

LEVEGŐMINŐSÉG MÉRÉSE ÉS MÉRT ADATOK ALKALMAZHATÓSÁGA A VÁROSÜZEMELTETÉSBEN

L. Kiss Márton 

tanársegéd, Miskolci Egyetem, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: l.kiss.marton@uni-miskolc.hu

Pintér Judit Mária 

tudományos főmunkatárs, Miskolci Egyetem, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: pinterjm@uni-miskolc.hu

Radomszki Levente 

ipari termék- és formatervező mérnök, ÉMI Nonprofit Kft.
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: lradomszki@emi.hu

Veres Laura 

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Matematika Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: matlaura@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Célunk a nemzetközi és hazai légszennyezettség súlyosságának és a csökkentésével kapcsolatos lépések és lehetőségek bemutatása és ezen célkitűzések milyen módon illeszthetők és integrálhatóak egy város üzemeltetési folyamataihoz és azok milyen további hozzáadott értéket jelenthetnek városüzemeltetési szempontból. A publikáció első részében egy átfogó képet mutatunk be a légszennyező anyagokról, annak forrásairól és hatásairól valamint azok mérhetőségéről. A publikáció második részében a FIEK projekten keresztül a méréshez kiépítendő mérőhálózat elemeit és működési elvét mutatjuk be, valamint a mérhetőség által kinyerhető információkat és hasznosíthatóságukat a városüzemeltetésben. A mérőhálózat alkalmazására teszünk megoldási javaslatot, majd összegezzük az adatok alkalmazhatóságát a városüzemeltetésben.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, intelligens városüzemeltetés, levegőminőség.

Abstract

Our goal is to present the severity of international and domestic air pollution and the steps and opportunities related to its reduction, and how these objectives can be matched and integrated into the operating processes of a city and what additional added value they can represent from a city operating point of view. In the first part of the publication, we present a comprehensive picture of air pollutants, their sources and effects, as well as their measurability. In the second part of the publication, the elements and operating principle of the metering network to be built for measurement through the FIEK project, as well as the information that can be extracted by measurability and their usability in city management. We propose a solution for the application of the metering network, and then summarize the applicability of the data in city management.

Keywords: sustainability, intelligent city management, airquality.

1. Bevezetés

Az egészséges emberi lét egyik nélkülözhetetlen alapeleme a tiszta levegő. A szennyező anyagok légkörbe kerülése rossz közérzetet okozhatnak, hosszabb távon megbetegedésekhez vezethetnek. Napjainkban a globalizációs folyamatok pozitív hatásai mellett negatív tényezőként tekinthetünk az iparosodás magas foka, az autók elterjedése, és a rossz minőségű tüzelőanyagok alkalmazása által a levegőszennyezésre és annak növekedésére. A közelmúltban ezért egyre nagyobb figyelmet kaptak településeink levegőjének minősége hazai és nemzetközi szinten egyaránt.

Ennek eredményeképpen az Európai Bizottság 2021. május 12-én elfogadta „*A levegőre, a vízre és a talajra vonatkozó szennyezőanyag-mentességről*” szóló uniós cselekvési tervet, amely az európai zöld megállapodás egyik kulcsfontosságú vállalására vonatkozik. A cselekvési terv fő célkitűzése, hogy iránymutatásul szolgáljon a környezetszennyezés megelőzésének valamennyi vonatkozó uniós szakpolitikába történő beillesztéséhez, a szinergiák hatékony és arányos módon történő maximalizálásához, a végrehajtás fokozásához és a lehetséges hiányosságok vagy kompromisszumok azonosításához.

Az Európai Bizottság által kitűzött célokhoz igazodva Magyarországon a 1403/2021. (VI. 30.) Korm. határozat a Levegőminőség-védelmi Cselekvési Tervről kimondja, „*hogy az emberi élet, az élő és élettelen környezet minőségét alapvetően meghatározza a levegő állapota*”, valamint „*fontos célkitűzés a szennyező anyagok kibocsátásának folyamatos csökkentése, a környezeti levegő minőségének javítása, és ahol az még nem szennyezett, tisztaságának megőrzése - az emberi egészség és a környezet egészségének védelme érdekében.*” A nemzetközi és hazai szinten megfogalmazott cselekvési tervekhez igazodva városaink Fenntartható Energia- és Klíma Akcióterveiben is kiemelt szerepet kapnak ezen célok és az elérésükhöz elengedhetetlen végrehajtandó fejlesztések.

Magyarország 2019 decemberében nyújtotta be Nemzeti Energia- és Klímatervét. Magyar érdek, hogy a folyamatos és biztonságos energiaellátást, a környezet- és természetvédelmi követelményeket, a megújuló energiaforrások hasznosítására és az energiahatékonyság javítására vonatkozó célokat a társadalmi hasznosság és a hatékonyság követelményét szem előtt tartva a legkisebb költséggel valósítsuk meg. Magyarország az EU teljes üvegházhatásúgáz-kibocsátásának 1,7%-áért felelős, és 2005 óta az uniós átlagnál lassabb ütemben csökkentette kibocsátását. A magyar gazdaság szén-dioxid-intenzitása 2005 és 2019 között 35%-kal csökkent, a 27 uniós tagállam átlagánál gyorsabb ütemben.

2019-ben Magyarország volt a nyolcadik legnagyobb szén-dioxid-kibocsátású gazdaság az Unióban, 201 gCO₂e/euróval meghaladva az uniós átlagot. A 14 éves időszakban Magyarország 35%-kal csökkentette az egységnyi GDP-re vetített kibocsátásintenzitását, valamivel meghaladva a 33%-os átlagos uniós csökkentést.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) 2020 novemberében kiadott publikációja rámutat arra, hogy az elmúlt évtizedekben ugyan csökkent a légszennyező anyagok kibocsátása az EU-ban, de a légszennyezés továbbra is komoly problémát jelent. A légszennyezés továbbra is az első számú környezeti egészségügyi kockázat az EU-ban (Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA), 2019), olyan krónikus és súlyos betegségek okozója, mint az asztma, a szív- és érrendszeri problémák és a tüdőrák, ami komoly egészségügyi és környezeti problémát jelent az uniós polgárok számára (Európai Bizottság, Az európai polgárok környezettel kapcsolatos álláspontja, 2017).

A publikáció központi témája, hogy a bemutatott kiemelt jelentőségű légszennyezettség csökkentésével kapcsolatos célkitűzések milyen módon illeszthetők és integrálhatóak egy város üzemeltetési folyamataihoz és azok milyen további hozzáadott értéket jelenthetnek városüzemeltetési és lakossági szempontból. Munkánk első részében egy átfogó képet adunk a légszennyezettségről, annak

forrásairól és hatásairól valamint annak mérhetőségéről. Helyzetképet adunk a hazai és nemzetközi viszonylatokról, a témához kapcsolódó megvalósított pilot projektekről, melyek közül az egyikben személyesen vettünk részt. A második részben általánosan mutatjuk be egy város üzemeltetési folyamatait és ismertetjük az integrációs folyamat megvalósíthatóságát előnyeivel és kihívásaival egyaránt. Bemutatjuk a méréshez kiépítendő mérőhálózat elemeit és működési elvét, valamint a mérhetőség által kinyerhető információkat és hasznosíthatóságukat a városüzemeltetésben. A vizsgálat és a megvalósíthatóság részét képezte a Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen című GINOP-2.3.4-15-2016-00004 azonosítószámú projekt keretén belül részvételünkkel kifejlesztett két pilot rendszer.

2. Légszennyező anyagok

Szennyezett levegőről akkor beszélünk, amikor az adott légtér vagy a természetes alkotóktól (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2 , Ar, CH_4 , H_2 , N_2O , O_3) minőségileg eltérő komponenseket tartalmaz, vagy a természetes alkotók a szokásostól eltérő mennyiségben szerepelnek, és ezek az ember testi, szellemi, társadalmi vagy biológiai környezetét és tevékenységét kedvezőtlenül, illetve károsan befolyásolják. A tiszta levegő ezzel ellentétben egy olyan meghatározott elegy, amiben nincs por, füst, mikroorganizmus, illetve olyan gáz, amely nem tartozik a légköri levegő alkotórészei közé (Pongrácz, 2012a).

Légszennyező anyagnak tekintünk minden olyan anyagot, vagy energiát, amely olyan mennyiségben kerül a légkörbe, hogy az embert és a környezetét károsítja, illetve anyagi kárt okoz, valamint emellett korlátozza a környezet által nyújtott kikapcsolódási lehetőségek kihasználását (Simon, 2004). Elsődleges légszennyezőnek nevezzük azokat az anyagokat, amelyek közvetlenül a forrásból kerülnek a levegőbe, míg másodlagosnak azokat, amelyek az elsődleges szennyezőkből képződnek különböző kémiai reakciók során (Radnainé Gyöngyös, 2011).

Az alábbi felsorolás tartalmazza azokat a légszennyező anyagokat, amelyeket az EU-s cselekvési terv is figyelembe vesz, illetve amelyek a légszennyezés szempontjából a legjelentősebbek:

- Talajközeli ózon (O_3);
- Nitrogén-oxidok (NO_x) keletkeznek nitrogénműtrágya gyártásnál, salétromsav-gyártásnál, közlekedésben, energiatermelésnél;
- Kén oxidjai azok, melyek a fosszilis energiahordozók égetéséből és az iparból (kénsavgyártás, bányászat, ércelőkészítés, cellulózgyártás) kerülnek a levegőbe;
- Szén-monoxid (CO);
- Szén-dioxid (CO_2);
- A különböző részecskeméretű porok (az iparból, elsősorban a bányászatból, cementiparból, tüzelőanyagok égetésekor stb.);
- Szénhidrogének;
- Illékony szerves vegyületek (VOC);
- Füstgáz;
- Egyéb levegőszennyező anyagok: cigarettafüst (amelyben szén-monoxid, porok, kén-dioxid, nitrogén-dioxid van); radon (természetesen előforduló radioaktív anyag a talajban, tüdőrákot okoz); azbeszt (szigetelésekből kerül a lakásba, légzőszervi megbetegedéseket okoz).

2.1. Légszennyezés forrásai

A légszennyező anyagok lehetnek természetes, vagy mesterséges eredetűek. Természetes szennyezők lehetnek vulkánok (SO_2 , por), erdőtüzek (CO, CO_2 , NO_x , por), szélviharok, az élő, és pusztuló növények

(CH₄, H₂S), a talaj (vírusok, por) és a tenger is (Radnainé Gyöngyös, 2011). Az emberi tevékenységek, különösen a fűtés, a közlekedés, a villamosenergia-termelés, illetve a fémkohászat és az építőipar azonban olyan nagy mennyiségű szennyező anyagot termel, amellyel a természet már nem képes megbirkózni. Egyes mesterségesen előállított anyagok (pl. freonok) is károsítják a légkört. A legnagyobb mennyiségű szennyező anyag antropogén úton a fosszilis tüzelőanyagok égetése során kerül a levegőbe (Radnainé Gyöngyös, 2011).

A légszennyező anyagok kibocsátása különböző forrástípusokból történhet. Egyik típusa a pontforrás (pl. kűrtőszáj, kémény). Ekkor a szennyező anyag körülhatárolható, a terjedés jellemző geometriai méretéhez képest kis hosszdimenziókkal megadható felületen keresztül kerül a légterbe. Mozgó forrás esetén a pontszerű kibocsátó nem egy helyben tartózkodik. Ide tartozik az összes olyan jármű, amelynek működése szennyező anyag kibocsátással jár. A másik fő forrástípus a diffúz (vagy felületi) forrás. Ez esetben a környezetbe kerülő anyagok mennyiségét mérésekkel, számításokkal állapítják meg. Ennek a típusnak az egyik alcsoportja a vonalforrás. A légszennyező anyagok kibocsátását ez esetben a járművek jellemzői, azok sebessége és mennyisége határozzák meg (Pongrácz, 2012; Radnainé Gyöngyös, 2011).

Az egyik legjelentősebb szennyező forrás az épület berendezése: az épületelemek, a padló, a bútortartó, a függönyök és a szőnyegek, valamint a szobában használt festékek, lakkok, páncok és ragasztók. Ezekből számos, az egészségünkre ártalmas anyag kerül lakásaink levegőjébe, a háziporba és a szervezetünkbe. A lakberendezési tárgyak gyakori alkotói például a környezet- és egészségkárosító hatású illékony szerves oldószerek (VOC-k, formaldehid), perfluorozott víztaszító anyagok (PFOA, PFCA, PFOS), égésgátló anyagok (PBDE-k) és a műanyagok lágyítószerai.

2.2. Légszennyezés folyamata

A légszennyezés folyamata 3 részfolyamatból tevődik össze:

- emisszió (kibocsátás),
- transzmisszió (terjedés),
- immisszió (levegőterheltség).

A szennyező anyag kibocsátása, a szennyező forrásnál mérhető anyagárama az emisszió. Ekkor kerülnek a forrásokból a levegőbe a szennyezők. Vizsgálatakor érdemes időbeli, térbeli és kibocsátóforrás szerinti méréseket végezni. Az emisszió minden esetben adott idő alatt kibocsátott szennyező anyag mennyiséget jelent, ezért önmagában nem ad sok információt 1 mért koncentráció. Légszennyezők emissziójának mérése jellemzően a kibocsátás anyagáramát célozza, mértékegysége tömeg/idő, például kg/óra (Radnainé Gyöngyös, 2011).

Ezt követi a transzmisszió, amely a légszennyező anyagok levegőben való terjedését, útját jelenti. A transzmisszió öt fő folyamata a következők:

- keveredés/hígulás,
- elszállítódás,
- szóródás,
- ülepedés,
- kémiai átalakulás.

A transzmissziót jelentősen befolyásolja a meteorológiai helyzet (szél iránya és sebessége, a keveredési réteg vastagsága, a stabilitási viszonyok abban a légrétegben, ahol a szóródás jelentős része végbemegy, a levegő relatív nedvessége, a napsugárzás erőssége, a léghőmérséklet, a csapadék intenzitása és a csapadékos időszak tartama), illetve a földrajzi és felszíni viszonyok (Pongrácz, 2012). A transzmisszió ezért a szokásos analitikai eszközökkel nem, vagy csak ritkán mérhető egzakt módon.

A transzmisszió számítására egyrészt terjedési matematikai modellek szolgálnak, másrészt az emisszió-immiszió összevetése által nyerhető ki információ a terjedésről.

Az immiszió alatt a légszennyező anyagok terjedése és kémiai átalakulása révén adott terület légterében vizsgált légszennyező anyagnak egy meghatározott időtartamra jellemző koncentrációját értjük (Pongrácz, 2012b). A szennyező anyagokra vonatkozó immisziós határérték ezeknek a megengedett koncentrációját fejezi ki, melyeket különböző minőségi normák határozzák meg (mértékegysége: mg/Nm³ - milligramm per normalköbméter).

2.3. Magyarország légminősége

Magyarországon a levegő minősége jellemzően megfelel az EU-s átlagnak, de vannak olyan magyar települések, ahol a levegőminőség még mindig nem mondható jónak, és jelentős különbségek vannak a kevésbé városiasodott vidéki települések és a nagyobb városok között.

Az IQAir 2022-es adatai szerint Magyarország a világ 80. legszennyezettebb levegőjű országa, Európán belül a 12., Budapest pedig az 52. a világ fővárosainak ranglistáján (IQAir, 2022). Országon belül több éve a Sajó folyónak völgyében elhelyezkedő települések, Nyíregyháza és Dunaujváros azok a városok, ahol a légszennyezettség kiemelten magas. A Magyarországon mért légszennyezettségi adatok és a légszennyezés egészségre gyakorolt hatása miatt kiemelten fontos a minél részletesebb, minél kiterjedtebb légminőség mérést hazánkban is.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) által kiadott települések légszennyezettségére vonatkozó éves jelentésekben részletes ismertető olvasható Magyarország légszennyezettségi állapotáról városokra és szennyező anyagokra bontva az automata és a manuális mérőhálózat által mért adatokra vonatkozóan egyaránt (Országos Meteorológiai Szolgálat, 2022). A 2021. évben 34 településen 51 mérőállomás, valamint ezen kívül 7 háttér állomás mérte folyamatosan a levegő szennyezettségét.

2.4. Légminőség mérése

A környezetben lévő szennyező anyagok kimutatását környezetanalitikának, a kémiai környezetszennyezéssel foglalkozó tudományát környezetkémianak nevezik. A környezetanalitikában léteznek gyorsesztek és nagyműszeres vizsgálatok. A szennyező gázokat, optikai vagy elektrokémiai módszerekkel mérik a levegőben.

A szerves szennyezők vagy aeroszolok szakszerű mérése nehezebb, ezeket nagyon nehéz kiszűrni a levegőből. Ha már „kinyertük”, akkor drága műszerekkel lehet megvizsgálni az összetételüket. Fémeket, nehézfémeket például atomemissziós módszerekkel lehet vizsgálni, míg a szerves szennyezőket különböző kromatográfiai módszerekkel választják szét (pl.: gázkromatográf), majd valamilyen detektorral azonosítják. Elterjedt eszköz szerves szennyezők mérésére a tömegspektrométer (Simon, 2004).

A különböző légszennyező anyagok koncentrációját az előzőekben ismertetett elvi működésen alapuló szenzoros egységek segítségével tudjuk megmérni. A levegő szennyezettségének mérése, különösen a PM10 és PM2,5 adatok mérése a városokban napjainkra egyre fontosabbá vált.

Az illetékes környezetvédelmi szervezet végzi ezeket a méréseket az egyes országokban, amely a Nemzeti Légszennyezettségi Megfigyelő Hálózatnak felel meg Magyarországon (National Air Pollution Monitoring Network in Hungary). A nemzeti ellenőrző hálózatnak több laboratóriumi műszerekkel felszerelt terepi mérőhelye van. Ezek a műszerek a légszennyező anyagokat β -abszorpciós és tömegmérésen alapuló szenzorokkal mérik, amelyek szigorú felülvizsgálaton esnek át. Ezen műszereket

félévente kalibrációs eljárásnak vetik alá, amely a magas költségért cserébe hiteles adatok szolgáltatására teszi képessé a műszereket.

Sajnos nem áll rendelkezésre elegendő számú állomás Magyarországon ahhoz, hogy anomáliatérképet készítsünk az adatokból, mint ahogyan a legtöbb országban lehetséges, ugyanis a fenti szervezetek nem rendelkeznek elegendő forrással ahhoz, hogy nagy mennyiséget vásároljanak laboratóriumi minőségű mérésekre alkalmas műszerekből. Egy hitelesített nagy pontosságú kalibrált mérőeszköz ára meghaladhatja a több millió forintot is (L. Kiss et al., 2022).

Napjainkban egyre inkább teret hódítanak a Low-Cost (költséghatékony) szenzorok alkalmazása levegőkémiai mérésekre. Számos, különböző típusú szenzor elérhető a különböző légköri gázok és aeroszol részecskék koncentrációjának meghatározására. Ezen egyszerű és olcsó szenzoroknak számos előnye, de hátrányai is van a pontosabb, de költségesebb referencia műszerekhez képest. Több, hordozható légszennyezettség mérővel nagyobb lefedettséget kaphatunk egy térség levegőminőségnek az állapotáról, valamint ezek a műszerek nem csupán egy meghatározott pontban, de hordozhatóságukból adódóan, akár útvonalakon is képesek mérni (Alastair C.L., 2018). Ugyanakkor ezek a szenzorok érzékenyebbek a különböző változókra (pl. hőmérséklet vagy páratartalom), amelyből kifolyólag kevésbé megbízható adatokat kaphatunk. Mindemellet kalibrálásuk is nehezebb, gyorsabban elavulnak érzékelőik, de előnyükre szolgál a könnyű moduláris alkalmazhatóságuk.

3. Légminőség mérésére alkalmazott rendszerek és kezdeményezések

Az EU által megfogalmazott célkitűzések eléréséhez elengedhetetlen a légszennyező anyagok mérése országos és település szinten egyaránt, hiszen a folyamatos sűrű lefedettségű mérések szolgáltatják az egzakt adatokat a változás nyomon követhetőségéhez.

A 6/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról tartalmazza azokat az elvárásokat és követelményeket, amelyeknek eleget kell tennie a kiépítendő légminőség mérő hálózatoknak. E rendelet hatálya kiterjed a levegőterheltségi szint, a helyhez kötött légszennyező pontforrás, a diffúz forrás és a bűz kibocsátó forrás ellenőrzésére, értékelésére és a levegőterhelés és levegőterheltségi szint mérését végző, valamint a helyhez kötött légszennyező pontforrást üzemeltető természetes és jogi személyekre, valamint jogi személyiséggel nem rendelkező szervezetekre.

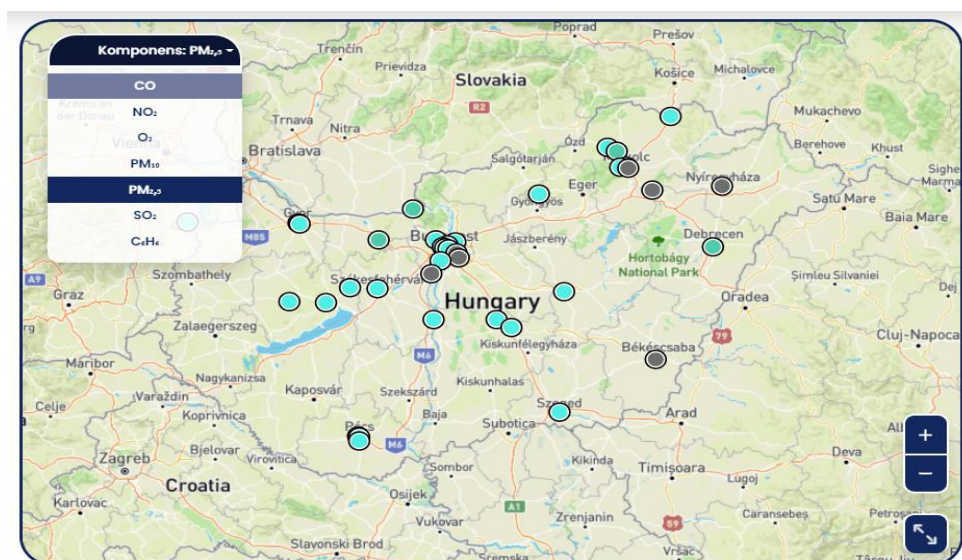
A kormányhivatalok által működtetett hivatalos mérőhálózat mellett egyre több civil kezdeményezés is foglalkozik a környezeti levegő mérésével. Az előbbi szabványos (és igen drága) műszerekkel dolgozik, az utóbbiak pedig olcsóbb, könnyebben hozzáférhető szenzorokkal. Évek óta tartó vita, hogy a két mérőrendszer adatai egymással összevethetőek-e, illetve egymást ki tudják-e egészíteni. A Főpolgármesteri Hivatal Klíma- és Környezetügyi Főosztálya erről rendezett 2022. májusában egy szakmai konferenciát A levegőterheltségi szint mérése és a mérési adatok felhasználásának korlátai címmel.

Az alábbi alfejezetekben részletesen bemutatásra kerül a Magyarországi Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat tevékenysége, a 2021-ben mért légminőség adatai; a Greenpeace Magyarország Tiszta levegőt! kampánya és 3 olyan kezdeményezés, amely megkísérli a nagyszűrűségű légminőségmérés megvalósítását. Az ismertetett projektek, mint a Levegő Munkacsoport – Mérj velünk! projektje és a LIFE IP HUNGAIERY (LIFE17 IPE/HU/000017) projekt elsősorban a kültéri levegőminőség mérésére és vizsgálatára helyezik a hangsúlyt. A Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen című GINOP-2.3.4-15-2016-00004 azonosítószámú projekt keretében azonban külön hangsúlyt kapott az épületüzemeltetés

hatékonyágának elősegítésére irányuló beltéri levegőminőség mérésre alkalmas rendszer kialakítása és integrálhatósága a létesítményüzemeltetési rendszerbe.

3.1. Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat

A levegő minőségének értékelése mérések alapján történik. 2001 óta Magyarországon a települések levegőterheltségi szintjét és a légszennyezettségi határértékek betartását az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) vizsgálja (306/2010 (XII.23.) Korm. rendelet). Az OLM egy manuális és egy automatikus mérőhálózatból áll, amelynek mérőállomásait a szennyezettségi zónák, valamint az agglomeráció figyelembevételével jelölte ki a környezetvédelmi hatóság. Budapest és Magyarország légszennyezettségi térképe (1. ábra) az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat által óránként mért és összegyűjtött adatok alapján készül (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat, 2022). A honlapon elérhető térképes funkció segítségével komponensenként tekinthetjük meg a légszennyezettségi adatokat.



1. ábra. Magyarország PM_{2,5} szálló por térképe (Dátum: 2022.11.06). Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat, 2022

A honlapról közvetlenül elérhető az European Environment Agency oldalán közzétett Európa AQI index térképe és Magyarország - Légszennyezettségi országos adatlapja (European Environment Agency, 2022).

Az OLM 2010 óta végez vizsgálatot és kiértékelést az éves mért adatok alapján település szinten a légszennyezettségre vonatkozóan. Külön jelentést készít az automata és a manuális mérőhálózat adatai alapján, valamint a szálló por PM₁₀ és PM_{2,5} koncentrációjára vonatkozóan.

3.2. Greenpeace Magyarország - Tiszta levegőt!

A Greenpeace Magyarország Tiszta levegőt!-kampányának keretében több alkalommal mérte a levegő minőségét elsősorban a főváros különböző pontjain és létesítményein belül, de voltak olyan akciók is, ahol ország több pontján végeztek légminőségre vonatkozó méréseket. Ezekről a kezdeményezésekről,

a honlapjukon beszámolókat osztottak meg, ahol közzétették a mérési pontokat és a mért értékeket is (Greenpeace, 2022).

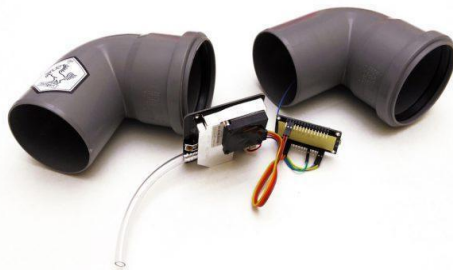
2019-ben és 2020-ban az egyik ilyen akció a fővárosi egészségügyi intézményeknél a levegő szennyezettség mérése volt. Kórházaknál NO₂ mérés esetén, 2019 őszén 3 hetes mérés alatt 10 mérési pontból kilenc helyszínen magasabb volt a szennyezettség mértéke, mint az éves határérték (40 µg/m³).

2019-ben a fővárosi és Budapest-környéki, valamint vidéki iskoláknál végeztek légszennyezettségi méréseket tavasszal, majd ősszel, hogy minél pontosabb képet kapjanak a levegő minőségéről az oktatási intézmények közvetlen közelében, ahol sok gyerek rendszeresen megfordul. Ezeket a területeket kiemelt helyszíneknek tekintik, ugyanis a gyerekekre, fiatalokra fokozott egészségügyi kockázatot jelent a szennyezett levegő. Kezdeményezésük célja annak elérése, hogy a döntéshozók lépjenek fel hatékonyan levegőnk tisztaságáért, saját és gyermekeink egészségéért.

Szintén 2019-ben 3 fővárosi buszmegállóban végeztek vizsgálatokat. A Greenpeace szervezet AQMesh eszközzel vizsgálta az NO₂ légszennyezettséget.

3.3. Levegő Munkacsoport - Mérj-velünk! projekt

Szemléletformáló kampányt indított a Levegő Munkacsoport Mérj-velünk! néven a hulladékégetés megfékezése és a helyes tüzelőhasználat érdekében. Ehhez többek között megfizethető árú levegőminőség-mérő készülék megvásárlását és kihelyezését javasolja, ami méri a szállópor mennyiségét a levegőben, valamint a hőmérsékletről és a páratartalomról is nyújt információt (2. ábra). A kezdeményezés előnye, hogy a lakosok így saját maguk követhetik lakóhelyük és Magyarország levegőminőségének alakulását (Levegő Munkacsoport, 2022).

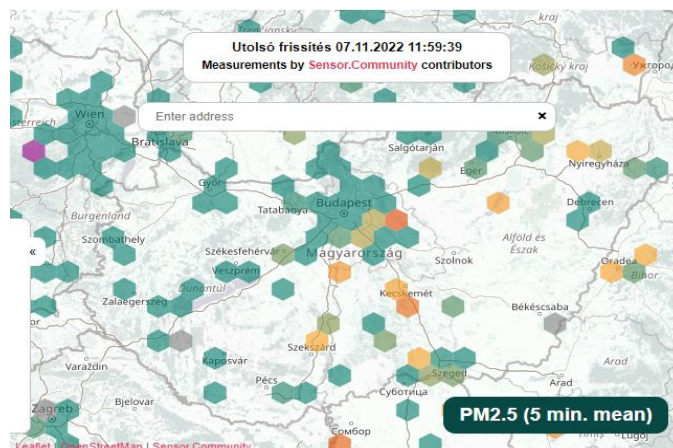


2. ábra. Levegőminőség-mérő készülék lakossági célú felhasználásra. Forrás: Levegő Munkacsoport, 2022

A Levegő Munkacsoport honlapján olvasható, hogy Kelet-Közép-Európában a légszennyezés legnagyobb része a háztartásokból ered, és ez a házak nem megfelelő szigetelésén túl az égetésnek köszönhető. A hazai települések levegőminősége rendszeresen meghaladja az egészségügyi határértékeket. A mérőhálózat segítségével pontosabb képet kaphatunk a légszennyezettségről a PM10 és a PM2,5 mérettartományú szállópor tekintetében, és még jobban megfigyelhetőek a települési, az országos és Európára is kiterjedő folyamatok. Jelenleg a kezdeményezésnek köszönhetően közel 150 készülék működik országszerte. A készülékek jó hatékonysággal egészítik ki és pontosítják az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) mérőhálózatának méréseit. A mérőműszerek által szolgáltatott adatok nem azonos értékűek az OMSZ által mért adatokkal, mivel a lakossági megvásárlásra szánt mérőműszerek nem kalibráltak, nem akkreditáltak, így csak tájékoztatási jellegű adatokkal szolgálnak.

Rövidtávú terveik közt szerepel, hogy a mért adatok felkerüljenek a metnet.hu oldalra is, ahol a hőmérsékleti változások és szélirányok is megfigyelhetők.

A honlapon térképes formában megjelenítésre kerültek a jelenleg működő mérőeszközök által mért adatok (3. ábra). A felületen kiválasztható, hogy mely mért értéket szeretnénk megjeleníteni (relatív páratartalom, hőmérséklet, légnyomás, zaj, PM10, PM2,5).



3. ábra. Lakossági mérőeszközök által mért PM2.5 adatok térképes megjelenítése. Forrás: merjvelunk.hu

3.4. HungAIRy LIFE

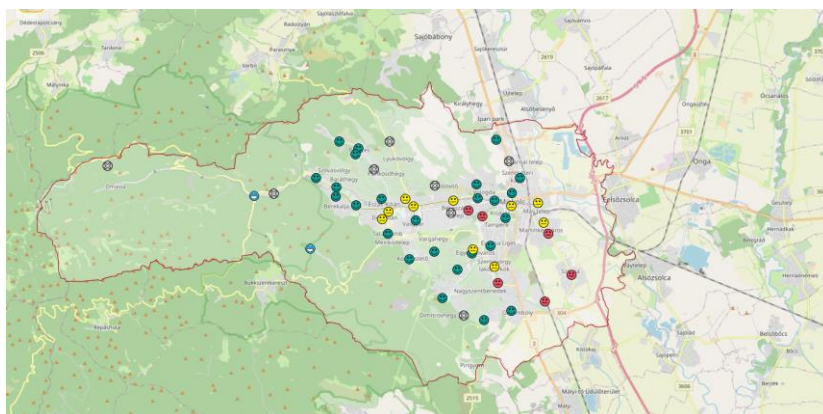
A HungAIRy az egyik legjelentősebb környezetvédelmi probléma kezelését, a levegőminőség javítását célozza 8 régiót lefedve, 10 magyar településen a levegőminőségi tervek végrehajtásának elősegítésével. Ezt többek között emissziós adatbázisok fejlesztésével, új mérőállomások telepítésével, a közlekedési és a lakossági kibocsátású légszennyezés csökkentését célzó pilot akciók megvalósításával, átfogó szemléletformáló tevékenységgel, és egy országos szakértői, tanácsadói – ökomenedzser - hálózat felállításával valósítja meg. A projekt megvalósítás tervezett időtartama: 2019.01.01. – 2026.12.31. A LIFE IP HUNGAIry (LIFE17 IPE/HU/000017) projekt az Európai Unió LIFE programjának támogatásával valósul meg. A koordináló kedvezményezett a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft., az együttműködő partnerek pedig az Országos Meteorológiai Szolgálat, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), A Mindennapi Kultúráért Egyesület, Miskolci Egyetem, 10 önkormányzat és szolgáltató vállalkozás: Békéscsaba, Budapest, Debrecen, Eger, Kaposvár, Karcag, Miskolc, Pécs, Szolnok, Tatabánya (Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft., 2019).

A projekt egyik rész célja egy döntéstámogató, levegőminőség-modellező eszköz fejlesztése. Egy térinformatikai adatbázis és egy nagy felbontású levegőminőség-modellező eszközt fejlesztenek, amely a települések levegőminőségi terveinek két évente vállalt felülvizsgálatát támogatja. A döntéstámogató rendszerrel lehetőség lesz a különböző intézkedések hatásának a becslésére, illetve azoknak a kulcsfontosságú területeknek azonosítására, ahol hatékony intézkedéseket kell tenni (Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft., 2019).

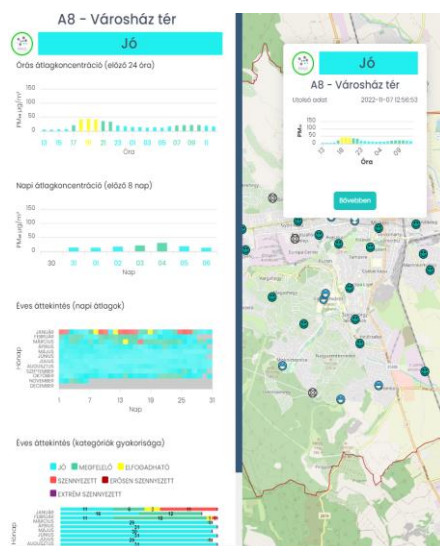
Miskolcon 2021. februárban került sor a szállópor monitoring hálózat kihelyezésére. A mikrokontroller alapú mérőegységek szenzorai segítségével érzékelik a hőmérséklet, páratartalom és nyomás paraméterek mellett a szállópor 10 µm és 2,5 µm átmérő alatti szemcsetartományait. Az Önkormányzattal együttműködve került kidolgozásra a monitoring hálózat terve, mely alapján

folyamatban van a mérőegységek telepítése. Az adatbázis és a mérőegységek által mért adatok alapján megjeleníthetővé követhetővé és modellezhetővé válnak a Miskolc levegőjét terhelő folyamatok. Fontos megjegyezni, hogy a megvalósított rendszer mérőeszközei szintén nem hitelesítettek és kalibráltak, így a mérési adatok szintén nem hitelesítettek.

Az 4. -5. ábra szemlélteti, hogy milyen nyilvánosan elérhető adatokat biztosítanak a projekt keretében kifejlesztett mérőállomások (órás átlagkoncentráció, napi átlagkoncentráció, éves áttekintés a szálló por koncentrációra vonatkozóan).



4. ábra. Miskolc város légszennyezettségi adatainak megjelenítése és a kihelyezett szenzorok térbeli eloszlása Miskolc MJV területén a HungAIRy LIFE projekt keretében. Forrás: HungAIRy LIFE, 2021



5. ábra. Miskolc város – Városház tér légszennyezettségi adatainak megjelenítése a HungAIRy LIFE projekt keretében. Forrás: HungAIRy LIFE, 2021

3.5. FIEK - Szenzortámogatott épület- és településmonitoring

Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen című GINOP-2.3.4-15-2016-00004 azonosítószámú projekt keretében az ÉMI Nonprofit Kft. együttműködve a Miskolci Egyetem kutatóival és oktatóival kutatási céljaul tűzte ki, hogy olyan könnyen piacosítható intelligens településüzemeltetési rendszer termékeket és szolgáltatásokat alapozzon meg és hozzon létre egy pilot rendszert, amely hozzájárul a fenntartható település szintű és létesítmény szintű üzemeltetéshez.

Párhuzamosan folytak a kutatások és fejlesztések a beltéri- és kültéri levegőminőség mérő szenzoros egységek, valamint a szerkezetintegrált szenzoros egységek esetén. A fejlesztés során kiemelt hangsúlyt fektettünk a fejlesztendő rendszer környezetterhelésének vizsgálatára, ezért kiemelten fontos volt számunkra a környezeti szempontú tervezés. A K+F tevékenység során életciklus- elemzést végeztünk több fázisban GaBi szoftverrel, valamint a szoftveres megvalósítás során figyelembe vettük a Green Computing irányelveit.

A kutatás rész célja olyan könnyen piacosítható intelligens épületfelügyeleti-, rendszer termékek és szolgáltatások megalapozása, fejlesztése, pilot rendszer fejlesztése, amely fenntartható építmény menedzsment rendszerrel járulnak hozzá a fenntartható épületüzemeltetéshez. Az épületekben elhelyezett egyedi fejlesztésű különböző mérések megvalósítására szolgáló eszközök is fejlesztésre kerültek a kutatási tevékenységen belül. A különböző paraméterek mérésére alkalmas szenzoros egységekhez szorosan kapcsolódtak szoftveres fejlesztések is, mivel az általuk mért adatokat a megfelelő biztonsággal és gyakorisággal kell szolgáltatni az épületfelügyeleti rendszerek – településüzemeltetők - döntéshozók felé. A szenzorok mérik az épületen belüli és kívüli levegőminőség paramétereit, amelyekkel kiegészítik a már mért energetikai jellemzőket, víz-, villamos- és hőenergia fogyasztást.

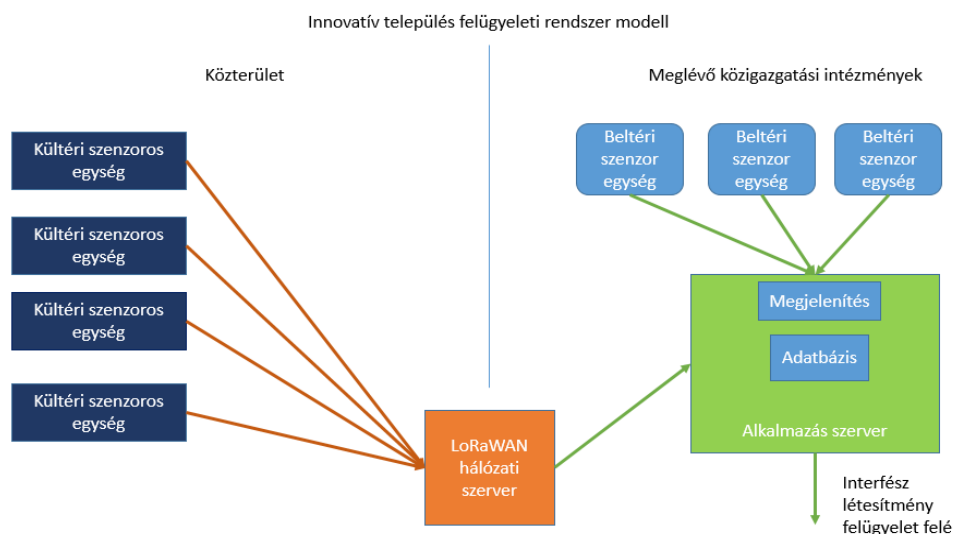
A kifejlesztésre került szenzoros egységek nem csak épület- és épületüzemeltetési szinten, hanem az épületeket magába foglaló tágabb környezetben, település(ek)en is jelentősen hozzájárul az üzemeltetési, településrendezési- fejlesztési problémák megoldásához, okos város- okos települési koncepciók még alaposabb megalkotásához, tervezéséhez. A megalkotott rendszer és módszertan egyértelműen hozzájárul a Fenntartható Fejlődési Célok (SDG - Sustainable Development Goals) közül a 3. Egészség és Jólét, valamint a 11. Fenntartható Városok és Közösségek pontokhoz.

A kutatás során kialakított módszertan kiemelten a PM (légszennyező részecskék) koncentráció települési szintű eloszlásának modellezését és ábrázolását, valamint megfelelő szintű beavatkozások előkészítését teszi lehetővé. Ettől függetlenül az adott, mérni kívánt környezeti paraméterhez (hőmérséklet, besugárzás, párolgás stb.) tartozó geoinformatikai módszertan a XXI. században a megfelelő kutató intézetek, geoinformatikával foglalkozó felsőoktatás intézmények segítségével a későbbiekben teljesen „településre” szabható, meghatározható.

Az alfejezetekben részletesen ismertetjük a mérőrendszer strukturális felépítését, a Miskolci Egyetem kutatói és oktatói által kifejlesztett szenzoros egységek és a rendszer alkalmazhatóságának lehetőségeit. A mérőrendszer modularitása és technikai megoldásai lehetővé teszik a rendszer egyéb üzemeltetési rendszerekhez való illeszthetőségét egy interfészen keresztül. Az így átadott rendszer által mért adatok közvetlenül hasznosíthatókká válnak az üzemeltetésben épület és település szinten is.

3.5.1. Mérőhálózat bemutatása

A projekt során pilot szinten megvalósított mérőrendszer felépítését a 6. ábra szemlélteti. Az elvárás az volt, hogy olyan rendszer kerüljön kifejlesztésre, amely beépülhet meglévő középületekbe is és a rendszer adatait felhasználva fenntarthatóbban lehessen üzemeltetni ezeket az épületeket.



6. ábra. A mérőhálózat felépítése. Forrás: saját szerkesztés

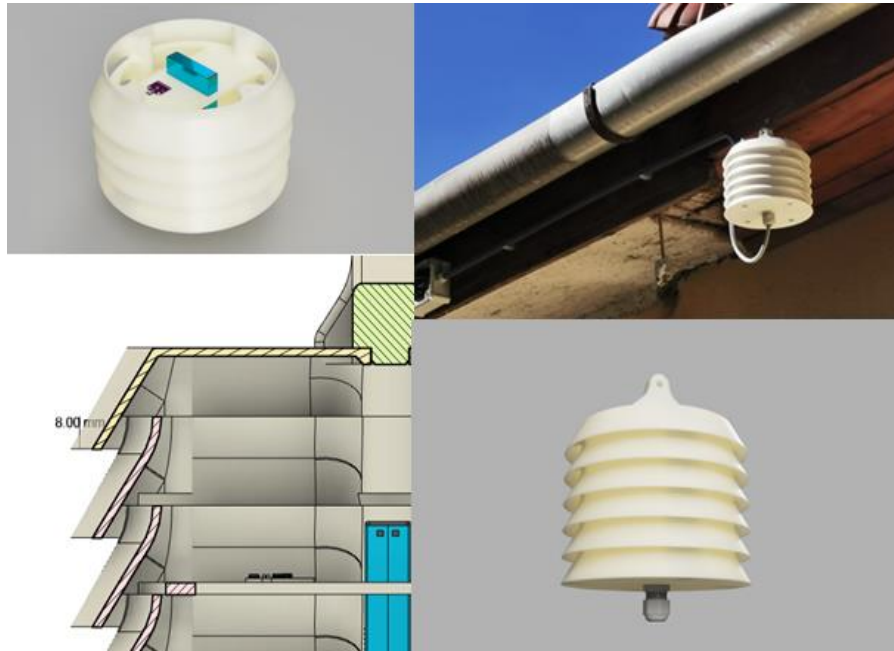
A fenttartható üzemeltetés érdekében került kifejlesztésre a fenti mérőrendszer, amely rendelkezik kültéri szenzorokkal egyaránt, amik kültéri levegő minőség mérést végeznek. Ezek a szenzoros egységek LoRaWAN interfészt tartalmaznak, amely ma már szinte minden nagyobb városban rendelkezik lefedettséggel. Ez egy IoT-alapú (Internet of Things, a dolgok internetje lényegében olyan különböző, egyértelműen azonosítható elektronikai eszközöket jelent, amelyek képesek felismerni valamilyen lényegi információt, és azt egy internet alapú hálózaton egy másik eszközzel kommunikálni) kommunikációs technológia, amelyet Long Range (nagy hatótávolságú) kommunikációra fejlesztettek ki. A LoRaWAN hálózatból az adatokat egy LoRaWAN hálózati szerveren keresztül tudjuk kinyerni WebSocketen keresztül. A WebSocket internetes technológia, ami kétirányú, duplex kommunikációs csatornák kiépítését teszi lehetővé egyetlen TCP protokollon keresztül. Kifejlesztésének fő motivációja volt, hogy a webböngészőben futó alkalmazás képes legyen a szerverrel való kétirányú kommunikációra. A LoRa hosszú távú távközlést tesz lehetővé (ez nyílt terepen akár több mint 10 km is lehet) alacsony energiafogyasztás mellett.

A beltéri szenzorok célja, hogy irodákban vagy lakásokban kerüljön elhelyezésre és az adatai alapján akár fűtést, hűtést, szellőztetést lehessen szabályozni, illetve komfort vizsgálatokat végezni. Ezen szenzorok rendelkeznek saját webserverral is, tehát a 6. ábrán szereplő szerver nélkül is beépíthető, viszont egy központi szerver adatgyűjtés is megvalósítható így, amennyiben egy meglévő középület üzemeltetéséhez akarják használni egy központi szerveren keresztül elérhetőek az adatok.

3.5.2. Kültéri szenzoros egység

A kültéri szenzoros mérőrendszer (7. ábra) a szállópor koncentrációt, valamint hőmérsékletet, légnomást és páratartalmat méri. Low-cost szenzorokból álló egyedi tervezésű moduláris mérő állomást hoztunk létre, ami lehetőséget ad a nagyobb lefedettségű mérésre, amelyből aztán nagy felbontású-részletességű lokális anomália térképeket lehet készíteni. A szenzorok által mért adatok továbbítás után akár nyílt forráskódú térinformatikai szoftverrel megvalósítható spline interpolációs eljárással kerülnek feldolgozásra. A low-cost szenzorok kalibrációs módszere is a projekt során végzett

kutatás eredménye, mely a Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar doktorandusz hallgatójának innovatív eredménye.



7. ábra. Kültéri szenzoros egység, Miskolc – Martinkertváros. Forrás: saját szerkesztés

A légminőség adatok útja a mérésétől a megjelenítésig:

1. Low-cost szenzorok telepítése/üzembehelyezése.
2. Adattovábbítás a kialakított tárhelyre.
3. Interpolációs eljárás lefolytatása a beérkezett átlagolt adatokra alapozva (15-30 percenként).
4. Az interpolációs eljárás eredményének térképi ábrázolása és megjelenítése.
5. Meghatározott határértékek túllépése esetén beavatkozási/cselekvési lehetőségek megfogalmazása-alkalmazása.

3.5.3. Lakossági szintű felhasználás

A beltéri szenzor egység felhasználható lakossági célra is okos iroda és létesítmény felügyeleti alkalmazhatóság mellett. A szenzor rendelkezik egy http szerverrel, amelyről le lehet kérdezni az aktuális mért adatokat. Ezáltal egyszerűen integrálható a mai modern létesítmény felügyeleti rendszerekbe. A lakossági felhasználók számára is elérhető ez a http szerver egy egyszerű weblapon keresztül is, hasonlóan a Levegő Munkacsoport kezdeményezéséhez, de ebben az esetben beltéri és kültéri szenzorokat egyaránt lehet telepíteni és az adatokat közvetlenül felhasználni. Amennyiben a szenzor olyan hálózatra kerül, amelyen van internet elérés úgy lehetőség nyílik valamilyen publikus IoT-alapú megjelenítő felületre való integráláshoz pl.: ThingSpeak szoftverhez, ami egy Ruby nyelven írt nyílt forráskódú szoftver, amely lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy kommunikáljanak az internetre alkalmas eszközökkel. Megkönnyíti az adatokhoz való hozzáférést, az adatok lekérését és naplózását azáltal, hogy API-t (application programming interface - alkalmazásprogramozási felület vagy alkalmazásprogramozási interfész) biztosít mind az eszközökhöz, mind a közösségi oldalakhoz.

3.5.4. Település szintű felhasználás

Település szintű felhasználás esetén a mérőrendszer tartalmaz egy webes interfészt, amelyen vizualizált formában megjelenítésre kerülnek az adatok. Ezek az adatok főleg önkormányzati és egyéb település fenntartó szervezetek weboldala alá egyszerűen integrálható. A rendszer rendelkezik egy adatbázissal, amelyhez biztosítható egy lekérdező API, amin keresztül akár nagyobb levegő minőség mérő rendszerekhez is könnyen integrálható a mérő rendszerünk.

Az elvégzett kutató-fejlesztő munka során – mint az korábban említésre került – az épületeket, az épületfelügyeleti rendszereket megtámogató szenzoregységek mellett kialakításra, kifejlesztésre került egy, az épületeket magába foglaló tágabb környezet adott környezeti paraméterek mérésére alkalmas szenzoregység (kültéri), valamint a szenzor hálózat által gyűjtött adatok összegyűjtésére, feldolgozására és megjelenítésére vonatkozó módszertan is.

A kutatás során kialakított módszertan kiemelten a PM (légszennyező részecskék) koncentráció települési szintű eloszlásának modellezését és ábrázolását, megfelelő szintű beavatkozások előkészítését teszi lehetővé, amely a későbbiekben teljesen „településre” szabható, meghatározható.

3.5.5. Adatok térbeli kiterjesztése

Az adatok térbeli kiterjesztésének vizsgálatát és megvalósítását, valamint a koncepció megalkotását a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, Földrajz-Geoinformatika Intézet kutatói és a Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet kutatói vezetésével közösen valósítottuk meg.

A vizsgálat alá vont területen kihelyezett eszközök GPS koordinátáit (5 db) (hosszúság, szélesség, magasság) GPS készülék segítségével rögzítettük (ennek horizontális hibája kb. ± 3 m), így a térbeli kiterjesztést elvégeztük Miskolc-Martinkertváros területére. Az interpolációt az ArcGIS 10.1-be beépített *Spline with Barriers* eszköz segítségével hajtottuk végre. Az ArcGIS az Esri által kifejlesztett és karbantartott kliens-, szerver- és online földrajzi információs rendszerszoftver-család.

Az interpoláció során a regularizált („szabályozott”) interpolációs típust alkalmaztuk.

A meghatározott időközönként mért adatok, az azokból összeálló adatsorok ezt követően folyamatos frissítés mellett újra feldolgozhatóak, azokon különböző térben kiterjesztett statisztikai vizsgálatokat folytathatunk. Ebből fakadóan számos természet- ill. társadalmi-gazdaságföldrajzi összefüggés, hatás jeleníthető meg vizuálisan, mely segítheti a döntéshozókat megfelelő beavatkozások elvégzésére, meghozatalára.

4. Légállapot mérőrendszer integrálhatósági vizsgálata és a mért adatok hasznosíthatósága

A bemutatott légminőség mérésére alkalmazott OLM rendszer mérései hiteles adatot szolgáltatnak azonban Miskolc területén mindösszesen 3 mérőállomás van kihelyezve.

Az ismertett kezdeményezések közül a Levegő Munkacsoport által indított akció és a HungAIRy - LIFE IP hasonlóan a FIEK Szenzortámogatott épület- és településmonitoring projekthez nagyszűrésű low-cost szenzoros egységekkel megvalósított mérőhálózatot szeretnének megvalósítani, ahol a mérőegységek lakossági szintű felhasználásra is kerülhessenek. Az egyes egységek által mért adatok alapján pedig valamilyen felhőszolgáltatáson vagy saját fejlesztésen keresztül egy mindenki számára nyilvánosan elérhető térképes megjelenítést valósítanak meg. A FIEK Szenzortámogatott épület- és településmonitoring projekt külön hangsúlyt fektet a beltéri légminőség mérésére és a mért adatok

alkalmazhatóságára a létesítményüzemeltetésben, továbbá a fejlesztés során külön célunk volt, hogy a mérőrendszer könnyen integrálható/összekapcsolható legyen más meglévő rendszerekkel.

A kialakítás megvalósíthatósága két módon kivitelezhető. Az egyik megoldás a jelenlegi kezdeményezésekhez hasonlóan egy teljesen különálló rendszer telepítése független megjelenítő felülettel, ahol a városüzemeltetés és a lakosság számára tájékoztatás jelleggel szerepelnek az adatok (elemzések, térképes megjelenítés, riasztás stb.) és ilyen módon támogatják a döntéshozatalok folyamatát. Ebben az esetben a mérőrendszerből közvetlenül lehet kinyerni az adatokat és semmilyen kapcsolat nincs a már üzemeltetésben használt szoftverekkel.

A második megoldás ennek a megvalósításnak a kiterjesztett változata, ahol a mérőrendszer mondhatni hibrid módon működik. Az előzőekben bemutatott funkciókon felül egy interfész fejlesztésével megvalósítható, hogy a mért adatok valós időben megjelenjenek külön layeren (rétegen) az üzemeltetésben már alkalmazott térinformatikai rendszeren belül, így közvetlen felhasználást biztosítva a városüzemeltetés számára. A FIEK Szenzortámogatott épület- és településmonitoring projektben megvalósított mérőrendszer kialakítása lehetővé teszi a lakossági és létesítmény szintű integrálhatóságot is.

Azonban a low-cost szenzorok nagyszámú alkalmazása kihívást is rejt magában, mivel az alacsony ár és könnyű beszerezhetőség mellett pontosan ezért rendszeres újrakalibrálásra szorulnak pontatlanságuk miatt. Ilyen léptékű szenzoros telepítés esetén a helyszíni karbantartás jelentős költségekkel és kihívásokkal járna. A FIEK projekt keretén belül ezért volt a kutatás egyik részfeladata a kalibrációs eljárás újszerű megoldása. A Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar doktorandusz hallgatójának innovatív eredménye teszi lehetővé a szoftveres kalibrációt a szenzoros egységek esetén, így szükségtelen a helyi hardveres kalibráció. Fontos megjegyezni, hogy a low-cost szenzorok élettartama is jelentősen rövidebb a drágább hitelesített megoldáshoz képest, ezért szintén a projekt keretén belül vizsgáltuk a szenzoros egységek környezetterhelését is.

Az elvégzett életciklus-elemzés (LCA) alapján megállapítható volt, hogy nem maguk a szenzorok jelentik ebben az esetben a legnagyobb környezetterhelést, hanem maga a karbantartás, amely már személyes jelenlétet igényel (személygépkocsival való kiszállás). Erre megoldásként szolgálhat, ha az üzemeltetés más egyéb feladatokkal összevontan tervezi meg a kiszállásokat, esetleg környezetbarát közlekedési megoldást választ.

Az ismertetett levegőminőség mérő rendszerek elsősorban a szálló por koncentrációt mérik és egyéb általános paramétereket, mint hőmérséklet, légnyomás, páratartalom, CO₂. Ezen szenzoros egységek nagysűrűségű alkalmazása lehetővé tenné, hogy pontosabb képet kapjunk Miskolc légszennyezettségének mértékéről.

A FIEK projekt keretén belül megvalósított megjelenítés a pontszerű adatszolgáltatáson felül az anomália térkép létrehozásával informatívabb megoldást nyújt. Az interpolációs eljárások és különböző matematikai modellek alkalmazása lehetővé teszi a légszennyezettség forrásának pontosabb beazonosítását és terjedésének útvonalát. Ezáltal detektálhatóvá válnak az illegális hulladékégetések, közlekedési gócpontok és lehetővé válik az ipari szereplők folyamatos ellenőrzése, amely Miskolc város esetén prioritást élvez. A mért adatok és elemzések elősegítik a városüzemeltetési feladatok hatékonyabb tervezését, mint például a parkosítások, zöldfelületek helyének meghatározását és az egyes területek közötti prioritizálást. A valós idejű adatszolgáltatás alapul szolgálhat lehetővé teszi, hogy hatékonyabb riasztási rendszer kerüljön kialakításra, amennyiben a mért adatok átlépik a határértékeket és a modellezés alapján előre láthatóvá válnak a kritikus események. Ezek a lehetőségek jelentősen elősegítik a lakosság egészségének megőrzését. További előnye a valós idejű nagy sűrűségű adatoknak, hogy a nem várt időjárási sajátosságok alapján fellépő kritikus eseményekre gyorsabban reagálhat a

városüzemeltetés. Például nyáron gyakran előfordul, hogy hőszigetek alakulnak ki, ahol gyors megoldásra van szükség. Ilyen megoldás lehet a párapap vagy mobilis zöldsziget kihelyezése, főleg olyan esetekben, ahol fák telepítésére nincs lehetőség.

A FIEK projekt keretén belül, mint továbbfejlesztési lehetőség került megfogalmazásra az UV sugárzást mérő szenzor integrálása a kifejlesztett moduláris szenzoros egységbe. Mivel a magas UV sugárzás különösen veszélyes a bőrre és a szemre, ezért szintén előnyös lenne, ha a valós idejű riasztási rendszerben is bevonásra kerülne.

5. Összegzés

Publikációnk célja a nemzetközi és hazai légszennyezettség súlyosságának és a csökkentésével kapcsolatos lépések és lehetőségek bemutatása volt és ezen célkitűzések milyen módon illeszthetők és integrálhatóak egy város üzemeltetési folyamataihoz és azok milyen további hozzáadott értéket jelenthetnek városüzemeltetési szempontból. A közlemény első részében egy átfogó képet mutattunk be a légszennyező anyagokról, annak forrásairól és hatásairól valamint azok mérhetőségéről. Bemutattuk a nemzetközi és hazai viszonylatokat, az Európai Unió által megfogalmazott cselekvési terveket, az egyes kezdeményezéseket és a légszennyezettséghez kapcsolódó jogi szabályozási hátteret.

Bemutattuk a hazai települések levegőterheltségi szintjét és a légszennyezettségi határértékek betartását vizsgáló Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) munkáját és az általa készített jelentéseken keresztül Magyarország légminőségét. Ismertettük a Greenpeace Magyarország Tiszta levegő! kampányát és 3 olyan kezdeményezést, amely megkísérli a nagysűrűségű légminőségmérés megvalósítását. A bemutatott projektek, mint a Levegő Munkacsoport – Mért velünk! projektje és a HungAIRy LIFE elsősorban a kültéri levegőminőség mérésére és vizsgálatára helyezik a hangsúlyt. A Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen című GINOP-2.3.4-15-2016-00004 azonosítószámú projekt keretében az ÉMI Nonprofit Kft. együttműködve a Miskolci Egyetem kutatóival és oktatóival kutatási céljából tűzte ki, hogy olyan könnyen piacosítható intelligens településüzemeltetési rendszer termékeket és szolgáltatásokat alapozzon meg és létrehozzon egy pilot rendszert, amely hozzájárul a fenntartható település szintű és létesítmény szintű üzemeltetéshez.

A publikáció második részében Miskolc várost és üzemeltetési folyamatait mutattuk be, valamint ismertettük az integrációs folyamat megvalósíthatóságát előnyeivel és kihívásaival egyaránt. Bemutattuk a FIEK projekten keresztül a méréshez kiépítendő mérőhálózat elemeit és működési elvét, valamint a mérhetőség által kinyerhető információkat és hasznosíthatóságukat a városüzemeltetésben. A mérőhálózat alkalmazására tettünk megoldási javaslatot, majd összegeztük az adatok alkalmazhatóságát a városüzemeltetésben.

A FIEK projekt keretén belül megvalósított megjelenítés a pontszerű adatszolgáltatáson felül az anomália térkép létrehozásával informatívabb megoldást nyújt. Az interpolációs eljárások és különböző matematikai modellek alkalmazása lehetővé teszi a légszennyezettség forrásának pontosabb beazonosítását és terjedésének útvonalát. Ezáltal detektálhatóvá válnak az illegális hulladékégetések, közlekedési gócpontok és lehetővé válik az ipari szereplők folyamatos ellenőrzése, amely Miskolc város esetén prioritást élvez. A mért adatok és elemzések elősegítik a városüzemeltetési feladatok hatékonyabb tervezését, mint például a parkosítások, zöldfelületek helyének meghatározását és az egyes területek közötti prioritizálást. A valós idejű adatszolgáltatás lehetővé teszi, hogy hatékonyabb riasztási rendszer kerüljön kialakításra, amennyiben a mért adatok átlépik a határértékeket és a modellezés alapján előre láthatóvá válnak a kritikus események. További előnye a valós idejű nagy sűrűségű

adatoknak, hogy a nem várt időjárási sajátosságok alapján fellépő kritikus eseményekre gyorsabban reagálhat a városüzemeltetés.

A levegőminőség nagysűrűségű mérésének megoldását nem, mint lehetőséget kell tekintenünk, hanem mint szükségyszerű megvalósítandó feladatot. A légszennyezés mértéke számos magyarországi városban magas és számos olyan kockázatot rejt magában, ami nem csak egészségügyi szempontból fontos, hanem gazdasági és energiahatékonysági kérdéseket is felvet.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka előzménye az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából.

Irodalom

- [1] Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA). (2019). *Egészséges környezet, egészséges életek*. 21/2019. számú jelentés.
- [2] Európai Bizottság. (2017). *Az európai polgárok környezettel kapcsolatos álláspontja*. Eurobarométer 468. sz. tematikus felmérése.
- [3] Pongrácz, R. (2012a). Levegőszennyezés és éghajlatváltozás. In *Környezettudományi alapok tankönyvsorozat* (pp. 155-160).
- [4] Simon, G. (2004). *Légszennyezés– Levegő Füzetek– Levegő*. Levegő Munkacsoport, 3-30.
- [5] Radnainé Gyöngyös, Z. (2011). *Levegőtisztaság-védelem*. Környezetmérnöki Tudástár, 11, 2. javított, 1-247. Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet.
- [6] Pongrácz, R. (2012b). A környezetvédelem alapjai. In *Környezettudományi alapok tankönyvsorozat - Levegőszennyezés és éghajlatváltozás* (pp. 154-217).
- [7] IQAir. (2022). *IQAir*. Letöltés dátuma: 2023.08.21., <https://www.iqair.com/hungary>
- [8] Országos Meteorológiai Szolgálat. (2022). OMSZ. Letöltés dátuma: 2023.08.21., <https://legszenyeztseg.met.hu/levegominoseg>
- [9] L. Kiss, M., Pintér, J. M., Trohák, A., & Veres, L.: *Long term measurement with PMS7003*, 2022 23rd International Carpathian Control Conference (ICCC), pp. 343-347. <https://doi.org/10.1109/ICCC54292.2022.9805926>
- [10] Alastair C.L., v. S. (2018). *Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications*. WMO No. 1215.
- [11] Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat. (2022). *Budapest és Magyarország légszennyezettségi térképe*. Letöltés dátuma: 2023.08.21., <https://www.idokep.hu/szmog>
- [12] European Environment Agency. (2022). *European Air Quality Index*. Letöltés dátuma: 2023.08.21., <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>
- [13] Greenpeace. (2022). *Tiszta Levegőt!* Letöltés dátuma: 2023.08.21., <https://www.greenpeace.org/hungary/cselekedj/tiszta-levegot/>

- [14] Levegő Munkacsoport. (2022). *Mérv-velünk!* Letöltés dátuma: 2023.08.21., <https://www.levego.hu/kampanyok/tiszta-futes-rendes-haz/>
- [15] Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. (2019). Letöltés dátuma: 2023.08.21., <http://www.hungairy.hu/>
- [16] HungAIRy LIFE. (2021). *PM szennyezettség.* <https://miskolc.pmmonitoring.hu/terkep>