

## LOW COST SZENZOR TESZTELÉSE AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSI MULTIDISZCIPLINÁRIS NEMZETI LABOR 7B ALPROJEKT KERETEIN BELÜL

**Szamosi Attila** 

tanszéki mérnök, Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Geoinformatika Tanszék  
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [attila.szamosi@uni-miskolc.hu](mailto:attila.szamosi@uni-miskolc.hu)

**Hegedűs András** 

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Természetföldrajz Tanszék  
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [andras.hegedus@uni-miskolc.hu](mailto:andras.hegedus@uni-miskolc.hu)

**Pecsmány Péter** 

egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Természetföldrajz Tanszék  
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [peter.pecsmany@uni-miskolc.hu](mailto:peter.pecsmany@uni-miskolc.hu)

**Szalontai Lajos**

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Geoinformatika Tanszék  
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [lajos.szalontai@uni-miskolc.hu](mailto:lajos.szalontai@uni-miskolc.hu)

### Abstract

*In this study we evaluated the performance of a low-cost sensor developed to measure the particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) concentrations in ambient air. The sensor is equipped to simultaneously monitor several meteorological parameters, including temperature, relative humidity, dew point, and air pollutants such as volatile organic compounds (VOCs) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). These additional variables provide valuable context for understanding the conditions that influence air quality. The core of the sensor system is a Sensirion measurement module, which offers real-time data acquisition with a compact, energy-efficient design suitable for both stationary and mobile applications. Our assembled sensor unit was tested against established reference systems, including the TSI DustTrak and HungAIRy monitoring network. The results demonstrated a strong correlation ( $R^2 > 0.9$ ) between the Sensirion-based unit and these high-precision instruments across varying environmental conditions and PM<sub>2.5</sub> concentration levels. The sensor's accuracy and reliability make it an effective tool for widespread, low-cost air quality monitoring.*

**Keywords:** air pollution, PM<sub>2.5</sub>, low-cost sensors, climate change, monitoring

### Absztrakt

*A tanulmány célja az alacsony költségű, környezeti levegőben található részecskék (PM<sub>2.5</sub>) koncentrációjának mérésére fejlesztett érzékelő teljesítményének értékelése. Az érzékelő képes több meteorológiai paraméter, például hőmérséklet, relatív páratartalom, harmatpont, valamint légszennyező anyagok, mint az illékony szerves vegyületek (VOC) és a nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>) egyidejű mérésére. Ezek az adatok kulcsfontosságú összefüggéseket tárnak fel a levegőminőségre ható környezeti tényezők jobb megértéséhez. Az érzékelőrendszer központi eleme egy Sensirion mérési modul, amely kompakt, energiatakarékos kialakításával valós idejű adatgyűjtést biztosít, helyhez kötött és mobil alkalmazásokhoz egyaránt. A tesztelés során az összeállított érzékelőegységet olyan bevált referenciarendszerekhez viszonyítottuk, mint a TSI DustTrak és a HungAIRy megfigyelőhálózat. Az eredmények erős korrelációt ( $R^2 > 0,9$ ) mutattak a Sensirion-alapú egység és a nagy pontosságú műszerek között, különböző*

*környezeti feltételek és PM<sub>2.5</sub> koncentrációs szintek esetén. Az érzékelő pontossága és megbízhatósága ígéretes eszközzé teszi a széles körű, alacsony költségű levegőminőség-monitorozás területén.*

*Kulcsszavak: légszennyezés, PM<sub>2.5</sub>, alacsony költségű szenzorok, levegőminőség, klímaváltozás*

## 1. Bevezetés

Napjainkban kiemelt fontosságú a szállópor-koncentráció idő- és térbeli eloszlásának elemzése, mivel kutatások egyértelműen kimutatták, hogy a szálló por hatással van mind az éghajlatra (Requiai et al., 2019), mind pedig az emberi egészségre (Valavanidis et al., 2008; Jimoda, 2012; Tainio et al., 2013; Jhun et al., 2015; Sun et al., 2015). Az egészségügyi hatások közül kiemelendő, hogy a szálló por, különösen annak finom (PM<sub>2.5</sub>) részecskéi, jelentős egészségügyi kockázatot jelentenek. Ezek a részecskék könnyen behatolnak a tüdőbe, a véráramba is átjuthatnak, ami légúti megbetegedéseket, például asztmát, krónikus légúti betegségeket és akár szív- és érrendszeri problémákat is okozhat (Jimoda, 2012; Tainio et al., 2013; Jhun et al., 2015; Sun et al., 2015). Az idő- és térbeli elemzés segít azonosítani a magas szállópor-koncentrációval rendelkező területeket, így lehetővé teszi a hatékony intézkedések meghozatalát az egészségügyi kockázatok csökkentése érdekében (Báthory et al., 2019; Báthory, 2023).

A szálló por koncentrációjának növekedése nemcsak az egészségünkre, hanem a környezetre is káros hatással lehet. A PM<sub>2.5</sub> részecskék hozzájárulnak a klímaváltozáshoz, valamint negatív hatást gyakorolnak a növényekre és az ökoszisztémákra is (Grantz et al., 2003; Lovett et al., 2009). Az idő- és térbeli elemzések révén lehetőség nyílik azonosítani és kezelni ezeket a környezeti kockázatokat, valamint elősegíteni a fenntartható fejlődést és a környezet védelmét.

A szálló por koncentrációjának elemzése információkat szolgáltat a tervezőknek és döntéshozóknak a városi környezetminőség javításához szükséges intézkedésekhez. Ez lehetővé teszi a városi tervezés olyan stratégiákra való összpontosítását, amelyek segíthetnek csökkenteni a légszennyezettséget és javítani a lakosság egészségét. Például forgalomkorlátozások bevezetése, zöldövezetek kialakítása vagy a közlekedési infrastruktúra fejlesztése mind olyan intézkedések lehetnek, amelyek javíthatják a városi levegő minőségét és csökkenthetik a légúti megbetegedések kockázatát.

A szállópor-koncentráció mérésére korábban általában drága (több ezer euró), hitelesített mérőeszközöket alkalmaztak, ami megbízható, de legtöbbször kis területi lefedettségű és kis térbeli sűrűségű adatgyűjtést tett lehetővé. Napjainkban az olcsóbb (low-cost) szenzorok (~75 €) megjelenésével és egyre gyakoribb alkalmazásával, kisebb anyagi ráfordítás mellett is, növelhető az adatgyűjtés területe és sűrűsége (Báthory et al., 2022). Azonban ennek csak akkor van gyakorlati jelentősége, ha az adatgyűjtő eszközök pontossága, a mért értékek megbízhatósága is ismert.

Az Éghajlatvédelmi Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium 7B alprojektjében különböző szenzorokat szerzünk be és telepítünk különféle járművekre. A projekt megvalósítása során együttműködünk a Miskolc városi tömegközlekedési és szemétszállítási vállalatokkal, hogy a járműveikre telepített mérőegységekkel vizsgáljuk a város levegőminőségét.

Jelen tanulmányunkban egy viszonylag olcsó szenzor, a Sensirion SEN55 SDNT (továbbiakban: SEN55) mérési pontosságát vizsgáljuk mesterségesen létrehozott, ellenőrzött és valós körülmények között. Célunk annak megállapítása, hogy a Miskolc MJV közigazgatási területén tervezett levegőszennyezettségi kutatásainkban az eszköz milyen mértékben és milyen feltételekkel használható fel, illetve, hogy az általa mért adatok mennyire megbízhatóak, hogyan vehetők figyelembe a későbbi elemzések során.

## 2. Módszer

A Sensirion cég által fejlesztett SEN55 szenzor (1. ábra) egyszerre öt környezeti paramétert mér: a PM<sub>2,5</sub> részecskék sűrűségét, a szerves vegyületeket (VOC-index), az oxidáló gázokat (pl. NO<sub>x</sub>-index), a páratartalmat és a hőmérsékletet. A szállópor-koncentrációt lézeres elven méri. A módszer alapja az, hogy a levegőben lévő finom részecskék elnyelik vagy szórják a lézert, amit érzékelő segítségével lehet mérni. A lézeres PM-szenzorok általában képesek megkülönböztetni a különböző részecskeméretű frakciókat (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> és PM<sub>10</sub>).



1. ábra. A Sensirion SEN55 szenzor

A mérőegység alapvető összetevői közé tartozik egy lézerszóró, amely kibocsátja a lézert, valamint egy fotodetektor, amely érzékeli a szóródott vagy elnyelt fényt. Az optikai rendszer felelős a lézert irányításáért. Ez magában foglalhatja a lézersugár fókuszálását, a szóródott fény gyűjtését és az optikai szűrők használatát a kívánt részecskefrakciók kiválasztásához.

A SEN55 szenzort már a gyárban kalibrálják, így ez is nagyban megkönnyíti az adatok értelmezését és feldolgozását (2. ábra).



### 2.2 Particulate Matter Specifications


Parameter	Conditions	Value	Units
Mass concentration specified range	-	0 to 1'000	µg/m <sup>3</sup>
Mass concentration size range	PM1.0	0.3 to 1.0	µm
	PM2.5	0.3 to 2.5	µm
	PM4	0.3 to 4.0	µm
	PM10	0.3 to 10.0	µm
Mass concentration precision <sup>2,3</sup> for PM1 and PM2.5 <sup>4</sup>	0 to 100 µg/m <sup>3</sup>	±5 µg/m <sup>3</sup> AND 5 % m.v.	
	100 to 1000 µg/m <sup>3</sup>	±10	% m.v.
Mass concentration precision <sup>2,3</sup> for PM4, PM10 <sup>5</sup>	0 to 100 µg/m <sup>3</sup>	±25	µg/m <sup>3</sup>
	100 to 1000 µg/m <sup>3</sup>	±25	% m.v.
Maximum long-term mass concentration precision limit drift	0 to 100 µg/m <sup>3</sup>	±1.25	µg/m <sup>3</sup> / year
	100 to 1000 µg/m <sup>3</sup>	±1.25	% m.v. / year
Typical start-up time <sup>6</sup>	number concentration	200 – 3000 #/cm <sup>3</sup>	8
		100 – 200 #/cm <sup>3</sup>	16
		50 – 100 #/cm <sup>3</sup>	30
Sensor output characteristics	PM2.5 mass concentration	Calibrated to TSI DustTrak™ DRX 8533 Ambient Mode	
Additional T-dependent mass precision limit drift <sup>3</sup>	temperature difference to 25°C	typ.	±0.5 % m.v. / °C
Laser wavelength (DIN EN 60825-1 Class 1)		typ.	660 nm

Table 3: Particulate matter sensor specifications. Default conditions of 25±2 °C, 50±10% relative humidity and 5 V supply voltage apply unless otherwise stated. 'max.' means 'maximum', 'typ.' means 'typical', '% m.v.' means '% of measured value'.

2. ábra. A SEN55 szenzor szállópor-részecskék mérésére vonatkozó gyári adatai (Sensirion weboldala)

Használathoz az érzékelőt olyan Android vagy iOS operációs rendszerrel működő eszközhöz kell csatlakoztatni, amelyiken lehetőség van az adatok megjelenítésére és tárolására. Vizsgálataink során egy iPhone Pro12 telefont használtunk, amelyhez bluetooth-on keresztül kapcsolódott az érzékelő, amelyet a Sensirion MyAmbience alkalmazás kezel, lehetővé téve a mért adatok élőben való megjelenítését, a telefon tárhelyére való mentését és a tárolt adatok grafikus ábrázolását (3. ábra). A mérés 2 másodpercenként történt.

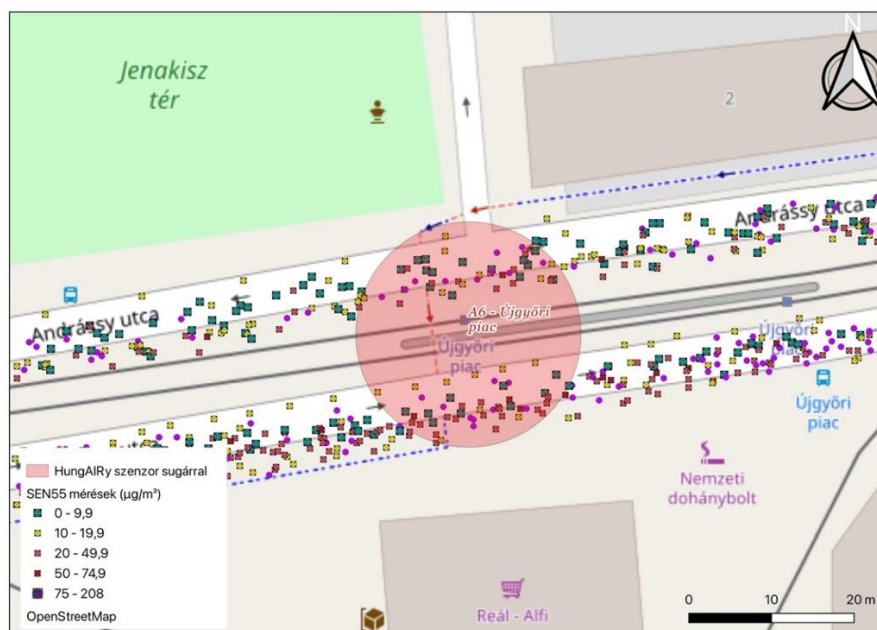


3. ábra. A Sensirion MyAmbience alkalmazás képernyőképei

A szenzor ellenőrzött, mesterséges körülmények közötti tesztelése FRM-600-S jelű klímakamrában történt. A  $PM_{2,5}$  méréséhez izobutén gáz elégetésével hoztuk létre a koromrészecskéket (füstöt), amit ventilátor segítségével a kamra alsó részébe irányítottunk, ahonnan a belső áramlás segítségével eljutott a klímakamra hátsó falához, majd a felső részeket átkeringetve távozott. Három, egyenként 20 perc időtartamú mérést végeztünk. A mért adatokat a TSI DustTrak 8543-M (TSI) hitelesített pormérő és a Life HungAIRy projekt keretében használt, kalibrált PM-szenzorok adataival vetettük össze. Ehhez korrelációt és regressziót számoltunk.

A valós körülmények közötti teszteléshez a személygépjárműre rögzített szenzorral 2023 szeptembere és 2024 februárja között, Miskolc közigazgatási területén egy útvonal mentén végeztünk méréseket, hetente több alkalommal, eltérő időpontokban és időjárási körülmények között. Az útvonalat úgy választottuk meg, hogy a városban, a HungAIRy projekt keretében kihelyezett és folyamatosan üzemelő mérőállomások közül kilencet érintsen. A szenzor által mért szállópor-koncentráció ( $PM_{2,5}$ ), a hőmérséklet- és a relatív páratartalom- (RH-) értékeket a mérőállomások adataival vetettük össze. Az elemzéshez a mozgó szenzornak csak azokat a méréseit használtuk fel, amelyek a mérőállomásokhoz 20 m-nél közelebb történtek (4. ábra).

A klímakamrában mért adatok eloszlását a Shapiro–Wilk-teszt segítségével vizsgáltuk (Shapiro és Wilk, 1965). A kapott értékek nagyon közel állnak a normál eloszláshoz, azonban a hozzájuk tartozó szignifikanciaértékek ( $p$ ) a választott szignifikanciaszinthez képest ( $p < 0,05$ ) alacsonyok, ami arra utal, hogy az adatok nem követik a normál eloszlást (1. táblázat). Az adatsorok összehasonlításához ezért Spearman-féle rangkorrelációt ( $\rho$ ) és Kendall-féle tau-korrelációt ( $\tau$ ) használtuk.



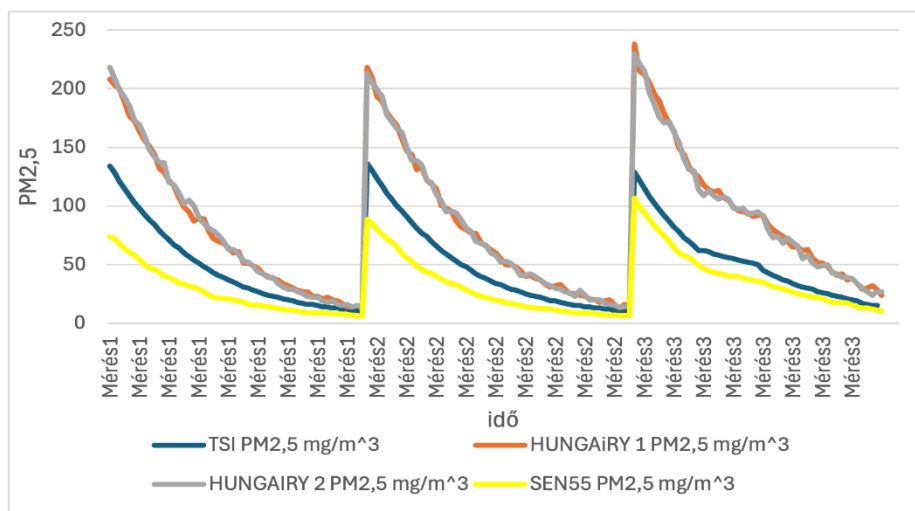
4. ábra. A SEN55 szenzor mobil mérési eredményei és az egyik HungAIRy mérőállomás 20 m-es környéke Miskolc Újgyőr városrészében.

1. táblázat.  $PM_{2.5}$  adatok leíró statisztikája

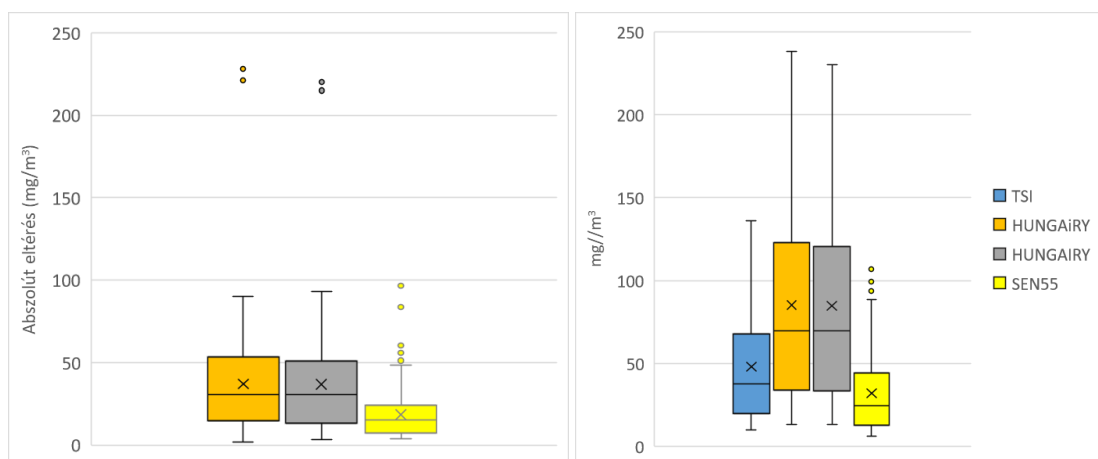
	TSI	HungAIRy 1	HungAIRy 2	SEN55
Adatszám	158	158	158	158
Átlag	48,127	85,101	84,766	32,052
Szórás	34,031	59,598	59,859	23,804
Ferdeség	0,905	0,772	0,745	1,078
Csúcsosság	-0,191	-0,463	-0,525	0,414
<b>Shapiro–Wilk</b>	<b>0,890</b>	<b>0,908</b>	<b>0,907</b>	<b>0,881</b>
<b>P-érték (Shapiro–Wilk)</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Minimum	10,000	13,000	13,000	6,300
Maximum	136,000	238,000	230,000	106,700

### 3. Eredmények

A klímakamrában végzett tesztek eredményei azt mutatják, hogy a SEN55 szenzor kisebb, míg a HungAIRy projekben használt szenzorok nagyobb szállópor-koncentrációt mértek, mint a hitelesített műszer (5–6. ábra). A HungAIRy adatainak mediánértéke nagyjából megegyezik a TSI felső kvartilisével, míg a SEN55 által mért adatok felső kvartilise a TSI mediánértékéhez áll közel. A low-cost szenzorok (HungAIRy, SEN55) és a hitelesített (TSI) műszer által mért adatok közötti abszolút eltérés a HungAIRy eszközeinél volt nagyobb, a SEN55 jobban teljesített (6. ábra).

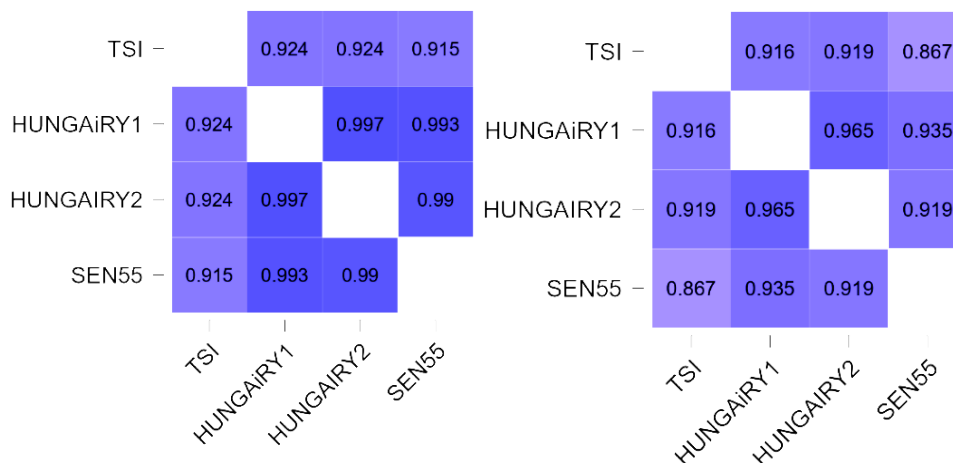


5. ábra. A klímakamrában végzett szállópor-koncentráció mérések eredményei



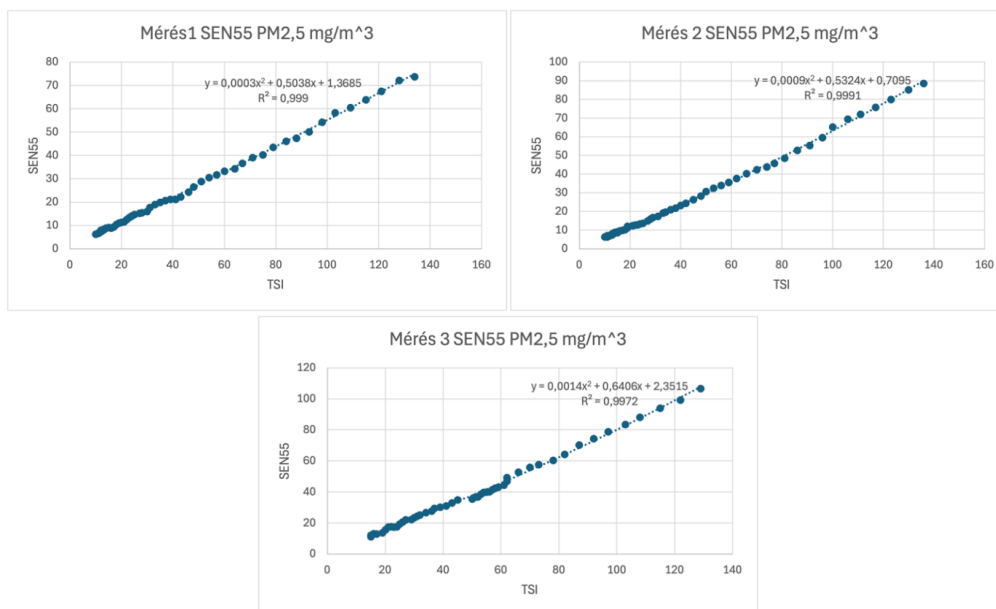
6. ábra. Összegző diagramok (1: TSI és a low-cost szenzorok közötti abszolút eltérés; 2: szenzorok segítségével mért adatok terjedelme)

A SEN55 és a hitelesített TSI-szenzor adatsora között 0,915 ( $\rho$ ) és 0,867 ( $\tau$ ) korrelációs értéket mértünk, hasonlóan magas kapcsolat volt a SEN55 és a HungAIRy érzékelők adatai között (7. ábra).



7. ábra. Spearman- ( $\rho$ ) és a Kendall-féle ( $\tau$ ) korreláció eredménye

Az adatsorok közötti kapcsolatot polinomiális regressziószámítással modelleztük. A SEN55 és a TSI adatait egymás függvényében ábráztuk, majd arra másodfokú polinomot illesztettünk. A kapcsolatot jellemző determinációs együttható ( $R^2$ ) 0,999 (1. mérés), 0,999 (2. mérés) és 0,998 (3. mérés) (8. ábra).



8. ábra. A SEN55 és a TSI-szenzor adatsorai és az azok alapján másodfokú regresszió

Valós mérési körülmények között sajnos csak a HungAIRy projekt szenzorainak adataival tudtuk összehasonlítani az érzékelőt. A szállópor-koncentráció adatsorok közötti Spearman-féle rangkorreláció



( $\rho$ ) 0,824–0,975, míg a Kendall-féle ( $\tau$ ) együttható 0,693–0,9 között változott. Mivel a HungAIRy szenzorok is mérik a hőmérsékletet és a relatív páratartalmat, azok adatsorait is lehetőségünk volt elemezni. A hőmérséklet esetében a Spearman-féle együttható ( $\rho$ ) 0,754–0,976, míg a Kendall-féle ( $\tau$ ) érték 0,598–0,893 között változott, a páratartalom esetében ezen értékek ( $\rho$ ) 0,318–0,831 és ( $\tau$ ) 0,22–0,64 között változtak (2. táblázat). A szállópor-koncentráció esetében mind a két korrelációs együttható átlaga 0,75 fölött volt, ami erős kapcsolatra utal.

2. táblázat. A SEN55 és a HungAIRy szenzorok adatsorai közötti korreláció mértéke

HungAIRy mérőállomások	korrelációs együttható					
	Szálló por (PM <sub>2,5</sub> )		Hőmérséklet		Relatív páratartalom	
	$\rho_s$	$\tau$	$\rho_s$	$\tau$	$\rho_s$	$\tau$
Avas-tető (28 mérés)	0,904	0,750	0,754	0,598	0,605	0,434
Balázs Győző tér (37 mérés)	0,975	0,9	0,976	0,893	0,831	0,64
Diósgyőri Gimnázium (77 mérés)	0,943	0,811	0,962	0,834	0,785	0,612
Diósgyőr városközpont (77 mérés)	0,948	0,812	0,953	0,819	0,699	0,526
Hámori-tó (92 mérés)	0,892	0,728	0,819	0,677	0,318	0,22
Felsőhámor (84 mérés)	0,824	0,693	0,948	0,804	0,598	0,421
Népkert (68 mérés)	0,926	0,793	0,961	0,832	0,73	0,548
Majlát (88 mérés)	0,9	0,793	0,961	0,832	0,73	0,548
Újgyőri piac (77 mérés)	0,943	0,811	0,962	0,834	0,785	0,612
<b>Átlag</b>	<b>0,9172</b>	<b>0,7877</b>	<b>0,9216</b>	<b>0,7914</b>	<b>0,67</b>	<b>0,5017</b>

#### 4. Következtetések

A klímakamrában végzett kísérletek eredményei alapján megállapítható, hogy a Sensirion SEN55 érzékelő a szálló por (PM<sub>2,5</sub>) koncentrációját a teljes mérési tartományban „alulméri”. A pontatlansága azonban tendenciózus, az adatok eloszlása miatt polinomiális regresszióval jól modellezhető, ezáltal az érzékelő jól kalibrálható. Pontossága és alkalmazhatósága nem rosszabb, mint a HungAIRy projektben jelenleg is használt műszereké (8. ábra). Ezt a valós körülmények közötti mérések eredményei is alátámasztják.

A Sensirion SEN55 olcsó (low cost) érzékelője pontatlan, de megbízható adatokat szolgáltat a PM<sub>2,5</sub> részecskék koncentrációjáról. Kalibrálást követően jól alkalmazható a későbbiekben tervezett idő- és térbeli vizsgálatokhoz.

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A kutatás az RRF-2.3.1-21-2022-00014 Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium/ National Multidisciplinary Laboratory for Climate Change finanszírozásában valósult meg.

A PM monitoring mérőhálózat a LIFE IP HUNGAIKY projekt keretein belül jött létre. A LIFE IP HUNGAIKY (LIFE17 IPE/HU/000017) projekt az Európai Unió LIFE programjának támogatásával valósul meg.



**Irodalom**

- [1] Báthory, Cs., Pecsmány, P., Szalontai, L., Palotás, Á. B. (2019). Stationary and mobile particulate matter concentration measurement in Miskolc. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 4, 338–344. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.4.38>
- [2] Báthory, Cs., Dobó, Zs., Garami, A., Palotás, Á., Tóth, P. (2022). Low-cost monitoring of atmospheric PM—development and testing. *Journal of Environmental Management*, 304 (15), 114–158. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114158>
- [3] Báthory, Cs. (2023). *Szálló por mérőhálózat fejlesztése Miskolcon*. Doktori (PhD-) értekezés, Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, 169 p. <http://dx.doi.org/10.14750/ME.2023.048>
- [4] Grantz, D. A., Garner, J. H. B., Johnson, D. W. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29 (2–3), 213–239. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2)
- [5] Jimoda, L. A. (2012). Effects of particulate matter on human health, the ecosystem, climate and materials: A review. *FACTA UNIVERSITATIS Series: Working and Living Environmental Protection*, 9 (1), 27–44.
- [6] Jhun, I., Coull, B. A., Schwartz, J., Hubbell, B., Koutrakis, P. (2015). The impact of weather changes on air quality and health in the United States in 1994-2012. *Environmental Research Letters*, 10 (8), 084009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084009>
- [7] Lovett, G. M., Tear, T. H., Evers, D. C., Findlay, S. E., Cosby, B. J., Dunscomb, J. K., Driscoll, C. T., Weathers, K. C. (2009). Effects of air pollution on ecosystems and biological diversity in the eastern United States. *Annals of New York Academy of Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04153.x>
- [8] Requiai, W. J., Jhun, I., Coull, A. B., Koutrakis, P. (2019). Climate impact on ambient PM2.5 elemental concentration in the United States: A trend analysis over the last 30 years. *Environment International*, 131, 104888. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.082>
- [9] Shapiro, S. S., Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3–4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- [10] Sun, J., Fu, J. S., Huang, K., Gao, Y. (2015). Estimation of future PM2.5- and ozone-related mortality over the continental United States in a changing climate: an application of high-resolution dynamical downscaling technique. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65 (5), 611–623. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1033068>
- [11] Tainio, M., Juda-Rezler, K., Reizer, M., Warchałowski, A., Trapp, W., Skotak, K. (2013). Future climate and adverse health effects caused by fine particulate matter air pollution: case study for Poland. *Regional Environmental Change*, 13, 705–715. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0366-6>
- [12] Valavanidis, A., Fiotakis, K., Vlachogianni, T. (2008). Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health, Part C, Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, 26 (4), 339–362. <https://doi.org/10.1080/10590500802494538>
- [13] Sensirion weboldala. <https://sensirion.com/products/catalog/SEN55>.