

# SZAKDOLGOZAT



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**Németh Benedek József**

**Budapest  
2024**



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem

Élelmiszermérnöki kar

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás tanszék

GÁZSZENZOROS ELEKTRONIKUS ORR FEJLESZTÉSE ÉS  
ALKALMAZÁSA ALKOHOLOS ITALOK MINŐSÉGI  
PARAMÉTEREINEK MÉRÉSÉRE

Konzulensek:

Dr. Gillay Zoltán

Egyetemi docens

Dr. Gillay Bőborka Zsuzsanna

Egyetemi adjunktus

Készítette:

Németh Benedek József

Élelmiszermérnök hallgató

BUDAPEST, 2024

# Tartalom

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Bevezetés</b>                                        | <b>3</b>  |
| 1.1. Téma                                                  | 3         |
| 1.2. Célok                                                 | 3         |
| <b>2. Áttekintő szakirodalom</b>                           | <b>5</b>  |
| 2.1. Bortechnológia alapjai                                | 5         |
| 2.1.1. Szeszes italok, erjedés                             | 5         |
| 2.1.2. Termőföldtől a palackig                             | 5         |
| 2.1.3. Szőlőfeldolgozás                                    | 6         |
| 2.2. Főbb borhibák és kémiájuk                             | 7         |
| 2.2.1. Borhibák                                            | 8         |
| 2.2.2. Borbetegségek                                       | 8         |
| 2.3. E-orr működésének ismertetése, fajták, adatfelismerés | 9         |
| 2.3.1. E-nose                                              | 9         |
| 2.3.2. Elektronikus orr működése és felépítése             | 10        |
| 2.3.3. Algoritmusok, adatelemző módszerek                  | 10        |
| 2.4. MOS alapú gázszenzorok működése                       | 11        |
| 2.4.1. Fizikai alapok                                      | 11        |
| 2.4.2. A gázszenzor felépítése                             | 13        |
| 2.5. Kutatások, eddigi mérések orrokkal                    | 13        |
| 2.5.1. Frissesség vizsgálat e-orrall                       | 14        |
| 2.5.2. Minőség ellenőrzés e-orrall                         | 14        |
| 2.5.3. Hamisítás                                           | 16        |
| <b>3. Anyagok módszerek</b>                                | <b>18</b> |
| 3.1. Eszköz alkatrészek                                    | 18        |
| 3.1.1. Hardver                                             | 18        |
| 3.1.2. Szoftverek                                          | 25        |
| 3.2. Mérések céljai                                        | 26        |
| 3.2.1. Első kísérlet                                       | 26        |
| 3.2.2. Második kísérlet                                    | 27        |

|             |                                        |           |
|-------------|----------------------------------------|-----------|
| 3.2.3.      | Harmadik kísérlet                      | 27        |
| <b>3.3.</b> | <b>Mérések menete</b>                  | <b>28</b> |
| 3.3.1.      | Első kísérlet folyamata                | 28        |
| 3.3.2.      | Második és harmadik kísérlet folyamata | 28        |
| <b>4.</b>   | <b>Eredmények</b>                      | <b>31</b> |
| <b>5.</b>   | <b>Összefoglalás</b>                   | <b>40</b> |
| <b>6.</b>   | <b>Továbbfejlesztési lehetőségek</b>   | <b>40</b> |
| <b>7.</b>   | <b>Felhasznált irodalom</b>            | <b>41</b> |
| <b>8.</b>   | <b>Ábrajegyzék</b>                     | <b>44</b> |
| <b>9.</b>   | <b>Táblázat jegyzék</b>                | <b>45</b> |
| <b>10.</b>  | <b>Nyilatkozatok</b>                   | <b>46</b> |



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

# 1. Bevezetés

Több próbálkozás is létezik már az elektronikus orrok kedvezőbb, áron való gyártására, különböző megoldásokkal, szenzorvariációkkal, mintavételezési módszerekkel kísérleteznek szerte a világon. A sokoldalú mérőeszköz a cukrokat lebontó mikroorganizmusok erjesztése során keletkező többféle gázokat (pl: CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) és illékony termékeket (pl: aceton, etanol stb.) is képes mérni. Az erjedéstől és annak körülményeitől függően, a vegyületek változó arányban jelennek meg a levegőben, aminek összetételét több módon is lehet vizsgálni. Dolgozatomban egy saját gázszenzoros érzékelőcsoporttal fogom vizsgálni a már „kész” erjedt termékeket (bor). A vizsgálat apropója, hogy a használt elektronikus orr reprodukált, számottevően olcsóbb verziójával fogom tesztelni a mintákat különböző körülmények között. Célom, fényt deríteni a precizitására, hogy milyen körülmények között ideális mérni vele és versenyképes-e a piacképes társaival szemben.

## 1.1. Téma

- Bortechnológia, borhibák és mérhető illékony vegyületek
- Elektronikus orr és annak működése
- Saját orr működése, elkészítése
- Összehasonlítások: működés, mérési eredmények szerint

## 1.2. Célok

- Olcsó elektronikus orr megépítése (lehetőségeinkhez mérten)
- Megépített eszköz működésének vizsgálata borokon keresztül
- Borhibák felismerésének kísérlete
- Kideríteni, hogy meg tud-e különböztetni tételeket
- Hamisított, olcsó borok kimutatásának kísérlete
- Saját e-nose erősségeinek, hiányosságainak megismerése (tisztíthatóság, élettartam, pontosság, hibatartomány, hátráltató tényezők, ideális eszköz kialakítás)
- Adatfeltárási statisztikai módszer, PCA tesztelése, megismerése az egyszerűsített eszközön keresztül

Eszközzel szembeni elvárások:

- eszköz működtetése, (egyszerűen és olcsón)
- eszköz szerelhetősége, javíthatósága (minél könnyebben elérhető)
- többször megismételhető mérést tegyen lehetővé
- könnyen szállítható legyen
- fejleszthető legyen
- releváns értékeket nyújtson
- minél kevesebb kompromisszum az ár csökkentésével



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

## 2. Áttekintő szakirodalom

### 2.1. Bortechológia alapjai

#### 2.1.1. Szeszes italok, erjedés

Az alkoholos italok régóta elterjedtek a világon, az emberiséggel közel egyidős élelmiszer szinte minden kultúrában megjelenik valamilyen formában. Számos módszer és technológia létezik az emberi fogyasztásra alkalmas etil-alkohol, másnéven etanol előállítására. Az általunk ismert etanolt egy komplex, többlépcsős biokémiai folyamat által, közvetlenül erjeszthető, egyszerű szénhidrátok alkoholos erjedésével állítanak elő. Ezt a folyamatot a környezetünkben több helyen előforduló élesztőgombák anyagcseréje végzi, melyben a dextrózból széndioxidot és etil-alkoholt állítanak elő. Ez a kiindulási anyag rengeteg forrásból kinyerhető, leggyakrabban növényi keményítő hidrolíziséből származtatják. Glükóz forrásként a magas keményítő tartalmú gabonafélék, gumós gyökérfélék szolgálnak alapanyagul. Például: búza, árpa, kukorica, burgonya. Azonban egyik legősibb és legismertebb italnak, a bor alapanyagául a szőlő szolgál, melyben tisztán  $\alpha$ -D-glükóz ( $C_6H_{12}O_6$ ) és másik izomerje D-fruktóz ( $C_6H_{12}O_6$ ) is egyaránt megtalálható. A szőlőcukor és gyümölcscukor aránya szőlőfajtánként változó, így az erjedés végén más és más alkoholtartalmú és ízű terméket kapunk. Ezen alapanyagokon túl számos alkotóelem, észterek, illó és nem illó savak képződése és átalakulása segít kialakítani az erjesztett italok sajátos színét, állagát, ízét, illatát és egységes aromáját.

Az erjedés folyamatát több külső és belső tényező is befolyásolja. Külső tényezők közé soroljuk a hőmérsékletet, nyomást, különböző gázok jelenlétét (oxigén, széndioxid), erjesztő közeg(tartály). Belső tényezők közé sorolhatjuk a pH-t, alaptápanyagokat, az élesztőgombák működéséhez szükséges kofaktorok és egyéb segéd-tápanyagok (ásványok, vitaminok) mennyiségét, valamint a felhasznált és jelenlévő élesztő törzseket. Ezek javarészt befolyásolhatóak, ám itt különül el a spontán erjesztés a szabályozottól. (Asbóth, 2021)

#### 2.1.2. Termőföldtől a palackig

A bortechológia magába foglalja azokat a különböző folyamatokat és eljárásokat, melyek a borászatban a szőlő termesztésétől a bor palackozásáig előfordulnak. Viszont nem csak az eljárások fejlődtek. Viszont nem csak az eljárások fejlődtek, hanem időközben temérdek új szőlőfajta színesíti már a palettát. Magától értetődő, hogy minden fajtának sajátos igényei vannak, de ezeken túl számos tényező befolyásolja a termesztett szőlő külső-belső jellemzőit.

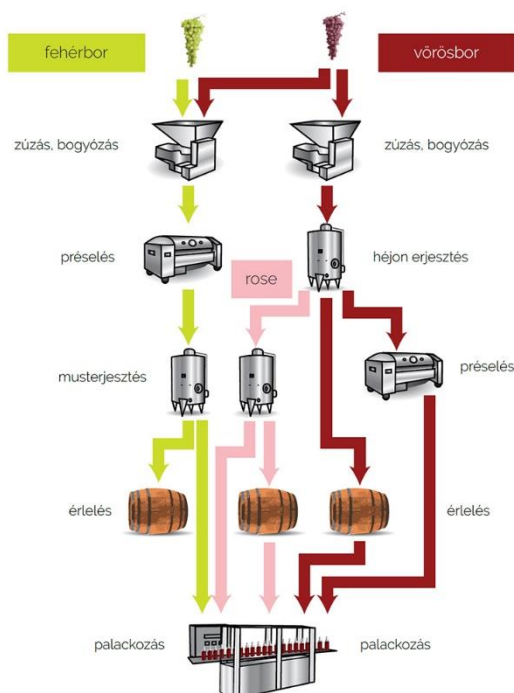
Ilyen például a termőtalaj, annak tápanyagai, azok aránya, a talaj fekvése, csapadék mennyisége, napsütötte órák száma, gondozás (metszés, permetezés). Egy megfelelően karbantartott és termesztett szőlő ideális környezeti tényezők mellett hozza a fajta sajátosságait, mind külső jegyekben (méret, szín, forma), ízben és beltartalmában. A következő lépések minden bornál előfordulnak a készítés során, de természetesen számos, kisebb-nagyobb technológiai eltérés, sajátos eljárás lehetővé teszi a borok egyediségét, karakterének kialakítását.

### **2.1.3. Szőlőfeldolgozás**

A termés beérése után következik a leszüretelt szőlő feldolgozása, amit manapság már korszerű gépekkel gyorsan, hatékonyan tudnak kivitelezni. A termés lehetőleg sérülésmentes begyűjtése és szállítását követően különválasztják a szártól a bogyókat úgy, hogy a mag ne sérüljön. Ezt a folyamatot zúzásnak nevezik, melynek célja a lényérés növelése, ekkor úgynevezett zúzógépekkel roncsolják a gyümölcshús szerkezetét. Ezután a fehér és a vörösboroknál eltérő a folyamat. Lényegében a vörösbornál a préselést megelőzi az erjesztés, melyet a gyümölcshéjon végeznek a kesernyésebb íz, magasabb tannintartalom érdekében. **(1. ábra)** Az erjesztés rozsdamentes hordókban vagy acéltartályokban történik, ahol folyamatosan figyelik a must átalakulását, a közben keletkező ízalkotók fejlődését, és nem utolsósorban a cukor fogyását. A folyamat végére már beszélhetünk borról, viszont a folyamat még koránt sem ér véget. A legidőigényesebb, de aroma kialakításban igen fontos szerepet játszó érlelés elengedhetetlen a technológiában. Ezt már szűrés és átféjtés után fahordókban végzik, ahol a hordó falaiból is számos aroma csatlakozik az elegybe. (Szalai, 2019)

Átféjtésnél fontosnak tartom kiemelni a nyílt és zárt féjtés jelentőségét. A féjtés céljai közül az egyik számomra legfontosabb a kénhidrogén szag eltüntetése, hiszen enélkül kellemetlen aromát fog hordozni a bor. Nyílt féjtésnél mindez távozik, valamint az oda nem illő szagok (élesztő) kiszellőznek a borból. Félig vagy teljesen zárt átféjtésnél azt érik el, hogy az értékes zamat és aromaanyag ne távozzon a borból, ehhez védőgázokat (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) használnak. Az átféjtésnél használt védőgázok távoznak a borból és elvezetik őket. (Tilhof, 2022)

**1. ábra** Szőlőfeldolgozás folyamata  
(Forrás: borászportál.hu)



## 2.2. Főbb borhibák és kémiai

MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

A borok készítése során előfordul, hogy hiba csúszik a folyamatba, ami a végeredményben többször nem kívánatos kinézetben, illatként, vagy ízjegyekben jelentkezik. Ezeknél az elváltozásoknál megkülönböztetjük a borhibát és a borbetegséget mint fogalmat.

Borhibának nevezzük az olyan kémiai és fizikai-kémiai elváltozásokat, mely a technológia során keletkezett. Ezek egy kisebb részét még utólag lehet korrigálni, viszont van, hogy bizonyos reakciók olyan termékeket, vagy változást képeznek a borban, amiket utókezeléssel sem tudunk befolyásolni. Ezeket a hibákat könnyen el lehet kerülni gondos tervezés mellett a megfelelő technológia használatával és higiéniai előírások betartásával.

Borbetegségekről akkor beszélünk, ha a borban történő káros elváltozásokért valamilyen mikroorganizmus felel, tulajdonképpen a bor felülfertőzése történik. Az ilyen betegségeket is általában meg lehet előzni. (NÉBIH, 2013)

### 2.2.1. Borhibák

Pirkadtság, kénes illat, záptojás szag, fekete törés, fehér törés, zavarosodás (élesztő, fehérje), seprő íz, dugóíz, zöld íz, fa íz, kocsány íz, szorbát íz.

### 2.2.2. Borbetegségek

Barnatörés, ecetesedés, virágosodás, brett jelleg (egér íz), nyúlósodás, tejsavas erjedés. (Nyitrai Dr. Sárdy, Török, & Mátyus, 2017)

Az előbb felsoroltak közül vannak, amik megjelenés és állagbéli elváltozások, viszont vannak, amelyek a bor illatára gyakorolnak hatást, a továbbiakban ezeket mutatom be tüzetesebben.

#### Záptojás szag

A záptojás szagára emlékeztető kénhidrogént az alacsony vagy nitrogénhiányos mustokban a borélesztő, (*Saccharomyces cerevisiae*) állítja elő. A mikroba anyagcsere melléktermékeként termeli a H<sub>2</sub>S-t egy redukációs folyamat során, melyben a számára szükséges nitrogént, fellelhető aminosavakból nyeri ki, eközben a kéntartalmat redukálja. A kénhidrogénes szagot több vegyület is okozza (Dimetilszulfid, egyéb tiolok), ezek arányainak, jelenlétének változásával más szagok is kialakulhatnak, mint például káposzta, fokhagyma, földes illat. (Smith és mtsai., 2015)

#### Dugóíz

A dugóval zárt üveges érlelésű, vagy szimplán palackozott boroknál jelentkezik. Oka a dugó felületén tenyésző *Penicillium roqueforti* által termelt dohos beütést a TCA (triklóranizol) vegyület okozza. (Nyitrai Dr. Sárdy, Török, & Mátyus, 2017) A palack felbontása után akár orral is felismerhető, de precízebb eljárásként gázkromatográfiás módszerek is rendelkezésre állnak.

#### Ecetesedés

A kellemetlen szúrós ízű és szagú vegyületet az obligát aerob ecetsavbaktériumok (*Acetobacter*, *Gluconobacter*) termelik, melyek képesek az alkohol oxidációjára. A borban alapvetően több illósav mellett az ecetsav is természetesen előfordul, viszont túlzott termelése ront a bor minőségén és a bor öregedéséhez vezet. A jelenséget indokolhatja a borban magas oxigénszint, ilyenkor a baktériumok optimális életfeltételek mellett billentik fel az illósavak harmóniáját. (Nyitrai Dr. Sárdy, Török, & Mátyus, 2017)

### Kénes íz

A borok szulfitos, kénes illatát és ízét a hordókezeléskor használt kén okozza. Kezelésére többnyire elegendő a bor szellőztetése.

### Brett jelleg

Másik megnevezése a lópokróc vagy istálló szagért, 4-etil-guaiacol (4-EG) enyhén szúrós szagú vegyület felel. Alacsony savtartalmú borok egyik leggyakoribb betegsége, romlást okozó mikrobája a *Brettanomyces* élesztőgomba. Tápanyagként cukrokat hasznosít, de a borban fellelhető glicerint és alkoholt is asszimilálja oxigén jelenlétében. Az ecetes bor mellett ez sem kezelhető, javítható, így nagy figyelmet kell fordítani a megelőzésére, a higiéniára és a borkezelésre.

### Egéríz

A 4-etil-guaiacol (4-EG) más tejsavbaktériumok anyagcsere melléktermékével 2-acetil-tetrahidropiridin keveredve az egér vizelet szagára emlékeztető egéríz alakul ki. Gyakorta előfordul magas vastartalmú borokban. A spontán erjesztésnél jellemzőbb, irányított erjedéssel könnyedén elkerülhető, utólag kénezéssel kezelhető.

### Egyéb szaghibák

A bor szabadon tárolásánál, vagy nyitott átfajtásánál a környezetéből, (akár picéből), nem odaillő szagok képesek beoldódni az italba. Ilyen lehet: vegyszerszag, pincében előforduló szagok.

## **2.3. E-orr működésének ismertetése, fajták, adatfelismerés**

### **2.3.1. E-nose**

Az elektronikus orr (magyarra fordítva) az emberi szaglás által ihletett mérőműszer, mely széleskörben alkalmazott különböző iparágakban. Az orvostudománytól kezdve a katonaságon, környezetvédelmen, agrártechnológián át az élelmiszeriparban is gyakorta használt gépezetről beszélhetünk. Az immáron 50 éve feltalált eszköz rohamosan fejlődik, így ez idő alatt rengeteg változat, módszer született az illatok, gázok és egyéb komponenseinek detektálására. (Chen és mtsai., 2022) Bár az emberi orr igen kifinomult szaglószervnek számít, sajnos akadnak bizonyos határai és korlátai. Így nagy segítséget tud nyújtani a szerkezet, mely több ismétléses mérésre is képes, problémamentesen tud mérgező gázokat detektálni. Nagy előnye még, hogy szubjektivitással, mint emberi tényezővel nem kell számolni. (Farkas & Dalmadi, 2013)

A gázok érzékelésére, mérésére több szenzoros technológia is rendelkezésre áll, jellemzően az alábbi három nagyobb kategóriába sorolhatók. (Farkas & Dalmadi, 2013)

- Szervetlen kristályos: ide tartoznak félvezetők ( $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{FeO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ), fémoxidok, zeolit adszorbensek és fém katalizátorok.
- Szerves anyagok, polimerek: polivinilidén-fluorid (PVDF) (Braunger és mtsai., 2022)
- Biológiai anyagok: fehérjék, enzimek, antitestek, korábban kevésbé, de manapság egyre inkább tudják hasznosítani e-orran is. (Escobar és mtsai., 2023)

### 2.3.2. Elektronikus orr működése és felépítése

Felépítése valamelyest hasonlít a többi mérőeszközhöz, Gardner és Bartlett fogalmazta meg talán eddig a legjobban.

*„Olyan műszer, amely részleges specifikus elektronikus kémiai szenzorokból és megfelelő mintafelismerő rendszerből áll, mely képes egyszerű vagy összetett szagokat felismerni.”* (Gardner & Bartlett, 1994)

Működése a fém-oxid félvezetőkön alapszik (Metal Oxid Semiconductor, később MOS), melyből más anyagot használva különböző gázokra specifikus szenzorokat lehet összeállítani. Minél többféle szenzor érzékel egyszerre, annál tisztább és összetettebb képet tudunk alkotni a mintánkról, nem mellesleg nagyobb szelektivitásra is szert tehetünk. Az érzékelt gáz típusától és koncentrációjától függ a félvezető elektromos ellenállása, így pedig az érkező, mért feszültség is a jelfeldolgozó egységbe.

### 2.3.3. Algoritmusok, adatelemző módszerek

Az ide érkező jeleket a jelfeldolgozó egység, különböző algoritmusok alapján következtet az észlelt gázra. Ilyen algoritmusok a következők: PCA és LDA, DT, SVM, KNN, NBM. (Chen és mtsai., 2022)

A legtöbb kutatásban e-orral gyűjtött adattömbökhöz PCA-t (Principal Component Analysis) használtak, ami magyarul főkomponens analízist jelent. Számos tudományterületen használják a jó zajszűrés és adattömörítő tulajdonsága miatt. Feladata, hogy dimenziót csökkentsen, több függő változó között és egy egységes új változót (főkomponenseket) hozzon létre. Kovariancia mátrix létrehozásával vizsgálja az adatok egymástól függését, majd ezek alapján létrehoz saját értékeket és vektorokat. Innentől dönt a főkomponensről és azokról az adatokról amik nem

szükségesek, ezeket kiszűri. Célja, hogy minél nagyobb információmegtartás mellett, a dimenziókat lecsökkentse. (Chen és mtsai., 2022)

## 2.4. MOS alapú gázszenzorok működése

A MOS-technológiát 1960-ban Mohamed M. Atalla egyiptomi és Dawon Kahng koreai tudósok felezték fel. Kutatásuk a számítógépek áramköreinek méretbeli lecsökkentésén túl temérdek lehetőséget kínált a világ, többek között a szenzortechnológia számára is.

A félvezetők olyan anyagok, melyek belső tulajdonságait, legfőképp a vezetőképességüket meg lehet változtatni külső tényezőkkel, mint például: fény, hő. Az elektronikában kiemelt szerepet játszanak a tranzisztorok, integrált áramkörök vagy diódák előállításában. (Ross Knox Bassett, 2002 *To the Digital Age*.)

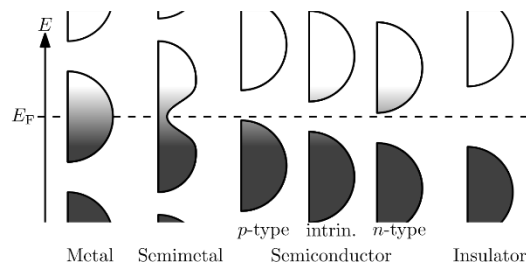
### 2.4.1. Fizikai alapok

A félvezetők természetének megértéséhez szükséges megemlíteni az atomok viselkedését a szilárd testekben. A szilárd anyagokat négy nagyobb csoportba oszthatjuk vezetőképességük alapján, a vezetők (alkálifémek, alkáliföldfémek, átmeneti fémek), félfémes vezetők (félfémek), félvezetők (félfémek) és szigetelők (kétatomos, többatomos nemfémek). A vezetés mechanizmusában továbbá szerepet játszik az elektronok holléte az atomok spinjein. Amennyiben a vegyértéksáv telített, az elektronok (amennyiben van hely) a vezetési sávba ugranak, ebben az esetben a szilárd test elkezd vezetni az áramot.

Az anyagok különbözősége e téren azon alapul, hogy a sávok milyen közel helyezkednek egymáshoz. A vezetőknél a két sáv átfedésben van, a szigetelőknél igen nagy a távolság. A félfémes vezetőknél pont összeér, ennek köszönhetően, képesek elektron és lyuk vezetésre is. A félvezetők két sávja pont nem ér össze (**2. ábra**), viszont a MOS-technológia pont emiatt a különleges tulajdonságuk miatt alkalmazza, mert termikus gerjesztéssel könnyen el tudják érni az elektronok kvantumállapotváltozását. (Samarth & Awschalom, 2007)

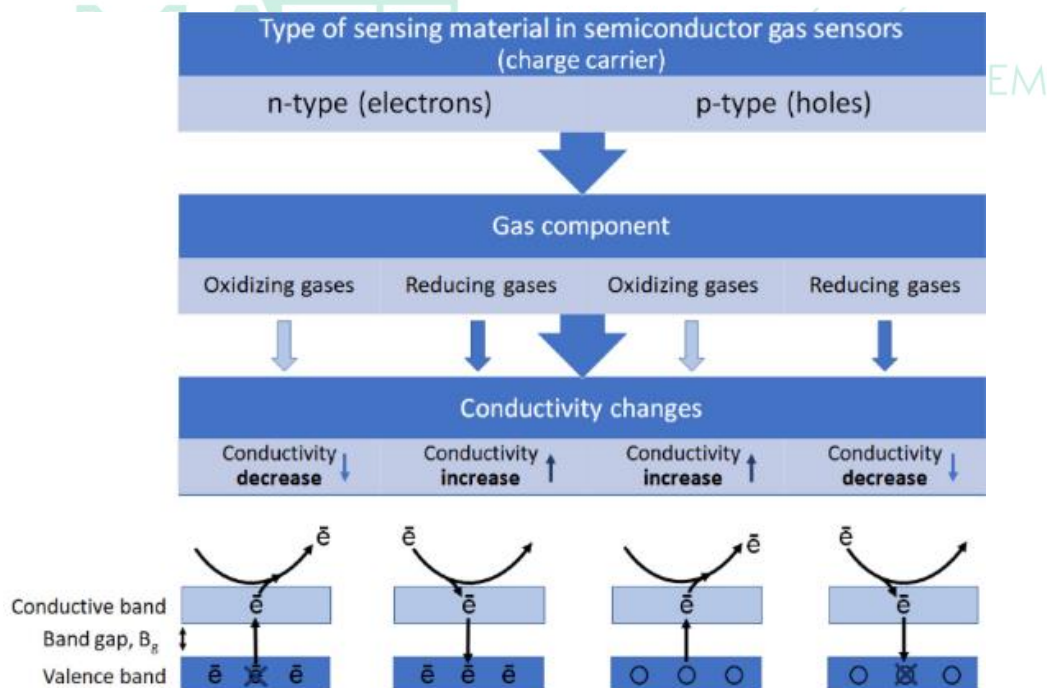
Az utóbbinál működés szerint megkülönböztetünk n és p típusú félvezetőket.

**2. ábra** Vezetők változása sávváltozás szerint  
(Forrás: [wikimedia.org](http://wikimedia.org))



A félvezetők hevítése és friss levegőn tartása során a felszínen oxigén adszorbeálódik, az oxigénnek ehhez elektronokra van szüksége, melyet a félvezetőtől kölcsönöz. Ekkor az n-típusú, redukáló gázokkal reagáló félvezetők belső ellenállása nő és csökken a vezetőképességük, az ilyenkor áthaladó áramból kevesebb jut el a jelfeldolgozó egységig. A p-típusú testvérükénél, ahol oxidáló gázokkal reagál a felszíni  $O_2$ -réteg ott az elektronok távolléte a vezetést biztosító „lyukak” növekedését eredményezi, tehát az ellenállás csökken, a vezetőképesség nő.

**3. ábra** Félvezetők hatásmechanizmusa  
(Forrás: [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com))



Ugyanakkor, ha más gázok is jelen vannak a felületen történő kémiai (oxidatív vagy redukív) reakciókból adódóan, megváltoztatják a félvezető ellenállását. **(3. ábra)** Ebből fakadóan az ellenállás mértéke attól függ, hogy a gáz milyen mennyiségben oxidál vagy redukál. (Wawrzyniak, 2023)

Mindegyik félvezető más gáz(ok)-ra szelektív, így az anyagot a célanalítanak megfelelően kell kiválasztani. Az érzékenységet az alábbi táblázat mutatja. **(1. táblázat)**

**1. táblázat** Fémoxid félvezetők és érzékelt analitjük  
(Forrás: Wawrzyniak, 2023 alapján)

| Fém-oxid félvezető             | Gázérzékenység                                                                       |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| SnO <sub>2</sub>               | H <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , metanol, etanol                               |
| ZnO                            | H <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , metán, metanol, formaldehid |
| WO <sub>2</sub>                | O <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , acetilén, etanol, toluol    |
| TiO <sub>2</sub>               | metanol, etanol, aceton                                                              |
| In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CO, NO <sub>2</sub>                                                                  |
| CuO                            | H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , acetaldehid                                      |

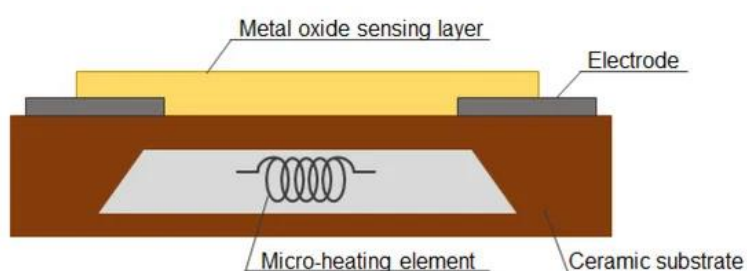


MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

#### 2.4.2. A gázszenzor felépítése

Az általában kerámialapon nyugvó szerkezet két részből áll. Az egyik maga a szenzor szíve a félvezető, mely elektródákon keresztül kapja az áramot, melyet majd a jelfeldolgozó egységben mérünk, fogadunk. Másik része a mikrofűtő egység, ami a félvezető megfelelő hőmérsékleten tartásáért felel. **(4. ábra)** A fűtőegység leadott hőmérséklete szabályozott, általában 25-500 °C-között mozog, pontos nagysága félvezetőnként változik. (Wawrzyniak, 2023)

**4. ábra** Gázszenzor felépítés  
(Forrás: Wawrzyniak, 2023)



## 2.5. Kutatások, eddigi mérések orrokkal

Élelmiszeripari szférában az e-orrot többek között frissesség és minőség ellenőrzésre, valamint hamis termékek kiszűrésére használják. A mikrobák (penészek, baktériumok) gyakran előfordulnak az élelmiszerekben, vagy azok felületén. A terméket tápanyagforrásként felhasználva idővel a mikroorganizmusok olyan anyagcsere vég, vagy melléktermékeket termelnek, amik rontanak az étel érzékszervi minőségén, vagy annak állagán. Ezek között képződnek olyan illékony vegyületek, gázok is, amik az e-orr számára mérhetők. Tökéletes példája a kertészeti terményeknél a belső biológiai légzés által termel oxigén detektálása. Borok tekintetében vizsgáltak már erjedési folyamatokat, aromaprofilokat, romlott tételeket. Az e-orrot összehasonlították már az emberi szaglással és ami talán a legizgalmasabb a földrajzi eredet szerinti megkülönböztetésre is.

### **2.5.1. Frissesség vizsgálat e-orral**

Frissesség megőrzése, fenntartása roppant fontos a fogyasztók megőrzése miatt, hiszen mindenki inkább ezeket a termékeket keresi. Fontos kiemelni, hogy ha egy élelmiszer nem friss akkor fogyasztásra még alkalmas, csak némileg veszít az élvezeti értékéből.

Silvia Grassi 2022-ben vizsgálta bizonyos tengergyümölcsök frissességének változását. Kutatásokban egy OLFOSENS-nevezetű e-orral vizsgálták a termékeket. Az eszköz PID, ECC és MOS szenzorokat egyaránt használt a gázok érzékeléséhez. A vizsgálat során a lipioxidációt, az időközben keletkező illékony vegyületek fejlődését követték nyomon. A mérési adatokat főkomponens analízissel tárták fel. (Grassi és mtsai., 2022)

### **2.5.2. Minőség ellenőrzés e-orral**

Élelmiszer minőség vizsgálat az alapanyagok, vagy éppen a készétel jóságát, fogyaszthatóságát vizsgálja. Egy rossz döntés, kis hiba a fogyasztó egészségét veszélyeztetheti, így e-téren elengedhetetlen a precizitás. Ez az emberi orrtól nem várható el, főleg akkor nem, ha hosszabb idejű állandó megfigyelést végzünk. Az ellenőrző szervek preventíven a legtöbb helyen a gyártási folyamat közben vizsgálják, monitorozzák az élelmiszerek alakulását, kezelési folyamatait (hőkezelés, érlelés, erjedés). (Bonah és mtsai., 2020; Sanaeifar és mtsai., 2017; Weng és mtsai., 2020)

A következő vizsgálat a borok erjedési folyamatát, aromaprofil alakulását és a cukor-alkohol átalakulását szemléli. A megfigyelés online megfigyelő rendszerrel végezték, ami a jelenlét nélküli mintavételt tesz lehetővé. Az erjedő folyadékból organofil prevaporációval kinyert szerves vegyületeket egy direkt aromaprofil meghatározásra használt AromaScan A32S e-orral

mérték, ami egy polimer alapú 32 érzékelőből álló eszköz. A naponta érkező adatokat PCA módszerrel elemezték. Kimutatásaikkal igazolják, hogy az e-orr rendszer alkalmas erjedésvizsgálat monitorozására, ha a cukor alkohollá alakulásáról van szó. Viszont kitértek arra is, hogy minél magasabb alkoholtartalmat mértek, a párhuzamosan jelen lévő aromakomponensek idővel nem voltak jól érzékelhetőek, ezért aromaprofil vizsgálatára sajnos nem alkalmazható. (Pinheiro és mtsai., 2002)

Romániai egyetemen készült egy izgalmas kutatás mely a lassú lefolyású tölgyfahordós érlelést és a gyorsabb acéltartályos, facsipszes érlelést vizsgálta. A mintákat hagyományos boranalitikai eljárások eredményeivel is összevetették. A 15 minták 9 acéltartályos és facsipszes, 6 tölgyfahordós és 1 sima acéltartályos érlelésen mentek keresztül. Ezeket a mintákat havonta mérték egy Figaro és FIS által gyártott 14 szenzorból álló elektronikus orral. A gázokat egy szagszállító, pneumatikus rendszerrel juttatták a szenzorokhoz. Az itt gyűjtött adatokat kétféle analitikai módszerrel is vizsgálták, PLS-DA-val és az orroknál gyakran használt PCA-val. A vizsgálat némileg meglepő volt, mert a két érlelési típusnál igen hasonló mennyiségű és fajtájú vegyületek keletkeztek. A vizsgálat elején alig volt megkülönböztethető az eredmény, csupán az érlelés hetedik hónapjától kezdett kialakulni számottevő eltérés. A PLS-DA kimutatásából arra következtettek, hogy nem csak, hogy a készített orr panel alkalmas a tölgyfahordós érlelés monitorozására, hanem egyszerűbben, egy lépéssel helyettesíteni lehet a többtenyezős kémiai méréseket, valamint előre becsülni a változásokat. (Apetrei és mtsai., 2012)

Témámhoz szorosan kapcsolódik a borok romlottságának vizsgálata. Ezen metabolitokat fontos még az alakulásuk kezdetén azonosítani, mivel később már nem lehet orvosolni az ital romlását.

Egy 2008-as kutatásban a tömegspektroszkópiát hasonlították össze egy MOS-alapú e-orrall. A mért anyagok a brettesszagot okozó 4-etil-fenol (4EP) és a 4-etil-guajakol (4EG) - voltak. A borban jelenlévő etanol állításuk szerint nagyon zavaró hatást keltett a MOS- szenzoroknak, ezért annak kivonása után már képes volt érzékelni a komponenseket csak kis szelektivitással. A jelenlévő egyéb fenolvergyületek nem jelentettek problémát a MS-Enose-nak. Végeredményben a MOS szenzorok által legkisebb érzékelhető mennyiség a két komponensnél 44 mikrogram/liter 4EP és 91 mikrogram/liter 4EG. Ez olyan kis mennyiség, amit még az emberi orr sem érzékel még. Ez elsőre jól hangzik, viszont ne felejtkezzünk meg arról, hogy a szenzorok erre csak etanol mentes mintákban volt képes. Ennek fényében a kutatók kijelentették, hogy a MOS E-nose nem megbízható a vizsgált elemek kimutatására. (Berna és mtsai., 2008)

Másik 2013-as kutatás oldható illósavak közül az ecetsav legkisebb kimutatható értékét vizsgálta egy PEN3 nevezetű 10 szenzoros hordozható e-orr. Az orrot még egy Airsense HSS32 automatikus mintavevő berendezéssel bővítette a gyorsabb mérés elősegítése végett. A vizsgálatot rendes bor helyett szintetikus bormintákkal végezték, ami 10 tömegszázalékos etanol-víz elegyet jelentett esetükben. Eredményeikben igazolták, hogy a PEN3-orr, különösen a W1S (aromás vegyületek) és W5S (nitrogén-oxid) -szenzorai alkalmazható ecetsav kimutatására 2 g/liter-től kezdődően. A borban már 0,6–0,9 g/l-es szinten észrevehető az ecetsav 1,2–1,3 g/l-nél magasabb koncentrációnál kellemetlennek mondható, ezek alapján még finomítani szeretnék a szerkezetüket. (Macías és mtsai., 2012)

### **2.5.3. Hamisítás**

A hamisítás az élelmiszeriparban is sajnos létező jelenség, szerencsére hazánkban kevésbé jellemző az ellenőrző szervek felügyelete és jogszabályok miatt, de még így is vannak próbálkozások. Meglepő, de az e-orr is igen sok területen új ellenfél a hamisítók számára.

Madiha Bougrini és munkatársai a Marokkói híres élelmi argán olaj és hamis keveréktársait mérte és igen látványos eredményeket kapva. Eredményeikben kijelentették, hogy az orr egyéb hozzáadott olcsóbb olajféléket, mint például napraforgót, vagy hígításokat meg tud különböztetni az eredeti tiszta olajtól. A vizsgálatuk során Figaro gázszenzorokat használtak, amik azért komolyabb szintet képviselnek a szenzorok között, természetesen az eredményekben is szépen látszott megbízhatóságuk. Ezen túl még elektronikus nyelvvel is mértek, hogy az orral mért eredményeket megerősítsék. (Bougrini és mtsai., 2014)

Borok tekintetében ugyanúgy megkísérlik a hamisítást a költségcsökkentést, vagy hozamnövelés érdekében. A bor komplexitásának ellenére léteznek igen agyafűrt technikák, amivel hasonló eredményt, italt elő tudnak állítani, annyi különbséggel, hogy beltartalmilag, aromatikában és nem utolsó sorban egészségre gyakorolt hatása ez esetben negatív irányba drasztikusan megváltozhat. Elsősorban itt az alkoholfok pótlására, emelésére gondolok, amihez metanolt, vagy kérdéses forrású etanolt esetleg gyengébb minőségű bort szoktak használni. (Penza & Cassano, 2004)

A következő kutatás nyolc boron keresztül tökéletesen szemlélteti az előbb említett jelenséget és számottevő eredményeket kínál. A mérést egy házilag gyártott multiszenzoros fémoxid érzékelőkkel, statikus headspace (fejtér) mintavételi módszeren alapján végezték. Az eljárás lényege, hogy a szenzor a borminta felett lévő gőztérből oldószermentesen méri a gázösszetételt. Későbbiekben számunkra érdekes az itt alkalmazott 2 perces expozíció, 2

perces mérési és 30 perces relaxációs idők. A mintaelemzéshez itt is PCA-t (főkomponens analízist) használtak.

Eredményeikben kitérnek a 80%-fölötti megbízhatóságra, mellyel a módszer alkalmas metanol, etanol és azonos színű borokkal való hamisítás kimutatására, megkülönböztetésére. (Penza & Cassano, 2004)



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

### 3. Anyagok módszerek

A mérőeszközünk egy saját kezűleg összerakott elektronikus orr, mely egy Arduino mikrokontrollerre kötött 8 db MOS-alapú gázszenzorból, hőmérsékletmérő szenzorokból, áll. A mintákat egy szigetelt térben vizsgáljuk melyben a szenzorok a párolgó vegyületeket közvetlen érzékelheti.

#### 3.1. Eszköz alkatrészek

##### 3.1.1. Hardver

Kiemelten fontos részét képezi a szerkezetünknek az olcsóbb gyors reakcióidejű, könnyen cserélhető és viszonylag hosszú élettartamú MQ-szenzorok. Az általunk felhasznált gázszenzorok számunkra legfontosabb jellemzőit az alábbi táblában foglaltuk össze. (2. táblázat)

2. táblázat Szenzorok specifikációi  
(Forrás: techfun.sk nyomán)

| Szenzor név | Működési feszültség (V) | Fogyasztás (mW) | Érzékenység kb(mg/L)                             | Fűtőszál hőmérséklete működés közben (°C) | Felvezető réteg  |
|-------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|
| MQ3         | 5                       | <900            | 0.04 – 4                                         | 250                                       | SnO <sub>2</sub> |
| MQ135       | 5                       | <800            | NH <sub>3</sub> : 0.007-0.2<br>Benzol: 0.003-0.3 | 250                                       | SnO <sub>2</sub> |
| MQ136       | 5                       | <800            | 0.001-1                                          | 300                                       | SnO <sub>2</sub> |
| MQ137       | 5                       | <800            | 0.005-5                                          | 300                                       | SnO <sub>2</sub> |
| MQ138       | 5                       | <850            | 1-10                                             | 300                                       | SnO <sub>2</sub> |

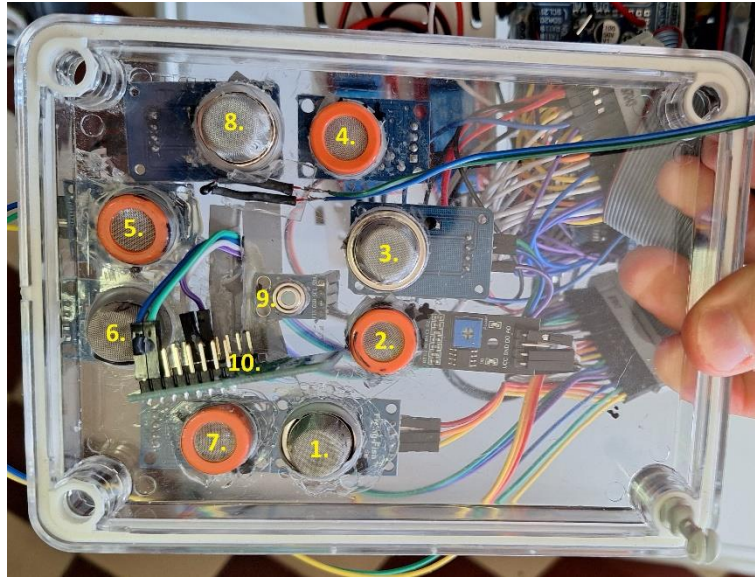
A szenzorcsalád egy Arduino-mega mikrokontrollerre vannak csatlakoztatva jumper kábelekkel (7. ábra) Erről kapják a szenzorok az 5 V-tápfeszültséget, majd futnak vissza a szenzorjelek. Ezen fut a programunk is mely az egész mérési folyamatért felel. Az erre írt programot az Arduino IDE szoftverben szerkesztettük.

A kialakításkor igyekeztünk a szenzorokat egyenletesen és közel szimmetrikusan elrendezni. A fedélben 8 gáz és 2 hőmérsékletszenzor az 5. ábra látható formában kerültek beépítésre.

3. táblázat Szenzorok listája és jelölőszámaik  
(Forrás: saját munka)

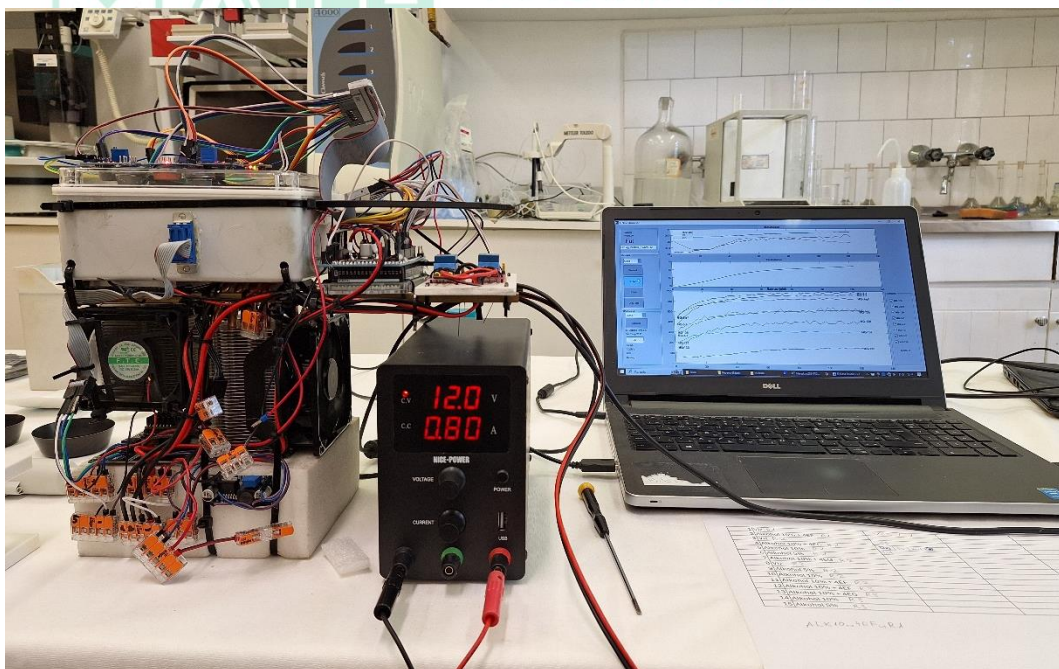
| 1      | 2        | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9       | 10        |
|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| MQ-135 | MQ-Joyit | MQ-136 | MQ-3-1 | MQ-3-1 | MQ-137 | MQ-3-2 | MQ-138 | HDC1080 | IR GY-906 |

**5. ábra** Szenzorok elhelyezése a kamrafedél gyűrűs formába  
(Forrás: saját munka)



A teljes berendezés egy kisebb asztalon kényelmesen elfér a **6. ábra** látható módon. Szállításra burkolat hiányában kényesnek bizonyul, de méréseink között nem okozott problémát.

**6. ábra** Teljes mérőberendezés mérés közben  
(Forrás: saját munka)



**7. ábra** Arduino-mega  
(Forrás: techfun.hu)



Eredetileg egy Arduino-nano mikrokontrollert használtunk volna a helytakarékoság miatt, viszont amíg a tesztidőszakban egy szenzorra ez elegendő volt a jelenlegi 6-plussz szenzor már kinőtte ezt a kapacitást. Az Arduino-mega lapka technikai adottságai igen ideálisak a jelenlegi koncepcióhoz. (**4. táblázat**)

**4. táblázat** Arduino-mega technikai adatok  
(Forrás: www.soselectronic.com)

|                         |                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| Microcontroller         | ATmega2560                              |
| Operating Voltage       | 5V Input                                |
| Voltage (recommended)   | 7-12V                                   |
| Input Voltage (limit)   | 6-20V                                   |
| Digital I/O Pins        | 54 (of which 15 provide PWM output)     |
| Analog Input Pins       | 16                                      |
| DC Current per I/O Pin  | 20 mA                                   |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA                                   |
| Flash Memory            | 256 KB of which 8 KB used by bootloader |
| SRAM                    | 8 KB                                    |
| EEPROM                  | 4 KB                                    |
| Clock Speed             | 16 MHz                                  |
| LED_BUILTIN             | 13                                      |
| Length                  | 101.52 mm                               |
| Width                   | 53.3 mm                                 |
| Weight                  | 37 g                                    |

A PID rendszer és a ventilátorok külön tápellátást kaptak Kábelek terén az eszköz vékony jumper kábelekkel van összekötve és gyorskötővel rendezve. A számítógéppel az e-orr usb-A kábeleken kommunikál és mindössze kettő portot igényel.

A szenzorok egy IP55-ös kötődoboz tetején helyezkednek el kör mintázatot öltve, hogy a fejtérben keveredő gázokhoz egyenlően hozzáférjenek. A szerelődoboz alsó részében helyezkedik el egyik felén az egyik gázelegyítő ventilátor, alatta egy hűtőbordával és a PID

hőmérséklet szenzorral. Mellette a doboz üres részében foglal helyet a mobilis mintatartó edény, melynek talapzata a peltier.

A kamratérben a minta hőmérsékletének beállításához és szabályozásához egy Thor labs PID-szabályozót használtunk. Ez lehetővé tette a minta hőjének standardizálását, ami miatt pontosabb mérési eredményt várhatunk. A rendszer nagyon professzionálisan tudja szabályozni a hőmérsékletet, beállítás után tized és század érték beli minimális ingadozás tapasztalható. A rendszerünk tartalmaz egy MTDEVAL1 lapkát (**8. ábra**), MTD1020T hőmérséklet szabályozó (**9. ábra**), TH10K hőmérő (**10. ábra**) TECH4 peltier-t (**11. ábra**). A felsorolt alkatrészek technikai specifikációit az (**5. táblázat**, **6. táblázat**, **7. táblázat**) tartalmazzák.

### Thor labs PID rendszer

**8. ábra** MTDEVAL1 lapka  
(Forrás: [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com))



**5. táblázat** MTDEVAL1 technikai adatok  
(Forrás: [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com))

|                                           |                            |
|-------------------------------------------|----------------------------|
| Supply Voltage                            | 11.5 to 13.0 V DC          |
| Maximum Current Consumption               | 2.3 A DC                   |
| USB Connection                            | USB Mini B                 |
| Operating Temperature Range <sup>1)</sup> | 0 to 40 °C                 |
| Storage Temperature Range                 | -40 to 70 °C               |
| Dimensions (W x H x D)                    | 114.5 mm × 16.8 mm × 64 mm |
| Weight                                    | 0.04 kg                    |

**9. ábra** MTD1020T hőmérséklet szabályozó  
(Forrás: [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com))



**6. táblázat** MTD1020T technikai adatok  
(Forrás: [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com))

|                                                                                  |                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Supply Input Voltage                                                             | 11.5 V to 13.0 V                                                        |
| Supply Input Current                                                             | 2.3 A                                                                   |
| TEC Output Current                                                               | -2.0 A to 2.0 A                                                         |
| TEC Compliance Voltage                                                           | 10.0 V                                                                  |
| Maximum Output Power                                                             | 20.0 W                                                                  |
| Power Dissipation                                                                | 4.0 W                                                                   |
| Pin Voltage Range <sup>1)</sup><br>VDD<br>ENABLE, RX, TX<br>TEC- to TEC+<br>TEMP | -0.3 V to 13.0 V<br>-0.3 V to 3.6 V<br>0.0 to 13.0 V<br>-0.3 V to 3.3 V |
| Maximum Output Current STATUS, TX                                                | 10 mA                                                                   |
| Maximum Input Current ENABLE, RX                                                 | 10 mA                                                                   |
| Operating Temperature                                                            | -40 °C to + 70 °C                                                       |

**10. ábra** TH10K hőmérő  
(Forrás: [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com))



**7. táblázat** TH10K hőmérő adatok  
(Forrás: [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com))

| Electrical Specifications                  |               |
|--------------------------------------------|---------------|
| Resistance at 25 °C ( $R_{25\text{ °C}}$ ) | 10 k-Ω        |
| Temperature Accuracy                       | ±1 °C @ 25 °C |
| Dissipation Constant                       | 1.4 mW/°C     |
| Time Constant (in Air)                     | 15 sec        |
| Operating Range                            | -50 to 150 °C |

**11. ábra** TECH4 peltier  
(Forrás: [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com))

MAI



RÁR- ÉS  
NYI EGYETEM

A mérés környezeti paramétereinek további szabályozására és nyomon követésére a szerkezetbe építettünk még egy GY-906 infravörös hőmérséklet mérőt (**1. ábra** **12. ábra**), ami a mért folyadék hőmérsékletét méri.

**12. ábra** GY-906 infravörös hőszenzor  
(Forrás: [www.hestore.hu](http://www.hestore.hu))



A szenzorgyűrű közepére egy HDC1080 hőmérséklet és páratartalom mérőt (13. ábra), mely a kamratér levegőjének hőmérsékletét és páratartalmát monitorozza.

**13. ábra** HDC1080, hőmérséklet és páratartalom-érzékelő  
(Forrás: [www.hestore.hu](http://www.hestore.hu))



A doboz belsejében található kisebb ventilátort a páratér egyenletes elosztásáért, homogenizálásért helyeztük el. A dobozon kívül a hosszanti szélén található ventilátor a szellőztetésért, a hűtőbordákra csatlakoztatott pedig a készülék hűtéséért felel. (**14. ábra**)

**14. ábra** Ventilátor  
(Forrás: [products.sanyodenki.com](http://products.sanyodenki.com))



A homogenizáló és szellőztető ventilátorok fordulatszámát egy csavarhúzóval állítható Step-down feszültség átalakítóval (**15. ábra**) lehet szabályozni, igény szerint.

**15. ábra** XL4005 5A Step-down feszültség átalakító  
(Forrás: [techfun.hu](http://techfun.hu))

MA

ÁR- ÉS  
NYELVI EGYETEM



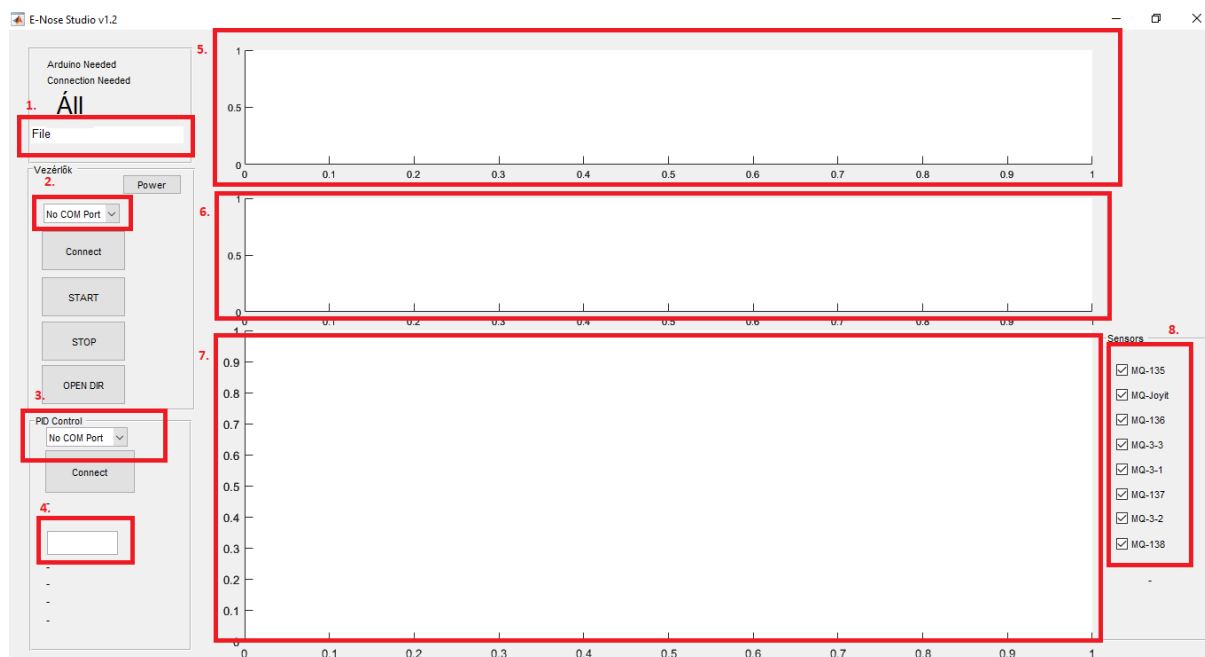
### 3.1.2. Szoftverek

A felhasznált szoftvereket magunk írtuk mind az Arduinohoz, mind a PID hőmérséklet szabályzóhoz. A két program ötvözetéből készült ENoseStudio- nevezetű MATLAB program, emivel a mérés sokkal gyorsabban és könnyebben kezelhető, a mérés teljes egésze innen vezérelhető. (**16. ábra**) Szerettünk volna tiszta képet kapni a mérési folyamatokról, így a kezelőfelület kialakításában a könnyű kezelés mellett ez is fontos szerepet játszott.

A programba belépéskor első dolgunk, hogy párosítsuk az eszközt a megfelelő portokhoz. A 2-es számmal jelölt legördülő menüből ki kell választani az Arduino által használt portot, majd a

Connect gomb segítségével kapcsolódunk. Ezután a PID szabályozót is csatlakoztatjuk a 3-as számmal jelzett dobozban az előzőhöz hasonlóan. Innentől a mérés elindítható a Start gombbal, a program ekkor létrehoz és elnevez egy új fájlt, amibe az adatokat gyűjti, ennek a dokumentumnak a nevét az 1-es dobozba írja ki. A kívánt hőmérsékletet mérés előtt és alatt a 4-es dobozban állíthatjuk be. A mérés közben a mért hőmérsékleteket az 5-ös dobozban olvashatjuk le, a páratartalmat a 6-oson, a szenzorjeleket pedig a 7-es ben. A 8-as kezelőpanellel állíthatjuk be, hogy a kijelzőn mely szenzorok jeleit szeretnénk megjeleníteni. Z egyes koordináta-rendszerek x-tengelyén az időt olvashatjuk le, az y-tengelyen pedig a mért értékeket. A méréseket a Stop-gombbal tudjuk leállítani, ekkor a fájlt elmenti automatikusan, amit egyszerűen az Open Dir-gombbal meg is jeleníthetünk a mappánkban.

**16. ábra** ENoseStudio program kezelőfelülete  
(Forrás: saját munka)



## 3.2. Mérések céljai

A munkám során három kísérletet végeztünk el.

### 3.2.1. Első kísérlet

Az első kísérlet célja az volt, hogy kitapasztaljuk, hogyan viselkednek, miként reagálnak a gázszenzorok a környezeti tényezőkre. Továbbá feltárni a fejlesztésekhez szükséges irányokat, azon keresztül, hogy az orr különbséget tud-e tenni a különböző arányú alkohol-víz oldatok között. Első kísérlethez denaturált szesz desztillált vizes oldatait használtunk. A kísérlethez 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 20; 40; 60; 80; 100-százalékos mintákat készítettünk.

### 3.2.2. Második kísérlet

A második kísérlet célja az volt, hogy a borhibákban és betegségekben előforduló vegyületek detektálhatóságát megvizsgáljuk. A későbbiekben leírt okok miatt ezt a kísérletet nem végeztük el teljes mértékben. A méréshez közel tiszta 99%-os ecetsavat hígítottunk desztillált vízzel 20 %-os ecetsav víz oldatra, ezzel az ecetessedést vizsáltuk, a 10%-os 4EG és 10%-os 4EF etanolos oldataival pedig a brettessedést. A méréshez mindegyik oldatból 50 ml-t készítettünk elő.

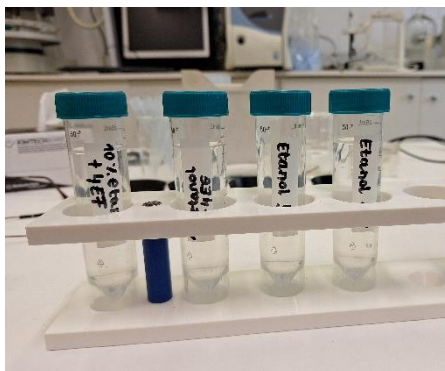
### 3.2.3. Harmadik kísérlet

A harmadik kísérlet célja az volt, hogy megállapítsuk, hogy: különböző borok (17. ábra) elkülönítése és az ecetsav jelenléte detektálható -e. A kísérlethez egy 13% alkoholtartalmú fehérbort (Koch Chardonay), egy 10%-os rozébort (Lafiesta Rosé), egy 14.5%-os vörösbort (Szent Gaál Cabernet Franc) és végül egy 1%-ecetsavval dúsított fehérbort készítettünk ki mintának. Mindegyikből 30 ml-t.

**17. ábra** Fehér, rozé és vörös borok (ballról jobbra haladva)  
(Forrás: saját munka)



**18. ábra** 4EF és 4EG alkoholos oldatai  
(Forrás: saját munka)



### 3.3. Mérések menete

#### 3.3.1. Első kísérlet folyamata

Itt a mintákat előre kikeverjük a mintatartó tégelyekbe, majd hermetikusan lezárjuk és szobahőmérsékleten hagyjuk egy 15 percet. Erre azért van szükség, mert a víz és denaturált szesz összekeverés után exoterm kölcsönhatás miatt a magasabb szesztartalmú minták eltérő hőmérsékletűek lettek, ami a méréseinket igen zavarhatja. Randomizált sorrend felállítása után a friss levegőn előhevítjük a szenzorokat. Ha már korábban voltak használva akkor 7 perc elegendő az előhevítésre.

1. Mérés indításánál töröljük az előző adatokat, a szenzoros kupakot ráhelyezzük a tégelyre, majd elindítunk egy stoppert. (19. ábra)
2. 200 másodperc mérés után leállítjuk a stoppert, a mért adatokat kimásoljuk a soros monitorból, majd Excelben rögzítjük.
3. Levesszük a szenzoros fedelet a mintáról és visszazárjuk hermetikusan.
4. Ezt követően a szenzorokat hajszáritóval szellőztetjük addig ameddig az alapértékeket újra fel nem veszi. Ez mintánként és mérésenként változhat.
5. Amint visszaállt az alapjelre hagyni kell még pár percet friss levegőn, hogy a szenzor a hajszáritótól felvett hőmérsékletről a saját hevítési hőjére, alapértékre beálljon.
6. A mérés inentől ciklikusan ismételhető az előbb leírtak szerint.

**19. ábra** MQ-3 és MQ-2 szenzorok mérés közben

(Forrás: saját munka)



#### 3.3.2. Második és harmadik kísérlet folyamata

A mérés menete mind a második és harmadik kísérletnél, ezeken belül a méréseknél megegyeznek. Természetesen a minta mennyiségek eltérőek kísérletenként. Mérést megelőzően előtte nap készülék beindítása és előmelegítése.

1. Minták kimérése, hermetikusan zárható tároló edénybe tétele. (20. ábra)
2. Program elindítása, friss levegő zárt dobozban alapértékek felvétele.
3. Mintatartó edénybe 10 ml mintát automata pipettával kimérünk, rövid időn belül behelyezzük a kamratérbe. (21. ábra, 22. ábra)
4. Mérés indítása Start-gommbal, beállásig futtatjuk a programot, majd leállítjuk (ez standardizált körülmények között 2-2,5 perc).
5. Beállítás után elindítjuk a mérést a Start-gommbal és 1 percig mérünk, majd leállítjuk a mérést a Stop-gommbal.
6. A mintát kivesszük, majd szellőztetés idejére kinyitjuk a doboz/kamratér fedelét a szellőztető ventilátor felé.
7. A programot Start-gommbal elindítjuk és bekapcsoljuk a levegőztető ventilátort, addig amíg a szenzorjelek az alapértékekre vissza nem állnak. Háztartási hajszárítóval langyos levegő fújásával segíthetjük a folyamatot. (Ez mintától függően átlagosan 6-12 percet vesz igénybe) Ettől a ponttól a mérések ismételhetők az előbbi sorrendet követve.

**20. ábra** Minták a tárolóedényekben  
(Forrás: saját munka)



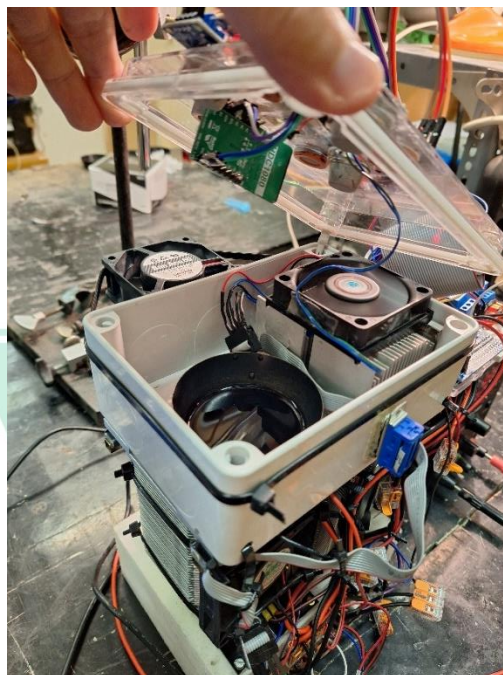
A 21. ábra található muffinsütő tepsiből készült mintatartó téglék fekete színe az infravörös hőmérséklet szenzor miatt szükséges.

**21. ábra** Fekete mintatartó tányérok  
(Forrás: saját munka)



A könnyen nyitható, ugyanakkor jól szigetelő kamrafedél a gyakori mintacsere miatt elengedhetlen eleme a szerkezetnek. (22. ábra)

**22. ábra** Minta behelyezése a kamratérbe  
(Forrás: saját munka)



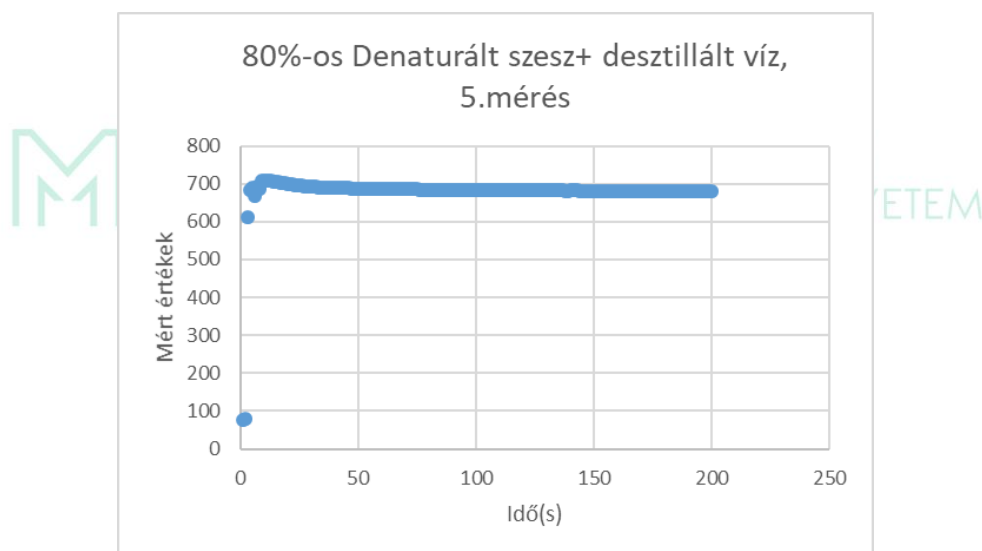
## 4. Eredmények

### Első kísérlet eredményei

Az első kísérletben az volt a célunk, hogy egyrészt kitapasztaljuk a gázszenzorok viselkedését adott körülmények között, másrészt, hogy képes-e különbséget tenni alkoholfokok között a MQ-3-szenzorunk. A szerzett tapasztalatok alapján arra jutottunk, hogy a minta és a kamratér hőmérsékletét szabályozni és egységesíteni kell. A mérés során azt vettük észre, hogy a beállt értékek idővel csökkenni kezdtek, ebből az feltételeztük, hogy a minta gázai kiszivárognak, így a kamra precízebb szigetelésére is szükség van. **(23. ábra)** A gázok kis térben kevés szenzornál egészen jól érzékelhetőek voltak, viszont több szenzornál nagyobb térben egyenletlenül oszlik meg, ennek érdekében kamratéren belül ventilátoros gázhomogenizálást javasolunk.

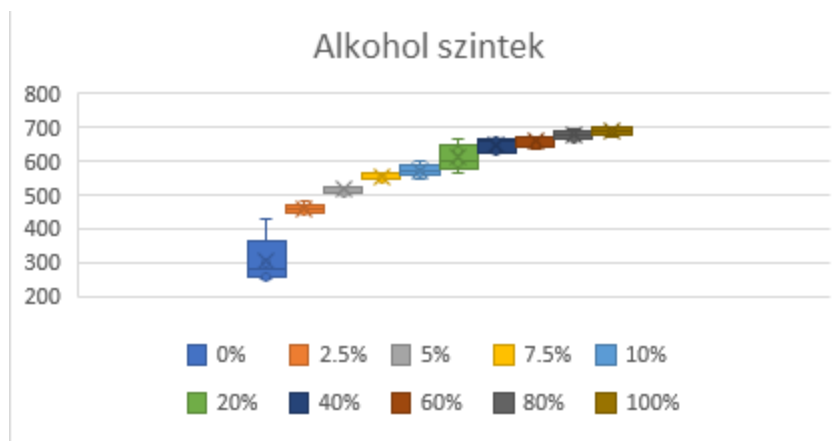
**23. ábra** A 80%-os denaturált szesz oldat mérési eredménye az idő függvényében MQ-3-1 alkohol szenzorral

(Forrás: saját munka)



Eredményeinkben jól látható, hogy a mért minták kapott értékei szépen elkülönülnek. **(24. ábra)** Ennek fényében mivel tiszta alkohol és víz precíz keverékeit vizsgáltuk, kalibráláshoz alapul vehetjük az itt kapott értékeket. Későbbiekben nagy jelentőséggel bírhat ismeretlen alkoholfokú, összetett oldatok vizsgálatánál.

**24. ábra** A különböző denaturált szesz oldatok eredménye az MQ-3-1 szenzorral mérve  
(Forrás: saját munka)



A méréseinkben fény derült arra, hogy milyen környezeti feltételeket, standardokat kell biztosítani a továbbfejlesztés során. Mivel sok zajt észleltünk a vizsgálatok során a következő paramétereket vizsgáltuk felül. Az egyik ilyen tényező a minták hőmérsékletei, amik sokszor eltértek egymástól. A komponensek összekeverés után a denaturált szesz és a desztillált víz exoterm reakcióba léptek egymással, így arányosan a sűrűbb minták melegebbek voltak a hígabbaknál. Ezen kívül a mérések között is nagyban változott a hőmérsékletük (felmelegedtek), mivel a vizsgálati helység hőmérsékletét felvették. Az eltérő hő, így más-más párolgási mértéket eredményeztek. A magasabb környezeti és minta hőmérséklet a szenzor jelben is magasabbnak mutatkozott. (8. táblázat)

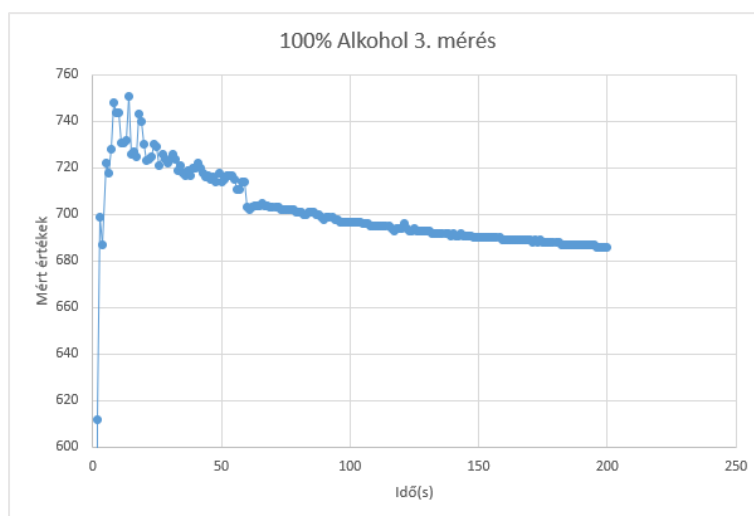
**8. táblázat** Mért jel változása hőmérséklet függvényében  
(Forrás: saját munka)

|                  | 1.mérés | 2.mérés | 3.mérés | 4.mérés | 5.mérés |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Minta 40%        | 664     | 631     | 620     | 657     | 659     |
| Hőmérséklet (°C) | 28.6    | 24.8    | 24.4    | 29.9    | 28.1    |

A környezeti levegő tisztaságára is figyelni kell, mert ezeket a méréseket kis zárt térben végeztük, ahol nehéz volt szellőztetni és a mérések során levegőbe párolgó alkohol nehezítette a szenzorok szellőztetését, így alapértékre visszaállását is. Mérési eredményeinkből látható volt a kamratér tökéletlen szigetelése, ugyanis a szenzor jelek nehezen tudtak beállni és idővel látványosan csökkenni is kezdtek. (25. ábra) Az ütemezett precíz mérési ritmus jót tett a szenzornak, a mintából kivétel után 30 másodpercig szellőztettük nagyjából 10 centiméterről hajszárítóval, majd hagytuk szabadlevegőn, hogy beálljon szobahőn a friss levegő értékére. Ennek ideje mintánként változott, de a végére ütemezést kitapasztalva és betartva, hasonló időket használtunk. Emellett a fentebb leírt jelre beállítás után egész hasonló mért értékek születtek az ismétlések során. Konklúzióként levontuk, hogy 30 másodpercnyi

szobahőmérsékletű szellőztetés után szükség szerint 1,5-3 percig kell szabadlevegőn hagyni a szenzorokat. Amérés közben felmerültek körülményes a mérést lassító és pontosságot csökkentő tényezők. Az egyik ilyen a mintatartó fedelek cserélése és mérések indítása, igen ügyetlenül lehetett csak végezni a kettőt egyszerre, így a továbbiakban érdemes automatizálni a rendszert. A kapott értékeket a soros monitorról több lépésben lehetett csak kiértékelésre alkalmas formába önteni és kiértékelni, ezen szintén kellett valamilyen megoldást kitalálni. A mérési eredményekben nagy volt az átlagok ingadozása, amit a fentebb említett környezeti tényezők módosításával szeretnénk csökkenteni a további fejlesztésben.

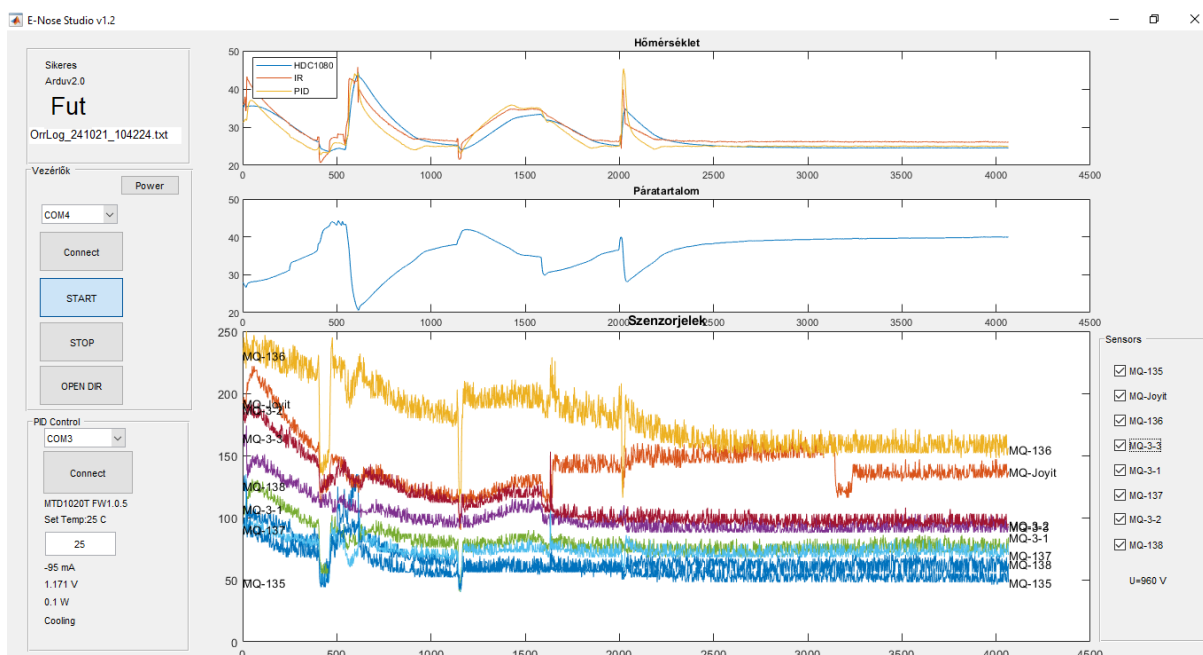
**25. ábra** Csökkenő szenzorjelek tökéletlen szigetelésnél  
(Forrás: saját munka)



### Második kísérlet eredményei

A második kísérletben a bor brettességének mérhetőségét igyekeztünk meghatározni. A mérésekhez a kész nyolc szenzoros mérőeszközt használtuk. A hardveresen és szoftveresen véglegesített orrnak köszönhetően már sokkal egyszerűbb és pontosabb lett a mérés, emellett az adatgyűjtés és annak feldolgozhatósága is roppant mód effektívebbé vált. A minta hőmérsékletének szabályozhatóságával immáron nem volt szükség a mérendő minták azonos hőre előkészítésére, elegendő csupán kimérni az egyes mennyiségeket. A szigetelt dobozzal, valamint a ventilátorral való homogenizálással kiküszöböltük a gázok egyenetlen eloszlását és szivárgását, ami nagyon szépen beállt görbéket eredményezett. (26. ábra)

**26. ábra** ENoseStudio mérés közben, beállt szenzorjelekkel  
(Forrás: saját munka)



A mintákban desztillált víz, 4EG és 4EF vegyületek voltak. A mérések során azt tapasztaltuk, hogy a második minta mérésétől, mely már tartalmazott 4EG-t, a normál szellőztetéssel a jelek nem álltak vissza az alapértékekre. Különösen hosszú szellőztetés után azt tapasztaltuk, hogy nem a szenzorok szennyeződtek el, mert azok a szabad levegőn visszaálltak az alap értékekre, hanem a doboztető visszazárása után az üres dobozban is a jelek jelentősen megemelkedtek, jóval magasabb értékre, mint korábban az alapértékek voltak. Ebből arra a következtetésre jutottunk, hogy a doboz szennyeződött el a 4EG vegyület miatt. Tehát hiába távolítottuk el az oldatot a dobozból, a vegyület a műanyag doboz falaiba beivódott, amit a doboz szaga alapján is egyértelmű volt.

### Harmadik kísérlet eredményei

A méréshez az második kísérletben használt 8 szenzoros e-orrot használtuk. A továbbiakban a mintaneveket M=mérés, E=ecetsavas fehérbor, F=féherbor (Koch Chardonay), R=rozé (Lafiesta Rosé), és V=vörösbor (Szent Gaál Cabernet Franc) szerint kell értelmezni. A mérési adatokból jól látszódik, hogy a készülék nagy pontossággal tudja szabályozni a környezeti paramétereket és biztosítani azok állandóságát. (9. táblázat)

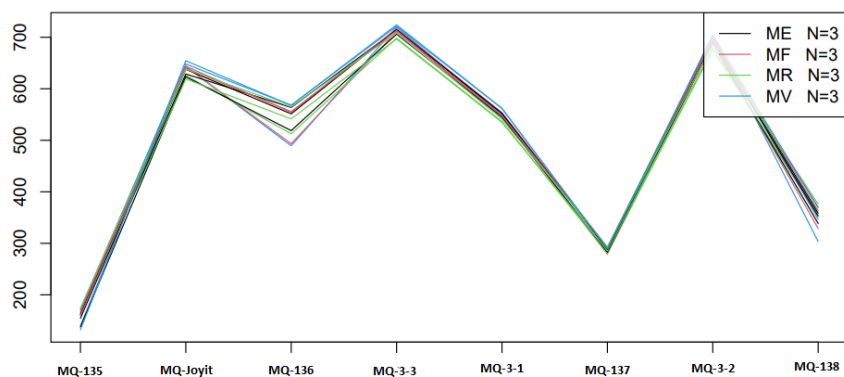
**9. táblázat** A harmadik mérési sorozat hőmérséklet, páratartalom paraméterei  
(Forrás: saját munka)

| Minta név | Mérés Sorszám | Ismétlés | HDC1080 hőmérséklet (°C) | Páratartalom | IR hőmérséklet (°C) | PID hőmérséklet (°C) |
|-----------|---------------|----------|--------------------------|--------------|---------------------|----------------------|
| ME1       | 4             | 1        | 25.3                     | 81.2         | 23.2                | 25.0                 |
| ME2       | 6             | 2        | 25.0                     | 79.1         | 23.3                | 25.0                 |
| ME3       | 9             | 3        | 25.1                     | 79.2         | 23.0                | 25.0                 |
| MF1       | 2             | 1        | 25.5                     | 78.8         | 23.2                | 25.0                 |
| MF2       | 8             | 2        | 25.0                     | 78.4         | 23.2                | 25.0                 |
| MF3       | 10            | 3        | 25.0                     | 77.7         | 23.2                | 25.0                 |
| MR1       | 3             | 1        | 25.7                     | 80.7         | 23.4                | 25.0                 |
| MR2       | 5             | 2        | 25.3                     | 81.7         | 23.1                | 25.0                 |
| MR3       | 11            | 3        | 25.3                     | 78.7         | 23.1                | 25.0                 |
| MV1       | 1             | 1        | 25.4                     | 77.6         | 22.9                | 25.0                 |
| MV2       | 7             | 2        | 25.2                     | 77.6         | 23.0                | 25.1                 |
| MV3       | 12            | 3        | 25.0                     | 79.9         | 23.0                | 25.0                 |

A táblázatból jól látható, hogy a PID hőmérsékletszabályzó hőmérőjel egy tizedes pontossággal mindig 25 °C-ot mért. A másik hőmérő 25 és 25.5 °C közötti értékeket mutatott. A páratartalom a 77.6 és 81.2 % között változott.

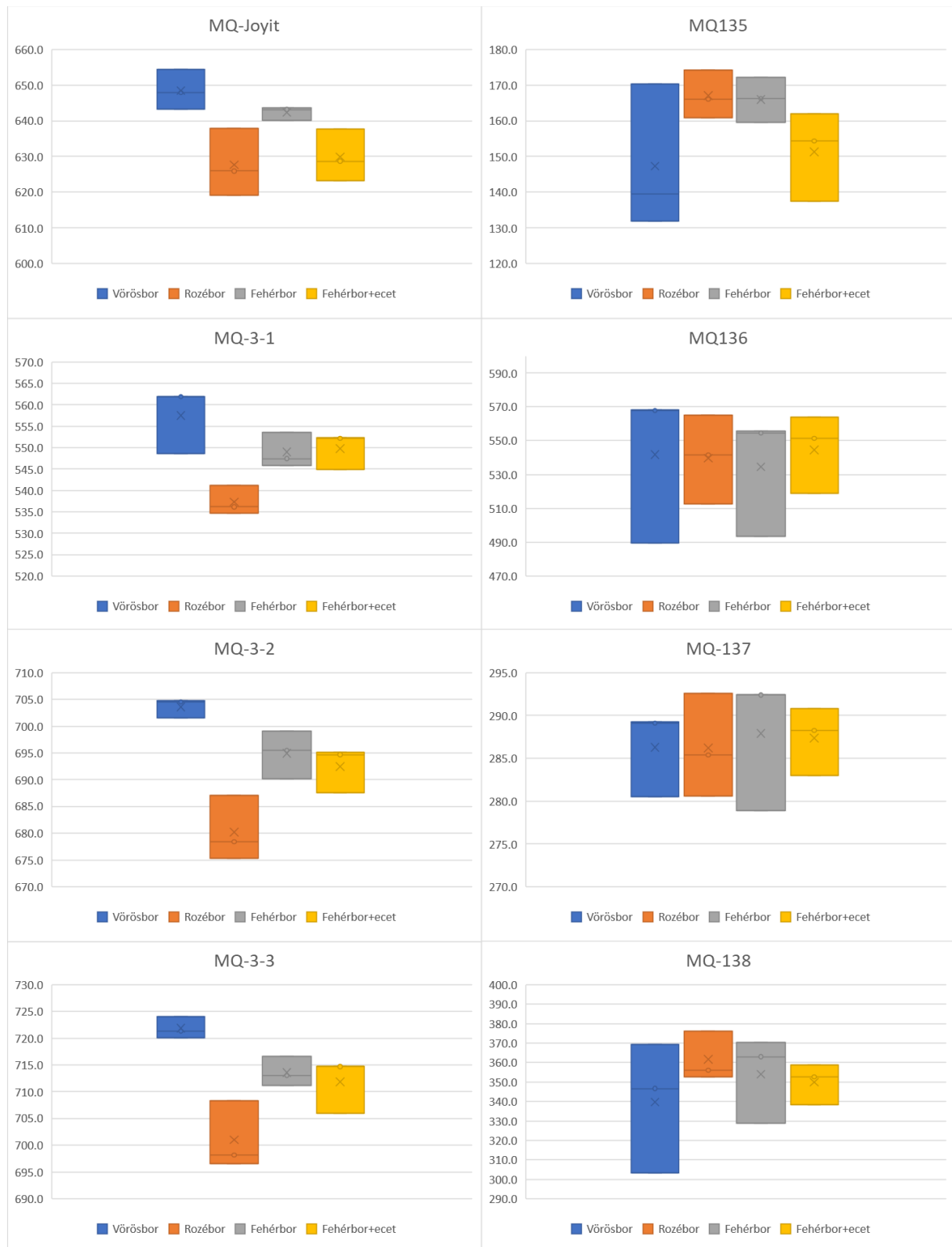
Az adatokra elvégzett PCA teszt eredményeiből tisztán látható, hogy a szenzorjelek látványosan nem váltak el egymástól, kisebb szétválás csupán a MQ-136-os szenzornál látható a vörösbőr esetében. (27. ábra)

**27. ábra** MQ-gázszenzorok jelei különböző borokra  
(Forrás: saját munka)



A szenzor jelek ezen ábrázolása alapján nem látható egyértelmű elkülönülés az adott minták megkülönböztetésére. A szenzor jelek egyenként a 28. ábrán láthatók.

**28. ábra** Minták összehasonítása szenzorok szerint csoportosítva  
(Forrás: saját munka)



A 28. ábrán látható, hogy az ecetsavval dúsított minta értékei, a MQ-136-on kívül minden szenzornál kisebbek voltak a tiszta fehérborhoz képest. Ebből arra következtethetünk, hogy az ecetsav hozzáadásával a többi komponens hígult a borban. (28. ábra) Felmerülhet a kérdés,

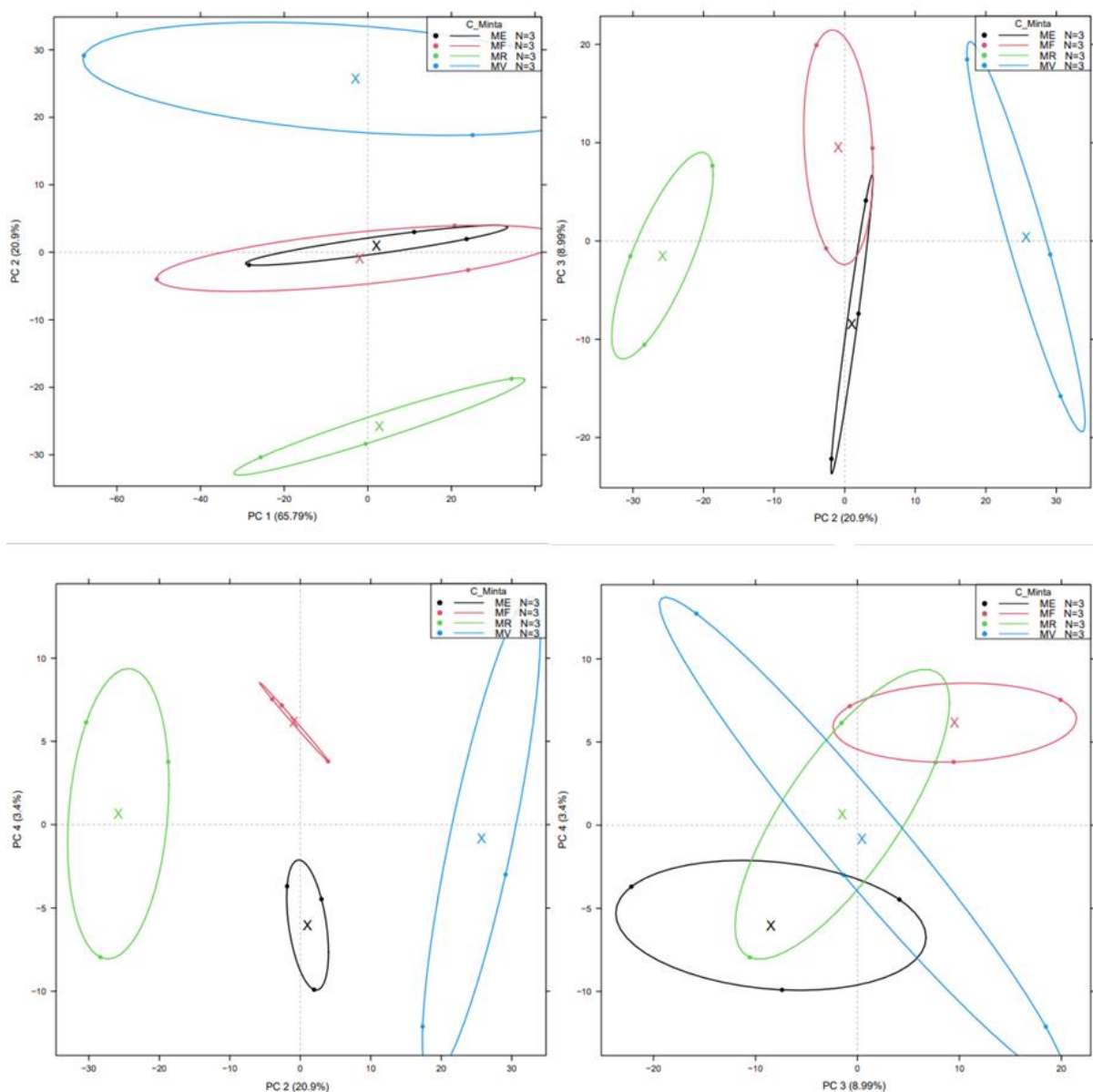
hogy miért nem tettünk több ecetsavat a mintába a látványosabb szétválás érdekében. Az 1%-os dúsítást azért választottuk, mert ennél a mennyiségnél már emberi orral is érzékelhető az ecetsav jelenléte és ha ennél többet tartalmaz a bor, az már túlmutat a borhiba témakörén. További kisebb mennyiséget viszont ezzel a szenzorcsaláddal az előzőek alapján tárgyaltan mérni. Az ecetsavat az MQ-3 (alkohol értékek kivonása miatt) és MQ-138-ok lennének képesek kimutatni, viszont a bor komplex aromája miatt, elveszik a többi illékony komponens között és nem tud kellő szelektivitást mutatni. Az alkoholszenzorok eredményei alapján viszont következtethetünk arra, hogy alkoholszint szerint jól meg tudja különböztetni a mintákat. A három alkoholszenzor jelei hasonlóképpen változtak, ezért a gázok homogenizálását is sikeresnek könyvelhetjük. A MF és ME minták alkohol szintjei között minimális eltérés észlelhető, és várhatóan az ME mintaátlagoknál figyelhető meg leheletnyi csökkenés. Sikernek könyvelhetjük el, hogy a vártnál sokkal precízebb a mérőeszközünk alkoholfok meghatározás esetén.

Továbbiakban az adatok elemzéséhez főkomponens analízist (PCA) alkalmaztunk. Ennek az eredménye a 29. ábrán látható.



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**29. ábra** PCA teszteredmények, borok főkomponenseinek párosított ábrázolása  
(Forrás: saját munka)



A második és első főkomponenseket (továbbiakban PC) ábrázolva látható, hogy a ME és MF minták teljesen fedik egymást, így azoknak hasonló összetételűnek kell lennie. Mivel az ME és MF minták csupán ecetsav tartalomban térnek el és közel azonos alkoholfokúak, ezért joggal feltételezhetjük, hogy a második főkomponens az alkoholos vegyületek összességét jelöli. Az előző feltevést még az is erősíti, hogy a magasabb alkoholtartalmú vörösbor magasabb értékeknél helyezkedik el, az alacsonyabb rozé boré pedig alacsonyabbaknál. Ecetsav jelenlétére itt, akkor következtethetnénk, ha az előbb említett két bor nem lenne fedésben. (29. ábra)

A harmadik a második főkomponensek szerinti vizsgálat során, már szebben szétválnak az egyes borminták, ugyanakkor a ME-MF minták továbbra sem válnak el teljesen. (29. ábra)

A PC4-PC2 diagrammon teljesen elkülönülnek a borok, ez azt jelenti, hogy e két komponens mentén az orr különbséget tud tenni a borok között. (29. ábra)

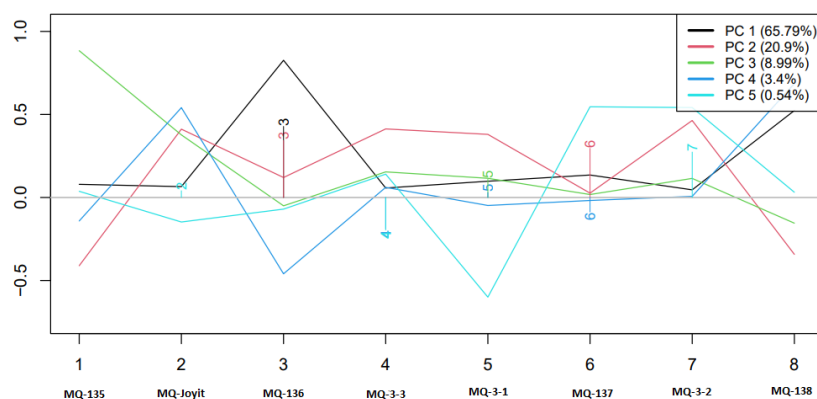
A hármas és négyes főkomponens vizsgálatakor, megfigyelhető, hogy a borminták az eddigiekhez képest itt fedik egymást a legjobban. Az alacsony szelektivitás függvényében nem tudunk különbséget tenni közöttük. (29. ábra)

Az ecetsavas minta a diagrammokon minden komponens vizsgálata során alacsonyabb értéket vett fel, mint a többi borminta. Az ME minta PC1-re nézve a rozéborhoz elég közeli értéket vesz fel. Ebből az következik, hogy a főkomponensek közül valószínűleg az első tartalmazza az ecetsavat, viszont a szenzorok nem rendelkeznek kellő szelektivitással a kimutatására.

A PCA loading eredményekből információt nyerhetünk arról, hogy az egyes szenzorok milyen mértékben befolyásolják a főkomponenseket. (30. ábra)

**30. ábra** PCA loading teszteredmény, szenzorok összefüggése a főkomponensekkel

(Forrás: Saját munka)



Ahogy a 30. ábra mutatja, az MQ-136 és MQ-138 szenzorok befolyásolják leginkább a főkomponensek változását. A PC1 tartalmazza a nagyobb előfordulású vegyületeket és valószínűleg leginkább illékonyabbakat is. A MQ-136- eltérését elemezve, a PCA loading tesztben (30. ábra) az első komponensnél volt nagyobb, pozitív irányú kiugrás. Ebből arra gyanakszunk, hogy az tartalmazza az ecetsavat. Emellett viszont sajnos azt is jelenti, hogy ez a szenzorcsoport nem képes az ecetsav kimutatására.

## 5. Összefoglalás

A dolgozatomban fő célom egy költséghatékony elektronikus orr fejlesztése és tesztelése volt, amely képes az alkoholos italok minőségi paramétereinek vizsgálatára. A tesztelés során kitértünk az esetleges borhibákat okozó vegyületekre is, melyek detektálása felé nagy lépéseket tettünk.

Az orr megépítésben a témát körülölelő irodalom és kutatások igen sok segítséget nyújtottak. Megépítést követően három kísérleten keresztül értékeltük a gázszenzoros mérőrendszer alkalmasságát, érzékenységét és pontosságát különböző borhibák, illetve alkoholtartalmak meghatározására. Az eszköz fejlesztése során felmerülő nehézségek, problémákat áthidalva jelentős tapasztalatra tettünk szert. Fontos szempont volt számunkra a mérések effektív ismételhetősége, melyet hardveres és szoftveres finomításokkal mondhatni sikeresen elértünk. Borhibák terén a készülékkel észleltük a brettes jelleget és az ecetesedést okozó ecetsav jelenlétét. Az utóbbinál viszont mértéket a bor aroma komplexitása miatt a szenzorok nem tudták kellő szelektivitással kimutatni.

Összességében egy meglepően felhasználóbarát eszközt sikerült fejleszteni, mely megbízhatóan alkalmazható az alkoholfok mérésére. A kutatás elején kitűzött célok közül csupán a szállíthatóság teljesült csak kis mértékben a többi szempontnak eleget tudtunk tenni. További mérések és tesztelések mellett, más minőségi paraméterek monitorozására is alkalmasnak találjuk.

## 6. Továbbfejlesztési lehetőségek

- Pneumatikus oxigén befűvő rendszer hozzáépítés és tesztelést javasolunk, hogy a levegőztetést felgyorsítsuk, majd ezzel a mérés ismételhetőségét elősegítsük.
- Brettes jelleget alacsonyabb szennyezőanyag tartalmú mintákkal mérni. Doboz, avagy kamrafal anyagának kiválasztásakor kisebb porozizású anyagot javasolunk, esetleg szagmentes felületi kezelés.
- 3D nyomtatott kamra építése, esetleges átszerelés.

## 7. Felhasznált irodalom

- Asbóth, E. (2021. november 8). *Vinotiq.com*. Forrás:  
<https://vinotiq.com/blogs/magazin/borerjeszesben-az-ero>
- NÉBIH. (2013. 5 17). *Borhibákról és borbetegségekről*. Forrás:  
[https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21392/Borhibakrol\\_es\\_borbetegsegekrol.pdf/7b6e7015-f434-4231-9c8e-f4378600cae1](https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21392/Borhibakrol_es_borbetegsegekrol.pdf/7b6e7015-f434-4231-9c8e-f4378600cae1)
- Nyitrai Dr. Sárdy, D., Török, Z., & Mátyus, I. (2017). *hermanottointezet.hu*. Forrás:  
[https://www.hermanottointezet.hu/sites/default/files/tankonyvek2022/Borkeszites\\_tech\\_nologiaja\\_\(oktatasi\\_segedanyag\).pdf](https://www.hermanottointezet.hu/sites/default/files/tankonyvek2022/Borkeszites_tech_nologiaja_(oktatasi_segedanyag).pdf)
- Szalai, N. (2019. április 5). *Borászportál.hu*. Forrás:  
[https://www.boraszportal.hu/hirszureta\\_bor\\_keszitese-111](https://www.boraszportal.hu/hirszureta_bor_keszitese-111)
- Tilhof, T. (2022). *Nemzeti Agrárgazdasági Kamara*. Forrás: [www.nak.hu](http://www.nak.hu):  
<https://www.nak.hu/images/2022/Szakkepzes/Szlsz-borsz-mester-jegyzet.pdf>
- Apetrei, I. M., Rodríguez-Méndez, M. L., Apetrei, C., Nevares, I., del Alamo, M., & de Saja, J. A. (2012). Monitoring of evolution during red wine aging in oak barrels and alternative method by means of an electronic panel test. *Food Research International*, 45(1), 244–249. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.10.034>
- Berna, A. Z., Trowell, S., Cynkar, W., & Cozzolino, D. (2008). Comparison of Metal Oxide-Based Electronic Nose and Mass Spectrometry-Based Electronic Nose for the Prediction of Red Wine Spoilage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(9), 3238–3244. <https://doi.org/10.1021/JF7037289>
- Bonah, E., Huang, X., Aheto, J. H., & Osa, R. (2020). Application of electronic nose as a non-invasive technique for odor fingerprinting and detection of bacterial foodborne pathogens: a review. In *Journal of Food Science and Technology* (Köt. 57, Szám 6). <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04143-4>
- Bougrini, M., Tahri, K., Haddi, Z., Saidi, T., El Bari, N., & Bouchikhi, B. (2014). Detection of adulteration in argan oil by using an electronic nose and a voltammetric electronic tongue. *Journal of Sensors*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/245831>

- Braunger, M. L., De Santana Gois, B. H., Fier, I., De Oliveira, V. J. R., Da Silva Agostini, D. L., Riul, A., & De Almeida Olivati, C. (2022). Electronic Nose based on Poly(vinylidene fluoride)-modified Nanofibers for Discriminative Detection of Volatile Organic Compounds. *International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, ISOEN 2022 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ISOEN54820.2022.9789622>
- Chen, H., Huo, D., & Zhang, J. (2022). Gas Recognition in E-Nose System: A Review. In *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems* (Köt. 16, Szám 2, o. 169–184). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2022.3166530>
- Escobar, V., Scaramozzino, N., Vidic, J., Buhot, A., Mathey, R., Chaix, C., & Hou, Y. (2023). Recent Advances on Peptide-Based Biosensors and Electronic Noses for Foodborne Pathogen Detection. In *Biosensors* (Köt. 13, Szám 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/bios13020258>
- Farkas, V., & Dalmadi, I. (2013). Electronic nose – a new multi-purpose tool for food investigation. *Elelmiszervizsgalati Közlemények*, 59(4).
- Gardner, J. W., & Bartlett, P. N. (1994). A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 18(1–3), 210–211. [https://doi.org/10.1016/0925-4005\(94\)87085-3](https://doi.org/10.1016/0925-4005(94)87085-3)
- Grassi, S., Benedetti, S., Magnani, L., Pianezzola, A., & Buratti, S. (2022). Seafood freshness: e-nose data for classification purposes. *Food Control*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108994>
- Macías, M. M., Manso, A. G., Orellana, C. J. G., Velasco, H. M. G., Caballero, R. G., & Chamizo, J. C. P. (2012). Acetic Acid Detection Threshold in Synthetic Wine Samples of a Portable Electronic Nose. *Sensors 2013, Vol. 13, Pages 208-220*, 13(1), 208–220. <https://doi.org/10.3390/S130100208>
- Penza, M., & Cassano, G. (2004). Recognition of adulteration of Italian wines by thin-film multisensor array and artificial neural networks. *Analytica Chimica Acta*, 509(2), 159–177. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2003.12.026>
- Pinheiro, C., Rodrigues, C. M., Schäfer, T., & Crespo, J. G. (2002). Monitoring the aroma production during wine-must fermentation with an electronic nose. *Biotechnology and Bioengineering*, 77(6), 632–640. <https://doi.org/10.1002/bit.10141>

- Samarth, N., & Awschalom, D. (2007). Spin control in semiconductors: Variations on a theme. *Proceedings of the 14th International Workshop on the Physics of Semiconductor Devices, IWPSD*. <https://doi.org/10.1109/IWPSD.2007.4472442>
- Sanaeifar, A., ZakiDizaji, H., Jafari, A., & Guardia, M. de la. (2017). Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Köt. 97). <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.09.014>
- Smith, M. E., Bekker, M. Z., Smith, P. A., & Wilkes, E. N. (2015). Sources of volatile sulfur compounds in wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12193>
- To the Digital Age: Research Labs, Start-up Companies, and the Rise of MOS ...* - Ross Knox Bassett - Google Könyvek. (é. n.). Elérés 2024. október 11., forrás [https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=5HxgNysqrjUC&oi=fnd&pg=PR9&dq=MOS+how+it%27s+made&ots=9iJQNejaX9&sig=8Bm8x50YeQCuU3Bmvm5m7gVFtA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=n%20type&f=false](https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=5HxgNysqrjUC&oi=fnd&pg=PR9&dq=MOS+how+it%27s+made&ots=9iJQNejaX9&sig=8Bm8x50YeQCuU3Bmvm5m7gVFtA&redir_esc=y#v=onepage&q=n%20type&f=false)
- Wawrzyniak, J. (2023). Advancements in Improving Selectivity of Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors Opening New Perspectives for Their Application in Food Industry. In *Sensors* (Köt. 23, Szám 23). <https://doi.org/10.3390/s23239548>
- Weng, X., Luan, X., Kong, C., Chang, Z., Li, Y., Zhang, S., Al-Majeed, S., & Xiao, Y. (2020). A Comprehensive Method for Assessing Meat Freshness Using Fusing Electronic Nose, Computer Vision, and Artificial Tactile Technologies. *Journal of Sensors*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8838535>

## 8. Ábrajegyzék

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| • 1. ábra Szőlő feldolgozás folyamata (Forrás: borászportál.hu)                                                                 | 7  |
| • 2. ábra Vezetők változása sávváltozás szerint (Forrás: wikimedia.org)                                                         | 12 |
| • 3. ábra Félvezetők hatásmechanizmusa (Forrás: www.mdpi.com)                                                                   | 12 |
| • 4. ábra Gázszenzor felépítés (Forrás: Wawrzyniak, 2023)                                                                       | 13 |
| • 5. ábra Szenzorok elhelyezése a kamrafedélen gyűrűs formába (Forrás: saját munka)                                             | 19 |
| • 6. ábra Teljes mérőberendezés mérés közben (Forrás: saját munka)                                                              | 19 |
| • 7. ábra Arduino-mega (Forrás: techfun.hu)                                                                                     | 20 |
| • 8. ábra MTDEVAL1 lapka (Forrás: www.thorlabs.com)                                                                             | 21 |
| • 9. ábra MTD1020T hőmérséklet szabályozó (Forrás: www.thorlabs.com)                                                            | 22 |
| • 10. ábra TH10K hőmérő (Forrás: www.thorlabs.com)                                                                              | 23 |
| • 11. ábra TECH4 peltier (Forrás: www.thorlabs.com)                                                                             | 23 |
| • 12. ábra GY-906 infravörös hőszensor (Forrás: www.hestore.hu)                                                                 | 24 |
| • 13. ábra HDC1080, hőmérséklet és páratartalom-érzékelő (Forrás: www.hestore.hu)                                               | 24 |
| • 14. ábra Ventilátor (Forrás: products.sanyodenki.com)                                                                         | 25 |
| • 15. ábra XL4005 5A Step-down feszültség átalakító (Forrás: techfun.hu)                                                        | 25 |
| • 16. ábra ENoseStudio program kezelő felülete (Forrás: saját munka)                                                            | 26 |
| • 17. ábra Fehér, rozé és vörös borok (ballról jobbra haladva) (Forrás: saját munka)                                            | 27 |
| • 18. ábra 4EF és 4EG alkoholos oldatai (Forrás: saját munka)                                                                   | 27 |
| • 19. ábra MQ-3 és MQ-2 szenzorok mérés közben (Forrás: saját munka)                                                            | 28 |
| • 20. ábra Minták a tárolóedényekben (Forrás: saját munka)                                                                      | 29 |
| • 21. ábra Fekete mintatartó tányérok (Forrás: saját munka)                                                                     | 30 |
| • 22. ábra Minta behelyezése a kamratérbe (Forrás: saját munka)                                                                 | 30 |
| • 23. ábra A 80%-os denaturált szesz oldat mérési eredménye az idő függvényében MQ-3-1 alkohol szenzorral (Forrás: saját munka) | 31 |
| • 24. ábra A különböző denaturált szesz oldatok eredménye az MQ-3-1 szenzorral mérve (Forrás: saját munka)                      | 32 |
| • 25. ábra Csökkenő szenzorjelek tökéletlen szigetelésnél (Forrás: saját munka)                                                 | 33 |
| • 26. ábra ENoseStudio mérés közben, beállt szenzorjelekkel (Forrás: saját munka)                                               | 34 |
| • 27. ábra MQ-gázszenzorok jelei különböző borokra (Forrás: saját munka)                                                        | 35 |

- **28. ábra** Minták összehasonítása szenzorok szerint csoportosítva (Forrás: saját munka) 36
- **29. ábra** PCA teszteredmények, borok főkomponenseinek párosított ábrázolása (Forrás: saját munka) \_\_\_\_\_ 38
- **30. ábra** PCA loading teszteredmény, szenzorok összefüggése a főkomponensekkel (Forrás: Saját munka) \_\_\_\_\_ 39

## 9. Táblázat jegyzék

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. táblázat</b> Fémoxid félvezetők és érzékelt analitjük (Forrás: Wawrzyniak, 2023 alapján) _               | 13 |
| <b>2. táblázat</b> Szensorok specifikációi (Forrás: techfun.sk nyomán) _____                                   | 18 |
| <b>3. táblázat</b> Szensorok listája és jelölőszámaik (Forrás: saját munka) _____                              | 18 |
| <b>4. táblázat</b> Arduino -mega technikai adatok (Forrás: www.soselectronic.com) _____                        | 20 |
| <b>5. táblázat</b> MTDEVAL1 technikai adatok (Forrás: www.thorlabs.com) _____                                  | 21 |
| <b>6. táblázat</b> MTD1020T technikai adatok (Forrás: www.thorlabs.com) _____                                  | 22 |
| <b>7. táblázat</b> TH10K hőmérő adatok (Forrás: www.thorlabs.com) _____                                        | 23 |
| <b>8. táblázat</b> Mért jel változása hőmérséklet függvényében (Forrás: saját munka) _____                     | 32 |
| <b>9. táblázat</b> A harmadik mérési sorozat hőmérséklet, páratartalom paraméterei (Forrás: saját munka) _____ | 35 |

## 10. Nyilatkozatok

### NYILATKOZAT

#### Szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Nelmeth Benedek József  
A Hallgató Neptun kódja: ADT 097  
A dolgozat címe: Gázszennyezés elektronikus érzékelésének és alkalmazása alkoholos italok minőség paramétereinek mérésére  
A megjelenés éve: 2024  
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Élelmiszertudományi Mérőtechnika és Automatizálás Tanszék

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

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant 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 mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. 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 MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: Erd 2024 év november hó 4 nap

Nelmeth Benedek  
Hallgató aláírása

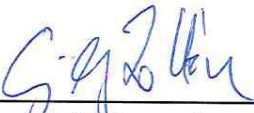
## NYILATKOZAT

Németh Benedek József (hallgató Neptun azonosítója: QDT097 ) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> 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 javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>\*3</sup>

Kelt: Budapest, 2024.11.04.

  
belső konzulens

---

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.

## Köszönetnyilvánítás

Kutatásunk nélkülözhetetlen támogatóinak ezúton szeretném megköszönni hozzájárulásukat, támogatásukat, hogy létrejöhett ez a dolgozat.

dr. Gillay Zoltán tanár úrnak a konzulensi feladatkörének kitartó, segítőkész inspiráló ellátását. A nem kis mennyiségű háttérmunkálatokat, valamint szakmai fejlődésem lelkiismeretes patronálását.

dr. Gillay Bíborka Zsuzsanna tanárnőnek a kiegészítő szakmai támogatást, lendület adást.

Bázár Györgynek és az Adexgo Kft-nek az anyagi támogatás, mely lehetővé tette az orr megépülését, emellett a borhibákat tartalmazó mintasort.



MAGYAR AGRÁR- ÉS  
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM