

ÉPÍTŐIPARI TECHNOLÓGIA HATÁSA A LEVEGŐMINÓSÉGRE

IMPACT OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY ON AIR QUALITY

GÁSPÁR NATÁLIA ESZTER – GÉCZI GÁBOR
gnata00@gmail.com

Összefoglalás

A szennyezett levegő számos betegség okozója lehet, melyek közé tartozik többek között a demencia és a 2-es típusú cukorbetegség. A légszennyezettség egyik mutatója a szálló por koncentrációját leíró PM értékek. Ebben a tanulmányban a légszennyezés, különösképpen a PM₁₀ és PM_{2,5} koncentrációk vizsgálata kerül fókuszba. 2024 januárjában beüzemelésre került egy szálló por koncentráció mértékét mérő műszer Budapest 23. kerületében található Virágvölgy lakópark egy kertjében, melynek közelében folyamatos építkezési munkálatok zajlanak. E tanulmány célja annak felmérése, hogy milyen mértékben befolyásolják az építkezési munkálatok a lakópark lakosai által belélegzett levegőt. A mérőműszer adatai alapján elemeztük a szálló por szintjének alakulását az idő függvényében. A saját mérési adatokat hivatalos mérések, rendeleti határértékek és WHO által megfogalmazott ajánlások fényében értelmeztük. Vizsgáltuk a PM-koncentrációk időjárási tényezőkkel való összefüggéseit, valamint a csapadék ezekre gyakorolt hatását. Szeretnénk felhívni a figyelmet a levegőminőség rendszeres ellenőrzésére és a légszennyezés csökkentésének szükségességére.

Kulcsszavak: szálló por, pm, építkezés, légszennyezettség

JEL kód: L74, Q53

Abstract

Polluted air can be the causing factor of several diseases, including dementia and type 2 diabetes. One of the indicators of pollution is particulate matter (PM) concentration. In this paper, we investigate air pollution with a focus on PM₁₀ and PM_{2,5} values. A device capable of measuring PM concentration has been installed in the 23rd district of Budapest. It is placed in a garden of the Virágvölgy residential complex, where construction work is continuously underway. The goal of this paper is to measure the degree to which the ongoing construction work affects the air inhaled by the residents of the complex. Based on the data gathered from the installed device, we analysed the trend of PM values over time. We have compared this to official measurements, regulatory limit values and recommendations by the WHO. We also examined the relationships between PM concentrations and weather factors, as well as the impact of rain on them. We aim to emphasize the importance of regularly monitoring air quality and the need to reduce air pollution.

Keywords: particulate matter, pm, construction work, air pollution

Bevezetés

Ebben a tanulmányban a légszennyezés, azon belül is a PM (particulate matter, azaz szálló por) értékek vizsgálatával foglalkozunk. A szálló por koncentrációjának megengedett maximális értékével kapcsolatosan a WHO ajánlásokat fogalmaz meg (WHO 2021), a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet pedig korlátozza azt. A szabályozások fő oka a magas szálló por koncentráció egészségügyi kockázatából fakad, melyek közé tartoznak a demencia, a szív- és érrendszeri megbetegedések, a koraszülés esélyének megnövekedése és az alacsonyabb születési arány is (JUNG et al., 2019, SHARMA et al., 2020, LUO et al., 2016, BOWE et al., 2019, GEHRING et al., 2010, ZHU et al., 2015).

A PM értékek természetes szint felé emelkedésének számos oka lehet. Ezek közé sorolható például a közlekedés, az ipari tevékenységek, a fűtés, a mezőgazdasági égetés, vagy éppen az építőipari tevékenységek (KIS-KOVÁCS 2015). Számos tanulmány foglalkozik az építőipar kibocsátásának vizsgálatával (AZARMI et al., 2016, CHALOULAKOU et al., 2003, EKINCI et al., 2020, BÖHM et al., 2012, RAJARATHNAM et al., 2014, CHERIYAN et al., 2020). Az építőipar légszennyező anyag kibocsátásának jellege és mértéke az épület életciklusától is függ, melyek a következők: alapanyag-előállítás, építkezés, használat és bontás (WIESER et al., 2021).

Az alapanyag-előállítási szakasz során főként a szállítás, a gyártás és a kitermelés okozzák a kibocsátásokat. Több tudományos munka elsősorban a PM_{2,5} és a PM₁₀ értékek elemzésével foglalkozik (WIESER et al., 2021, EKINCI et al., 2020). Például a cementipar - az antropogén légszennyezés egyik fő forrása - nagy energiaigényű, valamint a kitermelés során többek között a szállópor értékeket is megnöveli (EKINCI et al., 2020). Az elmúlt években megnövekedett az cement iránti igény, így várhatóan növekedni fog a kibocsátás is. Több építőanyag (pl. beton, alumínium) gyártását összevetve a legnagyobb mennyiségű levegőterhelést a szén-dioxid jelenti, a legnagyobb mértékű kibocsátást pedig az alumíniumgyártás okozza (ZHANG et al., 2013). A gyártási technológia megválasztása kritikus, ugyanis ez is befolyásolja az emisszió mértékét (RAJARATHNAM et al., 2014). A zöld építőanyagok alternatívát adhatnak, ugyanis ezek a kül- és beltéri levegőt is kevésbé szennyezik (KHOSHNAVA et al., 2020, SHUKLA et al., 2009).

Az építkezési szakasz során a földmunka és az alapozás (pl. kalapácsos cölöpözés, hulladéklerakás) nagymértékben felelős a szálló por koncentrációjának növekedéséért (YAN et al., 2023). Ez megfelelő építkezésmenedzsmenttel és jobb építési ütemtervek létrehozásával csökkenthető, például a szállítások optimális megtervezésével elkerülhetőek a közlekedési dugó (ALVANCHI et al., 2020). Az építkezés során zöldtetők kivitelezése (YANG et al., 2008, SOMOSKŐI - LECZOVICS 2020) és fák ültetése (SHAFIQUE et al., 2020) ellensúlyozhatja a kültéri légszennyezést.

A használati szakaszban különösen fontos a beltéri levegő folyamatos vizsgálata. Ez egyrészt függ a kültéri levegő minőségétől, mely indokoltá teszi a klímaberendezés rendszeres karbantartását és nagy hatásfokú szűrő használatát (AZUMA et al., 2018). Függ továbbá a beltéri emissziós forrásoktól is, melyek közé tartoznak az illékony szerves vegyületeket kibocsátó építőanyag, hígító, bútorok, de akár padló is (ŠENITKOVÁ - KRAUS 2016). Ezen felül az épület fizikai tulajdonságai is befolyásolják a beltéri levegő minőségét (pl. beltéri légáramlási viszonyok) (WIESER et al., 2021).

Az épületek életvégi szakasza során a bontási folyamatok és az építkezési hulladék elszállítása okozzák főleg a levegőterhelést (AZARMI 2016). A durva részecskék jelentősen dominálnak a bontás alatt, míg a finom részecskék aránya alacsonyabb. A megfelelő bontáskezeléssel csökkenthető a légszennyezés ebben a szakaszban (WIESER et al., 2021).

Az építkezési tevékenységeken túl az időjárásnak is hatása van a szálló por mértékére. A különböző mérettartományú szálló por részecskék különböző magasságokba és különböző

sebességekkel terjednek (pl. PM_1 részecskék gyorsabban és magasabbra, mint a PM_{10} és $PM_{2,5}$) és különböző idő alatt ülepednek ki (pl. PM_{10} rövidebb idő alatt) (YAN et al., 2023). Érdemes ennél fogva a szálló port mérettartomány szerint külön-külön, valamint időjárási paraméterekkel párhuzamosan mérni. Az összefüggések figyelembevételével az építkezésvezetőknek lehetősége nyílik időben alkalmazni a megfelelő PM csökkentési intézkedéseket (pl. vízpermetezés, ködágó).

A magas hőmérséklet általában együtt jár a magasabb szálló por koncentrációval, ugyanis az elősegíti a másodlagos részecskék keletkezését (PATERAKI et al., 2012, SIRITHIAN - THANATRAKOLSRI 2022, BARMPADIMOS et al., 2012). Például az intenzív fotokémia révén szekunder szulfát képződik (PATERAKI et al., 2012). Találhatunk ugyanakkor ellenpéldákat is, melyek alapján ezt az összefüggést fenntartásokkal kell kezelnünk (YAN et al., 2023). Növekvő páratartalom mellett az aeroszolok koncentrációja általában csökkenő tendenciájú. Valószínűleg akadályozza a részecskék mozgását a magas relatív páratartalom, így azok könnyebben rakódnak le a talajra (SIRITHIAN - THANATRAKOLSRI 2022).

A csapadék PM eltávolító hatása függ annak intenzitásától (ZHAO et al., 2020). Ha a csapadék mennyisége és a $PM_{2,5}$ koncentrációja magas, akkor pozitív eltávolító hatás érvényesül. Intenzív csapadék esetén a csapadékcseppek és az aeroszolok ütközése és összeolvadása válik meghatározóvá, elősegítve a cseppek növekedését és kihullását. Ezzel szemben gyenge csapadék és alacsony $PM_{2,5}$ koncentráció esetén negatív eltávolítási hatás dominál. Valószínű, hogy a napsugárzás és a vízgőz elősegíti a gázok részecskévé történő átalakulását és a finom aeroszol részecskék növekedését, ezáltal növelheti a nagyobb méretű aeroszolok koncentrációját. Jellemző még hogy a csapadék kisebb mértékben csökkenti a finom szálló port, mint a durva PM koncentrációt (ZHANG et al., 2018). A csapadékkal való összefüggések vizsgálatok a planetáris határréteg napi változásait is szükséges figyelembe venni, ugyanis e határréteg magassága negatívan korrelál a $PM_{2,5}$ koncentrációval (PAN et al., 2019).

Periodikus változásokra is figyelmesek lehetünk a szálló por értékek vizsgálata során. A meteorológiai viszonyok alakulásán túl a fűtési szezon szintén okozója lehet ennek a periodikusságnak. Arról, hogy a téli vagy nyári időszakot jellemzi magasabb szálló por koncentráció, nincs konszenzus: olvashatunk mind téli (TAO - HARLEY 2014; ROGULA-KOZŁOWSKA et al. 2014), mind nyári magas értékekről egyaránt (TAO - HARLEY 2014). A hétvégi és hétköznapi PM koncentráció eltérések kapcsán gyakran egyértelműen kirajzolódik a hétféle alacsonyabb szennyezettsége, de ez nem minden esetben számottevő (TAO - HARLEY 2014).

A napi periódus alakulását a napi tevékenységek (pl. közlekedési csúcsidők) valamint a talajszinti hőmérsékleti inverzió (hőmérséklet magassággal való emelkedése) jelentősen meghatározza (JAVED et al., 2021). A talajinverzió gyakran este és éjszakánként alakulnak ki stabil hideg körülmények között (OLOFSON et al., 2009). Ekkor a szennyezőanyagok feldúsulnak a talaj közelében. A reggeli hőmérsékleti inverzió és a közlekedésből származó szennyező anyagok magasabb szálló por koncentrációt eredményeznek az inverzió nélküli napokhoz képest (JANHÁLL et al., 2006).

A munka során a Budapest 23. kerületi Virág völgy lakópark légszennyezettségi mutatóit elemeztük, melynek közelében aktív építkezési munkálatok zajlanak. 2024 januárjában került beüzemelésre egy olyan készülék, amely többek közt képes a levegő PM_{10} és $PM_{2,5}$ szintjének mérésére. Célunk annak vizsgálata, hogy a helyi lakosok mekkora mértékű szálló por hatásnak vannak kitéve. Szeretnénk felhívni a figyelmet a kültéri levegő rendszeres ellenőrzésének fontosságára annak érdekében, hogy a lakók minél kevésbé legyenek kitéve az egészségüket veszélyeztető mértékű részecskekoncentrációnak.

A mért adatokat különböző szempontok alapján elemeztük és vizualizáltuk, hogy pontos képet kapjunk a vizsgált terület légszennyezettségéről. A vizsgálat során különböző

időszakokra vonatkozóan átlagértékek és szórásértékek kerültek kiszámításra. A mért adatokat összevetettük a HungaroMet Nonprofit Zrt. hivatalos mérési adataival, hogy fény derüljön a vizsgált terület környékhez viszonyított szennyezettségére. A mért értékeket rendeleti levegőszennyezettségi határértékek és a WHO ajánlásai figyelembevételével értékeltük. A vizsgálat során feltárásra került az is, hogy miképpen függ a szálló por koncentrációja az egyes időjárási tényezőktől: a hőmérséklettől, páratartalomtól és légnyomástól. Megfigyeltük továbbá egy-egy csapadékos és csapadékmentes napon mért PM értékek alakulását annak érdekében, hogy értékelhessük a csapadék légszennyezettségre gyakorolt hatását.

Anyag és módszer

A mért terület jellemzése

A műszer egy kertbe került elhelyezésre, mely Budapest 23. kerületében, a Virágvölgy lakóparkban található. Ez a 100 000 m²-en elterülő lakópark közel kétszáz lakásával nyújt otthont a családoknak. Az építkezés megkezdése óta folyamatosan zajlanak a munkálatok és épülnek újabb lakóhelyek. Az utak még nincsenek mindenhol leburkolva, melyből adódóan a munkagépek és a személygépkocsik jellemzően felverik és felkeverik a földút porát.

A mérési helyszínhez hozzávetőlegesen 150-200 méterre helyezkedik el a vasúti sín töltése, ahol szintén felújítási munkálatokat végeznek (Soroksár-Kelebia vasútvonal). A vonatok Soroksáron keresztül 2022. május 1-jétől nem közlekednek. Azóta folyamatosan zajlanak munkálatok ezen a területen, amelyek várhatóan 2025-ben fognak lezárulni.

A mérőműszer

A PM₁₀ és PM_{2,5} mérésére alkalmas műszer elhelyezése 2023 december elején történt: egy 3,5 méter magas oszlopra került felszerelésre. A mérő szenzorok egy Raspberry Pi mikrokontrollhoz kapcsolódnak, amely képes a mért adatok tárolására is. A szenzorok por (Plantower PMS7003 szenzor) valamint hőmérséklet, páratartalom és nyomás (BME680 I2C) mérésére is alkalmasak. A Plantower PMS7003 szenzor az alacsony költségű érzékelők csoportjába tartozik. Működési elve szerint a lézerszórású szálló por szenzorok közé sorolják. A PM₁₀ és PM_{2,5} szenzor mérési tartománya 0-1000 µg/m³ között van. A mikrokontrollon és a szenzorokon kívül még egy GSM modul is került a lamellás burkolatba, mely segítségével leolvashatók és számítógépre továbbíthatók az adatelemzéshez szükséges adatok. A védő funkciót ellátó burkolat időjárásálló, glikollal módosított polietilén-tereftalát felhasználásával készült. (BÁTHORY et al., 2022)

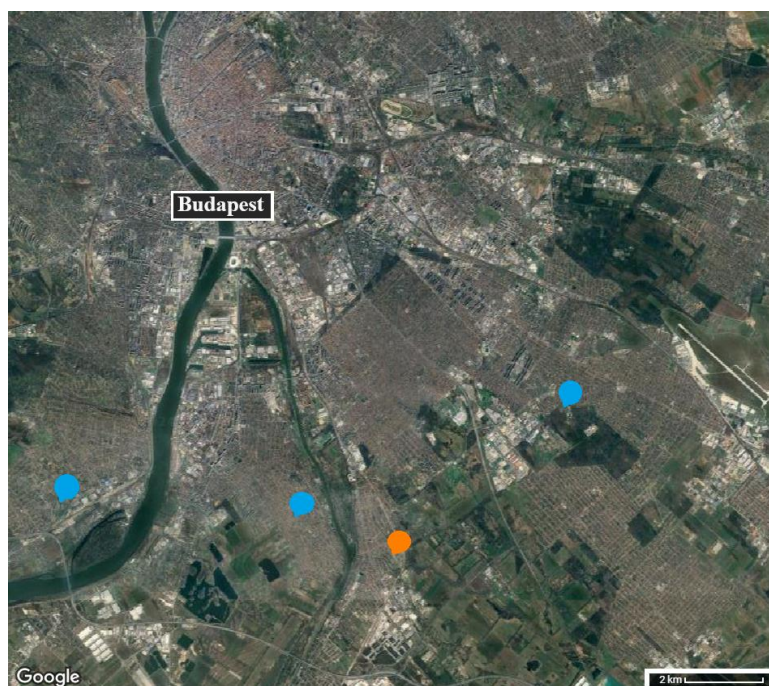
A mért adatok feldolgozása

A mérőműszer percenként végez méréseket. A mérést 2024. január másodikán kezdtük el, az utolsó mért nap pedig 2024.09.15. volt. A mért értékeket többféleképpen szemléltetjük koordináta-rendszereken, melyek elkészítéséhez a *matplotlib* Python csomagot használtuk. A nyers adatok beolvasását követően az összes rendelkezésre álló mérési adatból kiszámítottuk az teljes időszakra vonatkozó átlagokat és szórásértékeket. Ezután elvégeztük az adatok óránkénti és naponkénti átlagolását is. A mért és átlagolt értékek az idő függvényében kerültek ábrázolásra. Feldolgoztuk a hőmérséklet, páratartalom és nyomás adatait is, és a PM_{2,5} és PM₁₀ koncentrációkat, ezeknek a meteorológiai tényezőknek a függvényében is értelmeztük. Az adatok közötti összefüggések feltárását lineáris regresszió segítségével végeztük el.

Megvizsgáltuk a PM értékek órákra vetített, átlagolt értékeit is. Ezzel a célunk a PM értékek alakulásának megfigyelése volt egy átlagos nap leforgása során. A mért adatok hét napjaira is

levetítésre kerültek. Ezzel lehetőség nyílt megvizsgálni azt is, hogy átlagosan miként alakulnak a PM értékek egy hét leforgása alatt - különös tekintettel a hétköznapi és hétvégi napok közti különbségekre.

Az általunk végzett mérési adatok összehasonlításához az OLM automata mérőállomások adatai kerültek felhasználásra. A legközelebbi három állomás adatait vettük figyelembe: Budapest, Gilice tér (városi háttér, 18. kerület Gilice tér 39); Budapest, Csepel (külvárosi háttér, 21. kerület Szent István út 217-219) és Budapest, Budatétény (külvárosi háttér, 22. kerület Tűzliliom u. 12). A 1. ábra szemlélteti az OLM állomások és a saját mérés helyszínét. A csepeli állomáson nem történik $PM_{2,5}$ mérés, míg a többi állomás mind a PM_{10} , mind a $PM_{2,5}$ tartományban mér. A hivatalos honlapról (OLM 2024) letöltöttük az adatokat ugyanarra az időszakra vonatkozóan, amikor Soroksáron a méréseket végeztük. Az így megszerzett adatokat többféleképpen is összevetettük az általunk végzett mérésekkel: ábrázoltuk azokat közös ábrán, illetve hivatalos és saját adatok különbségét is megvizsgáltuk.



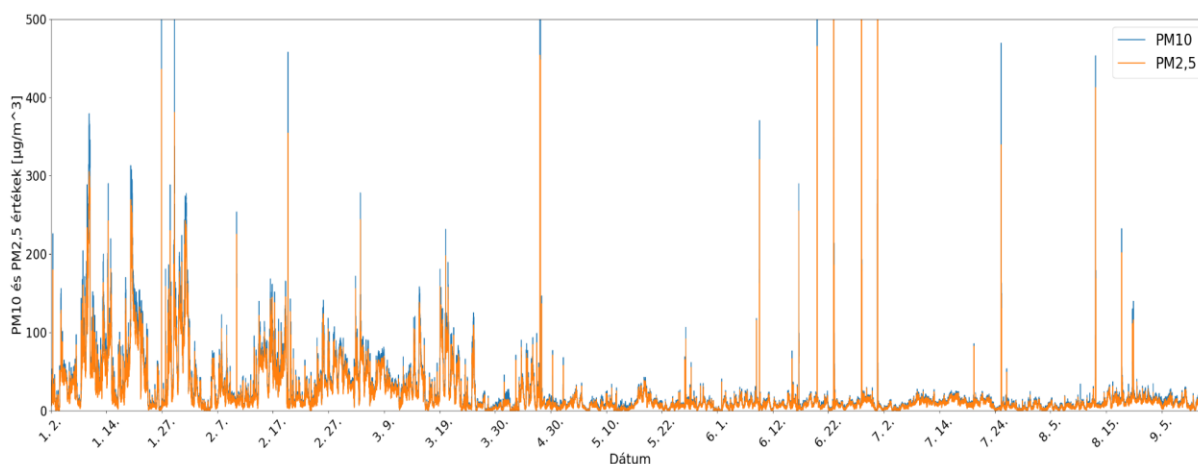
1. ábra: A térképen a saját műszer (narancssárga), balról jobbra pedig a budatétényi, a csepel és a gilice téri OLM automata mérőállomások (kék) elhelyezkedése. / Figure 1. Measuring stations on the map: our device (orange) and the Budatétény, Csepel, and Gilice Square OLM automatic measuring stations from left to right (blue).

Forrás: Saját szerkesztés az OLM automata állomás címei alapján (2024) / Source: Own construction based on locations of OLM automatic measuring stations

Céljaink között szerepelt az, hogy megvizsgáljuk a PM értékek alakulását egy csapadékos, illetve egy csapadékmentes napon. A csapadékos és csapadék nélküli nap kiválasztásához a HungaroMet Időjárési Napijelentés kiadványa (HUNGAROMET 2024) nyújtott segítséget. Az Időjárési Napijelentésben a kiadás napjának 06 UTC-kor záruló időpontjáig tartalmazza az előző nap 24 órás adatait. A két nap megválasztása során előnyben részesítettük azokat a napokat, amikor nem csak a legközelebbi állomásra (Budapest-Lőrinc), hanem országsszerte jellemző volt a csapadék megléte, illetve annak hiánya. Ezen túl ügyeltünk arra is, hogy maximum- és minimum hőmérsékletek, valamint a maximális széllelés adatai ne térjenek el nagymértékben egymástól. A napok összehasonlításával megvizsgálhatóvá válik a két szálló por frakció mértéke és egymáshoz képesti aránya, valamint a csapadék kimosódása is jellemezhető.

Eredmények

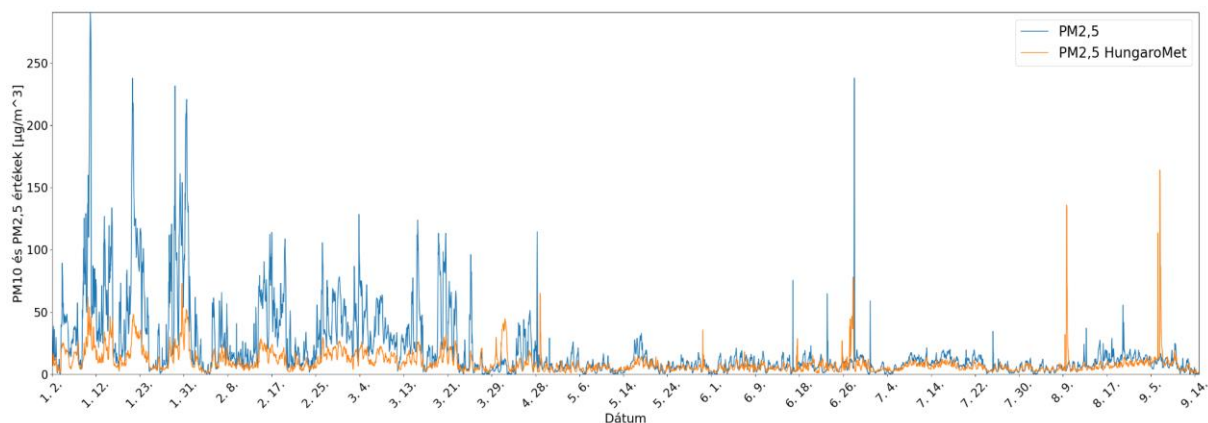
A vizsgált időszak során mért összes PM_{2,5} és PM₁₀ mért értéket a 2. ábra szemlélteti. Ezen az ábrán jól látható, hogy a PM_{2,5} értékei minden esetben a PM₁₀ értékek alatt helyezkednek el, mivel a PM_{2,5} részhalmaza a PM₁₀-nek. A PM_{2,5} PM₁₀-hez viszonyított aránya (PM_{2,5} : PM₁₀) az egész időszakra tekintve 0,88. Egyértelműen látszik, hogy az első négy hónapban mért értékek (átlagosan PM₁₀: 37,4 µg/m³; PM_{2,5}: 32,7 µg/m³) magasabbak a későbbi méréseknél (átlagosan PM₁₀: 9,3 µg/m³; PM_{2,5}: 8,3 µg/m³). Mindkét PM érték esetén 75%-os csökkenést figyelhetünk meg az első négy hónaphoz képest. Valószínűsíthető, hogy a fűtési szezon okozta a magasabb szennyezettséget.



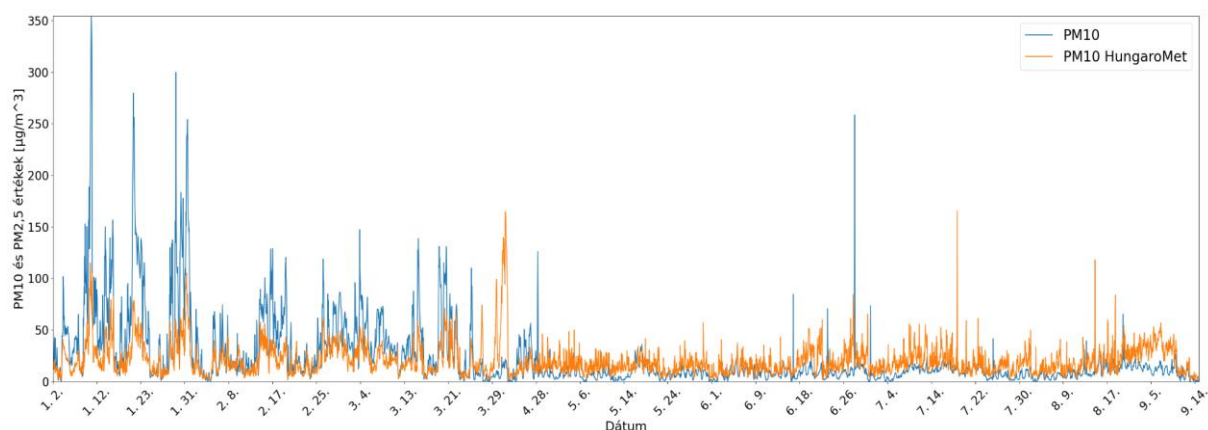
2. ábra: A PM₁₀ és PM_{2,5} mért értékei / Figure 2. Measured PM₁₀ and PM_{2,5} values

A mért értékek összevetése a HungaroMet Nonprofit Zrt. hivatalos adataival.

A mért értékeket összevetettük a HungaroMet Nonprofit Zrt. által mért hivatalos adatokkal. Ennek elsősorban az volt a motivációja, hogy kiderüljön, hogyan viszonyul az általunk vizsgált terület szennyezettsége a környékbeli állapothoz. A hivatalos adatok óránkénti bontásban állnak rendelkezésre, így ezeket az általunk mért adatok óránkénti adataival érdemes összevetni. A három HungaroMet mérőállomásról származó adatokat átlagoltuk, majd két ábrán vizualizáltuk: a PM_{2,5} értékek alakulása a 3. ábrán, a PM₁₀ értékek alakulása pedig a 4. ábrán. Ezen az ábrákon egyértelműen látszik, hogy a hivatalos adatok hasonlóképpen mozognak az mért adatokhoz képest. Általánosságban a mért értékek magasabbak mind a PM₁₀, mind a PM_{2,5} esetében. A HungaroMet hivatalos PM_{2,5} értékeinek átlaga 9,3 µg/m³, míg az általunk mért átlag 20,1 µg/m³ volt. A PM₁₀ értékeket illetően a HungaroMet hivatalos méréseinek átlaga 20,4 µg/m³, míg a vizsgált területen a PM₁₀ értékek átlaga 22,8 µg/m³. Az átlagértékek összehasonlításából kiderül, hogy a vizsgált terület porszennyezettsége magas, különösképpen a PM_{2,5} értékeket figyelembe véve.

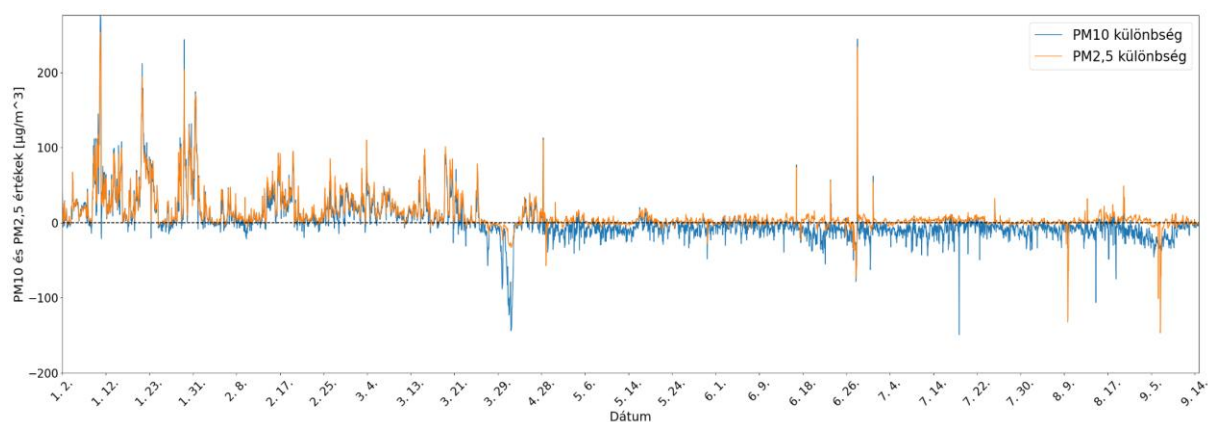


3. ábra: A mért PM_{2,5} értékek óránkénti átlagai és a HungaroMet Nonprofit Zrt. által mért hivatalos adatok / Figure 3. Hourly averages of measured PM_{2,5} values and officially accessible measurements from HungaroMet Nonprofit Zrt.



4. ábra: A mért PM₁₀ értékek óránkénti átlaga, és a HungaroMet Nonprofit Zrt. által mért hivatalos adatok / Figure 4. Hourly averages of measured PM₁₀ values and officially accessible measurements from HungaroMet Nonprofit Zrt.

A pontosabb értékelés végett a két-két adatsort kivontuk egymásból és így kapott különbségeket is ábrázoltuk az idő függvényében (5. ábra). A pozitív értékek a magasabb virágvölgyi értékeket, a negatív pedig a HungaroMet adatainak magasabb értékét jelentik.



5. ábra: A mért PM₁₀ és PM_{2,5} adatok és az HungaroMet Nonprofit Zrt. három állomásán az egy óras időközönként mért adatok átlagának különbsége / Figure 5. Difference of measured PM₁₀ and PM_{2,5} values and officially accessible measurements from HungaroMet Nonprofit Zrt.

Ebben a megközelítésben látható az, hogy a március végéig a virágvölgyi mérések nagyrészt magasabbak, márciust követően viszont a virágvölgyi PM₁₀ koncentráció általában kicsivel alacsonyabb értékeket vesz fel a HungaroMet adataihoz képest. A PM_{2,5} értékek is kisebb differenciát mutatnak áprilistól, azonban átlagosan felülmúlják a HungaroMet adatait.

Rendeleti határértékek, és azok átlépése

A 4/2011. (I. 14.) VM rendeletben szabályozásokat találhatunk a levegőterheltségi szint határértékeiről. A PM₁₀ határértéke egy évre vonatkozóan 40 µg/m³. Ez az érték összevethető az általunk mért PM₁₀ értékek átlagával, mely 22,8 µg/m³. A PM_{2,5} értékek egészségügyi határértéke egy naptári évre vonatkozóan 25 µg/m³. A mérések 20,1 µg/m³ átlagos értéket adnak, ami szintén megfelel az egy évre vonatkozó rendeleti határértéknek.

A 4/2011. (I. 14.) VM rendeletben találunk még a PM₁₀ 24 órára vonatkozó határértéket is: 50 µg/m³. Ez motivált arra, hogy az adatok elemzése során a napi átlagértékek vizsgálatával is foglalkozzunk. A PM₁₀ értékek 24 órás átlaga a 225 mért naphól 26 napon haladta meg a napi határértéket.

1. táblázat: A 4/2011. (I. 14.) VM rendeletben meghatározott PM_{2,5} és PM₁₀ határértékek /Table 1. The PM_{2.5} and PM₁₀ limit values defined in the 4/2011. (I. 14.) VM regulation.

	PM _{2,5}	PM ₁₀
Rövid távú (24 óra)	-	50 µg/m ³
Éves	25 µg/m ³	40 µg/m ³

Forrás: 4/2011. (I. 14.) VM rendelet (2011) /Source: 4/2011. (I. 14.) VM regulation (2011)

Adatok összevetése a WHO javaslatával

A WHO szigorúbb határértékeket javasol (2. táblázat) az itthoni jogalkotásban meghatározottaknál (1. táblázat). Az Európai Unió célkitűzései között van, hogy a rendeleti határértékek közelítsenek ezekhez a határértékekhez. Az egy évre vonatkozó WHO által javasolt határértékeket a vizsgált területen mért mindkét PM koncentráció átlépte (PM_{2,5}: 20,1 µg/m³, PM₁₀: 22,8 µg/m³). A napi WHO határértékeket a 225 naphól PM₁₀ esetében 32 napon, PM_{2,5} esetében pedig 73 napon haladta meg. Ez az esetek 14,2%-át, illetve 32,4%-át jelenti.

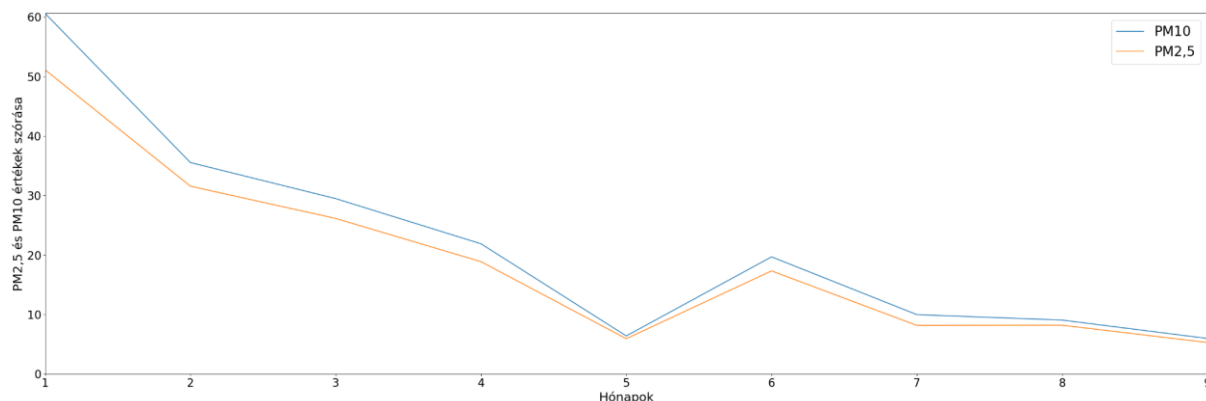
2. táblázat: WHO ajánlása rövid és hosszú távú PM_{2,5} és PM₁₀ határértékekre / Table 2. WHO recommendations for short-term and long-term PM_{2.5} and PM₁₀ limit values.

	PM _{2,5}	PM ₁₀
Rövid távú (24 óra)	15 µg/m ³	45 µg/m ³
Éves	5 µg/m ³	15 µg/m ³

Forrás: WHO (2021) /Source: WHO (2021)

A mért adatok szórása

A mért adatokat megfigyelve a szálló por koncentrációja az idő függvényében igencsak ingadozónak mondható. Ahhoz, hogy az ingadozás mértéke megfigyelhető legyen, a mért adatok szórása is kiszámításra került: a PM₁₀ értékek szórása 34,1, a PM_{2,5} adatoké pedig 29,4. Az egyes hónapok szálló porra vonatkozó szórásértékeit a 6. ábrán mutatjuk be. Ezen az ábrán alapvetően a szórás fokozatos csökkenése figyelhető meg. A vizsgált időszakot két szakaszra bontva kiderül, hogy az első négy hónap átlagos szórása (PM₁₀: 36,9; PM_{2,5}: 31,9) magasabb volt, mint a májustól szeptemberig tartó időszakban (PM₁₀: 10,2; PM_{2,5}: 9,0).

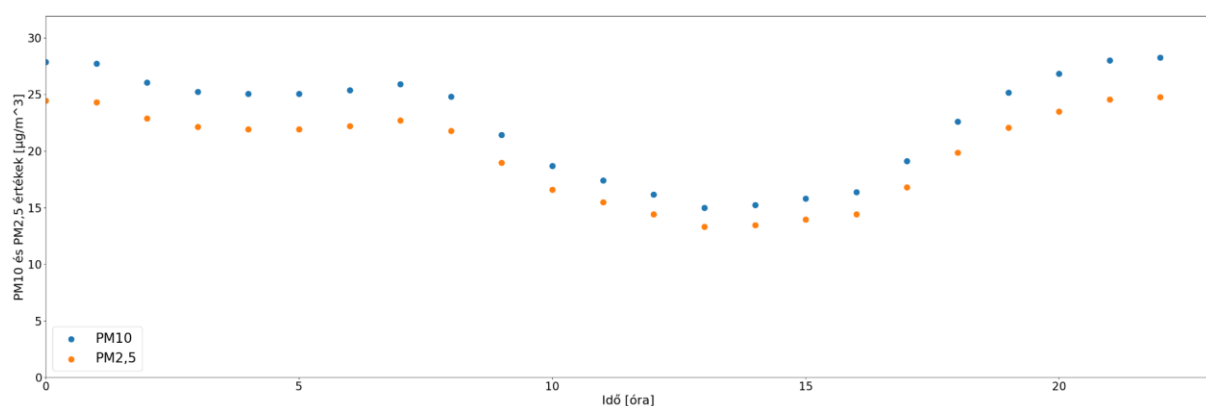


6. ábra: Havi szórás értékek alakulása PM₁₀ és PM_{2,5} értékeire / Figure 6. Monthly standard deviation of PM₁₀ and PM_{2,5} values

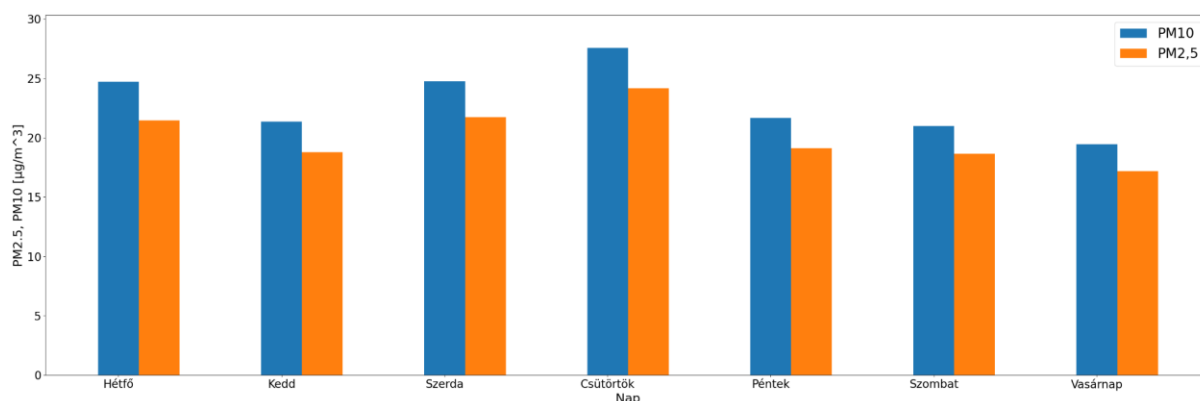
Órákra és a hét napjaira vetített mérések

Megvizsgáltuk a szálló por órára vetített átlagos értékeit. Ezzel részben annak fellelése volt a cél, hogy megállapítsuk a szálló por átlagos alakulásának szélsőértékeit. Az ilyen módon levetített adatokat a 7. ábrán figyelhetjük meg. Az óránkénti átlagok értelmezéséből kiderül, hogy a szálló por értéke általában délután 1 óra környékén a legalacsonyabb (PM₁₀ - 15,0 µg/m³ és PM_{2,5} - 13,3 µg/m³). A legmagasabb adatokat az esti órákban, 23 órakor figyelhetjük meg (PM₁₀ - 29,0 µg/m³ és PM_{2,5} - 25,4 µg/m³). A reggeli órákban - 7 óra környékén - megfigyelhető egy további lokális maximuma az óránkénti értékeknek.

Megvizsgáltuk azt is, hogy egy átlagos hét leforgása alatt hogyan alakulnak a PM-értékek. Ehhez elkészítettük a 8. ábrát, amelyen a hét napjaira levetítve oszlopdiagram segítségével ábrázoljuk a PM_{2,5} és PM₁₀ értékeket. A legmagasabb heti PM átlag a csütörtököt, míg a legtisztább levegő vasárnapokat jellemzi. Az ábrán még megfigyelhetők a hétvégi alacsonyabb értékek. Virágvölgyben a hétvégi porszennyezettség átlagosan 15,0%-os és 15,8%-os csökkenést mutat a hétköznapokhoz képest (a PM_{2,5} és PM₁₀ értékekre vonatkozóan).



7. ábra: Egy átlagos nap PM₁₀ és PM_{2,5} értékei / Figure 7. PM₁₀ és PM_{2,5} values for an average day



8. ábra: A PM₁₀ és PM_{2,5} értékek alakulása a hét napjain / Figure 8. Trends in PM₁₀ and PM_{2,5} over the week

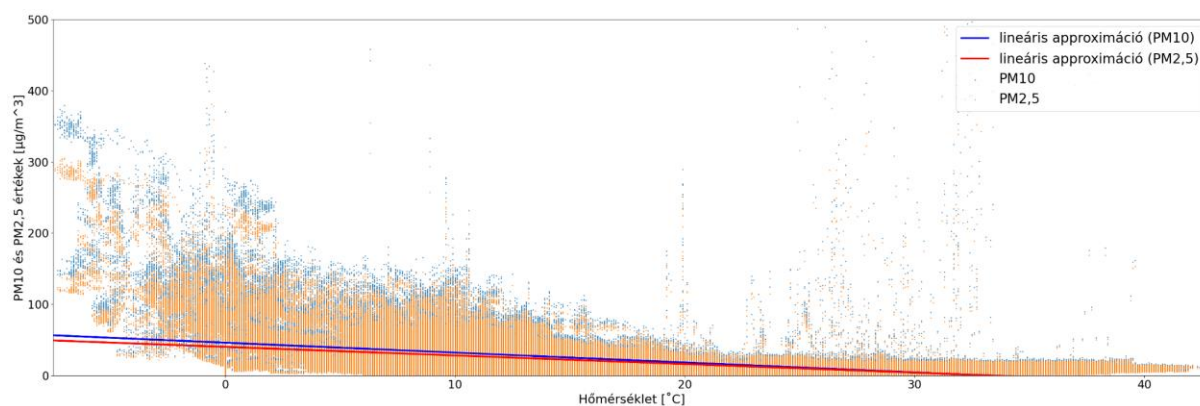
3. táblázat Összefüggések a szállópor koncentráció és a megfigyelt időjárási tényezők között / Table 3 Relationships between particulate matter concentrations and observed weather factors

PM és a megfigyelt időjárási tényező	Összefüggés lineáris regresszióval
PM _{2,5} a hőmérséklet függvényében	$f(x) = -1,20x + 40,33$
PM ₁₀ a hőmérséklet függvényében	$f(x) = -1,39x + 46,22$
PM _{2,5} a nyomás függvényében	$f(x) = 0,01x + 7,66$
PM ₁₀ a nyomás függvényében	$f(x) = 0,02x + 8,42$
PM _{2,5} a páratartalom függvényében	$f(x) = 0,48x - 5,72$
PM ₁₀ a páratartalom függvényében	$f(x) = 0,55x - 6,61$

Időjárási tényezőkkel való kapcsolat feltárása

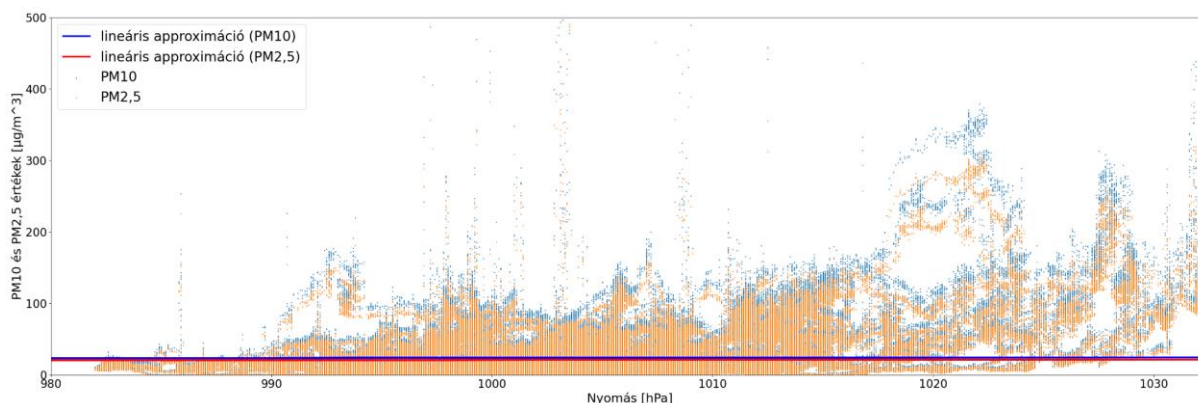
Megfigyeltük a szálló por kapcsolatát az időjárási tényezőkkel. A célunk az összefüggések feltárása volt a hőmérséklet, légnyomás és páratartalom kapcsán. Az összefüggéseket lineáris regresszió segítségével approximáltuk, amelyek a 3. sz. táblázatban láthatók.

A szálló por koncentrációja a hőmérséklet függvényében a 9. ábrán is megfigyelhető. A két tényező között könnyen észrevehető a fordított arányosság. A hidegebb időszakra jellemző a magasabb PM₁₀ koncentráció, melyet feltehetően a fűtés okoz. Láthatunk elszórtan kiugróan magas értékeket melegebb időjárás esetén is: ezt valószínűleg egyrészt a kedvezőbb időjárásban elvégzett hatékonyabb munka, másrészt a műszer közelében zajló kerti sütögetések okozták.



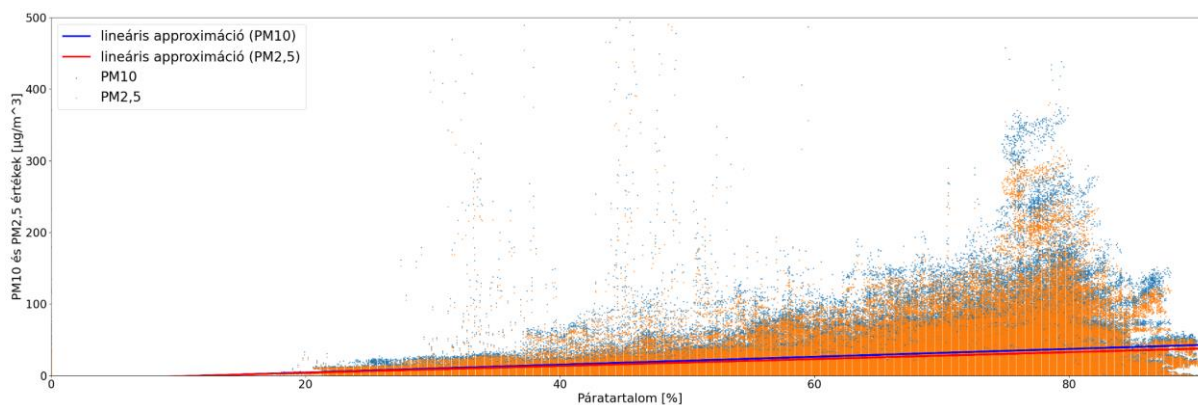
9. ábra: PM₁₀ és PM_{2,5} mért értékek a hőmérséklet függvényében / Figure 9. PM₁₀ és PM_{2,5} measurements visualized against temperature

A szálló por koncentráció légnyomással való viszonyát a 10. ábrán vizualizáltuk. Látszólag nincs erős összefüggés a nyomás és a szálló por között, elhanyagolható meredekségű az adatokra approximált lineáris kapcsolat a két tényező között.



10. ábra: PM₁₀ és PM_{2,5} mért értékek a légnyomás függvényében / Figure 10. PM₁₀ és PM_{2,5} measurements visualized against air pressure

A relatív páratartalommal való kapcsolatot a 11. ábra mutatja be. Ezesetben egy olyan összefüggésre lehetünk figyelmesek, amelyet nehéz lineáris regresszióval approximálni: 75% körüli páratartalomig egyenes arányosság figyelhető meg, mely 75% felett látszólag fordított arányosságra vált. Magas páratartalom esetén valószínűsíthető a kimosódás folyamata, vagyis a nedves kiülepedés. Az összefüggés 75% páratartalom körüli maximumát igazolni látszik a legszennyezettebb órához köthető átlagos páratartalom: 77,5%. A legszennyezettebb nap páratartalma is ehhez közeli értéket, 65,4%-ot mutat.



11. ábra: PM₁₀ és PM_{2,5} mért értékek a páratartalom függvényében / Figure 11. PM₁₀ és PM_{2,5} measurements visualized against humidity

Egy csapadékos és egy csapadékmentes nap szálló por értékeinek elemzése

Céljaink közt szerepelt az eső nedves ülepítő hatásának elemzése, valamint a PM₁₀ és PM_{2,5} viszonyának összehasonlítása egy csapadékos és egy csapadék nélküli napon. Kiválasztásra került egy-egy nap az Időjárési Napijelentés kiadvány adatai alapján:

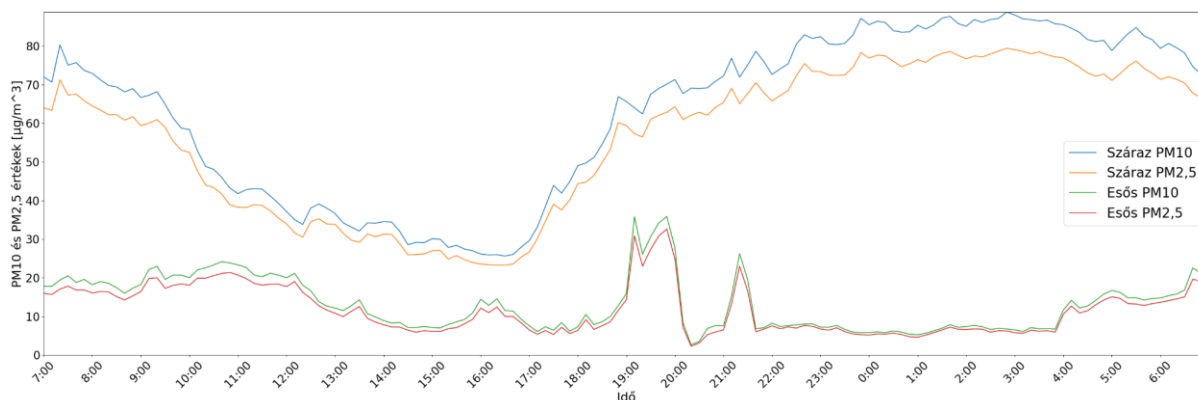
- Csapadékos nap: 2024.02.11. 7.00 - 2024.09.12. 7.00
- Száraz nap: 2024.02.29. 7.00 - 2024.03.01. 7.00

A két nap kiválasztása során figyelembe vett szempontok között szerepeltek az adott napra vonatkozó meteorológiai paraméterek, melyeket a vizsgált területhez legközelebbi (Budapest-Lőrinc) meteorológiai mérőállomáson mértek. A meteorológiai adatok ismertetésére szolgál a 4. táblázat. Szempont volt továbbá az is, hogy a csapadékösszegegen túli egyéb időjárási változók (maximum és minimum hőmérséklet, maximális szélökés) között ne legyen lényeges különbség a két választott napon. A szemléltetéshez a két nap PM értékei ugyanazon grafikonon kerültek ábrázolásra (12. ábra), a nyers adatok helyett a tíz percenkénti átlagok feltüntetésével.

4. táblázat: A száraz és csapadékos nap meteorológiai paramétere (Budapest, Lőrinci mérőállomás), valamint saját PM értékek átlagára és szórására / Table 4. Meteorological parameters for dry and rainy days (Budapest, Lőrinci measuring station), as well as the averages and standard deviations of measured PM values.

	Száraz nap	Csapadékos nap
Csapadékösszeg [mm]	0,0	14,8
Maximális hőmérséklet [°C]	16,0	12,4
Minimális hőmérséklet [°C]	7,2	7,0
Maximális szélökés [m/s]	6,0	7,7
PM ₁₀ átlag [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	62,9	13,2
PM _{2,5} átlag [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	56,6	11,7
PM ₁₀ szórás	21,1	7,0
PM _{2,5} szórás	18,9	6,2

Forrás: Saját szerkesztés a Napijelentés kiadvány adatai (HUNGAROMET 2024) és a saját mérési adatok alapján / Source: Own construction based on the daily report (HUNGAROMET 2024) and our measurements.



12. ábra: A vizsgált csapadékos és száraz napon mért PM_{2,5} és PM₁₀ értékek / Figure 12. PM_{2,5} és PM₁₀ values on the chosen rainy and dry day

Látható, hogy a száraz nap grafikonja végig magasabb értékeket vesz fel, mint az esős napé. A száraz nap görbét összevetve az órákra vetített PM értékekkel (7. ábra) a PM magasabb értékek itt is az esti órákra esnek. A reggel 7 óra környéki további lokális maximum erre a napra is jellemző. Megfigyelhető, hogy a száraz napon a PM₁₀ és PM_{2,5} értékeket leíró görbék egymáshoz viszonyítva távolabb helyezkednek el, mint a csapadékos napon: a száraz napon a PM_{2,5} és PM₁₀ arány valamelyest nagyobb, mint a csapadékoson. A száraz és csapadékos nap szórása is eltérő: a csapadékos napot kisebb szórás jellemzi, amely kiderül a 4. táblázatból is.

A csapadékos napon mért PM értékek alakulása igencsak eltér az átlagostól. Ez alapján is látható, hogy a csapadék nagymértékben befolyásolja a szálló por alakulását.

Következtetések

A Budapest 23. kerületi Virág völgy lakóparkban elvégzett vizsgálatok alapján a 2024.01.02. és 2024.09.15. közötti mérésekből egyértelműen látszik a lakópark átlagon felüli levegőterhelése, amely a folyamatos építőipari tevékenység okozta emisszióhoz köthető.

A PM_{2,5} PM₁₀-hez viszonyított aránya

Az egész időszakra vonatkozóan a PM_{2,5} : PM₁₀ arány 0,88. SIRITHIAN és THANATRAKOLSRI (2022) összefoglaló tanulmánya alapján ez magasnak mondható. A magas PM_{2,5} értékek egészségügyi szempontból rendkívül kedvezőtlenek: lerakódhatnak a légúti hörgőkben és a léghólyagocskákban, ezzel befolyásolva a tüdő gázcserejét (KHAMRAEV et al., 2021). Fontos volna az építkezési munkálatok során felmérni a PM_{2,5} kibocsátások fő okozóit, illetve ezek ismeretében megtenni a PM_{2,5} értékének csökkentéséhez szükséges lépéseket.

Környékbeli mérőállomások adataival való összevetés

A legközelebbi három mérőállomás (Budapest Gilice tér, Csepel és Budatétény) adataival összevetve a vizsgált területen mért értékek jellemzően magasabbak mind a PM₁₀, mind a PM_{2,5} koncentrációt tekintve. Ez különösen is igaz a januártól március végéig tartó időszakra vonatkozóan.

A mérőállomások PM_{2,5} értékeinek átlaga 9,3 µg/m³, míg az általam mért átlag 20,1 µg/m³. Ebből látszik, hogy a lakóparkban átlagosan több, mint kétszeres a PM_{2,5} értékekre vonatkozó porszennyezettség, amely kiemelt fontosságú, és fokozott figyelmet igényelne.

A PM₁₀ értékeket illetően a mérőállomások méréseinek átlaga 20,4 µg/m³, míg a vizsgált területen a PM₁₀ értékek átlaga 22,8 µg/m³. A lakóparkban mért értékek legnagyobb mértékben a március végével bezárólagos időszakban vettek fel kritikusan magas értékeket. Javasolt volna így erre az időszakra fókuszálva az építkezés során a szálló por (főleg a PM_{2,5}) értékek csökkentése, például ködgyúval (YAN et al., 2023). Ezen túl a beltéri levegő minőségének javítása érdekében érdemes a legkondicionáló rendszereket karbantartására ez idő alatt fokozott figyelmet szentelni, illetve azokat nagy hatásfokú részecske-levegőszűrőkkel ellátni (AZUMA et al., 2018).

Rendeleti határértékekkel való összevetés

A PM₁₀ és PM_{2,5} megfelelt az egy évre vonatkozó 4/2011. (I. 14.) VM rendeletbe foglalt határértéknek. A PM₁₀ nem csupán megfelelt a rendeletben előírtaknak, hanem jó értékelést kapna az OLM Légszennyezettségi Index besorolása szerint (OLM 2022). Az OLM Légszennyezettségi Indexelése a 5. táblázat alapján osztályozható. A PM_{2,5} pedig a Légszennyezettségi Indexelés alapján a megfelelő kategóriába sorolható.

5. táblázat: Az OLM Légszennyezettségi Indexelése/ Table 5. OLM Air Quality Indexing

	kiváló	jó	megfelelő	szennyezett	erősen szennyezett
PM10 éves átlag [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0-16	16-32	32-40	40-80	80<
PM2,5 éves átlag [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0-10	10-20	20-25	25-50	50<

Forrás: OLM (2022) / Source: OLM (2022)

A PM₁₀ 24 órára vonatkozó 4/2011. (I. 14.) VM rendeletbe foglalt határértéke 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ez 35-ször léphető túl egy év alatt (az év napjainak 9,5%-a). A Virágvölgyben mért 225 napból 26 napon lépték át ezt a határértéket a PM₁₀ értékek, amely a mért időszak napjainak 11,6%-át jelenti. A vizsgált terület ebből a szempontból nem felel meg a rendeletben foglaltaknak. Javasolt a magas PM₁₀ kibocsátást okozó tevékenységek beazonosítása és jobb menedzselése (ALVANCHI et al., 2020). A vízpermetezés alkalmazása is feltétlen javallott (YAN et al., 2023).

WHO által javasolt határértékekkel való összevetés

A lakóparkban mért PM₁₀ és a PM_{2,5} értékek egyaránt meghaladták az egy évre vonatkozó WHO által javasolt határértéket. A PM₁₀ és PM_{2,5} 225 napból rendre 32 és 73 napon lépték át a WHO által javasolt napi határértékeket. Érdemes törekedni a WHO által ajánlott határértékek betartására, mivel a hamarosan (2030-ra) az Európai Unió Tanácsa a WHO javaslataihoz szorosabban igazodó PM határértékeket fog meghatározni (EUT 2024). A lakóterületen történő légszennyezés csökkentése történhet akár zöldtetők építésével vagy a fák ültetésével (YANG et al., 2008; SOMOSKŐI - LECZOVICS 2020). Megfontolandó az építkezéshez fenntarthatóbb alternatív építőanyagok, például a vályog alkalmazása is (SHUKLA et al., 2009).

A mért PM értékek szórása

A mért PM₁₀ és PM_{2,5} értékek egész időszakra vonatkozó szórása 34,1 és 29,4. Ez nagy kilengésekre enged következtetni, melyek az 4. fejezetben található ábrákon is jól láthatóak.

Az első négy hónap átlagos szórása (PM₁₀ esetén 36,9, PM_{2,5} esetén 31,9) lényegesen magasabb, mint májustól szeptemberig tartó időszak szórása (PM₁₀ esetén 10,2, PM_{2,5} esetén 9,0). Ez összhangban van JAVED és munkatársai (2021) megállapításával, miszerint a szezonális változékonyság télen volt a legnagyobb a PM értékekben és nyáron a legalacsonyabb.

A szállópor óránkénti átlagainak értelmezése

A legalacsonyabb PM értékek általában délután 1 óra környékén fordulnak elő (PM₁₀ - 15,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ és PM_{2,5} - 13,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Javasolt ekkor szellőztetni a megfigyelt területen. A legmagasabb értékek általában esti órákban, 23 órakor figyelhetjük meg (PM₁₀ - 29,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ és PM_{2,5} - 25,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Javasolt ekkor kerülni az levegő beengedését. JAVED és munkatársai (2021) a napi ingadozás vizsgálatakor szintén figyelmesek lettek az éjszakai (lokális) maximumra.

Reggel 7 óra környékén megfigyelhető egy további lokális maximuma a mért adatok átlagának. JAVED és munkatársai (2021) több városban is megfigyeltek egy második lokális maximumot a reggeli órák környékén. JANHÄLL és munkatársai (2006) a reggeli közlekedést nevezték meg a reggeli lokális maximum kialakulásának egyik okaként. Virágvölgyben is feltételezhető, hogy a lakosok munkába indulva a burkolatlan utakról felferődő porral jobban terhelik a levegőt. Ezen túl a reggeli lokális maximum további okozója lehet a nap reggelén elkezdődő építkezési munka is. Szerepet játszhat továbbá a reggeli hőmérsékleti inverzió is,

mely megnövelheti a szálló por koncentrációt. Az órákra vetített átlagértékek alakulását összevetve a Peking-Tianjin-Hebei régióban végzett vizsgálatokkal (ZHAO et al. 2020) hasonló napi trenddel találkozunk.

A hétvégi alacsonyabb szállópor értékek

A hétvégi porszennyezettség átlagosan 15,0%-os és 15,8%-os csökkenést mutat a hétköznapokhoz képest (rendre a PM_{2,5} és PM₁₀ értékekre vonatkozóan). Ezek az eredmények összhangban vannak TAO és HARLEY (2014) által San Francisco-öbölben és San Joaquin-völgyben végzett mérésekkel. Érdeemes megjegyezni, hogy a virágvölgyi csökkenés nagyobb mértékű. Az említett tanulmányban más várost is vizsgáltak, ahol nem detektáltak csökkenést, vagy csupán elhanyagolható különbséget találtak.

A szálló por és a meteorológiai változók összefüggése

A szálló por koncentrációja a hőmérséklet függvényében fordított arányosságú. Ez egy egyedi jelenség, ugyanis több tanulmányban ezzel ellentétes eredményekről számolnak be (PATERAKI et al., 2012, SIRITHIAN - THANATRAKOLSRI 2022, BARMPADIMOS et al., 2012). Ugyanakkor találunk olyan tanulmányt is, ahol nem találtak egyértelmű kapcsolatot a hőmérséklet és a szálló por koncentrációja között (YAN et al., 2023). A szálló port légnyomás függvényében approximáló egyenes elhanyagolható meredekségű. Ez összhangban van YAN és munkatársai (2023) megállapításával.

A szálló por koncentrációját a páratartalom függvényében vizsgálva 75% körüli páratartalomig egyenes arányosság figyelhető meg. Ez 75% felett láthatóan fordított arányosságra vált. Magas páratartalom esetén valószínű a részecskék talajra történő lerakódása (SIRITHIAN - THANATRAKOLSRI 2022). Javasolt a hőmérséklet és páratartalom várható alakulásával összhangban tervezni az építkezési tevékenységeket, valamint PM csökkentési intézkedéseket (YAN et al. 2023), ezekkel óvva a közelben lakók egészségét.

Egy száraz és csapadékos nap összehasonlítása

Egy tüzetesen megvizsgált csapadékos napon kisebb szálló por értékeket mért a műszer, mint a száraz napon. Ezen a csapadékos napon a PM₁₀ és PM_{2,5} értékeket leíró görbék egymáshoz viszonyítva közelebb helyezkednek el. Ez megfelel Zhang és munkatársai (2018) észrevételének, miszerint a csapadék általában könnyebben kimossa a nagyobb aerodinamikai átmérőjű részecskéket, mint a kisebbeket. Ennek tudatában érdemes az építkezés során a várható időjárás figyelembevételével alkalmazni porcsökkentésre alkalmas eszközöket, mint ahogy azt YAN és munkatársai (2023) is javasolják.

Hivatkozott források

ALVANCHI, A. – RAHIMI, M. – MOUSAVI, M. – ALIKHANI, H. (2020): Construction schedule, an influential factor on air pollution in urban infrastructure projects. *Journal of Cleaner Production* 255, 120222. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120222>

AZARMI, F. – KUMAR, P. – MARSH, D. – FULLER, G. (2016): Assessment of the long-term impacts of PM₁₀ and PM_{2.5} particles from construction works on surrounding areas. *Environmental Science: Processes & Impacts* 18(2), 208–221. <https://doi.org/10.1039/C5EM00549C>

AZUMA, K. – IKEDA, K. – KAGI, N. – YANAGI, U. – OSAWA, H. (2018): Physicochemical risk factors for building-related symptoms in air-conditioned office buildings: Ambient

- particles and combined exposure to indoor air pollutants. *Science of the Total Environment* 616-617, 1649–1655. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.147>
- BARMPADIMOS, I. – KELLER, J. – ODERBOLZ, D. – HUEGLIN, C. – PRÉVÔT, A.S.H. (2012): One decade of parallel fine (PM_{2.5}) and coarse (PM₁₀–PM_{2.5}) particulate matter measurements in Europe: trends and variability. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12(7), 3189–3203. <https://doi.org/10.5194/acp-12-3189-2012>
- BÁTHORY, Cs. – DOBÓ, Z. – GARAMI, A. – PALOTÁS, Á. – TÓTH, P. (2022): Low-cost monitoring of atmospheric PM—development and testing. *Journal of Environmental Management* 304, 114158. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114158>
- BOWE, B. – XIE, Y. – YAN, Y. – AL-ALY, Z. (2019): Burden of cause-specific mortality associated with PM_{2.5} air pollution in the United States. *JAMA network open* 2(11), e1915834 <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.15834>
- BÖHM, M. – SALEM, M.Z. – SRBA, J. (2012): Formaldehyde emission monitoring from a variety of solid wood, plywood, blockboard and flooring products manufactured for building and furnishing materials. *Journal of Hazardous Materials* 221, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.013>
- CHALOULAKOU, A. – KASSOMENOS, P. – SPYRELLIS, N. – DEMOKRITOU, P. – KOUTRAKIS, P. (2003): Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment* 37(5), 649–660. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00898-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00898-1)
- CHERIYAN, D. – HYUN, K.Y. – JAEGOO, H. – CHOI, J.H. (2020): Assessing the distributional characteristics of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ exposure profile produced and propagated from a construction activity. *Journal of Cleaner Production* 276, 124335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124335>
- EKINCI, E. – KAZANCOGLU, Y. – MANGLA, S.K. (2020): Using system dynamics to assess the environmental management of cement industry in streaming data context. *Science of the Total Environment*, 715, 136948. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136948>
- GEHRING, U. – WIJGA, A.H. – BRAUER, M. – FISCHER, P. – DE JONGSTE, J.C. – KERKHOF, M. – OLDENWENING, M. – SMIT, H.A. – BRUNEKREEF, B. (2010): Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 181(6), 596–603. <https://doi.org/10.1164/rccm.200906-0858OC>
- HUNGAROMET (2024). HungaroMet Napijelentés kiadvány, elérhető: https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/ Letöltés dátuma: 2024.10.03.
- JANHÄLL, S. – OLOFSON, K.F.G. – ANDERSSON, P.U. – PETTERSSON, J.B. – HALLQUIST, M. (2006): Evolution of the urban aerosol during winter temperature inversion episodes. *Atmospheric Environment* 40(28), 5355–5366. <https://doi.org/10.1016/j>
- JAVED, M. – BASHIR, M. – ZAINEB, S. (2021): Analysis of daily and seasonal variation of fine particulate matter (PM_{2.5}) for five cities of China. *Environment, Development and Sustainability* 23, 12095–12123. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01159-1>
- JUNG, S. – KANG, H. – SUNG, S. – HONG, T. (2019): Health risk assessment for occupants as a decision-making tool to quantify the environmental effects of particulate matter in construction projects. *Building and Environment* 161, 106267. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106267>
- KHOSHNAVA, S.M. – ROSTAMI, R. – MOHAMAD ZIN, R. – ŠTREIMIKIENE, D. – MARDANI, A. – ISMAIL, M. (2020): The role of green building materials in reducing environmental and human health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(7), 2589. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072589>
- KIS-KOVÁCS, G. (2015): PM emisszió a kibocsátási leltár tükrében. *Légekör* 60, 124-128. elérhető: https://epa.oszk.hu/03900/03956/00040/pdf/EPA03956_legkor_2015_3_124-128.pdf

- LUO, K. – LI, W. – ZHANG, R. – LI, R. – XU, Q. – CAO, Y. (2016): Ambient fine particulate matter exposure and risk of cardiovascular mortality: adjustment of the meteorological factors. *International journal of environmental research and public health* 13(11), 1082. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111082>
- OLM (2022): Az OLM 2022. évi szálló por PM₁₀ és PM_{2.5} mintavételi programjának összesítő értékelése, elérhető: <https://legszenyezettseg.met.hu/levegominoseg/ertekelesek/olm-ertekelesek> Letöltés dátuma: 2024.09.08.
- OLM (2024): Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat Automata mérőhálózat adatai, elérhető: <https://legszenyezettseg.met.hu/levegominoseg/meresi-adatok/automata-merohalozat> Letöltés dátuma: 2024.09.17.
- OLOFSON, K.F.G. – ANDERSSON, P.U. – HALLQUIST, M. – LJUNGSTRÖM, E. – TANG, L. – CHEN, D. – PETTERSSON, J.B. (2009): Urban aerosol evolution and particle formation during wintertime temperature inversions. *Atmospheric Environment* 43(2), 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.080>
- PAN, L. – XU, J. – TIE, X. – MAO, X. – GAO, W. – CHANG, L. (2019): Long-term measurements of planetary boundary layer height and interactions with PM_{2.5} in Shanghai, China. *Atmospheric Pollution Research* 10(3), 989–996. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.007>
- PATERAKI, S. – ASIMAKOPOULOS, D. – FLOCAS, H. – MAGGOS, T. – VASILAKOS, C. (2012): The role of meteorology on different sized aerosol fractions (PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{2.5–10}). *Science of The Total Environment* 419, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j>
- RAJARATHNAM, U. – ATHALYE, V. – RAGAVAN, S. – MAITHEL, S. – LALCHANDANI, D. – KUMAR, S. – BAUM, E. – WEYANT, C. – BOND, T. (2014): Assessment of air pollutant emissions from brick kilns. *Atmospheric Environment* 98, 549–553. <https://doi.org/10.1016/j>
- ROGULA-KOZŁOWSKA, W. – KLEJNOWSKI, K. – ROGULA-KOPIEC, P. – OŚRÓDKA, L. – KRAJNY, E. – BŁASZCZAK, B. – MATHEWS, B. (2014): Spatial and seasonal variability of the mass concentration and chemical composition of PM_{2.5} in Poland. *Air Quality, Atmosphere & Health* 7, 41–58. <https://doi.org/10.1007/s11869-013-0222-y>
- ŠENITKOVÁ, I.J. – KRAUS, M. (2016): Assessment of selected interior flooring materials on indoor air quality. *Procedia engineering* 161, 1527–1531. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.621>
- SHAFIQUE, M. – XUE, X. – LUO, X. (2020): An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening* 47, 126515. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126515>
- SHARMA, S. – CHANDRA, M. – KOTA, S.H. (2020): Health effects associated with PM_{2.5}: A systematic review. *Current Pollution Reports* 6, 345–367. <https://doi.org/10.1007/s40726-020-00155-3>
- SHUKLA, A. – TIWARI, G. – SODHA, M. (2009): Embodied energy analysis of adobe house. *Renewable Energy* 34(3), 755–761. <https://doi.org/10.1016/j>
- SIRITHIAN, D. – THANATRAKOLSRI, P. (2022): Relationships between Meteorological and Particulate Matter Concentrations (PM_{2.5} and PM₁₀) during the Haze Period in Urban and Rural Areas, Northern Thailand. *Air, Soil and Water Research* 15. <https://doi.org/10.1177/11786221221117264>
- SOMOSKÓI, L. – LECZOVICS, P. (2020): A zöldtetők előnyei az építőipari gyakorlatban: Benefits of green roofs in construction practice. *Nemzetközi Építéstudományi Konferencia–ÉPKO*, 148–153.
- TAO, L. – HARLEY, R.A. (2014): Changes in fine particulate matter measurement methods and ambient concentrations in California. *Atmospheric Environment* 98, 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.044>

- WHO (2021): WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization 21, 73-139.
- WIESER, A.A. – SCHERZ, M. – PASSER, A. – KREINER, H. (2021): Challenges of a Healthy Built Environment: Air Pollution in Construction Industry. Sustainability 13(18), 10469. <https://doi.org/10.3390/su131810469>
- YAN, H. – LI, Q. – FENG, K. – ZHANG, L. (2023): The characteristics of PM emissions from construction sites during the earthwork and foundation stages: an empirical study evidence. Environmental Science and Pollution Research 30(22), 62716–62732. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26494-4>
- YANG, J. – YU, Q. – GONG, P. (2008): Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment 42(31), 7266–7273. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>
- ZHANG, B. – JIAO, L. – XU, G. – ZHAO, S. – TANG, X. – ZHOU, Y. – GONG, C. (2018): Influences of wind and precipitation on different-sized particulate matter concentrations (PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5-10}). Meteorology and Atmospheric Physics 130, 383–392. <https://doi.org/10.1175/JAM2437.1>
- ZHANG, X. – SHEN, L. – ZHANG, L. (2013): Life cycle assessment of the air emissions during building construction process: A case study in Hong Kong. Renewable and Sustainable Energy Reviews 17, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012>
- ZHAO, X. – SUN, Y. – ZHAO, C. – JIANG, H. (2020): Impact of Precipitation with Different Intensity on PM_{2.5} over Typical Regions of China. Atmosphere 11(9), 906. <https://doi.org/10.3390/atmos11090906>
- ZHU, X. – LIU, Y. – CHEN, Y. – YAO, C. – CHE, Z. – CAO, J. (2015): Maternal exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) and pregnancy outcomes: a meta-analysis. Environmental Science and Pollution Research 22, 3383–3396. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3458-7>
- EURÓPAI UNIÓ TANÁCSA (2023): Levegőminőség: a Tanács véglegesen jóváhagyta az uniós előírások szigorítását. elérhető: <https://www.consilium.europa.eu/hu/press/press-releases/2024/10/14/air-quality-council-gives-final-green-light-to-strengthen-standards-in-the-eu/> Letöltés dátuma: 2024. 10. 20.
- 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről, elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1100004.VM#lbj35id7b68> Letöltés dátuma: 2024.10.10.

Szerzők

Gáspár Natália Eszter

Környezetgazdálkodási agrármérnök MSc. hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő Páter Károly utca 1.

gnata00@gmail.com

Dr. Géczy Gábor PhD

habilitált egyetemi docens

Környezettudományi Intézet, Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék,

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

geczy.gabor@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

