 2,” [Online]. Available: https://www.nak.hu/kiadvanyok/kiadvanyok/3705-az-allattenyesztes-es-a-klimavaltozas/file. [Hozzáférés dátuma: 10. 03. 2023]. |
| [7] | „Advance in electronic nose technology developed for the detection and discrimination of ethanol, ammonia, and hydrogen sulfide gases,” [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9789636. [Hozzáférés dátuma: 13. 03. 2023.]. |
| [8] | M. Marcell, *mérési eredmények - Kamerakép-alapú súlybecslés a precíziós baromfitartásban - Szabó Sándor előadásában.* |
| [9] | Wikipédia, „Mikrokontrollerek,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Mikrovezérlő. [Hozzáférés dátuma: 19. 11. 2023.]. |
| [10] | „ESP32 ADC karakterisztikája,” [Online]. Available: https://lastminuteengineers.com/esp32-basics-adc/. |
| [11] | „MQ szenzor működése,” [Online]. Available: https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-senser-arduino-tutorial/. [Hozzáférés dátuma: 19. 11. 2023.]. |
| [12] | „MQ szenzor üzemi hőmérséklete,” [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135983682200751X. |
| [13] | „MQ áramköri rajz,” [Online]. Available: https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mq2-gas-sensor-with-arduino. [Hozzáférés dátuma: 20. 11. 2023.]. |
| [14] | „MQ137 karakterisztika,” [Online]. Available: https://cdn.sparkfun.com/assets/b/6/7/5/8/MQ137\_datasheet.pdf. |
| [15] | „nh3 ppm meghatározása,” [Online]. Available: https://duino4projects.com/measuring-ppm-mq-gas-sensors-using-arduino-mq-137-ammonia/. |