

ségek közül a fizikátörténet alkalmazása, illetve a fizika történeti alapú megközelítése csak egy javaslat a sok közül, ám semmiképpen sem egy mindenáron követendő példa. Másrészt, két javaslatomra reflektálva kívánom ismét kiemelni, hogy a gyakorlati alkalmazásra vonatkozóan nem rendelkezünk kiforrott „etalonnal”, ezért megkockáztatom kijelenteni, hogy annak módszertana és eredményessége csakis az azt kipróbáló bátor fizikatanár kreativitásától függ.

## Irodalom

1. Szabó Róbert: Történelmi szimuláció: a távolsági ágyúzás fizikája. *Fizikai Szemle* 68/2 (2018) 60–64.
2. Radnóti Katalin: Óráról órára. *Fizikaórák megjegyzésekkel ellátva. Hallgatói segédlet a fizikatanítási gyakorlatokhoz*. Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Neveléstudományi Intézet és MTA–SZTE Természettudomány Tanítása Kutatócsoport, Szeged (2017) 13–156.
3. Fizika NAT 2020. *Magyar Közöny*, 2020/17 382–388.
4. Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete a kezdetektől a huszadik század végéig*. Akadémiai Kiadó, Budapest (2011) 17–33.
5. Radnai Gyula: Rezgések és hullámok VII. Az elektromágneses hullámok tanításáról. *Fizikai Szemle* 30/7 (1980) 258–266.
6. Zemplén Gábor: Mi a haszna a természettudományos tárgyak oktatásában a tudománytörténet és a tudományfilozófia diszciplínáinak? *Iskolakultúra* 20/10–11 (2011) 56–61.
7. Szabó Róbert: A Kalocsai Érseki Főgimnázium röntgenlaboratóriuma és első világháborús szerepvállalása. *Fizikai Szemle* 69/3 (2019) 102–107.
8. Kovács László: A fizikátörténet szerepe a fizikatanításban. *Iskolakultúra* 6/5 (1996) 52–56.
9. Radnóti Katalin: A fizikaoktatás kálváriája a rendszerváltás óta. *Fizikai Szemle* 70/7–8 (2020) 265–272.
10. Szabó Róbert: *Pályán az ágyúgolyó*. Tudományos diákköri dolgozat, ELTE TTK (2016) 3.
11. Radnóti Katalin, Nahalka István, Poór István, Wagner Éva: *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002) 180–198.
12. Szabó Róbert: *Történelmi fizika példatár. I. kötet. Mechanika*. Internetes segédanyag (2020). Online elérhetőség: <http://fiztan.phd.elte.hu/kozincscs/elearning/index.html>

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# FELHŐBEN AZ EGÉSZSÉGÜNK

Ujvári Balázs – Debreceni Egyetem

Borbélyné Bacsó Viktória – Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum, Debrecen

Pirint Róbert Olivér – Ady Endre Gimnázium, Debrecen

Szabó Dániel Dénes – Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum, Debrecen

*Az elmúlt tanévben a COVID 19 járvány miatt számos tanulmányi verseny elmaradt vagy online módon fejeződött be. A Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyében a digitális munkarend bevezetésével sem állt meg a munka, a tanulók kutató mentoraiuk irányításával otthon is folytathatták a méréseket. A töretlen munka eredménye a TUDOK-on is megmutatkozott.*



A 2019/2020-as tanévben a Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyében 14 témakörben végeztek kutatást középiskolás tanulók. Az egye-

A kutatás anyagi háttérét az NTP-MTTD-19 pályázat biztosította.



Ujvári Balázs fizikus, a Debreceni Egyetem adjunktusa, a helyi középiskolákkal közösen létrehozott Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyének mentora.

tem és a középiskolák együttműködésének köszönhetően a TUDOK-on (Tudományos Diákkörök XX. Kárpat-medencei Konferenciáján) a kutatóműhely két diákja, Szabó Dániel Dénes 11. osztályos és Pirint Róbert Olivér 10. osztályos tanuló „Nagydíj”-as lett.

*Felhőben az egészségünk* című pályázatuk lényege egy olyan hálózat kiépítése és működtetése, amely városi környezetben célozza meg az egészségünket is befolyásoló paraméterek (por, hőmérséklet, páratartalom...) mérését, illetve a mért adatok elemzésével előjelzést próbál adni a por- és a CO<sub>2</sub>-koncentráció változására.

A tanulók – a vásárolt szenzorokból összerakott tennyerényi méretű, hordozható mérőberendezéseiket a



Borbélyné Bacsó Viktória a Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum fizikatanára, a Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyének koordinátora.



1. ábra. Az MQ2 levegőminőség-szenzor (forrás: ebay.com).



2. ábra. A Nova Dust Sensor (forrás: reichelt.com).



3. ábra. Az MH-Z19B szén-dioxid-szenzor (forrás: alibaba.com).

város több pontján kihelyezve – figyelték Debrecen levegőjének minőségét, majd március közepétől ott-hon kihelyezett berendezésekkel folytatták a munkát. Így került a mérési adatok közé egy fűnyíró által felvert por, a szomszédban dolgozó gazda gazégetéskor termelt füstje, vagy a hazánkat a Kaszpi-tenger felől elérő vihar pora.

A munka kezdetekor több szállóporszenzort tesztelve az MQ2 (1. ábra) levegőminőség-szenzorra esett a választásunk.

Sajnos, ez a szenzor erőteljesen melegegett, mert a benne található fűtőszál segítségével üríti ki a leülepedett anyagokat, így bekapcsolása után bizonyos ideig várni kellett. A különböző hőmérsékletű mérések között jelentős volt az eltérés, ezért hőmérsékleti tényezővel kellett korrigálni a kapott adatokat, valamint nem volt alkalmas nagyobb, 2,5–10  $\mu\text{m}$  szállóporkomponensek mérésére. Azonban előnye volt a kis áramfelvétel, a költséghatékonyság és a kellően kis méret. Egyetlen kalibrálás után megbízhatóan és viszonylag széles intervallumban, 300 és 10 000 ppm között volt képes érzékelni a levegőben lévő különböző részecskéket. December környékén anyagilag elérhetővé vált a Nova SDS011 Dust Sensor (2. ábra)

beszerzése is, amely egyaránt alkalmazható volt az 1–2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5), illetve a 2,5–10  $\mu\text{m}$  (PM10) közötti tartomány mérésére.

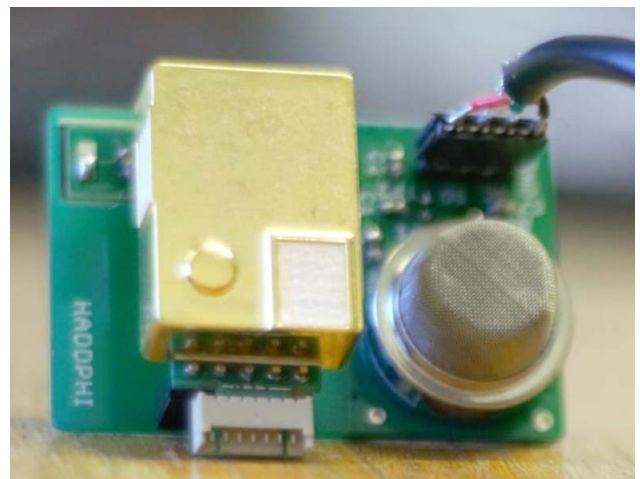
A Nova SDS011 Dust Sensor a kalibrálás során az MQ2-nél pontosabbnak adódott. Felbontása a 0–999,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mérési tartományban 0,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nagyobb mérete és a hűtését megoldó ventilátora miatt azonban a tervezett mérőállomás áramfelvétele megnövekedett.

A levegő minőségéről alkotott kép árnyalásához, a szállóporszenzorok mellett szén-dioxid-mérő szenzort is helyet kapott a mérőállomásban. Ezt az MH-Z19B szenzor (3. ábra) segítségével, amely 0–5000 ppm

4. ábra. A HDC1080 hőmérséklet- és páratartalom-szenzor (forrás: alibaba.com).



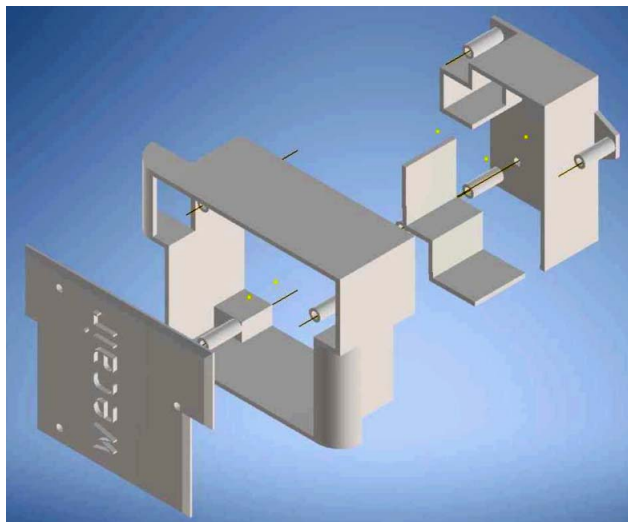
5. ábra. A NYÁK-lapra integrált szenzorok.



*Pirint Róbert Olivér* a Debreceni Ady Endre Gimnázium 11.B osztályos tanulója, a 2019/20-as tanév TUDOK Nagydíjasa, a 29. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató versenyben kiemelt dicséretben részesült.



*Szabó Dániel Dénes* a Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum tanulója, a 2018/19-es tanév Gábor Dénes Középfiskolai Ösztöndíj I. kategóriás díjazottja, valamint a 2019/20-as tanév TUDOK Nagydíjasa, a 29. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató versenyben kiemelt dicséretben részesült.



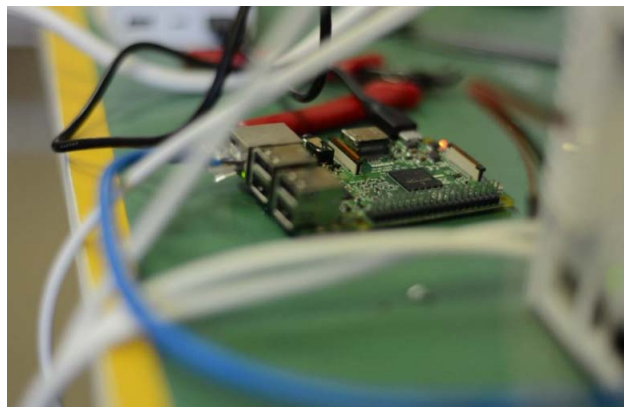
6. ábra. A Nova-szenzor integrált vázának robbantott rajza.



7. ábra. A felszerelt végleges váz a projekt nevével.



8. ábra. A LogiLink ua0175.



9. ábra. A Raspberry Pi szerver.

közötti tartományban  $\pm 50$  ppm pontossággal tudta mérni a levegő szén-dioxid-koncentrációját, valószínűleg meg. E gyárilag kalibrált eszköznek bemelegedésre van szüksége, ezért bekapcsolás után kicsit várni kellett a mérés kezdésével.

A hőmérséklet és páratartalom mérése a HDC1080 szenzorral történt (4. ábra). Ez a 3 milliméter hosszú apró szenzor a hőmérsékletet  $\pm 0,2$  °C, míg a páratartalmat  $\pm 2\%$  pontossággal képes mérni.

A mérőberendezés fontos kritériuma volt a kompakt kialakítás, ezért a szenzorok – a Nova szenzor kivételével – közös NYÁK-lapra kerültek (5. ábra), megteremtve a jeltovábbítás biztonságát.

A NYÁK-lapra integrált szenzorok még védtelenek az időjárás viszontagságai ellen, így egy légáteresztő vázra is szükség volt. Ezt a dobozkat az Autodesk Inventorban tervezve, 3D nyomtatással alkották meg a tanulók Szabó Dániel Dénes saját fejlesztésű nyomtatójával. Két váz is készült, a végleges váz (6. ábra) négy részből állt, és a korábbiánál kevésbé légáteresztő, hiszen ventilátor biztosította a megfelelő légáramlást a berendezésen belül.

Tanítványaink alkotókedve a vázkészítéskor kapott szárnyra. Kitalálták a projekt WeCair nevét, amelyet rá is nyomtattak a vázra (7. ábra).

A valós idejű adattovábbításra egy sokoldalú eszköz, a LogiLink ua0175 szolgált (8. ábra), ez egy hordozható, külső akkumulátorral rendelkező tároló, amely néhány órán át tudja működtetni a mérőállomást, és WiFi 802.11 b/g/n átvitel kezelésére, így vezeték nélküli kapcsolaton keresztül fájlmegosztásra alkalmas. Ez a tenyérnyi méretű eszköz valószínűleg nem minden ok nélkül kapta a belső címkéjén olvasható „UFO” feliratot.

Néhány elektronikai módosítás után az eredeti firmware-t linux/unix alapú operációs rendszerre cseréltük, így az eszköz egy WiFi-s adatfeldolgozó és továbbító kis számítógéppé vált. A mérőállomás feladata tehát a NYÁK-lap szenzorainak méréseivel kezdődik, amely kábeles összeköttetésben van az UFO-val. Ez utóbbi egy vezeték nélküli hálózatra csatlakozik, amely egy Raspberry Pi (9. ábra) szerverre továbbítja az adatokat, majd dátummal ellátva egy MySQL adatbázisba rendezve tárolja. Egy mérőállomás ára – árfolyamtól függően – 25 és 29 ezer forint körül mozog.

## Kalibrálás

A szenzor olyan kalibrálás nélkül, mint a zenekar hangolás nélkül. Hiteles kalibráláshoz elengedhetetlen egy megbízható referenciaműszer. Erre a célra a Debreceni Atommagkutató Intézetől kölcsönzött



10. ábra. Az OPS M3330 mini aeroszol-spektrométer.



11. ábra. A dízelautó kipufogó gázának mérése.

OPS M3330 (10. ábra) nevű, rendkívül pontos, széles méréstartományú, azonban nagyon drága mini aeroszol-spektrométer szolgált.

Az OPS M3330 1  $\mu\text{m}$  átmérőnél kisebb szállópor-komponenseket – ezek oly parányiak, hogy a bőrünkön is képesek átjutni – is érzékel. A műszer akkumulátorral is működtethető, ennek köszönhetően a szabadban is használható. Az eszközök kalibráló mérése több napon át tartott, így elég adatot gyűjtöttünk a görbék megfelelő normálásához.

A kalibráláshoz különböző módszereket alkalmaztunk. Elsőként zárt légtérbe, szorosan egymás mellett helyeztük el műszereinket, majd háztartási port szórunk rájuk. A túlságosan nagy méretű porszemcsekre nem reagáltak a műszerek. Második lépésként egy teherautó légszűrőjében felgyülemlt szennyeződéssel próbálkoztunk, miközben PM<sub>2,5</sub> és PM<sub>10</sub>-et is mérünk. Szivacsból származó krétaporral is kísérleteztünk, PM<sub>10</sub>-túlsúlyt mérve. A szabadban dízelautó kipufogó gázának füstjét mértük (11. ábra), és PM<sub>2,5</sub>-túlsúlyt mértünk, ami megegyezett előrejelzéseinkkel.

A Nova, az MQ2 és az OPS M3330 összehangolásánál kiderült, hogy a PM<sub>2,5</sub>-es és a PM<sub>10</sub>-es tartományt az MQ2 egyáltalán nem érzékeli. Az MQ2-vel felvett görbéken olyan transzformációt kellett végrehajtani, amivel egy síkba tudjuk hozni az OPS M3330 adataival. Ezzel szemben a Nova-szenzorokat csak össze kellett normálni az OPS M3330 által mért értékekkel és már működőképese is voltak.



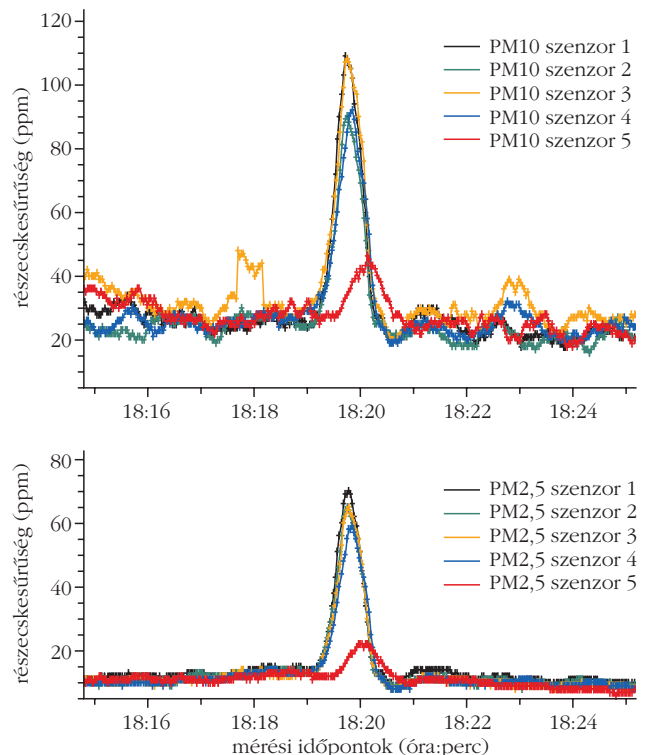
12. ábra. A mérőrendszer-hálózat otthoni kiépítése.

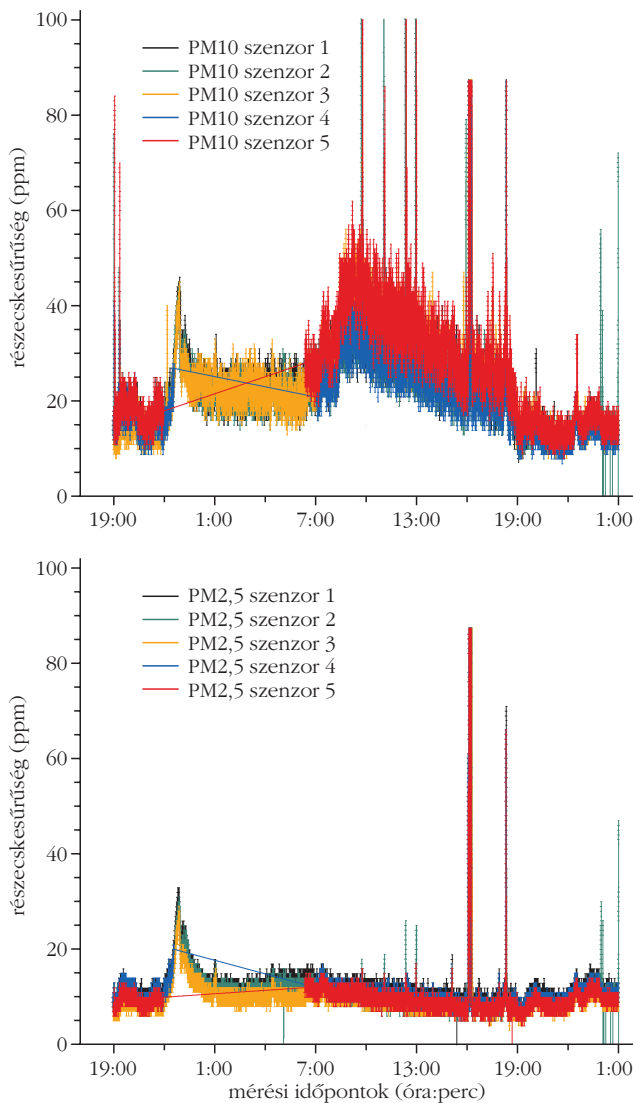
A kalibrálás alapján a Nova használata mellett döntöttünk, mert a mérések megmutatták, hogy a PM<sub>2,5</sub>- és a PM<sub>10</sub>-értékek nem mindig mozognak együtt: a PM<sub>10</sub> sokkal hamarabb ülepszik le, míg a PM<sub>2,5</sub> sokkal tovább marad a légtérben. Az MQ2 mérési adataiból a különböző méretű szállópor-komponensek eredetére tudunk következtetéseket levonni.

## Méréseink

Projektünk során alulról szerveződő hálózatot akarunk kiépíteni Debrecen különböző helyein, ismerőseinknél, barátainknál elhelyezett mérőállomásokkal. A járvány közbeszólt – az egyetem, az iskolák bezártak, az eszközbeszerzés is akadozott –, így ezt nem tudtuk maradéktalanul megvalósítani, otthon kellett mérni.

13. ábra. A 2020. március 28-i fűnyírás után készült görbék az öt darab Nova-szenzorral mérve.





14. ábra. A Kaszpi-tengeri vihar hazánkig terjedő porfelhőjének hatása 2020. március 27. és 29. között.

A mérőrendszer-hálózatot a kertben oszlopra fél méterenként felszerelt 4 darab mérőállomás alkotta. Zárt udvar szimulálására az ötödik szenzort szélvédett, fedett részre helyeztük (12. ábra). A forgalmat egy fűnyíró által keltett kipufogógáz és az általa felvert por szimulálta (13. ábra).

A hazánkat is elérő, Kaszpi-tenger felől érkező vihar hatalmas port kavart, amit levegőtisztaság-szenzoraink is képesek voltak kimutatni (14. ábra).

Egyszer véletlenül a néhány száz méterrel arrébb, gazégetésből eredő füstöt is megmértük (15. ábra).

Méréseinkből grafikonokat készítettünk, amelyekből az alábbi következtetéseket vontuk le: a homokviharnál elhanyagolható volt a kisebb méretű szállópor-szemcsék száma, azonban a fűnyírásakor, illetve a gazégetésnél nagyjából ugyanannyira növekszik meg a PM10- és PM2,5-méretű porszemek koncentrációja.

Mindemellett, a fűnyíró által felvert por és a kipufogógáz különböző koncentrációban, de elért a fedett és a többi négy mérőeszközhöz is. Éjszakánként – ami körülbelül este nyolctól reggel nyolcig tartott – a kör-

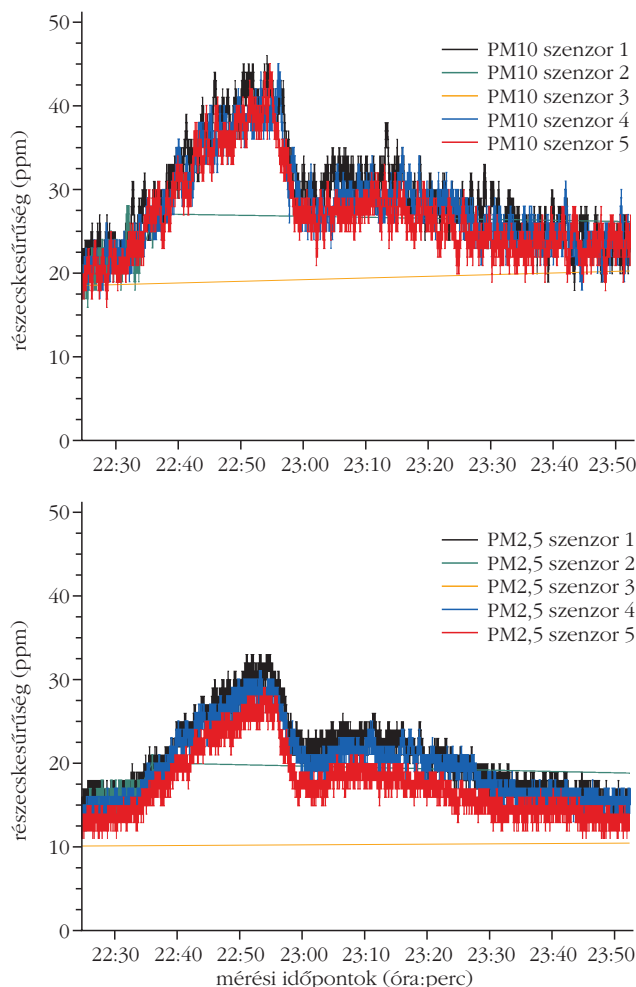
nyező háztartások fűtése által generált füst is megfigyelhető volt (16. ábra).

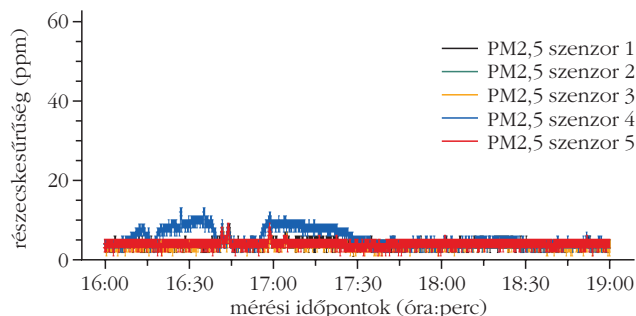
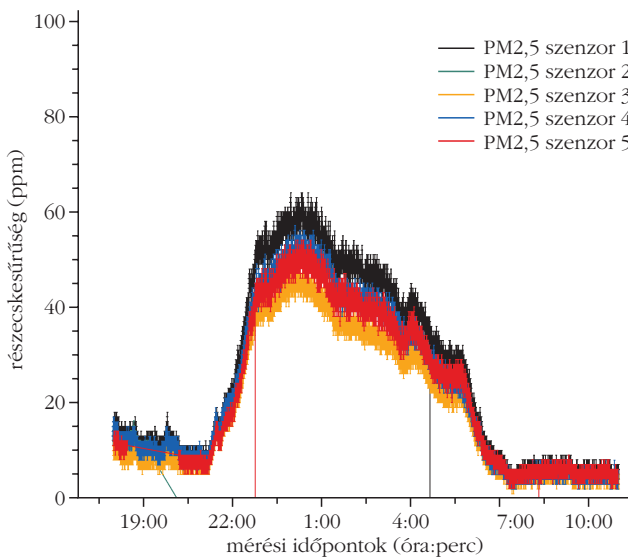
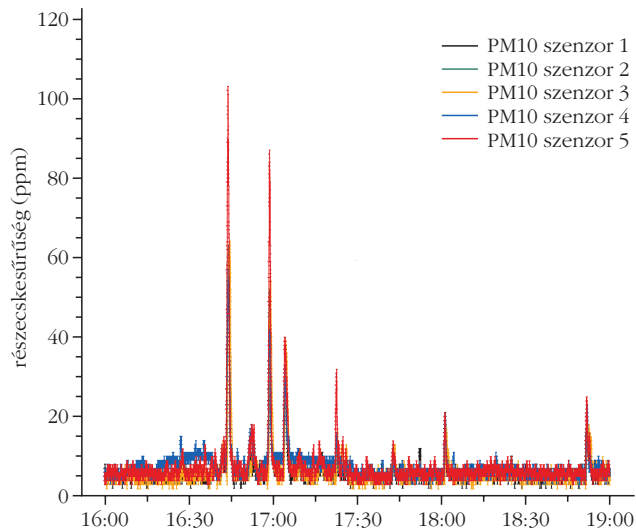
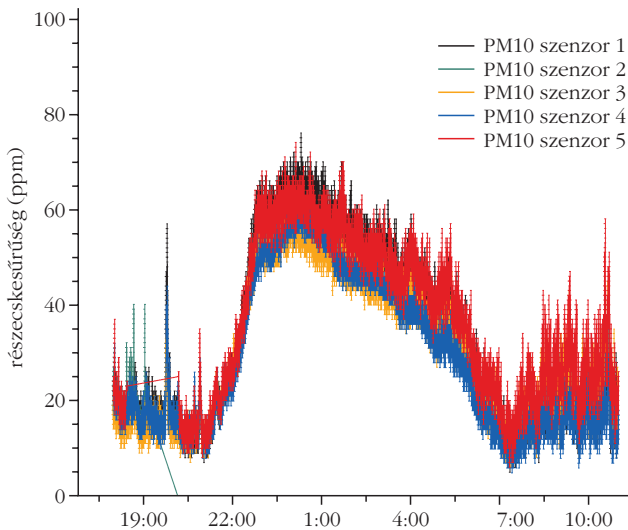
Az egyik délután a szomszéd üres telken traktorral művelték a földet, ez szintén szépen megjelenik a görbékben. Szembeötlő, hogy mind a PM10-, mind a PM2,5-értékek megemelkedtek és látszanak azok a csúcsok is, amikor a kerítéshez közel elhaladó traktor porfelhőbe burkolta műszereinket (17. ábra). A fokozatosan távolodó jármű egyre kevesebb növekedést okozott, ezért a csúcsok kisebbek.

## Összegzés

Már néhány szenzor használatával is látható, hogy valós idejű, gyakori és modellalkotás szempontjából pontos értékekkel a hálózatba szervezett rendszerünk képes előre jelezni az egészségre káros légszennyezettséget. Több szenzort kell használnunk, hogy hálózati térképünk nagyobb és részletesebb legyen, és ezáltal jobban el tudjuk különíteni a szálló por kialakulásainak fajtáit (globális, például Kaszpi-tengeri és lokális, például gazégetés, traktor), mivel ezek eredményeinket befolyásolhatják. A teszterverzió használata

15. ábra. A 2020. március 27-én este, a közeli gazégetés miatt keletkezett csúcsok.





16. ábra. A 2020. március 29-ről 30-ra virradó éjszakai fűtés okozta pornövekedés.

17. ábra. A traktor által felvert por miatt keletkező csúcsok 2020. március 31-én.

alatt már elsajátítottuk az adatfeldolgozás lépéseit és a felmerülő problémákat megoldva megterveztük a következő, stabilabb mérőműszert.

lene telepíteni. Az állandó mérőállomások mellett mobil, például kerékpárra helyezett állomásokra – segítségükkel például közlekedési csomópontokban lehetne mérni – is szükség lenne. Ezekkel sokkal pontosabb méréseket végezhetnénk, mint a fix, tehát mozdulatlan pontok átlagolásával. Az így gyűjtött információkat feldolgozva hasznos tanácsokat tudnánk adni a forgalom szervezésére, esetleges korlátozására, a zöld területek kialakítására, a városok körül lévő védősávok elhelyezésére. Azokon a területeken, ahol fizikai eszközökkel lehetetlen mérsékelni a porterhelést, a lakosokat gyakoribb szűrővizsgálatokra kellene küldeni. Ezen intézkedésekkel számtalan életet lehetne meghosszabbítani, valamint rengeteg betegséget tudnánk megelőzni. Emiatt is tartjuk fontosnak a továbblépést, projektünk továbbvitelét a vírusjárvány megfékezés utáni időkre, a következő tanévre.

## A továbblépés lehetőségei

Egy Debrecen méretű városban szálló por sajátosságainak megismeréséhez több száz mérőállomást kel-

## Az Eötvös Társulat fönt van a **facebook**-on!



<https://www.facebook.com/pages/Eötvös-Loránd-Fizikai-Társulat/434140519998696?fref=ts>