

Lehetőségek a városi levegőminőség jellemzésére költséghatékony elektrokémiai szenzorok alkalmazásával

Opportunities to the urban air quality of characterization by the cost-effective electrochemical sensors

K. ANTALNÉ BÖKFI¹, K. P. KLUCSIK¹, T. VARGA², E. DOMOKOS¹

¹Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Környezetmérnöki Intézet, bokfi.katalin@mk.uni-pannon.hu

² Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Tanszék

Abstract. The quality of urban is more and more affected by the accelerating urbanization. The efficiency of improving air quality can be increased by providing local information on each pollutant source. The aim of our activity is providing real-time high-spatial resolution data about air quality of the Hungarian capital city, Budapest. In this paper, results of testing and calibration of different low-cost electrochemical sensors and localization of them are represented. The first selected sensor is suitable for detecting carbon dioxide (CO₂), alcohols, benzene (C₆H₆), nitrogen oxides (NO_x) and ammonia (NH₃). The RingAir initiative also aims to involve the urban population in active environmental monitoring activities, therefore in the future we are planning to implement a more detailed and continuously updated monitoring system with the participation of a Budapest bicycle courier service and some of the city's population.

Bevezetés

A légszennyezők koncentrációjának meghatározása jelenleg elsősorban kormányzati hatóságok, valamint kutatók, egészségügyi szakemberek által monitoring állomások mérési adatai alapján történik az Európai Unióban. A monitoring állomásokon hitelesített referenciaeszközök mérik a következő komponenseket: szén-monoxid (CO), nitrogén-oxidok (NO_x, NO, NO₂), ózon (O₃) és szálló por (PM₁₀, PM_{2.5}).

A mérőállomások elhelyezkedését az EU-s 2008/50/EC „a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról” irányelve határozza meg, melyben a minimálisan telepítendő állomások száma a populáció és lefedettség függvényében meghatározott. Habár az állomások pontos eredményeket szolgáltatnak, viszonylag kevés helyen találhatóak meg, valamint telepítésük és fenntartásuk költséges. Castell et al. (2017) szerint csupán egyetlen eszköz ára 5000 és 30 000 € között mozog. Budapest területén (525,2 km²) 12 automata mérőállomás szolgáltat

rendszeresen adatokat, mely nem elegendő a kisléptékű állapotfelméréshez, valamint az adatok legfeljebb óránként érhetőek el [1].

A kezdeményezésünk (RingAir) célja a szennyezési központok pontosabb lehatárolása és a levegőminőség jellemzése lokális szinten, melyre egyre több példát látunk világszerte. Ilyen az Air Quality Egg [2], az AirVisual [3], Clarity Node [4], PocketLab [5], hackAir [6], Smartcitizen Kit [7], néhány nemzetközi példát említve. Költséghatékonyságuk és egyszerűségük miatt az elektrokémiai szenzorokat széleskörűen alkalmazzák. Magfira és Sarno (2018) [8] MQ135 szenzorból épített elektromos orral különített el robusta és arabica kávé a pörkölési fázist követő gázelemzéssel. A 20 percen át vett értékeket SVM (Support Vector Machine) és Perceptron típusú osztályozó algoritmusokkal elemezte. Az SVM eljárással 71%-os felismerési pontosságot tudott elérni. Wijaya és társai [9] nyershúsok bakteriális bomlását detektálta egy összekapcsolt szenzor rendszer segítségével (MQ135, MQ136, MQ2, MQ4, MQ6, MQ9). A bakteriális markerekkel a gázérzékelők jelei szignifikáns korrelációban voltak ($> 0,5$), így sikeresen meg tudták határozni a hús rothadásának állapotát. A félvezető szenzorokban érzékenyréteggként a SnO_2 -n kívül használhatnak különböző szerves anyagokat például elektromosan vezető polimereket és különböző fém-oxidokat, pl. ZnO , TiO_2 , WO_3 . Ez a szenzortípus jó linearitást mutat számos gázfajtára. Szobahőmérsékleten üzemeltethetőek, ebből kifolyólag alacsony az energiafelvételük. A szükséges segéd és meghajtó áramkör egyszerű, mivel csak a szenzitív réteg ellenállását szükséges mérni. A reakció és a tisztulás ideje jellemzően rövid, valamint ellenállónak mondhatók, könnyűek és kisméretűek. A félvezető szenzorok nagyszámú gázzal reagálnak, de szelektivitásuk kicsi. További hátrányuk a kiindulási ellenállás változékonysága és a hosszú időtávon fellépő csúszás, ezért minden egyes szenzor saját kalibrációt és zéró korrekciót kíván.

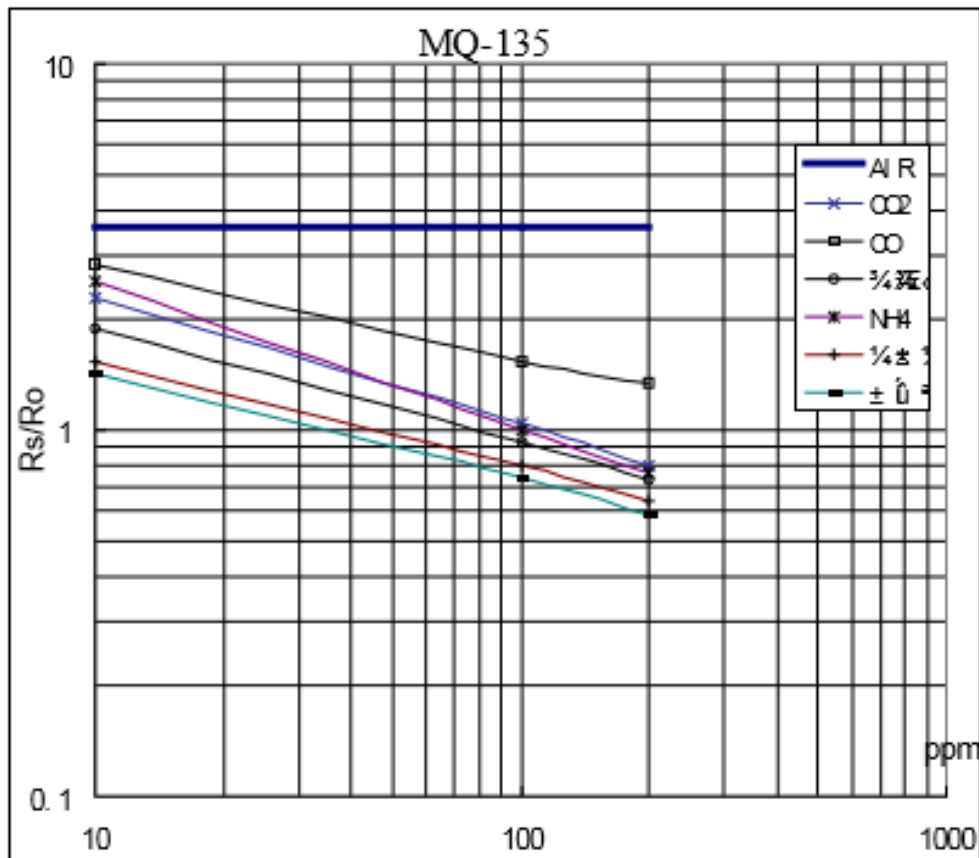
A detektálható gázok körének szélesítése és az egyes gázok közötti szelektálás javításának egyik módszere egyes szenzorok összekapcsolása. Szcurek és Maciejewska munkájukban [10] egy nagyszámú szenzorból álló mérési elrendezést mutat be, melyben a különböző szenzor típusok eltérő reakcióiból határozza meg egy bonyolultabb gázkeverék összetételét, mesterséges intelligencián alapuló mintafelismeréssel. Guo és társai [11] nyolc szenzorból álló rendszere a Fuzzy-AHP algoritmus segítségével, az adatlapokból beszerezhető érzékenységi görbék alapján végzi a gázazonosítást.

A kutatásunk célja, a nagy térbeli részletességű, valós idejű levegőminőséggel kapcsolatos adatszolgáltatás Budapest területén. Első lépésként kiválasztásra került egy olyan szenzortípus, melyet sikeresen alkalmaztak több esetben, azonban tesztelni szükséges a valós idejű városi levegőminőséggel kapcsolatos adatszolgáltatásra való képessége. Emellett célunk még a városi népesség bevonása az aktív környezeti monitoring tevékenységekbe, ezért a jövőben egy budapesti kerékpáros futárszolgálat, valamint a városi lakosság egy részének bevonásával történik majd az adatok gyűjtése. A korrelált mérési adatokból folyamatosan, óránként akár többször is frissülő légszennyezettségi térkép készül majd, melyet a városban élők egy applikáción keresztül érhetnek el, így a kerékpáros (vagy gyalog, rolleres, stb.) közlekedésük során minimalizálhatják a légszennyezettségnek való kitettségüket.

1. Anyag és módszer

1.1. Az alkalmazott elektrokémiai szenzor

Az elektrokémiai szenzorok között az MQ szenzorcsalád került kiválasztásra mely a legköltséghatékonyabb és könnyen beszerezhető, ezen felül széles választékkal rendelkezik. Több típusú MQ szenzort teszteltünk, majd az MQ135-ös szenzor egy alacsonyfeszültségű (0-5 Volt) elektrokémiai gázérzékelő bizonyult a legalkalmasabbnak, melynek érzékeny rétege SnO_2 (Ón-dioxid). Az MQ135 alkalmas szén-dioxid (CO_2), alkohol (EtOH), benzol (C_6H_6), nitrogén-oxidok (NO_x), illetve ammónia (NH_3) érzékelésére. Az adattábla szerinti az érzékenység közel azonos mértékű az összes gázfajta. Az érzékelő sok fajta gázra reagál, nem tud különbséget tenni közöttük, nem szelektív, ezért komponensek direkt mérésére nem alkalmas. Mivel általában a legmagasabb koncentrációban a CO_2 van jelen a levegőben, ezért a mért jel nagyrésze annak tudható be.

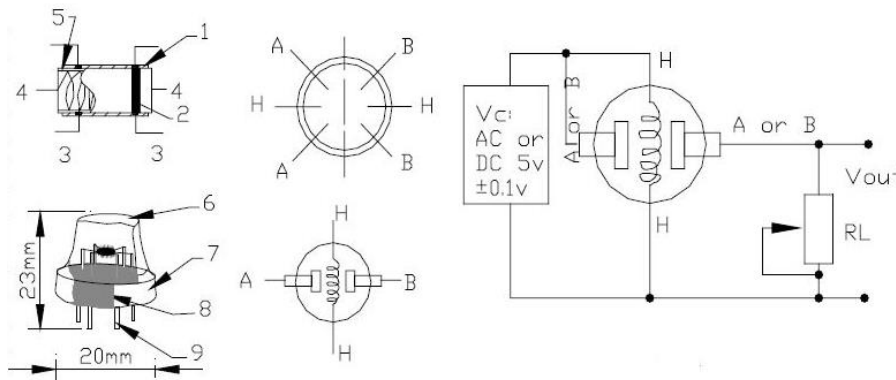


1. ábra: Az MQ 135 tipikus karakterisztikái. Hőmérséklet 20 °C, Páratartalom 65%, $R_L = 20 \text{ k}\Omega$, R_o : a szenzor ellenállása 100 ppm ammóniát tartalmazó tiszta levegőre. R_s : szenzor ellenállás a különböző gázkoncentrációknál

A szenzorban nikkel-króm (Ni-Cr) fűtőszál hevíti fel az érzékelő réteget, mely 5 Volt feszültségen 900 mW alatti teljesítményt vesz fel. A szenzor első használata előtt egy úgynevezett beégetési fázist kell tartani, aminek során 48 órán keresztül folyamatosan áram alatt tartjuk a fűtőszálat. Az ezt követő használatok során a mérés előtt mindössze 1-2 perc bemelegedési idő szükséges.

	Részek	Anyaga
1	gázérzékelő réteg	SnO ₂
2	elektród	Au
3	elektród szál	Pt
4	fűtőszál	Ni-Cr ötvözet
5	kerámia cső	Al ₂ O ₃
6	robbanást megelőző hálózat	rozsdamentes acélháló
7	szorítógyűrű	rézzel bevont nikkel
8	gyanta alap	bakelit
9	csőcsap	rézzel bevont nikkel

1. táblázat: Az MQ135 részei



2. ábra: Az MQ-135 felépítése, anyagai és a tesztáramkör

A szenzor leolvasása az A és B portok közötti ellenállás mérésén alapszik. A szenzitív réteg ellenállását R_s -el jelöljük. Az R_s az R_L ellenállással a fenti bekötést követve egy feszültségosztót képez. Az állandó V_c feszültség és R_L ellenállás ismeretében a V_{out} feszültségből számítható a szenzor ellenállása (Eq. 1.).

$$R_s = \frac{(V_c - V_{out})}{V_{out} \cdot R_L} \quad (1)$$

1.2. Az eszközt működtető szoftver felépítése és működése

Az elkészült eszköz alapja az MQ135-ös szenzor mellett egy ESP8266 mikrokontroller. A RingAir áramellátását kívülről, hordozható powerbank segítségével lehet biztosítani az ESP8266 csipet tartalmazó lapka USB-B csatlakozóján keresztül. A megfelelő ellátás ellenőrzését és a szenzor lényegi leolvasását végzi az ADS1115 16 bites analóg-digitál-konverter (ADC). A relatív páratartalom, a hőmérsékletet, valamint a barometrikus nyomás mérésére alkalmazott BME280-as szenzor beépített kalibrációval és kompenzációval érkezik.

Az általunk fejlesztett eszköz szoftvere az alábbi modulokból épül fel:

- Szenzorleolvasó modul: MQ135 leolvasása ADS1115-ön keresztül, 2 másodpercenkénti lefutással.
- Google Spreadsheetsre (GS) jelentő modul: Átlagok elkészítése, és feltöltése a Google felhőszolgáltatásába, 30 másodpercenkénti lefutással.
- Wifilocáció modul: Wifi jelek alapján történő helymeghatározás, 30 másodpercenkénti lefutással.

- Távoli frissítés modul: GS-n lévő adatok alapján bináris fájl letöltése és telepítése az eszközön, 120 másodpercenkénti lefutással.
- Idő beállító modul: NTP kapcsolat segítségével a belső óra beállítása, negyed másodpercenkénti lefutással, amíg az óra beállításra kerül, utána naponta egyszeri lefutással.
- Wifimanager modul: ismert Wifi hálózat hiányában saját hálózat létrehozása melynek segítségével web böngészőn keresztül a Wifi bejelentkezési adatok megadhatók.

A mikrokontrollereken futó szoftver az Arduino fejlesztő közegben, Arduino nyelven íródott. A szoftver felépítése moduláris, a keretét az ArduinoProcessScheduler programkönyvtár adja, melyben minden modul külön identitásként van elkészítve. Ennek előnye, hogy a különböző rendszerfelépítésekbe könnyű beilleszteni a szükséges programmodulokat. Az egyes modulok futási gyakorisága könnyen állítható akár futás közben is, illetve a rendszer engedélyezni vagy tiltani tudja az egyes modulokat.

A szenzor leolvasása szenzorról szenzorra változik, az alapelv ugyanaz. A leolvasó modul egy integrális értéket készít, melyet a későbbi átlagkészítő modul alakít átlaggá. A környezeti hőmérsékletet leolvassa a modul a DHT22 szenzorról, a TEMPintegralt változóhoz hozzáadja, illetve a TEMPdb változó értékét eggyel növeli. Ez a modul két másodperces gyakorisággal fut le. Az átlagoló modul 30 másodperces gyakorisággal fut le és a TEMPintegralt változót elosztja a TEMPdb változó értékével így a 30 másodperc alatt 15 alkalommal mért hőmérsékletből egyetlen átlaghőmérsékletet készít. Az átlagoló modul ezután meghívja a megfelelő letárolási modulokat.

A microSD kártya a legelterjedtebb és legbiztonságosabb adattárolási megoldás. Az SD kártya kezelése a SDFORRÁS programkönyvtár segítségével történik. A program képes több fájlt kezelni egyszerre, és akár 32 GB-os memóriakártyát is fogadni. A program készít egy átlátható egységes fájlt, melyben minden fontos mérési adat fel van tüntetve, egy hiba és eseményjegyzék fájlt, illetve egy részletes fájlt minden szenzor számára melyben szerepel a nyers leolvasási érték, a kalibrált érték, diagnosztikai információk (mint például a tápfeszültség) és a szenzorra vonatkozó eseményjegyzék.

A GS a Google felhőalapú táblázatkezelő szolgáltatása. Megfelelő internetkapcsolattal a modul képes a Google Apps script rendszerével kommunikálni. A Google scripthen futó JavaScript nyelven írt program pedig képes a legtöbb Google szolgáltatással kommunikálni, úgy, mint a naptár, Gmail, Docs, Maps és a GS. A modul a HTTPSRedirect program könyvtárra épül. A modul modern, mai európai elvárásoknak megfelelően titkosított csatornán kommunikál a Google szervereivel. Jelen állapotában a modul képes egy táblázat különböző munkalapjaira, tetszőleges időközönként adatot menteni. Az adatok tárolási módja az SD kártyára mentő modulhoz leírtakhoz hasonlóan működik. A Google szerverein futó programmal lehetőség van emellett arra is, hogy egy-egy kódrészletet szabályos időközönként lefuttassunk. Ezzel készíthető például folyamatosan frissülő ábrázolása az adatoknak, vagy lehetőség van arra, hogy ha az eszköz túl hosszú ideje nem küldött adatokat, email hibajelzést kapjunk erről.

A Thingspeak.com egy egyszerű adatgyűjtő platform kifejezetten Internet of Things (IoT) eszközöknek fejlesztve. Az oldal maximum 15 másodperces gyakorisággal nyolc adatpontból álló adathalmazt fogad melyeket ezután grafikonon ábrázol. Ez egy nagyon könnyen áttekinthető, látványos megjelenítési lehetőséget ad, de a 8 adatpont a tesztek során kevésnek bizonyult ezért ez csak kiegészítő megjelenítésként érdemes használni.

A mérések értékeléséhez elengedhetetlen az adatokhoz mérési időpontot rendelni. A mikrokontrollerek önmagukban képtelenek a pontos idő tárolására energiaforrás nélkül, és (legalábbis az Arduino UNO és MEGA modulnál) a belső órájuk is pontatlan, naponta egy-két másodpercet téveszt. Az idő beállítására több módszer is kínálkozik. A legkézenfekvőbb az interneten keresztüli NTP szerverekhez való csatlakozás, ami a legtöbbször elegendő. Ha offline környezetben használjuk a készüléket, meg lehet adni az USB porton keresztül manuálisan, vagy beépíthetünk RTC (Real Time Clock) modult, például a DS3232-t, mely saját energiaforrással rendelkezik és hosszú ideig képes tárolni az időt.

A mérések értékeléséhez az idő mellett a hely meghatározása is fontos, főleg a nem helyhez kötött eszköz konstrukciók esetében. A GPS pozicionálást Aithinker A7 kombinált GPS GSM modullal vagy NEO-7 GPS modullal érdemes végezni. Az A7-es modullal történő tesztek rávilágítottak annak fontosságára, hogy ne legyen eltakarva a GPS antennája a szabad ég elől, és GSM rásegítés nélkül lassan találja meg a pozíciót a modul.

Erősen rurális területekre ahol mindig található WiFi szignál, lehetséges a Google WiFilocációs szolgáltatását alkalmazni. A WiFi lokáció a WiFiLocation programkönyvtáron alapul. A program összegyűjti az eszköz környezetében fellelhető WiFi AP-k (Access Point) egyedi MAC azonosítóját és az APhoz tartozó jelerősséget. Ezt ezután a Google szerverre küldi, ahol a szolgáltatás visszajelzi számunkra a jelekből számított lokációt és annak pontosságát.

A helyes működés ellenőrzéséhez figyelni kell a szenzorok megfelelő energiaellátását, ezt egyszerű feszültségméréssel megtehetjük, melyhez az ADS115 szenzor alkalmazható. Emellett előfordulhat, hogy elektromos zavar miatt lefagy az I2C busz, esetleg valamelyik eszköz hibás állapotban marad. Ekkor a program meghívja az I2C busztisztító programrészt, amely eddig kivétel nélkül megoldotta a problémát. Amennyiben akkumulátorról üzemeltetjük a készüléket (~6 h), biztosítani kell, hogy elégtelen akkumulátor kapacitásnál a lehető legtöbb fogyasztót leválasszuk, ezzel csökkentve a telepek túlmerítésének esélyét.

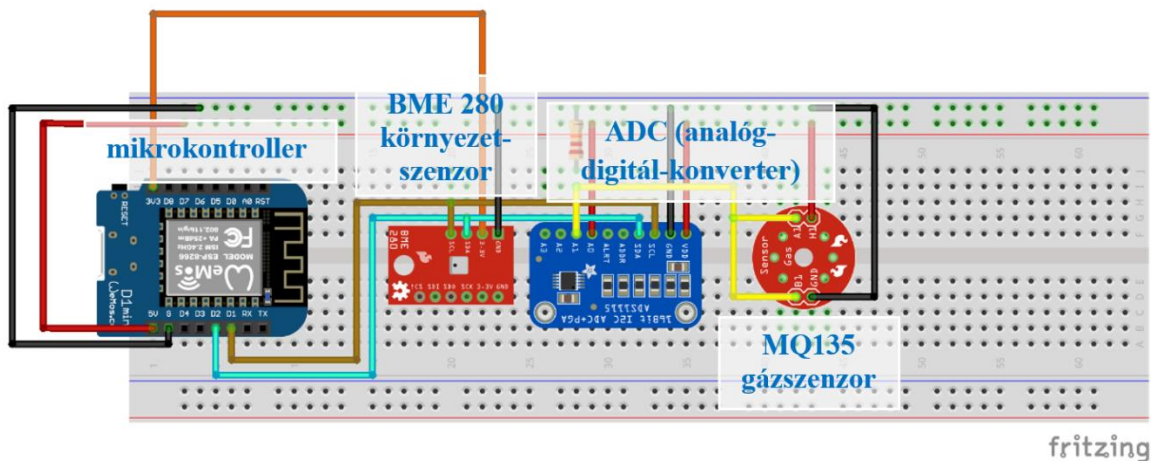
Lehetőség van többféle méretű és tulajdonságú képernyőt illeszteni az eszközre, melyekre akár komplex képi megjelenítést is készíthetünk. Ez azonban RAM és tárhely igényes, ezért elsősorban egyszerű OLED kijelzőkkel státuszjelző szövegeket jelenítünk meg.

Az ESP8266 modulnak jól használható távoli frissítési funkciói vannak. A távoli frissítéshez szükséges a lefordított kódfájl, mely egyetlen bináris állományba foglalja össze a teljes programot és szükséges programkönyvtárakat. Az így elkészült bináris fájl egy szerveren elérhetővé téve, annak webes linkjének ismeretében el tudja végezni a frissítést a mikrokontroller. A verziókezelés és a link tárolása a GS-n, egy rejtett és védett munkalapon történik. A programmodul ellenőrzi a megfelelő cellában lévő verzióinformációt, és, ha az nem egyezik az eszközön tárolt információval, akkor a megadott link segítségével frissítést hajt végre. Ez a része a kódnak vethet fel biztonsági kérdéseket, de GS-sel történő kommunikáció zárt és biztonságos, a verziókezelő és link védett és rejtett munkalapon vannak tárolva, így sem elolvasni, sem módosítani nem lehet őket.

Az nRF24L01 modullal össze lehet kapcsolni egymáshoz közel lévő készülékeket. Ennek előnye, hogy így elég egyetlen készüléknek internethez csatlakoznia. Ez főként terepi alkalmazásoknál lehet

hasznos, amikor sok mérőpontot szeretnénk, viszont nem akarunk minden egyes készüléket GSM modullal és SIM kártyával ellátni. A modul az nRF24 programkönyvtárra épül. A modullal egyszerűen, és gyorsan lehet mesh hálózatokat építeni, melyeken az adatot könnyen tudjuk mozgatni.

WiFi-n keresztüli beállítási lehetőség létrehozása mely a WifiManager programkönyvtáron alapul. Abban az esetben, ha nem tud az eszköz csatlakozni az internetre, létrehoz egy saját hozzáférési pontot, egy saját WiFi hálózatot melyre bejelentkezve a böngészőt automatikusan egy beállítási oldalra viszi ahol megadhatóak a WiFi hozzáférési pont adatok melyet ezután ment az eszköz és ezekhez újraindítás után is csatlakozni képes. A könyvtár lehetővé teszi sajátbeállítások létrehozását is a honlapra.



3. ábra: A RingAir hardver felépítése szerelőtáblán (Fritzing szoftverrel)

A jelenlegi felépítés csak állandó WiFi-n keresztüli internetkapcsolat mellett üzemel, mely a kísérletekben egy okostelefonnal létrehozott hordozható csatlakozási ponttal, mobil internet segítségével biztosított. A fentiekben ismertetett felépítéstől némileg eltértünk az alkatrészek elhúzódo szállítása miatt. A BME280 környezetszenzort egy DHT22-es szenzor helyettesítette. A teszt kört Veszprém belvárosában végeztük el, melynek során az eszköz egy roller vázára lett felerősítve.



4. ábra: A RingAir első tesztje egy rolleren

1.3. Etanol oldat gőzének mérése

A kalibráló görbe készítéséhez rendszerint tömény elegyből hígítási sort veszünk fel. Ezzel a módszerrel figyelembe kellett venni az etanol-víz keverék koncentrációjának eltérését a folyadék fázis és a gáz fázis között, mely a VLECALC adatbázisából származó megoszlási görbe alapján történt, 1 V/V%-os etanol-víz oldat alkalmazásával. Az ezzel egyensúlyban lévő gőzfázisban 9,89 V/V%-os az alkohol tartalom. Nem csak a tiszta gőzfázis van jelen a rendszerben, hanem levegő is. A VLECALC adatbázisa szerint az elegy tenziója a mérés laborhőmérsékletén (28,5 °C) 3,91 kPa, ez a labor barometrikus nyomásának (99,845 kPa) 0,039-ed része, így a beszívott levegő 38,7 ppm alkoholt tartalmaz.

A kísérlet során az etanolos gőzkeverékből 15 másodpercig 1,5 l/perces sebességgel szívott a gázmintavevő pumpa a mérőtartályba. Az etanolos keveréket tartalmazó elnyeletöből nem indult meg azonnal a gázáramlás, ezért egy előre megmért előszívási idő került definiálásra a szívási időhöz, ez 12 mp volt. A beszívás után megadott ideig adatregisztráció történt majd a tisztavizes elnyeletön keresztül nedves levegőt szívva történt a tartály öblítése, többszöri ismétléssel.

1.4. Páratartalom korrekció eredményei

A kísérletek során a legnagyobb jelváltozást a szenzoron a páratartalom változása okozza, melyet az adatlap is alátámaszt, így fokozott figyelmet kell fordítani a páratartalommal való korrekcióra. A kísérlet felépítése az előzőekhez hasonló. Az aktívszenes szűrőn átszívott laborlevegő áramot kettéosztását követően, az egyik áram egy vizes „buborékolató” palackon történő átvezetését követően, nedves levegőt nyerünk, míg a másik áramot szilikagélen átvezetve száraz levegő állítható elő. A két légáramot két külön vezérelt szivattyúval került átvezetésre a kamrába. A kamra páratartalmának vizsgálata a szenzorok mellé beépített DHT22 páratartalom és hőmérséklet érzékelővel történt.



5. ábra: A páratartalom korrekciós kísérlet elrendezése

A mérés egész órás ciklusokba volt rendezve. Az első és az azt követő minden második órában a készülék egész órán át öblített a szilikagélen átszívott száraz levegővel, a második órában és azután eltelt minden második órában pedig az óra elején nedves levegőt szívott a mérőtérbe. Minden nedves levegő bekeverésnél 10 másodperccel több ideig működtette a készülék a szivattyút, így inkrementáló páratartalom értékeket biztosítva a méréshez.

1.5. Etanol – levegő gázkeverék mérése

Az előzetes kísérletekből kiderült, hogy a szenzorok érzékenysége megfelelő, száraz levegőben az $1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ tartományban is képes mérni. A megfelelő kalibráláshoz mindenképp gázhalmazállapotú mintából kell kiindulni aminek a páratartalmát szabályozni tudjuk. Ebben a kísérletben egy mintakeverő zsákot (szilikoncső és műanyag zacskó (50L) felhasználásával) alkalmaztunk, melyben a megfelelő mintagáz előállítása történt.



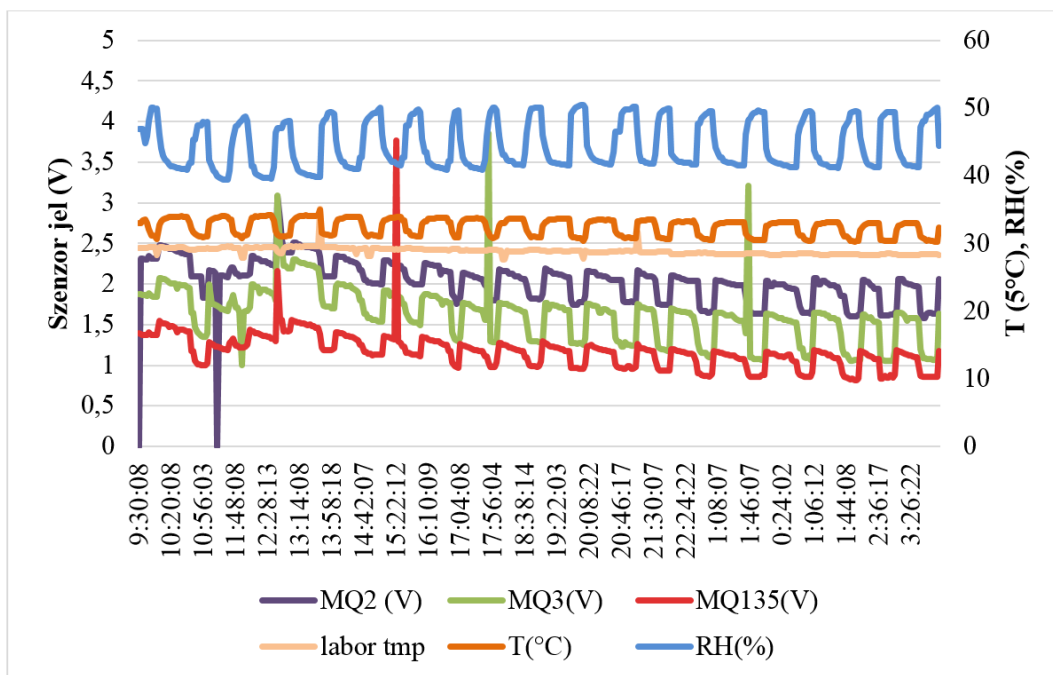
6. ábra: A mintagáz tartó zsák csapszigetelése.

Az így kapott zsák gázórán keresztül, aktívszénen szűrt laborlevegővel lett megtöltve. A gázóra használata miatt a zsákba került levegő térfogata ismert. Mérendő komponensnek ezúttal is az etanolra esett a választás, könnyű hozzáférhetősége, biztonságossága és jó párolgási tulajdonságai miatt. A kísérlet során a készülék felváltva szivattyúzott a kamrába a mintazsákából és aktívszénen szűrt laborlevegőből.

2. Eredmények és értékelés

2.1. Etanol oldat gőzének mérésének eredménye

A mért értékek a 7. ábrán láthatók. A mérési adatok sok tanulságos tapasztalatot szolgáltatottak. A relatív páratartalom 10%-os váltakozást mutat, eszerint a két légnedvesítő berendezés nem egyforma hatékonysággal működik. Az alacsonyabb páratartalom értékek az etanol keverékes gázáramhoz tartoznak. Az MQ135, MQ3, MQ2 szenzortípusok lényegében ugyanúgy viselkednek. Látható hogy a mintagáz áram bevezetése éles emelkedést okoz a jelben, amely ezután enyhén csökken az öblítés fázisig. A csökkenés betudható a mérőkamrában történő elkeveredés hatásának és annak, hogy a szenzor fogyasztja a mérendő komponenst. A mérés első néhány ciklusában látható egy egységes emelkedés, majd a tízedik ciklustól kezdve a jel ismétlődik.



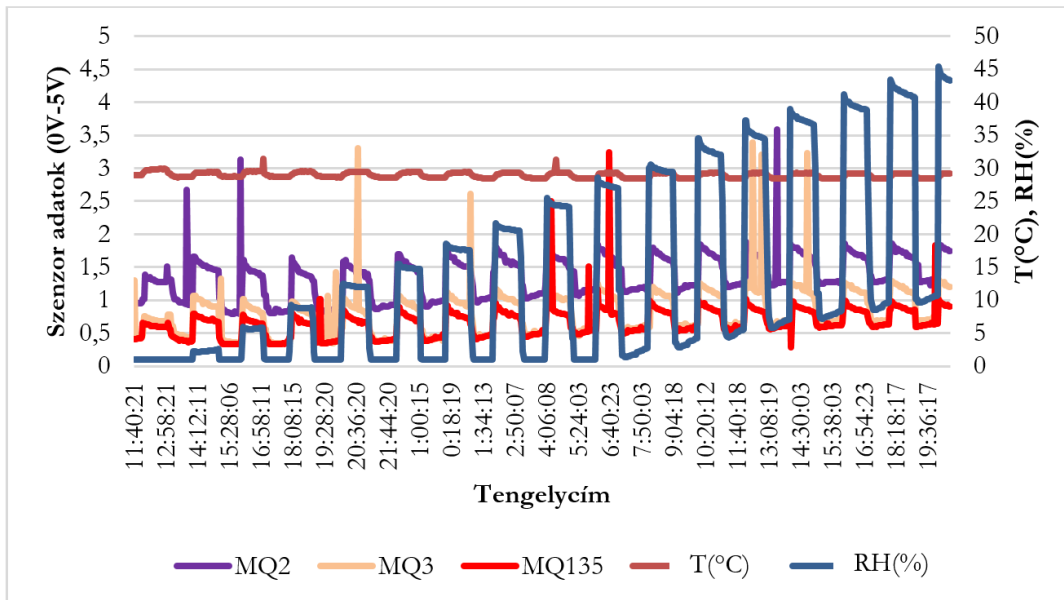
7. ábra: Etanol oldat gőzének mérése

A kísérlet több ponton is hibásnak bizonyult, de ezzel együtt rengeteg tapasztalatot adott. Az elegyen való átbuborékolatás módszerével nem lehet szabályozni a nedvesség tartamot és a mintaanyag koncentrációjának állandósága sem biztosítható. A mérési eredményeken jól látszik, hogy az alkohol folyamatosan fogy a rendszerből. A változó előszívási idő miatt nem biztosítható a bevezetett gáz térfogatának megfelelő szabályozása. Ezen felül a páratartalom változása túl nagy zajt okoz a mérési eredményekben.

2.2. Páratartalom korrekció eredményei

A hőmérséklet változása minimális volt a mérés ideje alatt, mely előnyösnek számít, ugyanis a hőmérséklet befolyásolhatja a szenzorok által adott jelet. A páratartalom értékeken jól látható az inkrementálás, 0 %-tól 45% terjed a mérés páratartalom tartománya. Jól látható hogy a szenzorok

élesen követik a páratartalom változását. Megfigyelhető továbbá, hogy minden mérés elején a mért értékek kissé magasabbak, mint a mérési ciklus végén lévők, ami betudható a gázkamrán belüli diffúziós keveredés hatásának és annak, hogy a kamra zárása nem volt tökéletes. A korrekció során fontos, hogy azzal a páratartalom érzékelővel együtt mérjük a gázszenzorokat, amellyel együtt beépítésre kerül.



8. ábra: Az MQ szenzorok páratartalomtól való függése

Az adatok korrelációs vizsgálata matematikailag is megmutatja, hogy a páratartalom változásaitól függ legerősebben a szenzorok jelváltozása.

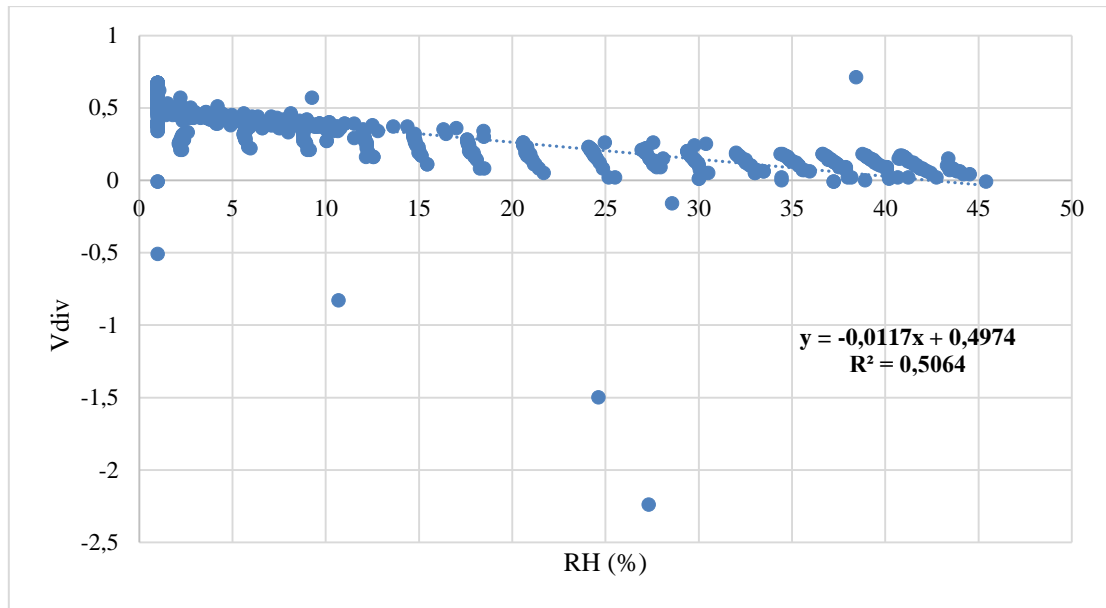
	MQ2	MQ3	MQ135
BMP	-0,02698	-0,02225	-0,03538
T	0,515498	0,517924	0,434651
RH(%)	0,757634	0,739235	0,711626

2. táblázat: A mért értékek korrelációja a kamra atmoszferikus tulajdonságaival

A korrekciós számításokat a következőképpen végeztük el: feltételeztük, hogy a szenzor csak tiszta levegőt mért, az ehhez tartozó érték pedig 1 V.

$$V_{div} = 1 - V_{nyers} \quad (2)$$

ahol V_{div} az 1 Volttól való eltérés, V_{nyers} pedig a szenzoron mért tényleges feszültség érték. Ezután az eltérés mértéke a páratartalom függvényében került ábrázolásra.



9. ábra: Az MQ135 szenzor jelének eltérése 1 V feszültség értéktől a páratartalom függvényében

Az így kapott adatokra egy harmadfokú polinomot illesztve kapjuk meg a korrekcióhoz szükséges képletet.

$$V_{korr} = V_{nyers} + (a \cdot HUM^3 + b \cdot HUM^2 - c \cdot HUM + d) \quad (3)$$

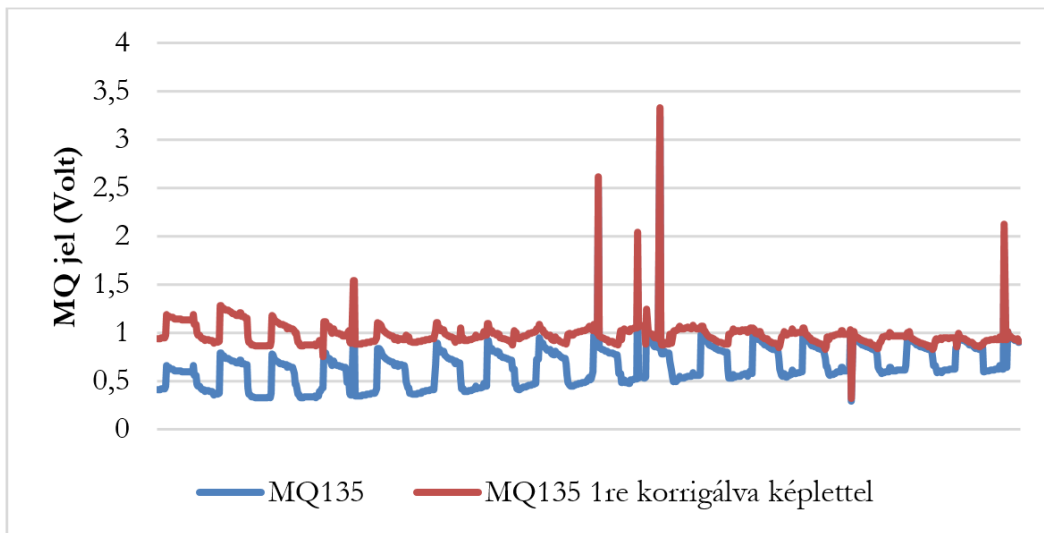
ahol a, b, c és d a polinom koefficiensei.

koefficiensek	a	b	c	d
MQ2	-0,000006	0,00007	-0,0318	0,5629
MQ3	-0,000008	0,001	-0,0437	0,5246
MQ135	-0,00002	0,0019	-0,0587	-0,0018

3. táblázat A mérésnél használt szenzorok kalibrációs koefficiensei

Az így kapott kalibrálási értékek tartalmazzák a konkrét MQ szenzorok tulajdonságait, az őket leolvasó áramkör és segédellenállás tulajdonságait és magukban foglalják a páratartalom mérés hibáját is. Ezt az adatsort a megfelelő mérés érdekében minden egyes készülék felépítésnél fel kell venni, és a készüléknek el kell ezeket menteni a saját korrekciós számításaihoz.

A következő ábrán az MQ135 esetében a mérés során felvett értékek és azok korrigált párjai láthatóak. Bár a korrekciós algoritmus nem tökéletes, de jelentősen csökkenti a páratartalom által okozott ingadozást.

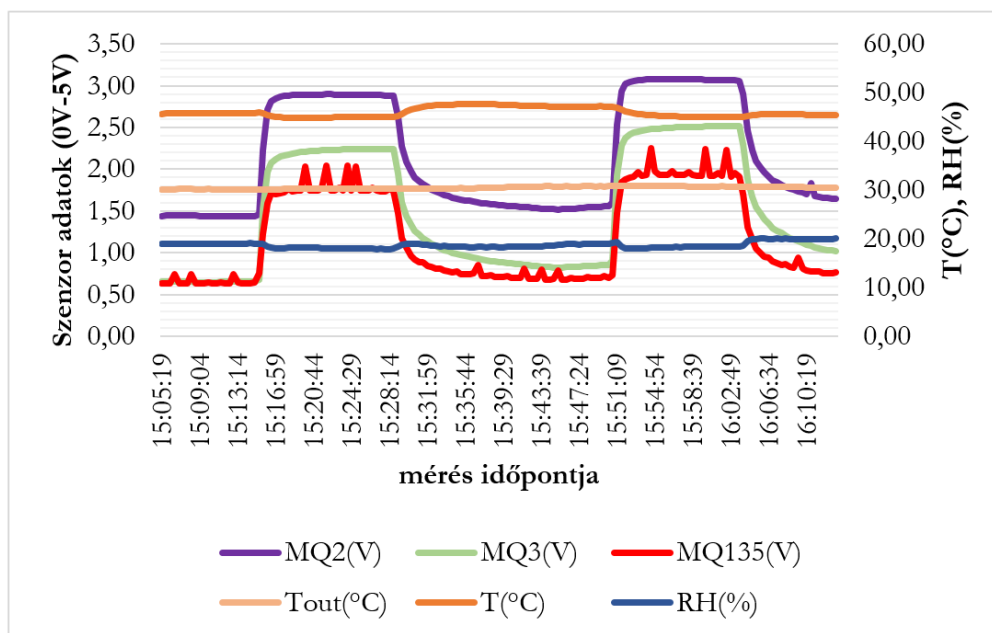


10. ábra: A korrekcióval kapott értékek

2.3. Etanol – levegő gázkeverék mérésének eredménye

A legelső eredmény hogy a páratartalom nem változik jelentős mértékben a mintabevezetés alatt, így a páratartalomból fakadó jeltöbblet elhanyagolható. A szenzorok jelei nagyon hasonló formát öltenek. Ahogy várható az MQ3 a legérzékenyebb az alkoholra, az adja a legnagyobb jelváltozást. A legmagasabb jelet azért az MQ2-es szenzor adja, mert annak az alapértékei is magasabbak. Az MQ135-ös szenzor adatai mutatják a legnagyobb szórást, ennek oka nem felderített.

A mérésekből látható hogy a szenzorok gyorsan, kellő mértékben és nagyjából ugyanolyan mértékben reagálnak. A két mérés ugyanolyan koncentrációjú gázmintát tartalmaz, a második mérés minimálisan magasabb jeleket produkált, ami betudható annak, hogy a szenzorok nem ürültek ki teljesen, vagy a kamra öblítése nem volt teljes.

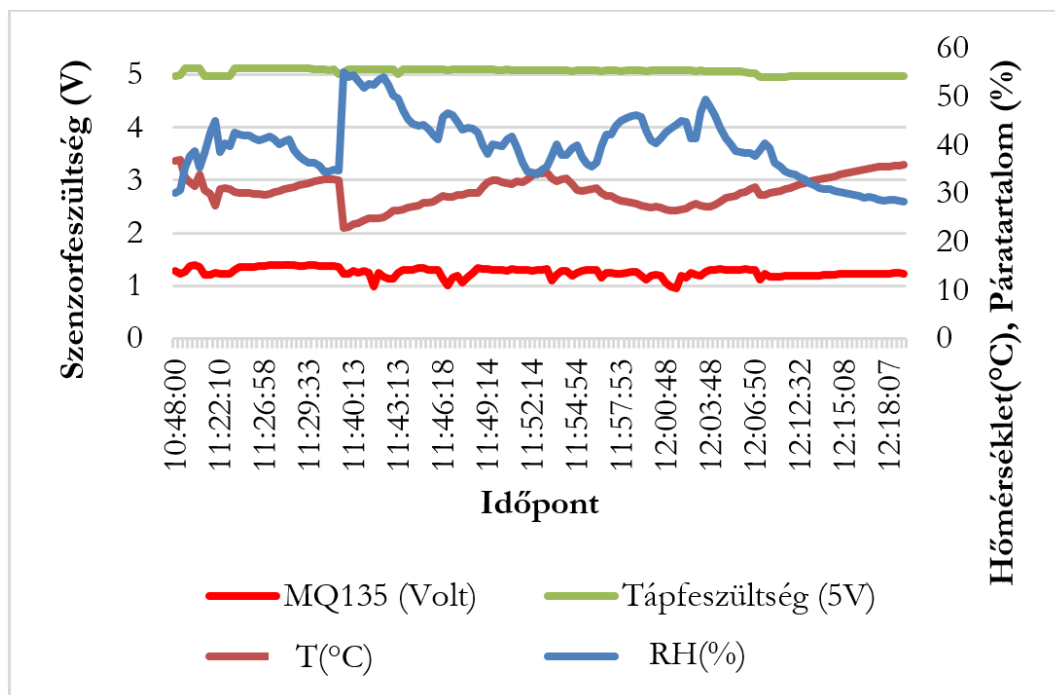


11. ábra: Etanol – levegő gázkeverék mérésének eredménye

2.4. A tesztmérések eredményei

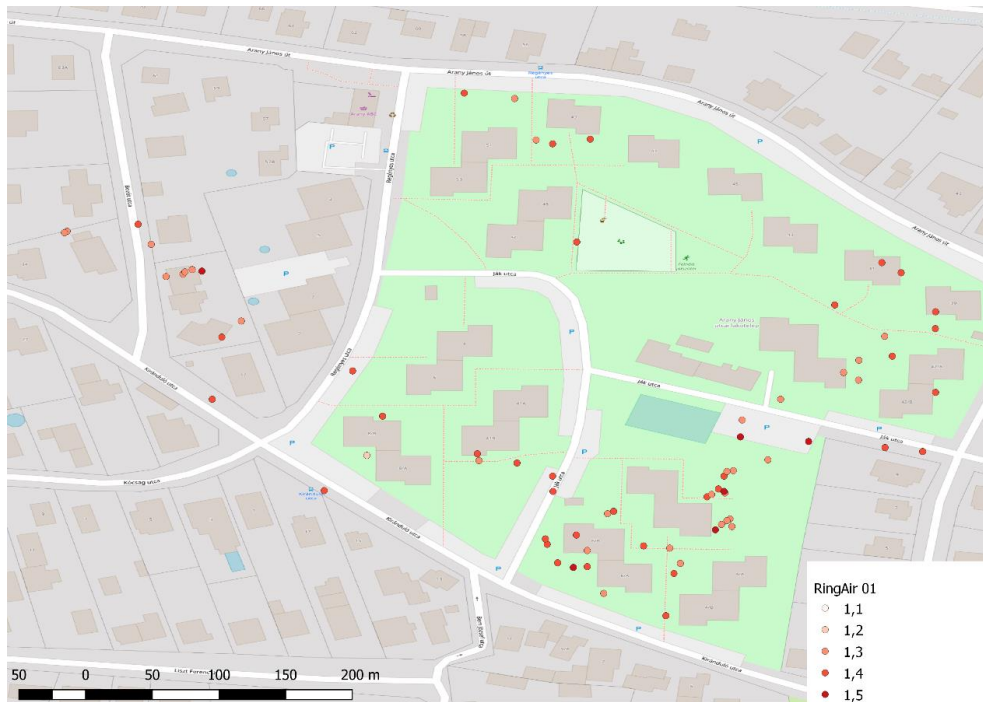
A lokáció megfelelően pontos és gyors volt, a mért adatok akadálytalanul érkeztek a szerverre. További fejlődési irány a mikrovezérlő lecserélése ESP32-re, melynek Bluetooth lehetőségeit kihasználva a RingAirt okostelefonhoz lehetne kapcsolni. Ha át tudjuk adni a mért adatokat az okostelefonnak, az saját helyszolgáltatását kihasználva képes pontosabb lokációadatokat hozzáadni az adatokhoz, mely a WiFi jelektől és a Google WiFilokációs szolgáltatásától független lehet. További előnye az okostelefonnak hogy adattárolásra is alkalmas és saját internetkapcsolatán keresztül a RingAir adatait is célba juttathatja.

Az adatokban két figyelemre méltó rész van, az első a mérés első harmadában történt nagyobb kitérés. A mérést Veszprém tiszta levegőjén végeztük, a szenzor adatain ezért nem látható lényeges változás. 12:01 és 12:05 között az eszközt cigarettafüsttel terheltük, de az nem adott érdemben jelet, feltételezhető hogy az MQ135 modul meghibásodott a szállítás során, vagy nem is volt működőképes, a helyszínen pótolni nem tudtuk. A meghibásodás nem fatális, mert a szenzor reagált a nagy koncentrációjú füstre, és az adatsor végén levő, irodai, nyugalmi állapot során a jel a várhatónak megfelelően „kisimult”. Lehetséges, hogy a rossz feszültségváltó ellenállás választás eredményeként a jel intenzitása csökkent.



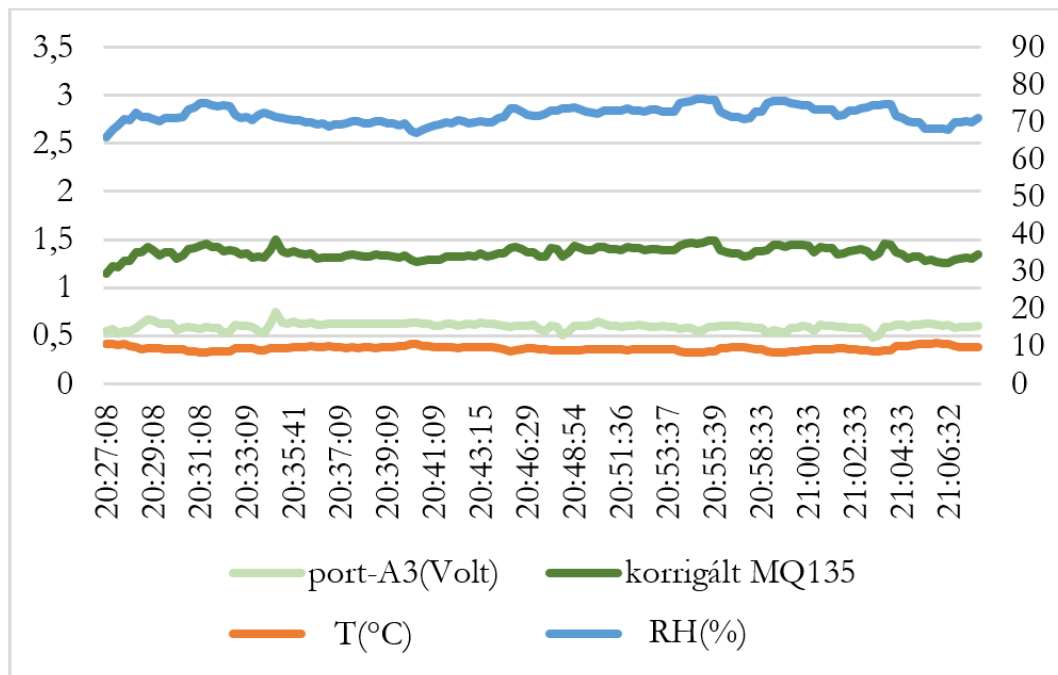
12. ábra: A RingAir első tesztjének mérési adatai Veszprémben

A második tesztköröt Budafok területén végeztük el, melynek során az eszközt kézben használtuk. A kiválasztott terület egy olyan városrész, melyen viszonylag hosszú időn keresztül tartózkodnak kisgyermekes és családjuk, valamint azok, akik kutyát sétáltatnak nap, mint nap.



13. ábra: A RingAir második tesztjének mérési pontjai egy budapesti (Budafok) városrészben

A következő ábrán a budafoki tesztmérés eredményeit tekintve az adatokban nem látunk kiemelkedően magas, sem alacsony értékeket. A jel erősségének változékonysága nagyon alacsony a korrigált jelértékeket tekintve, amiből arra következtethetünk, hogy a vizsgált területen közel azonos volt a levegő minősége a mérés ideje alatt. A jelerősséget tekintve pedig a szenzor által érzékelhető komponensek alacsony koncentrációban lehettek jelen, melyet számos tényező befolyásolhat, például a Duna közelsége is.



14. ábra: A RingAir második tesztjének mérési adatai egy budapesti (Budafok) városrészben

3. Következtetések

Az elvégzett mérésekből látható, hogy az eszköz működőképes, a Wifi lokáció 10 m pontossággal képes meghatározni az eszköz pozícióját lakott területen belül. Stabilan, magszakítások nélkül működik, valamint konzisztens mérések végzésére alkalmas rázkódó környezetben is. A kiegészítő környezeti adatok felvétele, a BME280 szenzor reagálási ideje megfelelő. Az MQ135-ös szenzor a páratartalomra kiszámítható módon reagál, így a kalibráció megfelelő berendezéssel rövid idő alatt elkészíthető. Azonban egy lehetséges probléma, hogy az alkalmazott szenzor érzékenysége a vizsgált levegőkörnyezetben nem elégséges, így ebben az esetben más szenzortípust szükséges alkalmazni. Ez a váltás a moduláris hardver és szoftver tervezése egyszerűen megoldható, azonban a költségek alacsony tartása a jövőben is fontos szempont marad.

4. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni a RingAir kezdeményezésben részt vevők, Dr. Pataki György, Arina Matvejeva és Fórika Endre segítségét, munkáját és kitartását. Köszönjük továbbá az ESSRG, a Smart Healthcare Meetup, a Makerspace tagjainak, valamint a ClimateLaunchpad2018 program szervezőinek segítségét és közreműködését.

Hivatkozások

- [1] N. Castell – D. Philipp Schneider – M. Vogt – U. Lerner – B. Fishbain – D. Broday – A. Bartonova (2017) *Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?*. Environment International. 99 pp. 293-302.
- [2] Internet: <https://airqualityegg.com/home>
- [3] Internet: <https://www.airvisual.com/>
- [4] Internet: <https://clarity.io/solution>
- [5] Internet: <https://www.thepocketlab.com/>
- [6] Internet: <http://www.hackair.eu/>
- [7] Internet: <https://smartcitizen.me/>
- [8] D. B. Magfira – R. Sarno (2018) *Classification of Arabica and Robusta coffee using electronic nose*. 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Yogyakarta. pp. 645-650.
- [9] D. R. Wijaya – R. Sarno – E. Zulaika (2016) *Gas concentration analysis of resistive gas sensor array*, 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD). Bandung. pp. 337-342.
- [10] A. Szczurek – M. Maciejewska (2016) *Categorisation for air quality assessment in car cabin*, Transportation Research Part D: Transport and Environment. 48 pp. 161-170.
- [11] J-H. Guo – K-H. Hsia – K-L. Su (2016) *Low-Cost Multisensor Gas Detection System with Fuzzy Algorithm*. Sensors and Materials. 28 pp. 713-723.