

DIPLOMADOLGOZAT

Gonda-Nagy Melitta

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Környezettudományi Intézet
Környezetmérnöki mesterképzési szak

**Lakossági biomassza alapú tüzelés hatása a szálló por
koncentrációra a Gödöllői-dombság területén**

Belső konzulens: Dr. Géczi Gábor
egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Környezettudományi Intézet,
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai
Tanszék

Készítette: Gonda-Nagy Melitta

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	2
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. A légkör összetétele.....	4
2.1.1. Szén-dioxid.....	5
2.1.2. Nitrogén-oxidok	6
2.1.3. Szén-monoxid.....	6
2.1.4. Kén-dioxid.....	7
2.1.5. Ózon	7
2.1.6. Illékony szerves anyagok (VOC)	8
2.1.7. Aeroszolok	8
2.2. Városok és légszennyezés	11
2.3. Levegő- és klímavédelmi törekvések az Európai Unióban és Magyarországon	13
2.3.1. Nemzetközi klímavédelmi törekvések	14
2.3.2. Energiaellátás kérdése az Európai Unióban	17
2.3.3. Hazai szabályozási környezet.....	18
2.4. Szálló por az Európai Unióban	20
2.5. Szálló por Magyarországon	22
3. Alkalmazott módszerek	26
3.1. A mérés célja	26
3.2. Méréshez használt műszer bemutatása	26
3.3. Mérési helyszínek	27
3.4. Adatgyűjtés és -feldolgozás folyamata.....	29
4. Eredmények és értékelésük	31
4.1. Vizsgált időszak meteorológiai jellemzői.....	31
4.2. Szálló por koncentrációja a téli és a nyári időszakban	34
4.3. Szálló por koncentrációjának változása a napszakok függvényében	41
5. Következtetések és javaslatok	52
6. Összefoglalás.....	54
Irodalomjegyzék.....	56
Ábrák és táblázatok jegyzéke.....	62

1. Bevezetés és célkitűzések

A légszennyezés globális szinten nagy problémát jelent. Kiváltó okai között szerepel többek között a növekvő népességszám, a fokozott városiasodás, a folyamatosan növekvő fogyasztói igényeket kiszolgáló iparágak termeléséből eredő kibocsátás, az ezzel járó lakossági és ipari energiaigény folyamatos növekedése, illetve a jelenlegi globális energiapolitikai helyzet.

2020-ban az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (a továbbiakban EEA) elemzése alapján az Európai Unióban (a továbbiakban EU) a városi lakosság 96%-a volt kitéve az Egészségügyi Világszervezet (a továbbiakban WHO) által meghatározott egészségügyi határértéket meghaladó szálló por koncentrációnak (EEA, 2022). Annak érdekében, hogy ez az érték alacsonyabb legyen, számos uniós kezdeményezés lépett életbe, többek között az *„Út a szennyezőanyag-mentes levegő, víz és talaj felé”* Uniós cselekvési terv, mely rögzítette, hogy 2005-höz képest 2050-ig a legtöbb iparágban el kell érni a közel nulla üvegházhatású gáz kibocsátási szintet (Európai Bizottság, 2021).

A COVID-19 járvány miatt elmaradt energetikai infrastruktúrát érintő felújítási és karbantartási munkálatok, a kedvezőtlen időjárási viszonyok, illetve az Oroszországtól való energiafüggőség miatt 2022-ben a földgáz és a kőolaj energiapiaci árai rekordot döntöttek, melynek következtében megnöttek mind a lakossági, mind az ipari energiaárak. A lakosság egy része elkezdett áttérni a megújuló energiaforrások használatára, főként napelemek felszerelésével, illetve hőszivattyúkkal. Ezzel szemben a lakosság másik része, illetve számos iparág inkább visszatért a biomassza, fa és szén alapú tüzelésre, mely a különböző égéstermékek (például CO_x, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}) légkörbe jutásával hozzájárul az üvegházhatású gázok koncentrációjának további növekedéséhez.

A levegőminőség-mérést a mérés helyszínétől és körülményeitől függően három csoportra oszthatjuk. Munkaegészségügyi és lakáshigiéna szempontjából a mérést végezhetjük zárt helységben, ekkor beltéri levegőminőség vizsgálatról beszélünk. Amennyiben a szabadban végezzük el a mérést, abban az esetben immisszió-mérést végzünk, melyet légköri nyomáson és hőmérsékleten hajtunk végre, a mérés értékeire pedig főként a pillanatnyi meteorológiai tényezők hatnak. A harmadik módszer pedig az emissziós-mérés, mely általában egy magas hőmérsékletű, nagy nyomás vagy vákuum alatt álló rendszer kibocsátásait vizsgálja (Bozó et al. 2001).

A vizsgálatokat végezhetjük fix mérőállomások telepítésével, illetve mobil és/vagy kézi mérőeszközök használatával. Egy adott terület légszennyezettségi állapotát leggyakrabban fix

mérőállomásokkal vizsgálják, melyek segítségével a levegőben található szennyezőanyagok koncentrációját nagy pontossággal meg lehet állapítani, de a kézi eszközök használata is releváns információval szolgálhat egy adott település vagy régió légszennyezettségével kapcsolatban.

Jelen diplomamunka keretein belül három településen (Gödöllő, Isaszeg és Pécel) kihelyezett fix mérőállomáson végzett mérések eredményeit fogom feldolgozni, mellyel főként a levegőben található aeroszolok (PM_{10} , $PM_{2.5}$) koncentrációját mértem. Azt fogom megvizsgálni, hogy a téli és nyári hónapok között mekkora különbség mutatkozik a szálló por koncentrációt illetően. Emellett elemzem a korábbi évek (2021. január 1 – 2023. szeptember 31.) Országos Meteorológiai Szolgálat által, a Budapest XVIII. kerületi Gilice téren kihelyezett automata mérőállomás értékeit annak érdekében, hogy megvizsgáljam, hogyan változott Magyarország levegőminősége az elmúlt évek viszonylatában és a jelen energetikai válság tükrében, illetve milyen tendencia mutatkozik a szálló por koncentrációt illetően. Arra a kutatási kérdésre keresem a választ, hogy a jelenlegi globális és európai energiapiaci helyzet és a lakosság biomassza tüzelésre való nagyobb mértékű átállása milyen módon hatott a vizsgált magyarországi települések levegőminőségére.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A légkör összetétele

A légkör 78%-át a nitrogén, 21%-át az oxigén, a fennmaradó 1%-át pedig a különböző egyéb gázok teszik ki, mint például a nemesgázok (pl. argon, hélium), szén-dioxid, vízgőz, egyéb üvegházhatást okozó gázok (pl. metán, nitrogén-oxidok) és az aeroszolok (Lagzi et al. 2013).

A légkört alkotó gázokat a légköri tartózkodási idejük alapján három csoportba sorolhatjuk: vannak az állandó gázok, melyek több, mint 100 évig tartózkodnak a légkörben. Ide tartozik például a nitrogén (N₂), oxigén (O₂) és az argon (Ar). A második csoportot a változó gázok alkotják, melyek 1-100 év közötti időtartamig találhatóak meg a légkörben. Ilyen gáz többek között a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄), a dinitrogén-oxid (N₂O) és az ózon (O₃), illetve vannak az erősen változó gázok, melyek kevesebb, mint 1 évig lehetők fel a légkörben, mint például a szén-monoxid (CO), nitrogén-dioxid (NO₂), ammónia (NH₃) és a kén-dioxid (SO₂) (Bartholy et al. 2013).

Halmazállapot szerint a szennyezőanyagok három csoportját különböztethetjük meg: vannak a szilárd, a cseppfolyós és a gáz halmazállapotú anyagok. Eredet szerint pedig két csoportra oszthatjuk őket: vannak a természetes eredetű (pl. vulkánkitörés, növények által kibocsátott illékony szerves vegyületek), illetve antropogén eredetű (pl. fosszilis tüzelőanyagok égetése, közlekedés, vegyipar, bányászat, mezőgazdaság, hulladékkezelés) szennyezőanyagok.

A légszennyező anyagok többféleképpen hathatnak a légkörre. Számos anyag hozzájárul az üvegházhatás növekedéséhez, továbbá az ózonpajzs károsításához. Azt, hogy egy adott gáz mekkora mértékben járul hozzá az üvegházhatáshoz, az úgynevezett Globális Felmelegedési Potenciál segítségével – angol nevén Global Warming Potential (a továbbiakban GWP) – tudjuk megvizsgálni. Alapegységének az 1 kg szén-dioxid 100 év alatt kifejtett légkörmelegítő hatását tekintjük. Az alábbi táblázat foglalja össze a főbb üvegházhatást okozó gázok GWP-jét (http1).

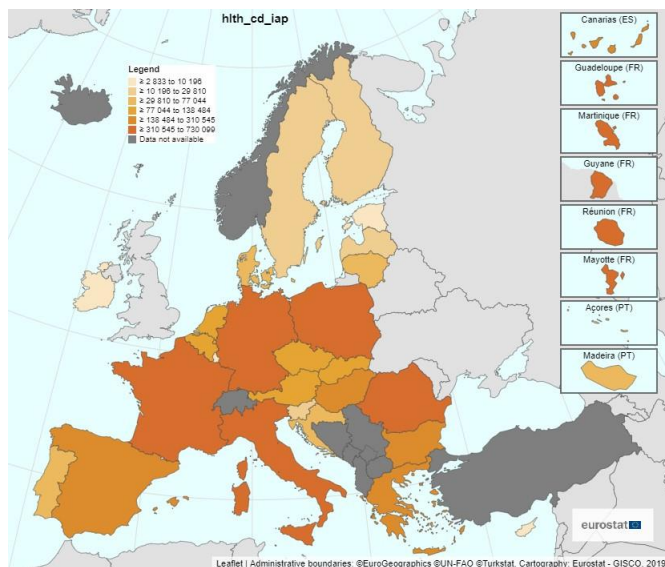
1. táblázat: Főbb üvegházhatást okozó gázok Globális Felmelegedési Potenciálja
(Forrás: http1)

Gáz	Élettartam (év)	GWP		
		20 év	100 év	500 év
szén-dioxid	-	1	1	1
metán	12	56	21	6,5
dinitrogén-oxid	120	280	310	170
kén-hexafluorid	3200	16 300	23 900	34 900

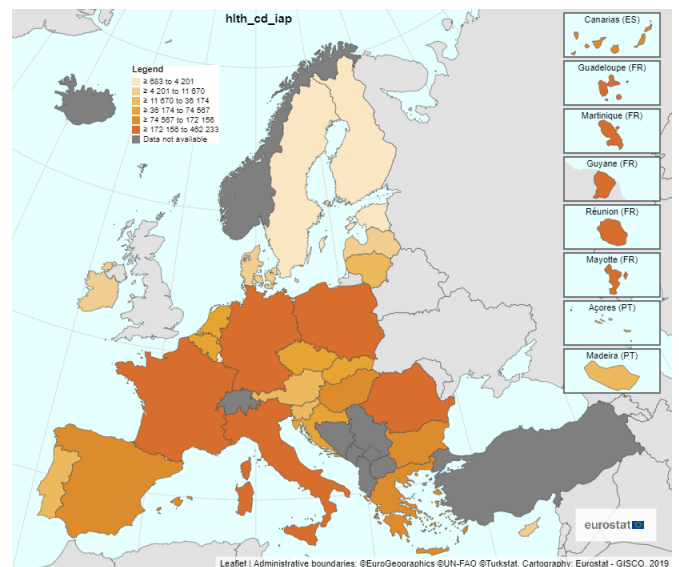
Mindemellett több tanulmány is kimutatta, hogy számos egészségügyi hatása is lehet a légkörbe került szennyezésnek, mint például asztma, légúti hámsejtek sérülése, krónikus allergia, tüdőrák, trombózis és egyéb kardiovaszkuláris megbetegedések (Anderson et al. 2011; Li et al. 2022).

Az Európai Bizottság adatai szerint, míg 2011-ben több, mint 4,5 millió haláleset volt légszennyezéshez köthető, ez a szám 2020-ra 2,4 millióra csökkent, ami többek között az egyre korszerűbb technológiáknak, másrészt a számos üvegházhatású gáz kibocsátását csökkentő globális és Európai Uniósi kezdeményezésnek köszönhető. Ahogy az alábbi ábrákon is látható, főként a közép- és közép-kelet-európai országokban a legmagasabb a légszennyezésnek tulajdonítható halálozások száma (http2).

1. ábra: PM_{2.5} okozta halálozások száma 2011-ben. (Forrás: http2)



2. ábra: PM_{2.5} okozta halálozások száma 2020-ban. (Forrás: http2)



Az alábbi alfejezetekben részletesen bemutatásra kerülnek a legfőbb, üvegházhatáshoz nagy mértékben hozzájáruló gázok.

2.1.1. Szén-dioxid

A szén-dioxid (CO₂) színtelen, szagtalan, vízben oldódó, levegőnél nehezebb gáz, mely a változó gázok csoportjába tartozik. A szén és széntartalmú anyagok tökéletes égése során keletkezik.



A légkörbe természetes úton – például biomassza bomlása, állatok és növények légzése –, illetve antropogén tevékenységek, főként fosszilis tüzelőanyagok elégetése során kerül. A

légköri szén-dioxid kibocsátás közel 75%-ért a fosszilis tüzelőanyagok elégetése felel az Európai Unióban ([http3](#)).

Természetes légkörből való eltávolításának folyamata a fotoszintézis, mely során a növények a napfényt energiává, a szén-dioxidot és a vizet pedig oxigénné és cukorrá alakítják ([http4](#)). Emiatt az erdőknek és a zöldfelületeknek kiemelt szerepe van a szén-dioxid megkötésben.

2.1.2. Nitrogén-oxidok

A nitrogén-oxidok (NO_x) tartózkodási idejüket tekintve az erősen változó gázok csoportjába tartoznak. Magas hőmérsékleten lejátszódó égési folyamatok melléktermékei – főként a közlekedés és a különböző ipari tevékenységek során keletkeznek. Hozzájárulnak a savas eső kialakulásához.

A nitrogén-monoxid (NO) főként tüzelés során, elsődlegesen keletkező instabil gáz, mely a légkörben található oxigénnel nitrogén-dioxiddá alakul. Az így keletkező nitrogén-dioxid (NO₂) rendkívül reakcióképes, vörösesbarna színű, levegőnél nehezebb gáz, melynek fő forrásai a növényzet és a talajban található baktériumok, illetve a közlekedés, az ipari és lakossági égetés ([http5](#)).



Egészségügyi hatásukat tekintve irritálják a szemet, a bőrt és a légzőszervet, belégzésük pedig tüdővizenyőt okozhat ([http5](#)).

2.1.3. Szén-monoxid

A szén-monoxid (CO) színtelen, szagtalan, vízben kevésbé oldódó, rendkívül mérgező gáz. A légkörben átlagosan néhány hónapot tartózkodik, így a nitrogén-oxidokhoz hasonlóan az erősen változó gázok közé soroljuk. Tökéletlen égés esetében keletkezik, fő forrása a vulkáni tevékenység és a közlekedés, de házi tüzelőberendezésekben is keletkezhet, amennyiben az égéshez nem áll rendelkezésre elegendő oxigén. Közvetlenül nem előállítható, keletkezésének egyik módja, amikor az izzó szén a szén-dioxidot szén-monoxiddá redukálja (Lagzi et al. 2013).



Szervezetre kifejezetten káros, mivel gátolja az oxigén szállítását a vérben – a hemoglobinhoz kapcsolódva carboxyhemoglobin keletkezik, ami oxigénhiányos állapotot okoz (Kozlova et al. 2020).

2.1.4. Kén-dioxid

A kén-dioxid (SO₂) színtelen, szúrós szagú, levegőnél nehezebb, vízben jól oldódó savas kémhatású gáz. Vízrel érintkezve kénsav keletkezik, a levegőben pedig szulfáttá alakul, ezáltal másodlagos részecske keletkezik, ami az aeroszolok egyik összetevője (http6). Természetes forrásai a vulkánok, óceánok és erdőtüzek, míg antropogén forrása főként a fosszilis tüzelőanyagok égetése. A nitrogén-oxidokhoz hasonlóan hozzájárul a savas eső kialakulásához, mely rendkívüli mértékben károsítja a környezetet.

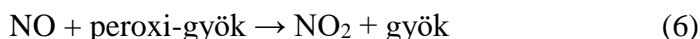


Magas koncentrációban köhögést, hörghurutot, nyálkahártya irritációt, tüdőödémát és tudatzavart okozhat (http6).

2.1.5. Ózon

A troposzférikus ózon (O₃) nagy tömegben halvány kékes színű, szúrós szagú, levegőnél nehezebb gáz, mely erős oxidáló tulajdonsággal rendelkezik.

A levegőbe nem közvetlen kibocsátás útján kerül, hanem fotokémiai folyamat során keletkezik, mely főként a belső égésű motorokból, a fűtésből és tüzelésből származó nitrogén-monoxid kibocsátásnak tulajdonítható. A légkörben jelenlévő nitrogén-monoxid szabad gyökök hatására oxidálódik, ezzel nitrogén-dioxid alakul ki, mely a napsugárzás hatására nitrogén-monoxiddá és atomos oxigénné (O) bomlik. Az így keletkezett atomos oxigén a légkörben jelenlévő oxigén molekulákkal ózonná alakul (http7).



Az ózon a Los Angeles típusú szmog egyik okozója, továbbá terméskárokat okoz a mezőgazdaságban, mivel károsítja a növények leveleit, ezzel gátolva a fotoszintézist és a gyökérlégzést. Mindemellett, a szálló por és a nitrogén-dioxid mellett a talaj melletti ózon hat a legjelentősebben az egészségre, mivel erősen mérgező, nagy koncentrációban fokozott fizikai fáradtságot, köhögést okoz, továbbá belélegezve károsítja a tüdőt (http8).

2.1.6. Illékony szerves anyagok (VOC)

Az illékony szerves anyagok – angolul Volatile Organic Compounds (VOC) – fő forrásai a természetes kibocsátók, mint például az erdők, füves, bokros területek, mezőgazdasági területek, óceánok és a talaj. Antropogén tevékenység következtében is bekerülhetnek a légkörbe, főként fával vagy biomasszával való fűtés során, emellett jelentős a közlekedésből származó kibocsátás is (Lagzi et al. 2013).

2.1.7. Aeroszolok

Az aeroszolok (PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{0.1}$), olyan, a levegőben diszpergált állapotban jelenlévő folyékony vagy szilárd halmazállapotú részecskék, melyek kormot, nehézfémeket és szerves anyagokat tartalmazhatnak. Élettartamuk a néhány perctől több hónapig is tarthat, mely függ a részecskék tömegétől és méretétől. Méretük 0,001 és 100 μm között alakul (Simon, 2004).

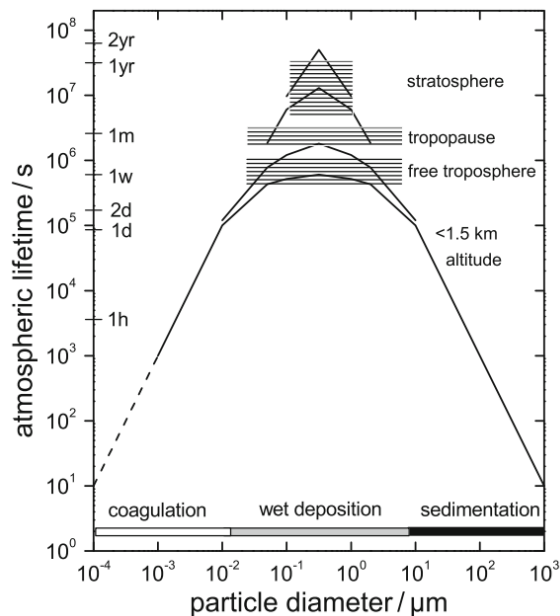
Az aeroszolok keletkezésüket illetően két csoportra oszthatjuk. Az elsődleges, azaz primer aeroszol részecskék nem kémiai úton keletkeznek, hanem főként antropogén tevékenység eredményei, mint például:

- szén- és olajtüzelés, mely során elemi szén juthat a levegőbe;
- hulladékégetés, mely szerves anyagokat juttat a légkörbe;
- színesfém kohászat, mely során réz, higany, cink részecskék kerülhetnek a levegőbe;
- illetve közlekedés, aminek következtében nehéz szénhidrogének, elemi szén jut a légkörbe (Bartholy et al. 2013; Lagzi et al. 2013).

A primer részecskékkel szemben a másodlagos, azaz szekunder aeroszol részecskék kémiai úton keletkeznek a légkörben. Főbb komponensei például a szulfátok és nitrátok (Lagzi et al. 2013).

Az aeroszol részecskék jellegzetes mozgása a Brown-mozgás, amely a gázmolekulákkal való ütközés eredménye (Lagzi et al. 2013). Gravitációs ülepedési folyamatuk lassú, ezáltal hosszú időn keresztül a levegőben maradnak. Az alábbi ábra szemlélteti az aeroszolok mérete és légkörben való tartózkodási ideje közötti összefüggést. A koaguláció a porszemcsék irreverzibilis összetapadását jelenti. A légkörből való kikerülésük pedig történet száraz vagy nedves ülepedéssel, illetve szedimentációval, azaz gravitációs ülepedéssel (Petzold-Karcher, 2012).

3. ábra: Aeroszol részecskék légköri tartózkodási ideje a méretük függvényében. (Forrás: Petzold-Karcher, 2012)



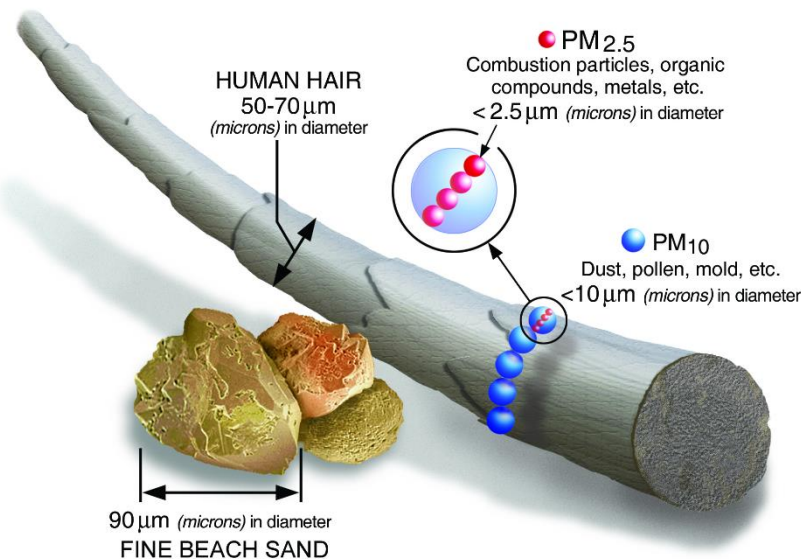
A PM_{10} részecskék átmérője 2,5-10 mikrométer közötti. A 306/2010. kormányrendeletben rögzített definíció szerint a PM_{10} „a szálló por azon frakciója, amelynek legalább 50%-a átmegy a PM_{10} mintavételének és mérésének referenciamódszerére az MSZ EN 12341:2001 szabványban meghatározott 10 μm aerodinamikai átmérőjű szelektív szűrőn” (http9). Fő forrása a közlekedés, az építőipar, a mezőgazdaság és az energiaszektor, továbbá a háztartási tüzelés (Hopke et al. 2020). PM_{10} -nek számít a por, a penész, a vulkáni hamu, a homok, illetve egyes növényi és rovarrészecskék. Éves egészségügyi határértéke 40 $\mu g/m^3$, 24 órás egészségügyi határértéke pedig 50 $\mu g/m^3$, ami a naptári év alatt 35-nél többször nem léphető túl (http10).

Ezzel szemben a $PM_{2.5}$ részecskék átmérője 2,5 mikrométernél kisebb. A 306/2010. kormányrendelet szerinti definíciója szerint a $PM_{2.5}$ „a szálló por azon frakciója, amelynek legalább 50%-a átmegy a $PM_{2.5}$ mintavételének és mérésének referenciamódszerére az MSZ EN 14907:2006 szabványban meghatározott 2,5 μm aerodinamikai átmérőjű szelektív szűrőn” (http9). Minden égéssel járó tevékenység során keletkeznek $PM_{2.5}$ részecskék – járművek belsőégésű motorjai, erőművek, fatüzelés, erdőtüzek, mezőgazdasági hulladékégetés és számos ipari folyamat a főbb kibocsátók (Hopke et al. 2020). Ami a határértékeket illeti, az éves egészségügyi határérték 25 $\mu g/m^3$, viszont Európai Unió viszonylatban 24 órás határérték még nem került megállapításra. Az Egészségügyi Világszervezet (angol nevén World Health

Organization, továbbiakban WHO) $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -ot határozott meg mint napi határérték, éves határértékként pedig $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ az irányadó javaslat (WHO, 2021).

Szemléltetésképp, az alábbi ábra bemutatja, hogy egy emberi hajszál átmérőjéhez képest mekkora egy PM_{10} és egy $\text{PM}_{2.5}$ részecske.

4. ábra: PM_{10} és $\text{PM}_{2.5}$ részecske mérete
(Forrás: [http11](http://11))



A szálló por koncentrációja és az adott terület időjárási viszonylatai között erős korreláció figyelhető meg. Egy Svájcban végzett kutatás során 1991 és 2008 között 13 városban méréseket végeztek és azt vizsgálták, hogy a meteorológiai tényezők mennyire befolyásolják a PM_{10} koncentrációt (Báthory et al. 2018). A tanulmány kimutatta, hogy a koncentrációt erősen befolyásolja többek között az adott terület hőmérséklete, a légköri nyomás, a függőleges légcseré, a földrajzi adottságok (domborzat) és az évszak (főként a téli és nyári hónapok között figyelhető meg nagy különbség) (Báthory et al. 2018). Az eredményeket az alábbi táblázat foglalja össze. Ahol (-) jel szerepel, az a tényező csökkenti, míg a (+) növeli a levegőben található szálló por mennyiségét.

5. ábra: Meteorológiai tényezők hatása a szálló por koncentrációra
(Forrás: Báthory et al. 2018.)

Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél	Éves
széllökés (-)	dátum (-)	széllökés (-)	széllökés (-)	napi csapadék (-)
keveredési rétegvas-tagság (-)	széllökés (-)	keveredési rétegvas-tagság (-)	keveredési rétegvas-tagság (-)	széllökés (-)
előző napi csapadék (-)	délutáni hőmérséklet (+)	előző napi csapadék (-)	hőmérséklet (-)	dátum (-)
relatív páratartalom (-)		napi csapadék (-)	előző napi csapadék (-)	előző napi csapadék (-)
nettó besugárzás (-)			nettó besugárzás (+)	fronthatás óta eltelt napok (+)
napi csapadék (-)			napi csapadék (-)	keveredési rétegvas-tagság (-)
				hőmérséklet (-)

Ahogy látható, jelentős különbség figyelhető meg az évszakok között – tavasszal és ősszel az időjárási tényezők főként csökkentik a levegőben található szálló por mennyiségét (például az erősebb légmozgás elősegíti a légrétegek keveredését), addig a nyári és téli időszakban a hőmérséklet és a nettó besugárzás hozzájárul a magasabb szálló por koncentrációhoz.

2.2. Városok és légszennyezés

Napjainkban a világ lakosságának több, mint ötvennégy százaléka, az európai lakosságnak pedig több, mint hetvennégy százaléka városokban él, ami a természeti erőforrások egyre fokozódó igénybevételével jár (http12; http13). Annak érdekében, hogy a városok ki tudják szolgálni a népesség igényeit, új létesítmények kialakítására van szükség, mely tovább növeli a városokban az energiafelhasználással járó tevékenységek volumenét, ezzel hozzájárulva a pont- és diffúz források számának emelkedéséhez. Légszennyező pontforrás alatt olyan forrást értünk, mely esetében a légszennyező anyag kibocsátási jellemzői (például kibocsátási koncentráció, hőmérséklet, nyomás) mérésel vagy műszaki számítással meghatározható. Ezzel szemben a diffúz forrás olyan levegőterhelést okozó tevékenység, mely nem minősül légszennyező pontforrásnak (http9).

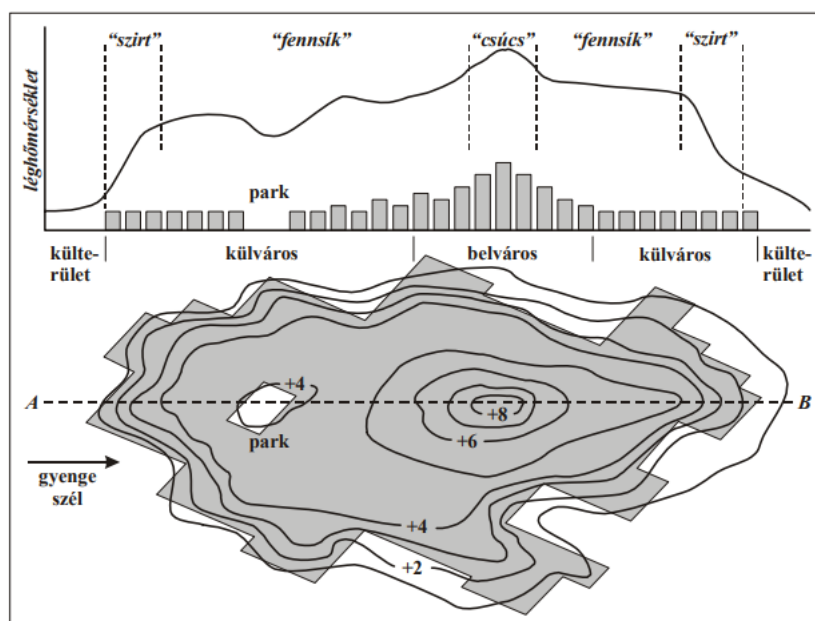
A települések hő- és vízgazdálkodási tulajdonságaira több tényező is hatással van, mint például a domborzat, tengerszint feletti magasság, felszínborítás és vízfelületek (Bános, 2012). A nagyfokú beton és aszfalt borítottság miatt magasabb az átlaghőmérséklet a városokon belül, mint a vidéki területeken, emellett az épületek sűrűsége lecsökkentheti a szélcsatorna területét és módosíthatja a szél irányát, sebességét és a légáramlást. Ezek következtében a városok

asszimilációs kapacitása, azaz az a képessége, hogy a természet a szennyezést ártalmatlanítani tudja, lecsökken, ezáltal kialakul egy sajátos klíma, amit városklímának nevezünk. Ez azt jelenti, hogy a beépített területekre más éghajlat jellemző, mint a városon kívüli területekre. Ezt a jelenséget városi hőszigetnek, másnéven Urban Heat Island-nek (UHI) nevezzük (Unger, 2010).

A városi hősziget kialakulása mögött több tényező is áll, melyek közül az egyik legfontosabb a szálló por és az üvegházhatású gázok város feletti légrétegekben való felhalmozódása. Továbbá a városi felszín a beépítettség és tagolt morfológia miatt alacsony sugárzás-visszaverő képességgel rendelkezik, ami szintén hozzájárul a hőtöbblet kialakulásához (Belügyminisztérium – VÁTI, 2011). Mindezek miatt a városi zöldfelületek rendkívül fontosak a megfelelő városklíma kialakítása, illetve a szálló por koncentráció csökkentése szempontjából, mivel a nagyobb arányú zöldfelületek növelik a város evapotranszpirációs készletét, ezáltal az oxigén-kibocsátás és párolgás elősegíti a szálló por és egyéb szennyezőanyagok szűrését és megkötését (Qiu et al. 2013). A városi hőszigetet az alábbi ábra szemlélteti.

6. ábra: A városi hősziget vázlatos keresztmetszeti képe és horizontális szerkezete ideális körülmények között.

(Forrás: Unger, 2010)



Ahogy látható, a belvárosi, sűrűn beépített területeken a legmagasabb a hőmérséklet, míg a külterületeken, parkokban alacsonyabb hőmérséklet alakul ki. Ami a napszakok közötti megoszlást illeti, azokban a főként reggeli és késő délutáni órákban figyelhetjük meg a

légszennyező anyagok legmagasabb koncentrációját, amikor intenzív a közlekedés. Évszakok közül télen mérhető a legmagasabb légszennyezettségi érték, aminek a háttérében a közlekedés mellett a lakossági fűtés áll. A nyárra pedig a fotokémiai szmog kialakulása a legjellemzőbb, mely a magas hőmérséklet és erős napsugárzás következménye (Bános, 2012).

2.3. Levegő- és klímavédelmi törekvések az Európai Unióban és Magyarországon

Napjaink egyik legégetőbb klímavédelmi problémája az üvegházhatású gázok koncentrációjának rendkívül gyors ütemű növekedése a légkörben, melynek háttérében főként az antropogén tevékenységek állnak. Az üvegházhatás rendkívül fontos tényező a Föld bioszférájának tekintetében: amennyiben nem lenne üvegházhatás, a Föld felszínén átlagosan 30 °C-kal lenne alacsonyabb az átlaghőmérséklet. Üvegházhatásról akkor beszélünk, amikor a Naptól érkező sugárzás eléri a Föld légkörét, majd a fölfelületről visszaverődik, a légkörben marad és a fényből hőenergia keletkezik (Bános, 2012).

Az üvegházhatás következményei a szélsőséges éghajlati események, mint például az özönvizek, áradások, hurrikánok, illetve tartós szárazságok egyes régiókban. 2021-ben például Magyarország területének 70%-a volt érintett aszályal ([http14](#)). Továbbá a sarkvidéki jégsapkák, gleccserek olvadása is az üvegházhatású gázok koncentráció-növekedésének tulajdonítható, mely a tengerszint jelentős emelkedését okozza. Az Európai Unió statisztikái alapján 1993 és 2022 között éves szinten 3,3 ($\pm 0,3$) millimétert, összesen pedig 9,7 centimétert emelkedett globálisan a tengerszint ([http15](#)). Az üvegházhatás hatással van továbbá a csapadékkörforgásra és a felszíni átlaghőmérséklet növekedésére is. 2022-ben az átlaghőmérséklet 0,85-0,87 °C-kal volt magasabb az 1991-2020 között mért átlaghőmérsékletnél ([http16](#)).

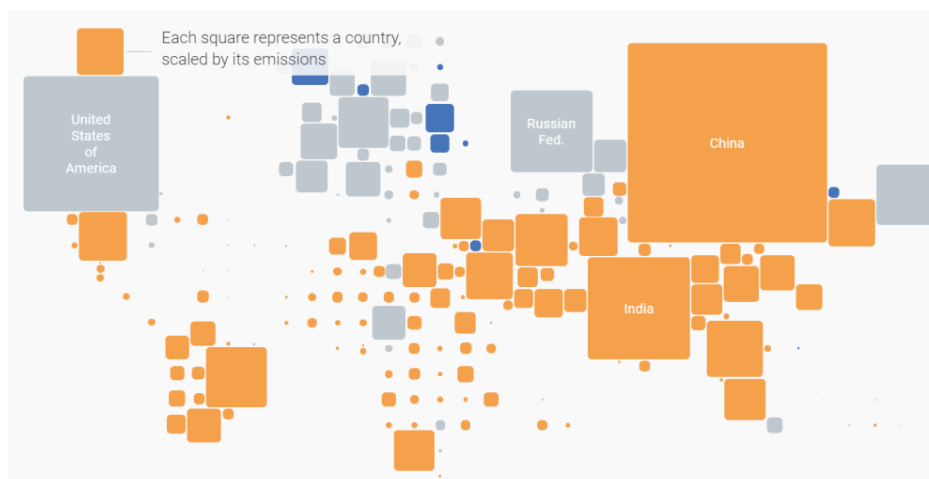
Annak érdekében, hogy globálisan csökkenjen a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok koncentrációja, a Kiotói jegyzőkönyvben és a Párizsi Megállapodásban rögzítésre kerültek a legfőbb üvegházhatást okozó gázok: szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid, fluorozott szénhidrogének, perfluor-szénhidrogének, kén-hexafluorid és a nitrogén-trifluorid ([http17](#); [http18](#)), melyek koncentrációjának csökkentésével kapcsolatban számos stratégia született mind az Európai Unióban, mind Magyarországon. Ezen stratégiák részletes bemutatására a következő fejezetekben kerül sor.

2.3.1. Nemzetközi klímavédelmi törekvések

Globális szinten kiemelt szerepet kap a klímavédelem, ezáltal az üvegházhatást okozó gázok koncentrációjának csökkentése. Az 1972-ben alapított ENSZ Környezetvédelmi Programja koordinálja a nemzetközi környezeti tevékenységekkel és a fenntartható fejlődéssel kapcsolatos kezdeményezéseket. Főbb feladatai közé tartozik többek között a környezet- és egészségvédelem összefüggéseinek vizsgálata, a településfejlesztés, a környezetvédelem, az energiatermeléssel kapcsolatos környezetkímélőbb és alternatív energiaforrásokra támaszkodó technológiák támogatása. Emellett folyamatosan vizsgálják és nyomon követik a világ üvegházhatású gázok kibocsátásának alakulását ([http19](#)).

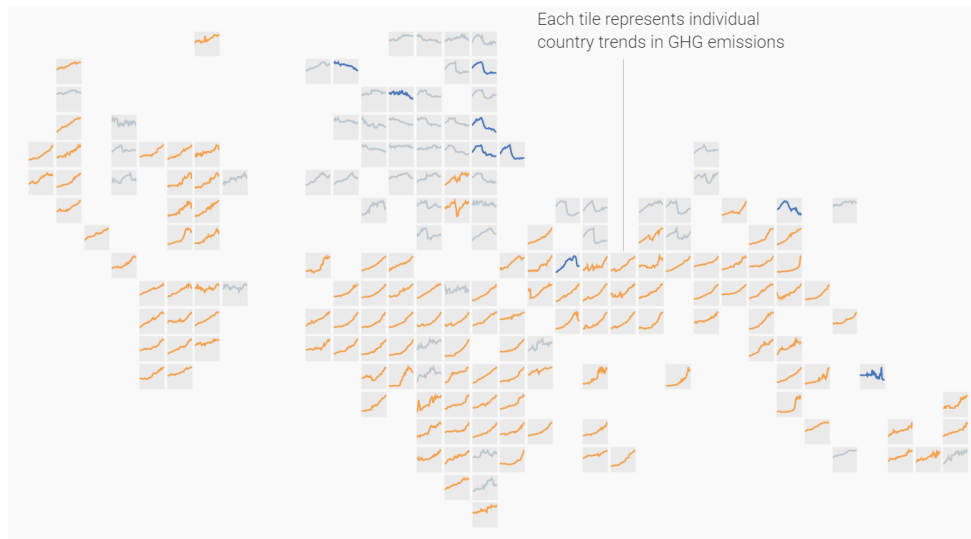
Ahogy az alábbi térképen látható, 2018-ban a három legnagyobb üvegházhatású gáz kibocsátó ország Kína, az Amerikai Egyesült Államok és India volt.

7. ábra: Legnagyobb ÜHG kibocsátó országok (2018)
(Forrás: UNEP, 2021)



A Párizsi Egyezmény hosszú távú célkitűzése, hogy a globális éves átlaghőmérséklet emelkedése az iparosodást megelőző szintekhez képest 2 °C alatt maradjon, de a cél a maximum 1,5 °C emelkedés ([http20](#)). Ennek érdekében számos ország vállalta, hogy lépéseket tesz az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése érdekében. Ahogy az alábbi ábra mutatja, 2018-ban a világ nagy részén az 1990-es állapothoz képest továbbra is növekedett az ÜHG kibocsátás – ez alól Európa nagy része kivétel: a legtöbb országban stagnált vagy csökkent a kibocsátás (UNEP, 2021).

8. ábra: Üvegházhatású gázok kibocsátásának változása országok szerint (2018)
(Forrás: UNEP, 2021)



Az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások minél nagyobb arányú használatának növelése az egyik legfontosabb területe az Európai Unió energetikai és klímavédelmi stratégiáinak, melyek alappillére az energiatakarékosági intézkedések optimális és hatékony kombinációja fenntartható energiaellátás biztosítása mellett.

Az Európai Unió környezetvédelmi törekvéseinek alapját a 2019. december 11-én előterjesztett Európai Zöld Megállapodás (angolul European Green Deal) jelenti, mely keretein belül számos olyan javaslat került elfogadásra, melynek fő célja többek között az üvegházhatású gázok nettó kibocsátásának 55%-kal való csökkentése 2030-ig az 1990-es kibocsátáshoz képest, majd 2050-ig az üvegházhatású gáz kibocsátás nullára való csökkentése. A megállapodás számos környezeti, társadalmi és gazdasági tényezőhöz is hozzájárul – elősegíti a levegő-, víz- és talajminőség javítását, támogatja az épületek korszerűsítését az energiahatékonyság növelésének érdekében, javítja a közösségi közlekedés állapotát, továbbá hozzájárul a tisztább technológiák elterjedéséhez (<http21>).

Az európai zöld megállapodás részeként 2021. május 12-án elfogadott „A levegőre, a vízre és a talajra vonatkozó szennyezőanyag-mentességről” szóló uniós cselekvési terv fő célkitűzése a szennyezés olyan mértékű csökkentése, amely nem minősül károsnak sem az egészségre, sem az ökoszisztémára. A légszennyezéssel kapcsolatban kettő fő cél került kitűzésre: 1) „a levegőminőség olyan mértékű javítása, hogy a légszennyezés okozta korai elhalálozások száma 55%-kal csökkenjen” és 2) „a légszennyezés 25%-os csökkentése ott, ahol az uniós ökoszisztémában veszélyezteti a biológiai sokféleséget” (<http22>).

Az Európai Bizottság 2021. július 14-én tette közzé a „Fit for 55” klímacsomagot, amiben szigorú követelményeket támasztottak a tagállamok felé annak érdekében, hogy az Unió elérje mitigációs és adaptációs céljait. A csomag nagy változást jelent mind az Unió, mind a tagállamok energia- és klímastratégiáiban. Az Európai Zöld Megállapodással összhangban célja, hogy az 1990-es kibocsátáshoz képest az üvegházhatású gázok nettó kibocsátása minimum 55%-kal csökkenjen 2030-ig, ezzel támogatva az EU 2050-ig kitűzött klímasemlegességi célját. Számos energiahatékonysággal, emisszió-kereskedelmi (angol nevén EU Emission Trading System – EU ETS, melynek célja főként az ipari tevékenységek során kibocsátott üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése) és közlekedési jogszabály felülvizsgálatra került, továbbá számos javaslat született a kibocsátás-kereskedelmi rendszer új ágazatokra való kiterjesztésével, illetve a kereskedelmi rendszer szigorításával kapcsolatban. A javaslatok közé tartozik például az, hogy a kibocsátás-kereskedelemből származó bevételek 100%-át a tagállamoknak éghajlat-politikai és energetikai projektekre kell fordítaniuk, illetve az, hogy 2030-ra az előállított energia 40%-nak megújuló energiaforrásokból kell származnia (http23).

Az egyik legfontosabb levegővédelemmel kapcsolatos irányelv az „*Európai Parlament és a Tanács 2008/50/EK irányelve a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról*” (http24). Az irányelvet 2008-ban fogadta el a Tanács és fő céljai közé tartozik „*a környezeti levegő minőségére vonatkozó célkitűzések meghatározása és létrehozása az emberi egészségre, valamint a környezet egészére gyakorolt káros hatások elkerülése, megelőzése vagy csökkentése érdekében*” (http24), továbbá egy egységes monitoring rendszer kialakítása a tagállamokban a környezeti levegő vizsgálatára vonatkozóan. Az irányelv a XI. mellékletében rögzíti továbbá a légkörbe kerülő gázok koncentrációjának határértékét is (http24).

A fentebb bemutatott cselekvési tervekkel összhangban számos légszennyezéssel és levegőminőséggel kapcsolatos stratégia és uniós cselekvési terv került elfogadásra, melyek többsége az Európai Zöld Megállapodás részét képezik. Az egyik legfőbb cselekvési terv a 2021-ben elfogadott „*Út a szennyezőanyag-mentes levegő, víz és talaj felé*” (http25), melynek egyik fő célkitűzése, hogy „*a levegő-, víz- és talajszennyezés olyan szintre csökken, amely már nem tekinthető károsnak az egészségre és a természetes ökoszisztémákra, és amely tiszteletben tartja azokat a korlátokat, amelyekkel bolygónk képes megbirkózni, toxikus anyagoktól mentes környezetet teremtve ezáltal*” (http25).

A cselekvési tervben kitűzött célok elérése érdekében a Bizottság javaslatot tett arra vonatkozóan, hogy a környezeti levegő minőségére vonatkozó irányelvek felülvizsgálatra kerüljenek, így összhangba hozva a WHO által meghatározott levegőminőségi előírásokkal (http26).

A finomrészecskékre is kitér a cselekvési terv – mivel a finomrészecskék (PM_{2,5}) prekursora az ammónia, ezért fontos tagállami szinten az ammónia-kibocsátás csökkentése. Az ammónia legfőbb forrása a mezőgazdaság, ennek érdekében a Bizottság a cselekvési terv szerint támogatni tervezi az alternatív takarmány-alapanyagok és az innovatív takarmány-alapanyagok alkalmazását. Mindemellett, a cselekvési terv a közlekedésből származó PM_{2,5} kibocsátásra is kitér, miszerint fontolóra veszi a Bizottság a hagyományos és elektromos járművek fékjeiből származó finom- és nanorészecskék kibocsátását (http25).

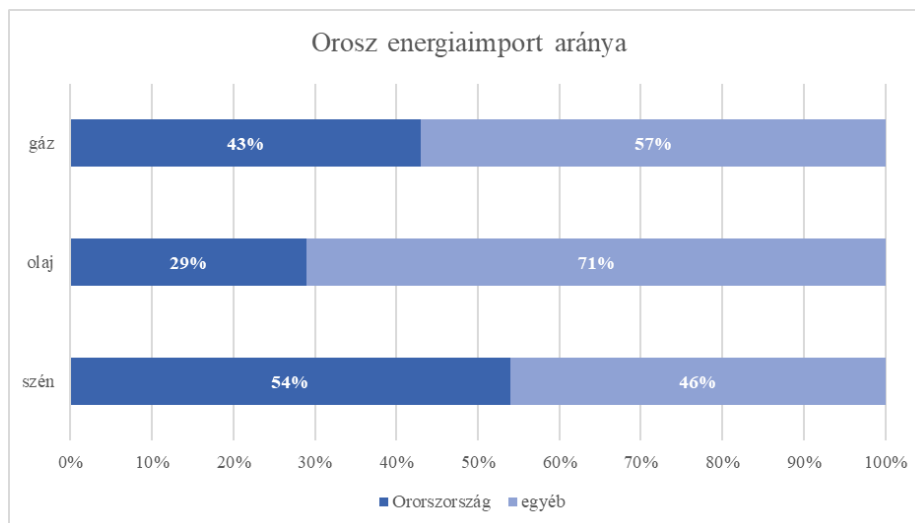
Az Európai Unió egyik legfontosabb légszennyezettséggel kapcsolatos programja és modellje az úgynevezett EMEP (angolul European Monitoring and Evaluation Program), mely a „*nagy távolságra jutó, országhatárokon átterjedő levegőszennyezésről szóló*” program keretein belül került elfogadásra (http27). A program célja a légszennyező anyagok terjedésének nyomon követése és értékelése annak érdekében, hogy a határokon átnyúló légszennyezési problémák nemzetközileg megoldásra kerüljenek (http28).

2.3.2. Energiaellátás kérdése az Európai Unióban

Az elmúlt évek geopolitikai eseményei hatására a jelenlegi globális és európai uniós energiapiac átalakulásra kényszerül. Az Oroszország Ukrajna ellen indított inváziója miatt 2022-ben az energiaárak nagy mértékben megemelkedtek, melynek következtében az energiaellátás bizonytalanná vált, mivel Európa energiafüggősége rendkívül jelentős volt az elmúlt évtizedekben. Az Európai Unió az Európai Bizottság adatai alapján nettó energiainportőr, ami azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló energiakészlet 58%-a 2020-ban unión kívülről érkezett. A legmagasabb energiafüggőségi rátával Málta (97,5%), a legalacsonyabbal pedig Észtország (10,5%) rendelkezett. Magyarország energiafüggőségi rátája kissé az EU-s átlag alatt helyezkedett el 56,6%-kal (http29).

Az Európai Unióba importált energia jelentős hányada Oroszországból érkezett. Ahogy az alábbi ábrán is látható, a szén 54%-a, a gáz 43%-a érkezett egy országból, ami rendkívül megnöveli az Európai Unió kitétségét a geopolitikai eseményeknek (http30).

9. ábra: Oroszországból származó energiaimport aránya
(Forrás: [http30](#) alapján saját szerkesztés)



A 2022-ben bekövetkezett energiaválság kezelésére és az energiaellátás diverzifikálására az Európai Unió több intézkedést is bevezetett. Ide tartozik többek között a REPowerEU terv elfogadása, melynek fő célja a tagállamok energiatakarékosságának növelése a gázkereslet csökkentésével, a megújuló energiaforrások támogatása, a gáztartalékok növelése és az energiaellátás diverzifikálása ([http31](#)). Ezen intézkedésekkel sikerült csökkenteni az Oroszországból érkező gázimport arányát – 2022. szeptemberében a gázimport 14%-a érkezett Oroszországból szemben a korábbi évek 43-45%-os arányával (Európai Bizottság, 2022).

Ami Magyarországot illeti, az elszálló energiaárak először főként a hazai vállalkozásokat érintették, mivel lakossági szinten 2022. augusztus 1-ig az energiaárak rögzítve voltak. Az energiaválság kezelése miatt viszont a 2022. július 21-én megjelent 259/2022. kormányrendelet kimondta, hogy bizonyos fogyasztás fölött a lakossági fogyasztók csak piaci áron jogosultak villamosenergiát és földgázt vásárolni ([http32](#)). Ezzel a rendelettel nagyjából egyidőben megjelent a 287/2022. rendelet, mely lazított a fakivágási szabályokon, ezzel hozzájárulva ahhoz, hogy több tűzifa álljon rendelkezésre a téli időszakban ([http33](#)). Mindkét rendelkezés közvetve vagy közvetlenül hozzájárulhat ahhoz, hogy a lakosság egyre nagyobb hányada álljon át a biomassza alapú tüzelésre, ezzel növelve a levegőben lévő szálló por koncentrációt.

2.3.3. Hazai szabályozási környezet

Magyarország 2019-ben készítette el a Nemzeti Energia és Klímatervét (továbbiakban NEKT), mely tartalmazza a 2030-ig elérni kívánt uniós energia- és éghajlatváltozási célok eléréséhez szükséges főbb lépéseket, melyek középpontjában az energiabiztonság és az energiaszuverenitás növelése, illetve az energiatermelés dekarbonizálása áll ([http34](#)). A NEKT-

ben rögzítettek szerint az ország 7%-kal tervezi csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását a 2005-ös állapothoz képest, továbbá az energiafogyasztás 21%-át megújuló energiaforrások fogják fedezni (ITM, 2019).

Az alábbi ábra összefoglalja, hogy a különböző prioritási tengelyek mentén milyen vállalásokat tett az ország.

10. ábra: Magyarország 2030-as energia- és éghajlatváltozási céljai.
(Forrás: <http34>)

	ÜVEGHÁZ-HATÁSÚGÁZ-KIBOCSÁTÁS	MEGÚJULÓ ENERGIA	ENERGIA-HATÉKONYSÁG	ÖSSZE-KÖTTETÉSEK	KLÍMAVÉDELEM AZ EU FINANSZÍROZTA PROGRAMOKBAN	CO ₂ -KIBOCSÁTÁS
2020	-20%	20%	20%	10%	2014-2020 20%	
2030	≥ -40%	≥ 32%	≥ 32,5%	15%	2021-2027 25%	Gépkocsik -37,5% Hasznjárművek -31% Teherautók -30%

Felfelé módosítási záradék (2023-ig)

Ahogy látható, az ország a legnagyobb vállalását az üvegházhatásúgáz-kibocsátás terén tette, mely szerint minimum 40%-kal fog csökkenni az ország ÜHG kibocsátása 2030-ig a 2005-ben mért kibocsátáshoz képest. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (továbbiakban EEA) adatai alapján Magyarország kibocsátása 2005-ben 70 957 kilotonna CO₂eq¹, míg 2021-ben 57 020 kilotonna CO₂eq volt, ami körülbelül 20%-os csökkenést jelent, ezzel az ország teljesítette a NEKT-ben rögzített vállalását (<http35>).

Az egyik legfontosabb levegővédelemmel kapcsolatos rendelet a „306/2010. (XII. 23.) Kormányrendelet a levegő védelméről” (<http9>), mely rögzíti a levegő védelmének általános szabályait, a levegőminőségi előírásokat, illetve szabályozza a légszennyező anyagok kibocsátását. Szálló por tekintetében meghatározza többek között a PM₁₀ és PM_{2,5} definícióját, a levegőterheltségi szint vizsgálatának követelményeit, ezen belül is az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat szerepét és feladatkörét (<http9>).

A másik legfontosabb rendelet a „6/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról” (<http36>), mely a legfőbb légszennyező anyagok vizsgálatával és ezek mérésével kapcsolatos követelményeket rögzíti. A rendelet 9. melléklete

¹ CO₂eq: egy adott üvegházhatású gáz szén-dioxid egyenértékben kifejezett értéke.

tartalmazza továbbá a PM₁₀-re és PM_{2.5}-re vonatkozó vizsgálati felső és alsó küszöbértékeket (http36).

A 24 órás és éves határértékek, a tájékoztatási és riasztási küszöbértékek a 4/2011. (I. 14.) VM rendeletben kerültek rögzítésre, melyeket a rendelet 1. melléklete tartalmaz (http10). Az alábbi táblázat összefoglalja a PM₁₀-re és PM_{2.5}-re vonatkozó értékeket.

2. táblázat: PM₁₀-re és PM_{2.5}-re vonatkozó határérték, tájékoztatási és riasztási küszöbérték (Forrás: http10 alapján saját szerkesztés)

Aeroszol	Határérték [µg/m ³]		Tájékoztatási küszöbérték [µg/m ³]	Riasztási küszöbérték [µg/m ³]
	24 órás	éves		
PM ₁₀	50	40	75 (24 órás átlag alapján, amennyiben két egymást követő napon eléri és nem várható javulás)	100 (24 órás átlag alapján, amennyiben két egymást követő napon eléri és nem várható javulás)
PM _{2.5}	-	25	-	-

2.4. Szálló por az Európai Unióban

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség 2023. április 24-én adta ki a legfrissebb riportját az Európai Unió levegőminőségével kapcsolatban, melyben a 2021. és 2022. évek adatait vizsgálták. Az értékelés rámutatott arra, hogy annak ellenére, hogy a levegőminőséget tekintve folyamatosan javuló tendencia mutatkozik, számos szennyezőanyag tekintetében még így is jóval a WHO által ajánlott határértéket meghaladó koncentráció volt megfigyelhető (EEA, 2023). Ahogy az alábbi ábra is szemlélteti, az EU által a környezeti levegő minőségéről szóló irányelvekben meghatározott határértékek szerint 2021-ben a lakosság kevesebb, mint 1%-a volt kitéve határértéket meghaladó PM_{2.5} koncentrációnak, ám ha a WHO ajánlását tekintjük, akkor ez az érték 97%-ra módosul. Ez főként annak tulajdonítható, hogy a WHO sokkal szigorúbb határértékeket állapított meg, mint az Unió (EEA, 2022).

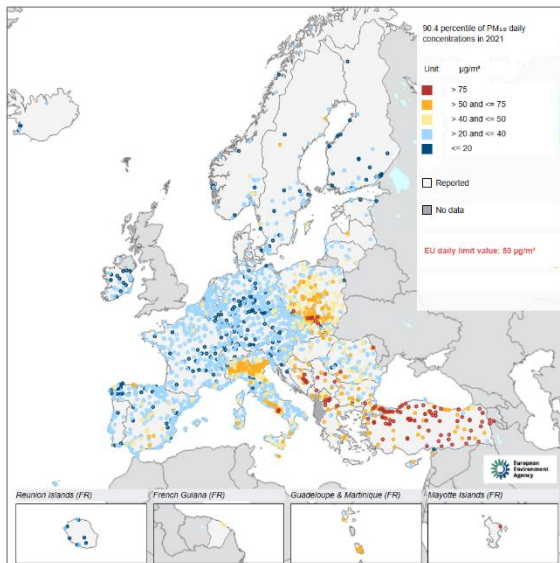
11. ábra: Európai Unió lakosságának kitettsége határértéket meghaladó $PM_{2.5}$ és PM_{10} koncentrációnak
(Forrás: EEA, 2023)



A legmagasabb szálló por koncentráció Közép-Kelet-Európában és Olaszországban volt megfigyelhető, amit főként a háztartásokban megfigyelhető fosszilis és biomassza alapú tüzelés magas aránya, illetve a közlekedésben részt vevő folyamatosan idősödő járműállomány okozhat. Az alábbi ábrák szemléltetik a PM_{10} és $PM_{2.5}$ koncentrációk terület szerinti megoszlását az Európai Unióban 2021-re és 2022-re vonatkozóan.

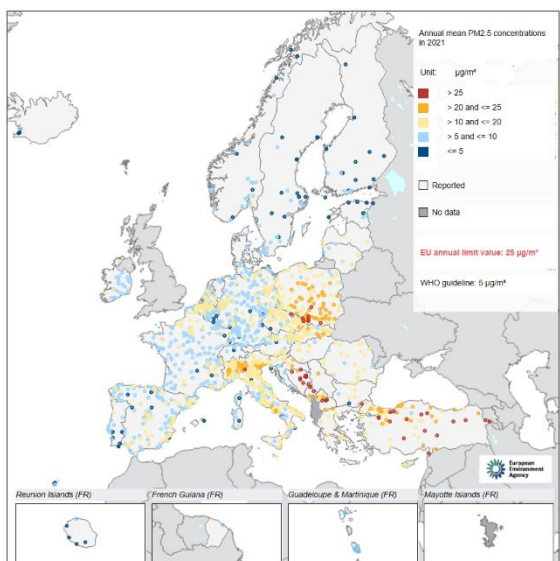
2021

12. ábra: PM₁₀ koncentráció 2021-ben.
(Forrás: EEA, 2023)



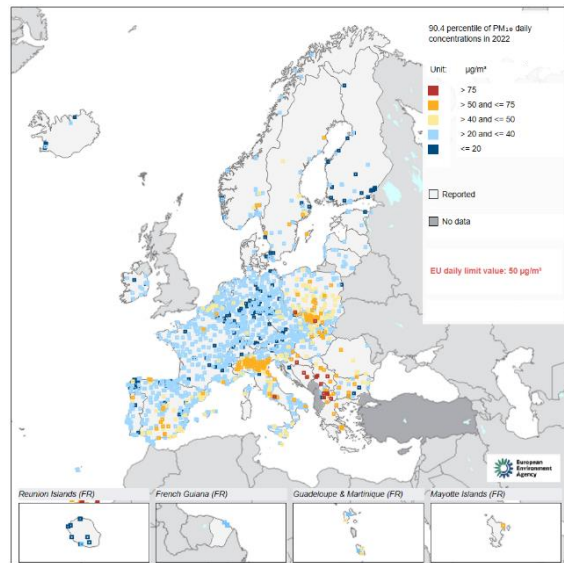
2021

14. ábra: PM_{2.5} koncentráció 2021-ben.
(Forrás: EEA, 2023)



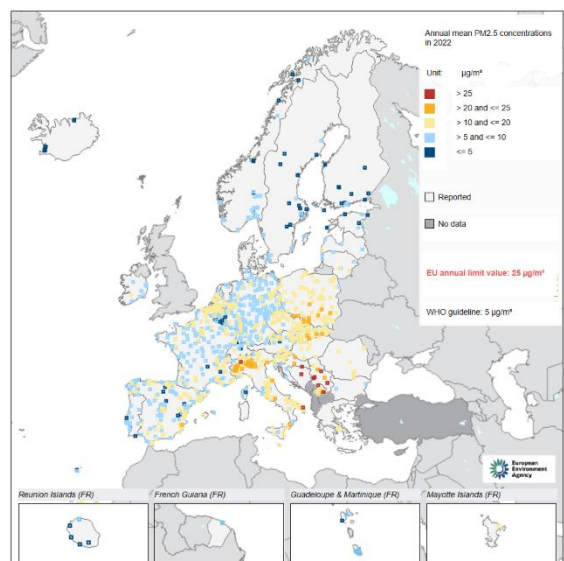
2022

13. ábra: PM₁₀ koncentráció 2022-ben.
(Forrás: EEA, 2023)



2022

15. ábra: PM_{2.5} koncentráció 2022-ben.
(Forrás: EEA, 2023)



2.5. Szálló por Magyarországon

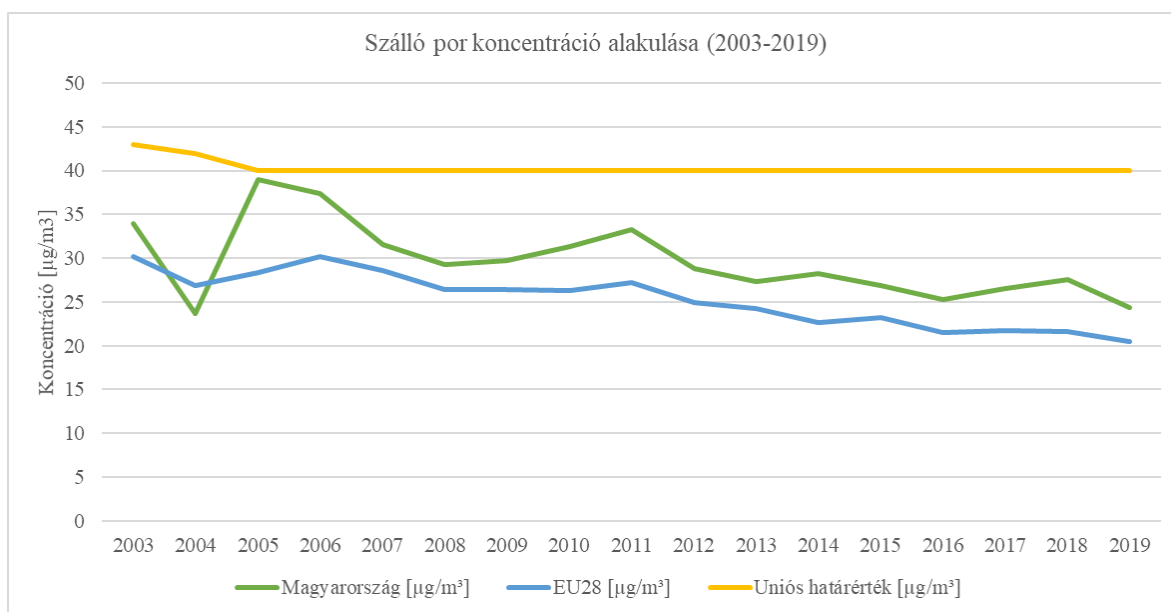
A hazai levegőminőség mérését, a mérési adatok feldolgozását és ezek értékelését az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (továbbiakban OLM) végzi, mely jelenleg 54 automata és 178 darab manuális mérőállomás segítségével valósul meg. Az automata mérőállomások CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂, BTEX², PM₁₀ és PM_{2.5} értékeket mérnek, míg a manuális

² BTEX vegyületek: benzol, toluol, etilbenzol és xilol

mérőállomások a NO₂, SO₂, üledő por, PM_{2.5}, PM₁₀ (és ebből nehézfémek mint As, Cd, Ni, Pb), poliaromás szénhidrogén (PaH) vegyületek vizsgálatát végzik. Az automata mérőállomások célja többek között információ nyújtása az aktuális koncentrációra vonatkozóan (percenként történik mérés), míg a manuális mérőállomások főként a hosszútávú trendek vizsgálatát támogatja ([http37](#)).

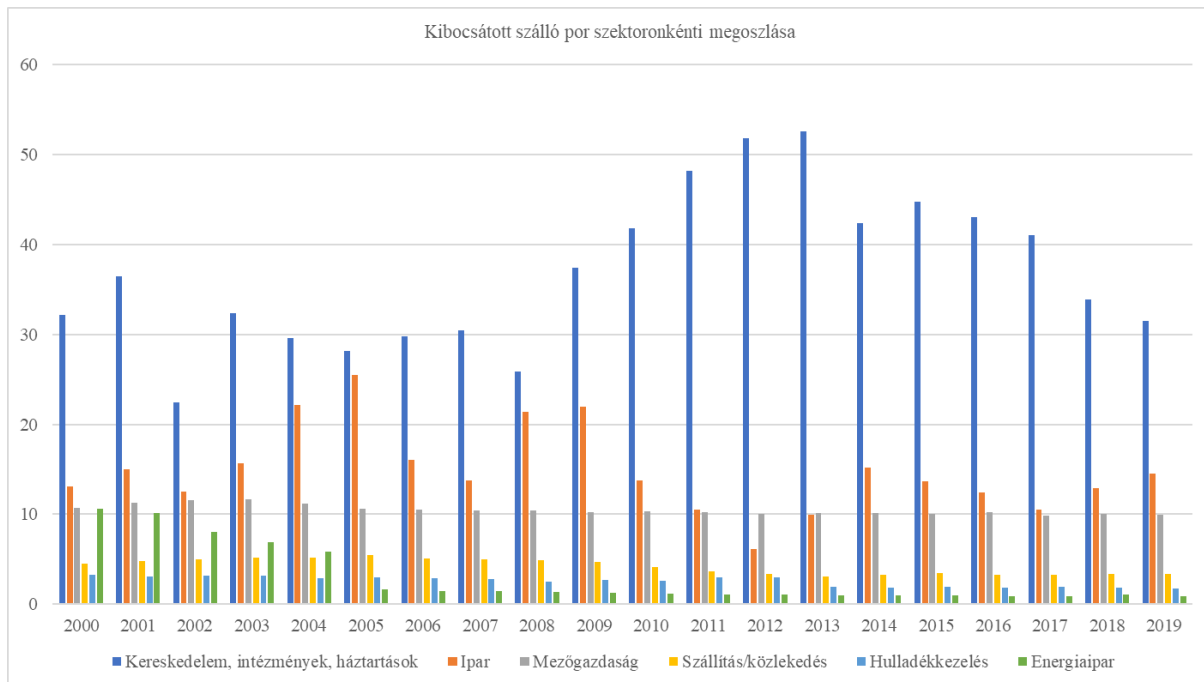
Ahogy az előző fejezetben is láthattuk, európai viszonylatban Magyarország a magas szálló por szennyezettséggel rendelkező országok közé sorolható. Ennek hátterében a folyamatosan előregedő járműállomány, az ipari tevékenységből származó kibocsátás, a lakossági fűtés és az ország földrajzi elhelyezkedése áll (Farkas Csamangó, 2014). Ezt a KSH adatai is alátámasztják – az alábbi ábra alapján 2003 és 2019 között a lakosság szálló por koncentrációjának való kitettsége a 2004-es évet kivéve az Európai Unió átlaga fölött volt ([http38](#)).

16. ábra: Szálló por koncentráció alakulása Magyarországon 2003-2019 között
(Forrás: Saját szerkesztés KSH ([http38](#)) adatai alapján)



A szálló por egyik legfőbb forrása a háztartások, kereskedelmi egységek és egyéb intézmények tették ki. Ahogy az alábbi ábrán is látható, míg 2000-ben a teljes kibocsátás 43%-ért ez a szektor volt felelős, addig 2019-re ez az arány 51%-ra növekedett.

17. ábra: Szálló por koncentráció szektorok szerinti megoszlása [%]
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (<http38>) adatai alapján)



Mivel a lakossági fűtés az egyik legnagyobb kibocsátó, érdemes közelebbről megvizsgálni ennek technológiai hátterét is.

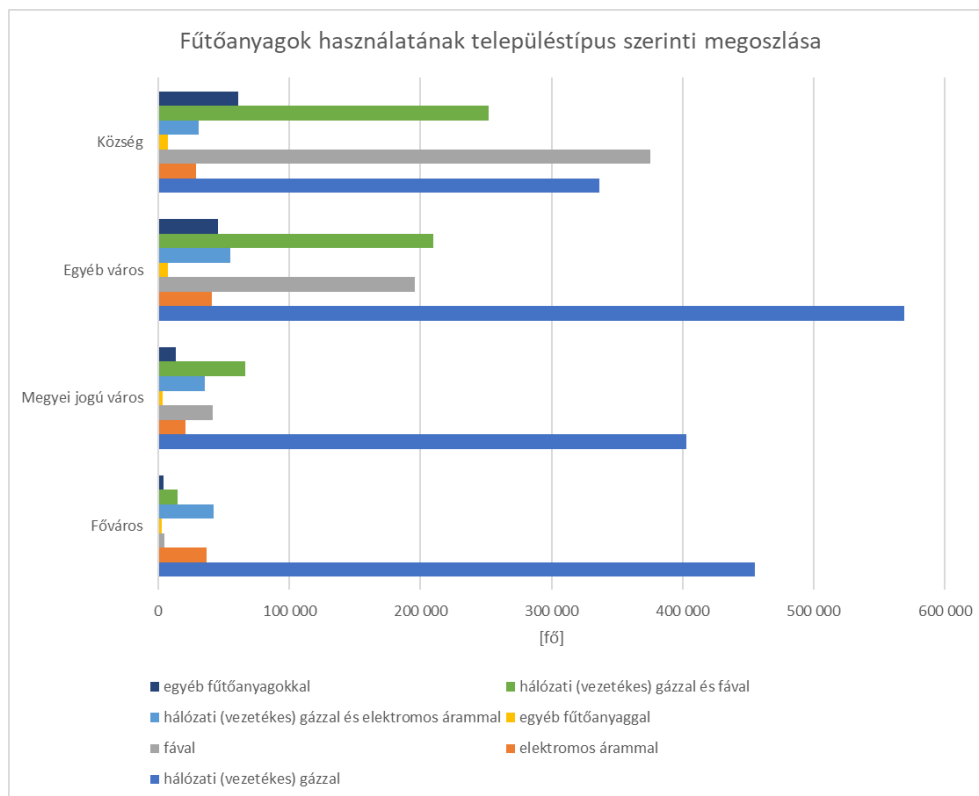
A fűtési rendszerek csoportosítása többféleképpen történhet. Fűtőanyag szerint megkülönböztetünk hagyományos tüzelőanyaggal (például olaj vagy gáz), nem hagyományos tüzelőanyaggal (biomassza, hulladék), villamos energiával, kombinált hő- és villamos energiával, megújuló energiával (például napenergia, hőszivattyú) üzemelő fűtőberendezéseket. A hőtermelés forrása, a hőtermelés és hőleadók helyzete szerinti szerint pedig a következőképpen történet a csoportosítás. Egyedi fűtés esetén a tüzelőszerkezet a fűtendő térben található. Központi fűtésről abban az esetben beszélünk, amennyiben egy lakás vagy egy épület több helyiségének fűtését kazántelep végzi. Harmadik típus pedig a távhőszolgáltatás, mely egy város központilag megoldott hőellátását jelenti (Homonnay et al. 2001).

Jelen diplomamunka szempontjából főként azok a technológiák lényegesek, melyek biomassza (mely energetikai értelemben az energetikai célra hasznosítható szerves anyagokat jelenti), fa vagy faszármazék (tűzifa, pellet, fabrikett) tüzelésére alkalmasak. Az egyik ilyen fűtőberendezés az öntöttvas kazán, mely alkalmas fa elégetésére, mivel bírja a tüztérben kialakult magas hőmérsékletet. Másik típus a faelgázosító kazán, mely olyan szilárd tüzelésű, két tüztérrel rendelkező kazán, mely használatakor a fa hőtartalma szinte maradéktalanul

hasznosításra kerül (http39). A harmadik legelterjedtebb technológia a kandalló, mely fűtőanyag szerint működhet faaprítékkal, pellettel, tűzifával, de lehet gáztüzelésű vagy villamos energiával üzemelő is. Fatüzelés esetében fontos tényező, hogy amennyiben vizes fa kerül égetésre, az korom és aromás vegyületek fokozott kibocsátásával jár (Press-Kristensen, 2017).

A 2022-es népszámlálási adatok alapján elmondható, hogy a fővárosban, illetve a megyei jogú városokban a legelterjedtebb fűtőanyag a hálózati (vezetékes) gáz volt, míg a kisebb városokban, illetve községekben megjelent a vezetékes gázzal és fával való fűtés (http40). Ezt az alábbi ábra szemlélteti.

18. ábra: Fűtőanyagok használatának településtípus szerinti megoszlása
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (http40) adatai alapján)



A lakosság által üzemeltetett elavult és alacsony hatékonyságú berendezések hozzájárulnak a magas szálló por kibocsátásához. A fentebb bemutatott kazánok és kályhák hatásfoka 50% körül alakul, míg a faelgázosító kazánoké 90-92% között van (http41). Fatüzelés esetében fontos tényező, hogy amennyiben vizes fa kerül égetésre, az korom és aromás vegyületek fokozott kibocsátásával jár (Press-Kristensen, 2017).

3. Alkalmazott módszerek

A levegőminőség-mérést a mérés helyszínétől és körülményeitől függően három csoportra oszthatjuk. Munkaegészségügyi és lakáshigiéniá szempontjából a mérést végezhetjük zárt helységben, ekkor beltéri levegőminőség vizsgálatról beszélünk. Amennyiben a szabadban végezzük el a mérést, abban az esetben immisszió-mérést végzünk, melyet légköri nyomáson és hőmérsékleten hajtunk végre, a mérés értékeire főként a pillanatnyi meteorológiai tényezők hatnak. A harmadik módszer pedig az emissziós-mérés, mely általában egy magas hőmérsékletű, nagy nyomás vagy vákuum alatt álló rendszer kibocsátásait vizsgálja (Bozó et al. 2001).

A vizsgálatokat végezhetjük fix mérőállomások telepítésével, illetve mobil és/vagy kézi mérőeszközök használatával. Egy adott terület légszennyezettségi állapotát leggyakrabban fix mérőállomásokkal vizsgálják, melyek segítségével a levegőben található szennyezőanyagok koncentrációját nagy pontossággal meg lehet állapítani, de a kézi eszközök használata is releváns információval szolgálhat egy adott település vagy régió légszennyezettségével kapcsolatban.

3.1. A mérés célja

Jelen diplomamunka keretein belül három település – Gödöllő, Pécel és Isaszeg – kertvárosi részére telepített fix mérőállomás adatainak elemzésére kerül sor. A korábbi tendenciák elemzése céljából pedig megvizsgálom az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat Budapest XVIII. kerületi Gilice térre kihelyezett automata mérőállomásának 2021. január 1. és 2023. szeptember 31. között megfigyelt PM₁₀ és PM_{2.5} koncentrációit. A mérések célja, hogy feltárjuk a téli és nyári hónapok között megfigyelhető különbségeket a szálló por koncentrációt illetően, kiemelt figyelemmel a lakossági fűtés okozta koncentráció növekedésre.

3.2. Méréshez használt műszer bemutatása

A mérések során a LIFE IP HUNGAI RY program keretein belül kifejlesztett és már Miskolcon üzembe helyezett Raspberry Pi mikrokontroller alapú, Plantower PMS7003 mérőegység adatait vizsgáltam. A mikrokontrollerhez por, hőmérséklet, relatív páratartalom és légnyomás érzékelők kerültek csatolásra (Báthory et al. 2020). A mérőegységben használt szenzorok főbb tulajdonságait az alábbi táblázat összesíti.

3. táblázat: A mérőegységben használt szenzorok tulajdonságai
(Forrás: Báthory et al. 2020)

BME680 Mikroelektromechanikai rendszerű (MEMS) környezeti szenzor	Pontosság	Hőmérséklet	$\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
		Páratartalom	$\pm 3 \text{ \%Rh}$
		Nyomás	$\pm 1 \text{ hPa}$
Plantower PMS7003 Lézeres szóródási szálló por szenzor	Mért koncentrációk	PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	
	Mérési tartomány	0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Pontosság	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 10%	
	Mért szemcseszámok	<0,3; 0,3-0,5; 0,5-1; 1-2,5; 2,5-5; 5-10; >10	

A mérőműszerek három település (Gödöllő, Pécel és Isaszeg) kertvárosi részein kerültek kihelyezésre – az alábbi ábra a Gödöllőn felszerelt mérőegységet mutatja.

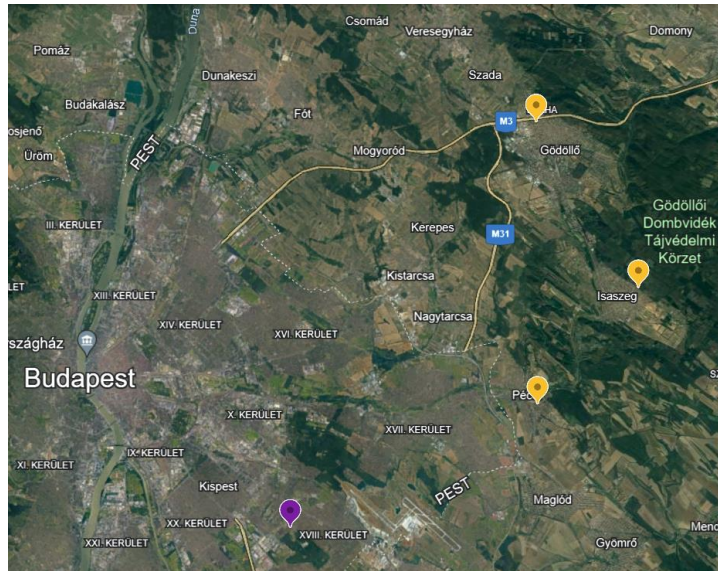
19. ábra: Gödöllőn kihelyezett mérőállomás
(Forrás: Saját szerkesztés)



3.3. Mérési helyszínek

A kutatás során három helyszínen történt mérés: Gödöllőn, Isaszegen és Pécelen, melyeket az alábbi térkép ábrázol.

20. ábra: Mérési helyszínek
(Forrás: <http42>)



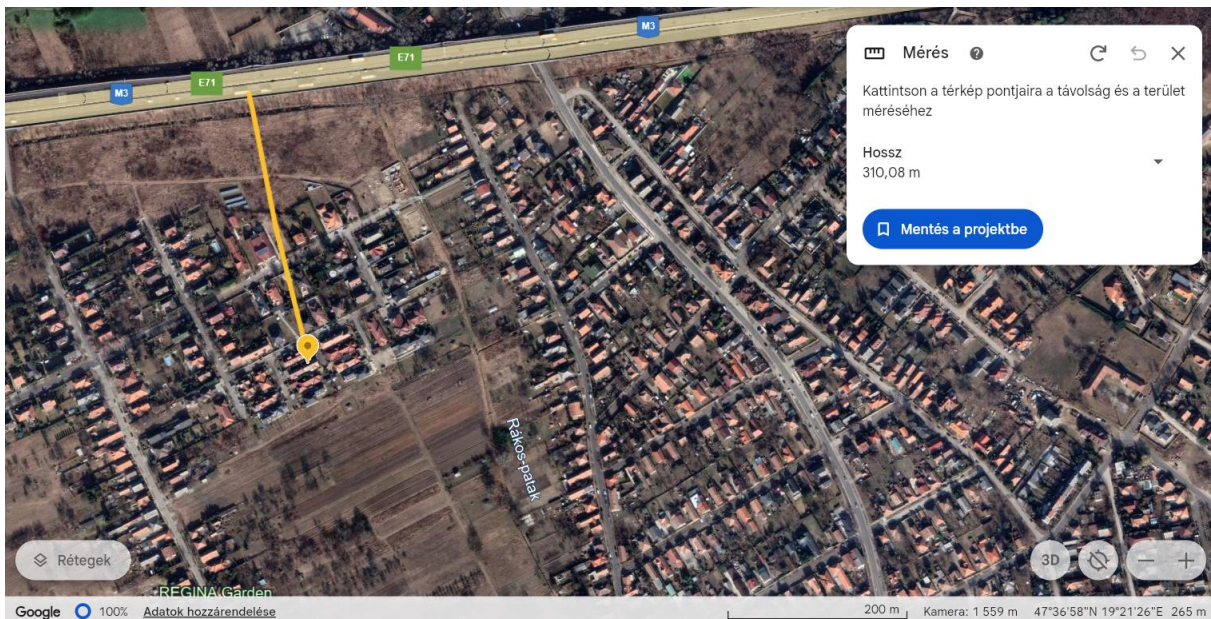
Mindhárom település Pest vármegyében, a budapesti agglomerációban, ezen belül pedig a Gödöllői járásban helyezkedik el. A Magyar Tudományos Akadémia által az 1980-as években kidolgozott besorolás szerint az Északi-középhegység nagytáj, a Cserhátvidék középtáj, ezen belül pedig a Gödöllői-dombság kistáj részei (Demény, 2007). Az alábbi táblázat összefoglalja a három település legfőbb demográfiai és földrajzi adottságait.

4. táblázat: Mérési helyszínek főbb demográfiai és földrajzi adottságai
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (<http43>) adatai alapján)

Település	Terület [km ²]	Népesség [fő]	Népsűrűség [fő/km ²]	Tengerszint feletti magasság [m]
Gödöllő	61,92	31 779	523,85	210
Isaszeg	54,83	11 526	205,43	205
Pécel	43,63	16 952	355,12	159

A Gödöllőn és Pécelen kihelyezett mérőállomások a két település kertvárosi részein helyezkednek el. A Gödöllőn mért koncentrációt befolyásoló fontos tényező, hogy a mérőállomás – ahogy az alábbi ábra is mutatja – az M3-as autópálya vonzáskörzetében, légvonalban körülbelül 310 méterre került kihelyezésre.

21. ábra: Gödöllőn kihelyezett mérőállomás M3-as autópályától való távolsága
(Forrás: <http42>)



Az isaszegi mérőállomás pedig a Gödöllői-dombság szélén helyezkedik el, így közlekedésből eredő lokális kibocsátás jelen esetben elhanyagolható.

3.4. Adatgyűjtés és -feldolgozás folyamata

A kutatás során kétféle mérés adatait gyűjtöttem össze és dolgoztam fel. Az egyik adatbázis az Országos Meteorológiai Szolgálat által a Budapest XVIII. kerületi Gilice téren kihelyezett automata mérőállomás adatait tartalmazza, a másik adatbázis pedig a kihelyezett fix mérőállomásokból származó információkat.

Az OMSZ-től származó adatokat az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) adatbázisából kértem le, melyeket *csv. formátumban tároltam, majd alakítottam át *xlsx. formátumba. Az OLM adatok óránkénti átlagokat tartalmaznak. Előfordul adathiány – néhol a PM_{2.5} érték nem elérhető egy adott órára vonatkozóan.

5. táblázat: Példa az OLM adatbázisából
(Forrás: <http44>)

Date	PM10 (ug/m3)	PM2.5 (ug/m3)
Limit values	-	-
2020.12.01 0:00	41	34
2020.12.01 1:00	41	34
2020.12.01 2:00	41	34

A három településen kihelyezett mérőállomásokból származó adatokat *.dat. formátumú fájlok tartalmazzák. Mivel ez egy szöveges formátum, ezért átalakításra volt szükség. A *.dat. formátumban lévő adatokat Microsoft Excelbe importáltam, így átkonvertálható lett *.xlsx. kiterjesztésre, ami által feldolgozhatóvá váltak az adatok. A mérőállomások körülbelül 1-6 perces intervallumban mértek, illetve az adatokat minden napra vonatkozóan egy külön fájl tartalmazza, így jelen kutatáshoz összesen 132 darab fájl 133 969 adatsora került elemzésre.

6. táblázat: Példa a kihelyezett mérőállomások adataiból
(Forrás: Saját szerkesztés)

"name"&"time"	"PM25"	"PM10"	"temp"	"press"	"hum"
20221201-00:04:00	53,2	55,9	4,1	997,5	78,2
20221201-00:05:00	56,5	60,2	4,2	997,5	78,2
20221201-00:06:00	53,8	56,5	4,2	997,5	78,2

Adathiány az OLM mérőállomásaihoz hasonlóan itt is fennáll – Gödöllő esetében az augusztus hónap első fele hiányos a mérőműszer hibája miatt, ezért ott részleges mérési eredményeink vannak, illetve Isaszegen a fűtési időszakot követően került kihelyezésre a mérőállomás, ezért ebben az esetben csak a nyári hónapok (augusztus) vizsgálata lehetséges.

Az adatok feldolgozása során egyedül Isaszeg esetében volt szükség kalibrációs számítások elvégzésére, mivel nem volt lehetőség a mérőműszer közvetlen kalibrációjára. Emiatt az alábbi kalibrációs egyenleteket alkalmaztam a PM_{2.5} és PM₁₀ koncentrációk esetében:

PM_{2.5} kalibrációs egyenlete:

$$Y = 0,57 * X - 0,27 \quad (9)$$

PM₁₀ kalibrációs egyenlete:

$$Y = 0,62 * X + 0,14 \quad (10)$$

4. Eredmények és értékelésük

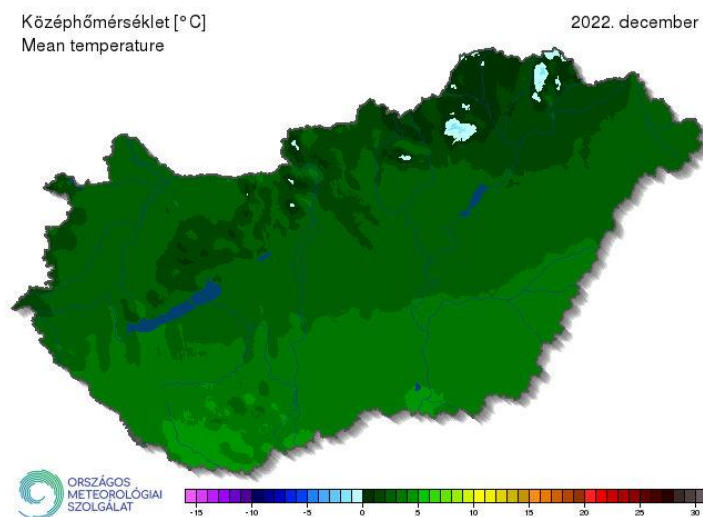
A fentiekben bemutatott módszertan alapján kapott eredmények és azok értékelése az alábbi alfejezetekben kerülnek részletesebben bemutatásra. Az adatok feldolgozása során vizsgálatra került a szálló por koncentrációjának változása az évszakok függvényében (téli évszak versus nyári időszak), kiemelt tekintettel a fűtési időszak adataira, illetve a napközbeni koncentráció változása a hőmérséklet függvényében (leghidegebb decemberi nap szemben a legmelegebb augusztusi nappal). Az eredményeket táblázatok és diagramok segítségével szemléltetem, melyek Microsoft Excel segítségével készültek el.

4.1. Vizsgált időszak meteorológiai jellemzői

A szálló por koncentrációjának alakulását illetően nem elhanyagolható a meteorológiai adottságok hatása. A vizsgált hónapok közül 2022. december és 2023. augusztus mérési adatai kerültek feldolgozásra, ezért ezen hónapok időjárási helyzetét érdemes megvizsgálni.

2022. decemberben a havi középhőmérséklet $+2$ és $+4$ °C közé esett. Ami a küszöbnapok számát illeti, a fagyos napok ($T_{\min} \leq 0$ °C) országos átlaga 16 nap, a hideg napok ($T_{\min} \leq -5$ °C) száma 3 nap, a téli napok száma ($T_{\max} \leq 0$ °C) pedig 2 nap volt, ezzel a korábbi évek adataihoz viszonyítva az egyik legenyhébb december volt, amit az alábbi ábra is szemléltet (<http45>).

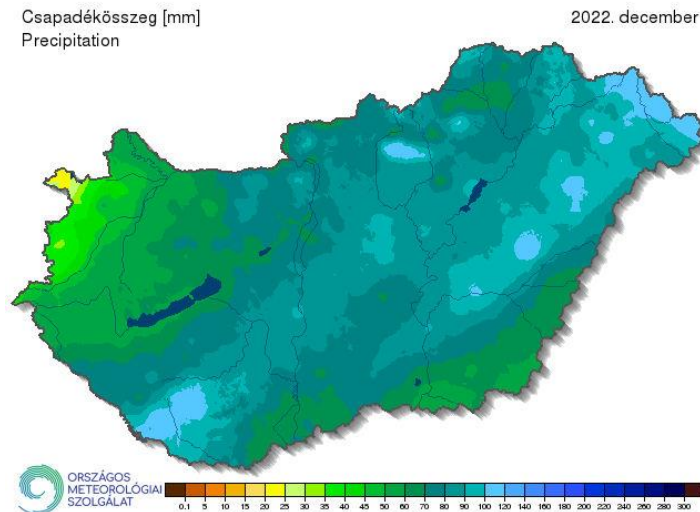
22. ábra: 2022. december középhőmérséklete [°C]
(Forrás: <http45>)



A hónap elejének időjárását több átvonuló front és ciklon alakította, melynek következtében enyhe, nedves levegő került a Kárpát-medencébe. A hónap közepét viszont anticiklonok alakították, melynek hatására országos átlagban fagypont alá esett a középhőmérséklet (-3 °C). Ezt követően számos átvonuló front és ciklon hatására ismét enyhébb, melegebb levegő

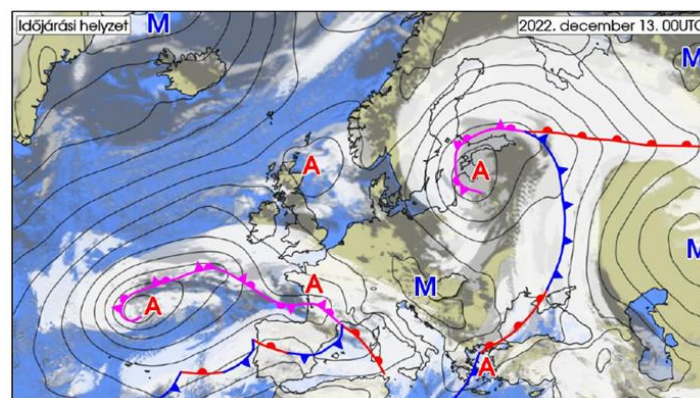
áramlott hazánkba. Ami a csapadékot illeti, országos átlagot tekintve 75,7 mm csapadék hullott, ami magas értéknek számít decemberi hónapra vonatkozóan. A csapadékösszeg területi megoszlását az alábbi ábra szemlélteti ([http45](#)).

23. ábra: Csapadékösszeg 2022. decemberben
(Forrás: [http45](#))



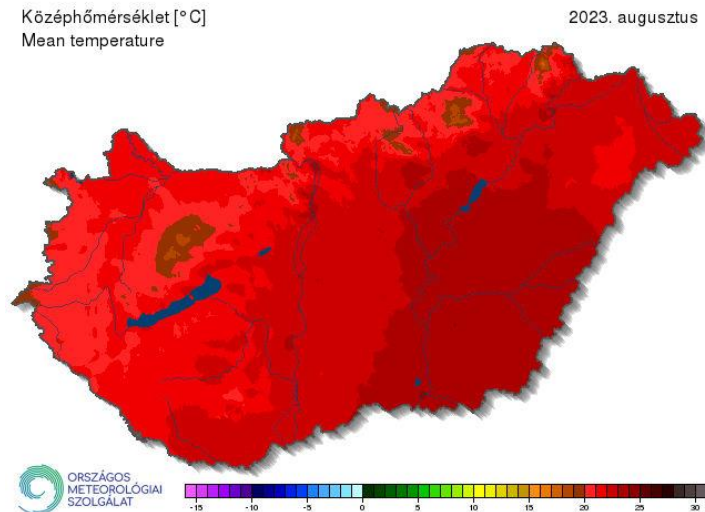
Ahogy az alábbi ábrán is látható, 2022. december 13-án két ciklonrendszer alakította a kontinens nagy részének időjárását, ám a Kárpát-medencére a két ciklon között kialakult anticiklon hatásai érvényesültek, aminek következtében száraz és hűvös levegő érkezett az országba. A legalacsonyabb mért hőmérséklet $-15,3^{\circ}\text{C}$ fok volt, ami egyúttal a decemberi hónap legalacsonyabb hőmérséklete is ([http46](#)). Mivel az anticiklonok jelenléte hozzájárul a szálló por koncentráció magas százalékához (Pardo et al. 2023), a mérési eredmények elemzése során 2022. december 13. alaposabb vizsgálatra kerül.

24. ábra: Időjárást alakító ciklonok 2022. december 13-án
(Forrás: [http46](#))



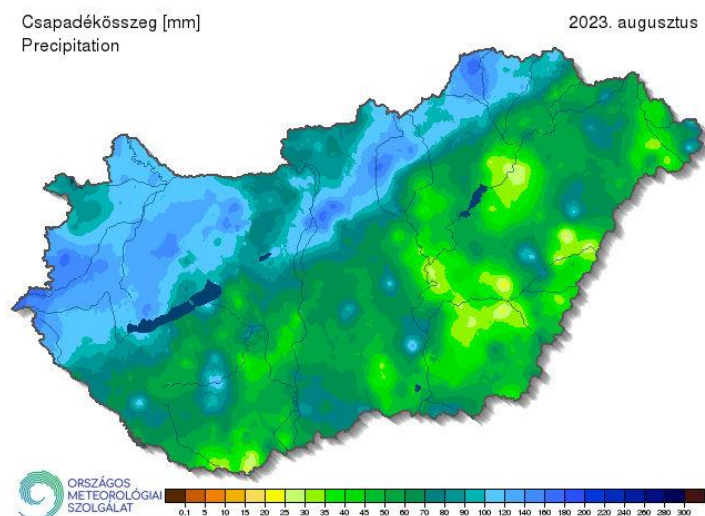
A kutatás során vizsgált másik hónapban, 2023 augusztusában a középhőmérséklet 20-24 °C között alakult. Nyári nap ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$) 24 darab, hőségnap ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) pedig 15 nap volt (http45). A középhőmérséklet terület szerinti alakulását az alábbi ábra szemlélteti.

25. ábra: 2023. augusztus középhőmérséklete [°C]
(Forrás: http45)



A hónap elejére a gyakori frontátvonulás volt jellemző, mely hatására jelentős mennyiségű csapadék hullott. Az ezt követő átmeneti felmelegedést a hónap közepén jelentős gomolyfelhőképződés és ebből következően alacsonyabb átlaghőmérséklet jellemezte, majd a hónap végéig ismét el kezdett emelkedni a napi középhőmérséklet. Csapadékot tekintve csapadékos volt az augusztus – az országos átlag 74,5 mm volt (http45). A csapadékösszeg területi megoszlását a 26. ábra mutatja.

26. ábra: Csapadékösszeg 2023. augusztusban
(Forrás: http45)

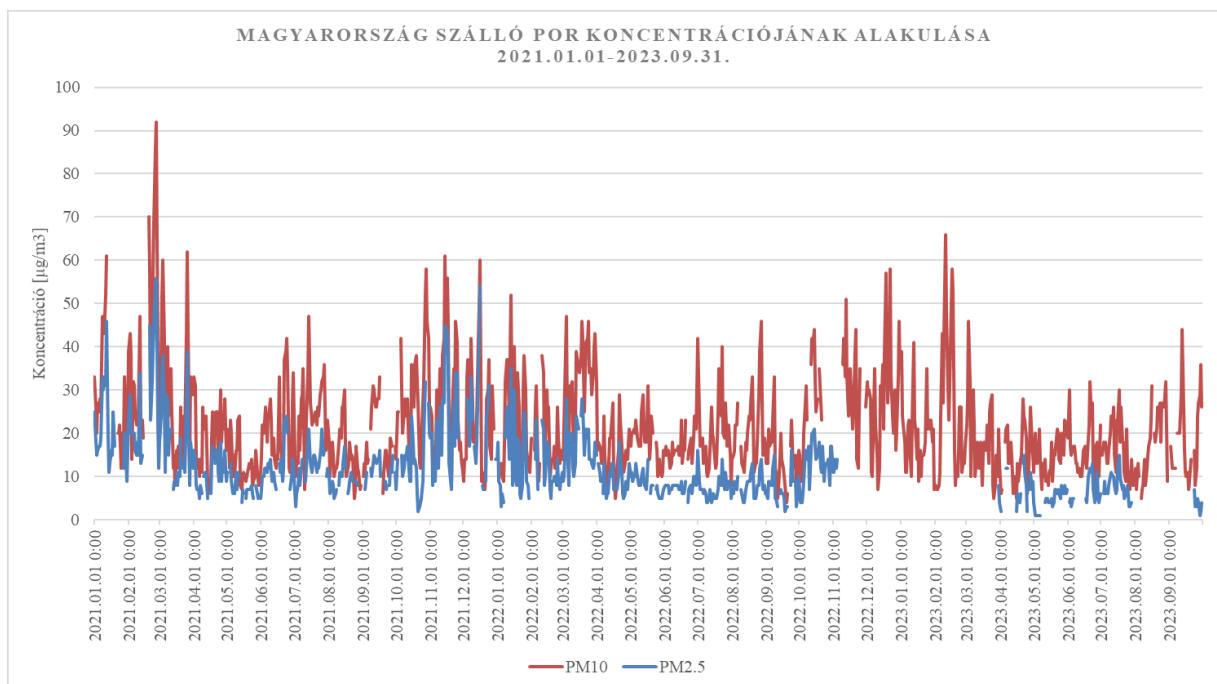


4.2. Szálló por koncentrációja a téli és a nyári időszakban

Ami Magyarország szálló por koncentrációjának változását illeti, megvizsgáltam az OLM által a Budapest XVIII. kerületben a Gilice téren kihelyezett automata mérőállomás által mért PM_{2.5} és PM₁₀ értékeket. Azért erre a mérőállomásra esett a választás, mert a főváros kertvárosi részén helyezkedik el, így megvizsgálható, hogy hasonló tendenciát mutatnak-e a mért eredmények azokkal a mérésekkel, melyek a kutatás során kihelyezett fix mérőállomásokkal kapott eredmények mutatnak.

Az alábbi ábra bemutatja a 2021. január 1. és 2023. szeptember 31. között megfigyelt PM₁₀ és PM_{2.5} koncentrációt.

27. ábra: Magyarország szálló por koncentrációjának alakulása (2021.01.01-2023.09.31.)
(Forrás: Saját szerkesztés OLM (<http44>) adatai alapján)

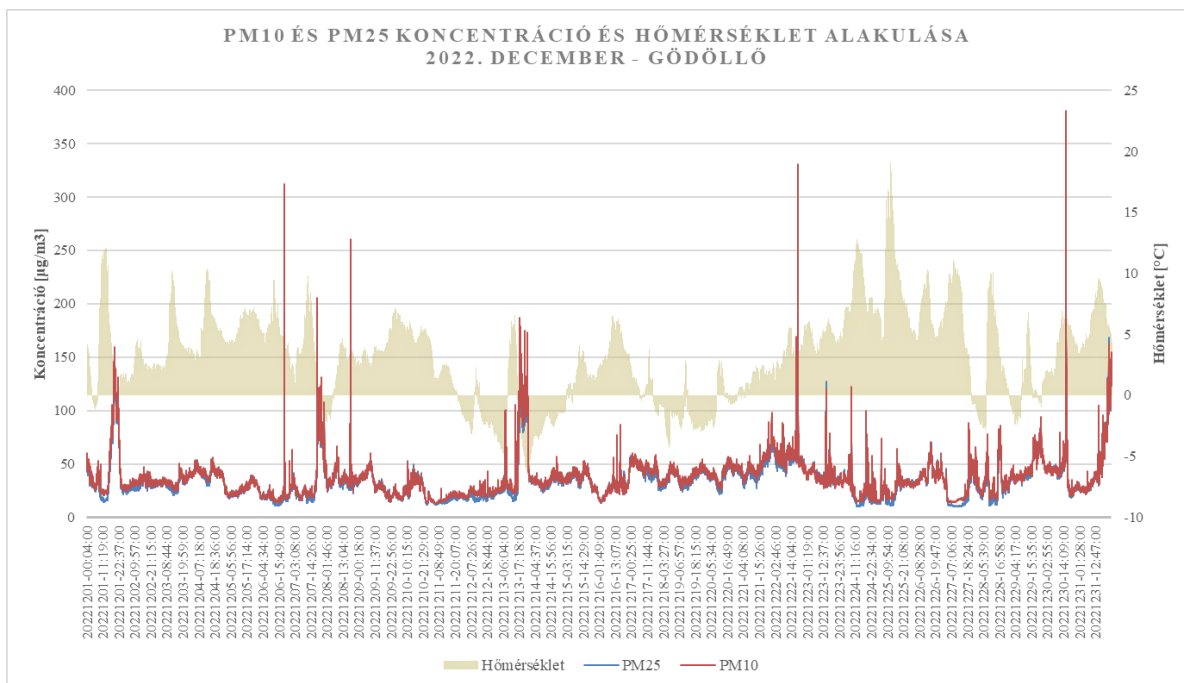


A diagrammon jól megfigyelhető a téli – fűtési – szezon magasabb koncentrációja, hiszen a novembertől körülbelül február-márciusig tartó időszakban megnő a lakossági fűtésből származó kibocsátás, illetve az alacsony átlaghőmérséklet, légmozgás és magas relatív páratartalom hozzájárul a szmogképződéshez (Lagzi et al. 2013). A legmagasabb értékeket 2021. telén látjuk, onnantól kezdve viszont a téli időszakokat tekintve egy csökkenő tendencia mutatkozik a szálló por koncentrációt illetően. Ez többek között az enyhébb teleknek és a lakossági fűtési rendszerek korszerűsítésének tulajdonítható. Az ábrán megmutatkozik a téli-nyári hónapok közötti koncentrációbeli különbség is – jól látható, hogy a nyári időszakok átlagkoncentrációja jóval a téli hónapok átlaga alatt alakul.

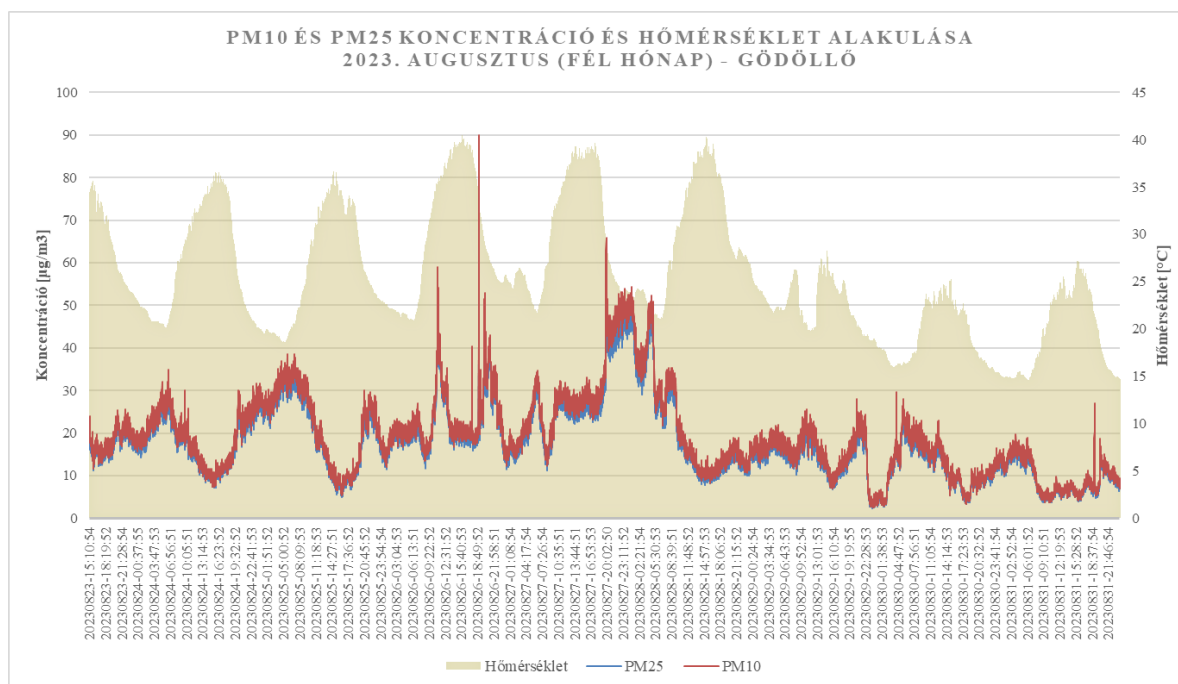
A téli időszakra vonatkozóan a Gödöllőn és Pécelen kihelyezett mérőállomás esetében rendelkezünk decemberi adatokkal, ezért ebben a vonatkozásban e két mérőállomás eredményei kerülnek bemutatásra. A nyári évszakot illetően az Isaszegen kihelyezett mérőállomás adatai is rendelkezésünkre állnak, így az innen származó adatok is elemzésre kerülnek.

A 28. és 29. ábrán a gödöllői mérőállomás által mért PM₁₀ és a PM_{2,5} koncentráció értékei láthatóak a 2022. december 1 - december 31., illetve a 2023. augusztus 23 - augusztus 31. közötti időszakra vonatkozóan. A mérések gyakorisága 1-6 perc volt. Augusztusban technikai probléma miatt csak a hónap második felére érhetőek el az adatok.

28. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2022. december)
(Forrás: Saját szerkesztés)



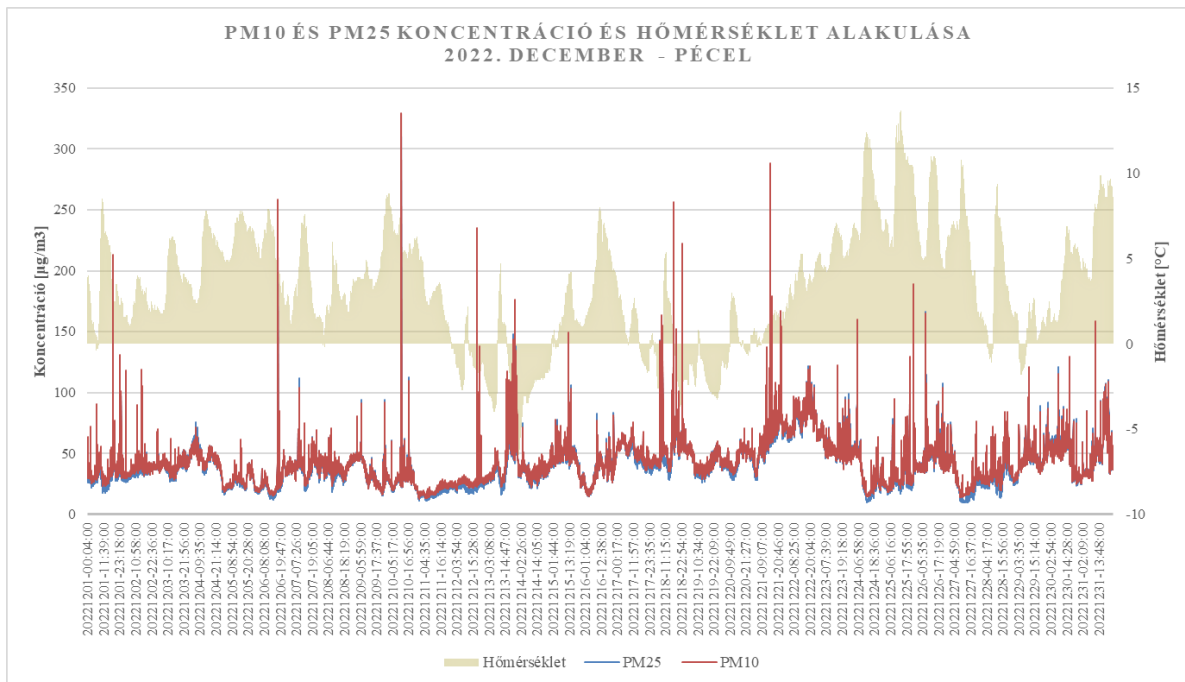
29. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2023. augusztus)
(Forrás: Saját szerkesztés)



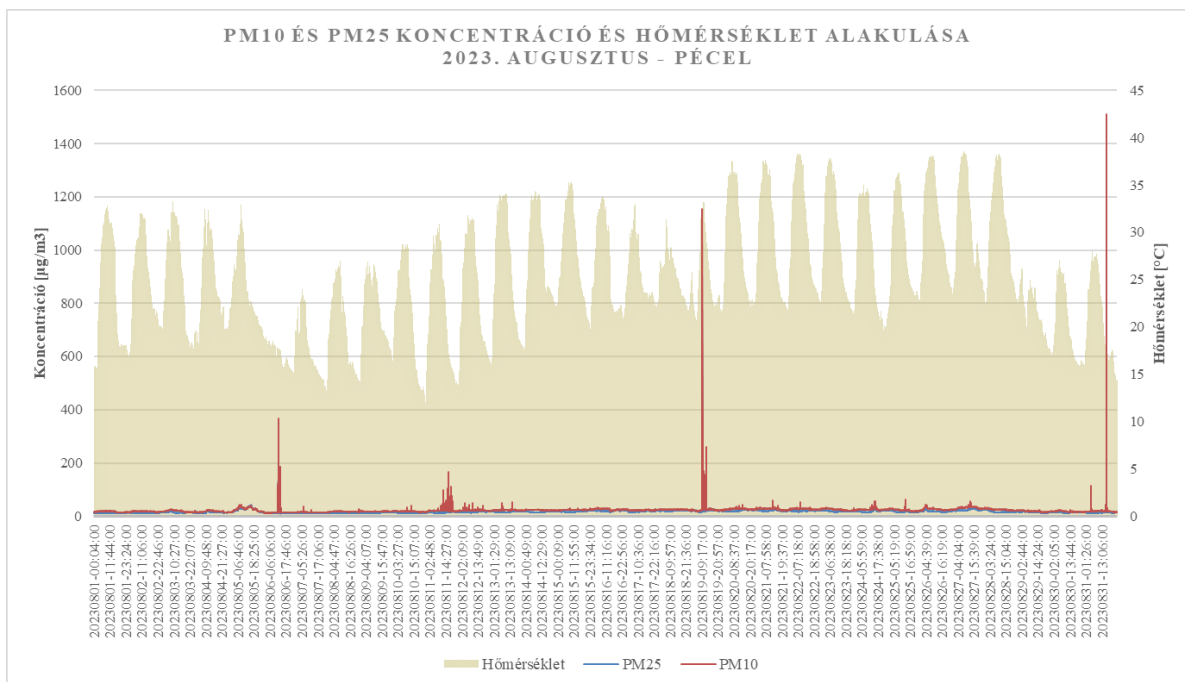
A két ábra jól szemlélteti a két évszak közötti koncentrációbeli különbségeket – míg decemberben az átlag PM_{2.5} koncentráció 34,6 µg/m³, a PM₁₀ koncentráció pedig 36,7 µg/m³ volt, addig augusztusban ezek az értékek 17,8 µg/m³-re és 19,3 µg/m³-re csökkentek. Ez a különbség több tényezőnek is tulajdonítható. Egyrészt a lakossági fűtés miatt a téli időszakban megnő a szálló por koncentráció a levegőben, másrészt a 4.1. fejezetben bemutatott meteorológiai jellemzők is – főként a december közepi anticiklon jelenléte – hozzájárul a télen megfigyelhető magasabb PM_{2.5} és PM₁₀ koncentrációhoz, mivel a téli időszakra jellemző az alacsonyabb keveredési rétegvastagság, ami miatt lassul a felszínközeli légrétegben a keveredés, azaz a szennyezőanyagok, így a szálló por koncentráció hígulása (Báthory et al. 2019). Megfigyelhető továbbá az is, hogy a PM_{2.5} koncentráció minden mérési időpontban a PM₁₀ koncentráció alatt alakul, illetve leköveti annak mintázatát.

Mindezt alátámasztják a Pécelen ugyanebben az időszakban mért adatok is, melyeket az alábbi ábrák szemléltetnek. A mérések gyakorisága szintén 1-6 perc közé tehető.

30. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2022. december)
(Forrás: Saját szerkesztés)



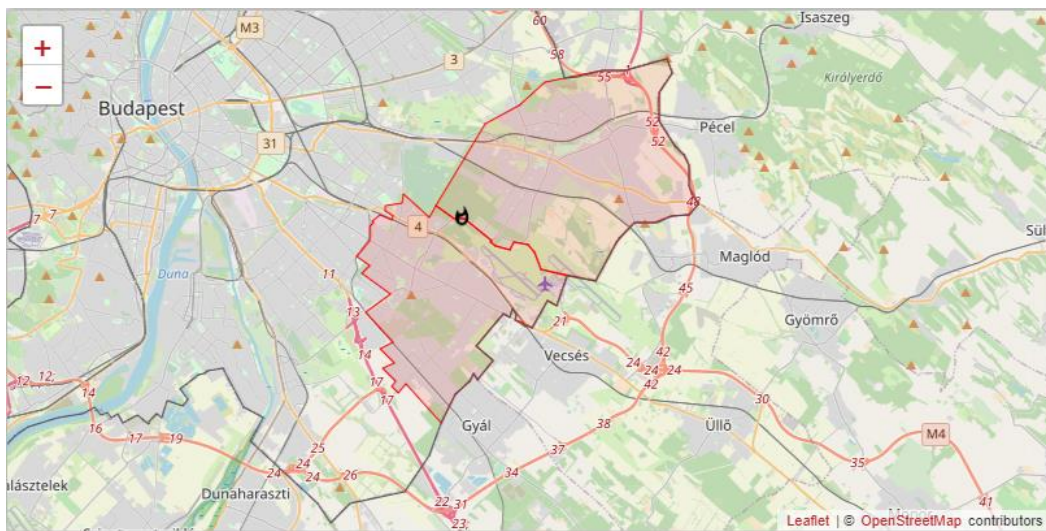
31. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2023. augusztus)
(Forrás: Saját szerkesztés)



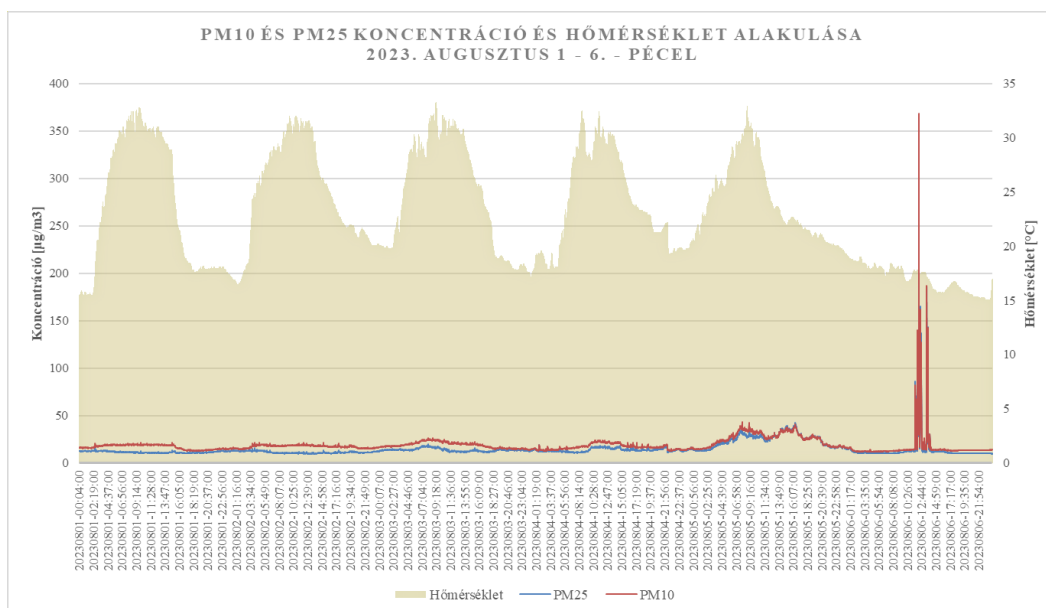
Ahogy a 31. ábrán látható, a hónapban számos időpontban magas jóval a határérték feletti PM₁₀ és PM_{2.5} koncentráció volt mérhető. Ezek közül a legmagasabb mérték PM_{2.5} érték 1258,8 µg/m³, PM₁₀ érték pedig 1512,1 µg/m³ volt, ami a mérőállomással szomszédos területen történő udvari égetésnek tulajdonítható. A nyári időszakban a települési – főként a kertvárosi

és falusi – területeken a lokális szálló por koncentráció emelkedés a helyi tűzrakóhelyek használatából ered. Mindemellett az aszályos időszakok során bekövetkező erdőtüzek is okozhatnak koncentráció emelkedést. 2023. augusztus 3-án a főváros XVIII. kerületében körülbelül tíz hektárnyi területen kapott lángra az erdő aljnövényzete (<http47>). Ahogy az alábbi ábra is szemlélteti, Pécel közvetlenül nem volt érintett, viszont az erdőtüzből származó részecskék is hozzájárulhattak a rákövetkező napok emelkedett koncentrációjához.

32. ábra: Erdőtűz Budapest XVIII. kerületében (2023. augusztus 3.)
(Forrás: <http47>)

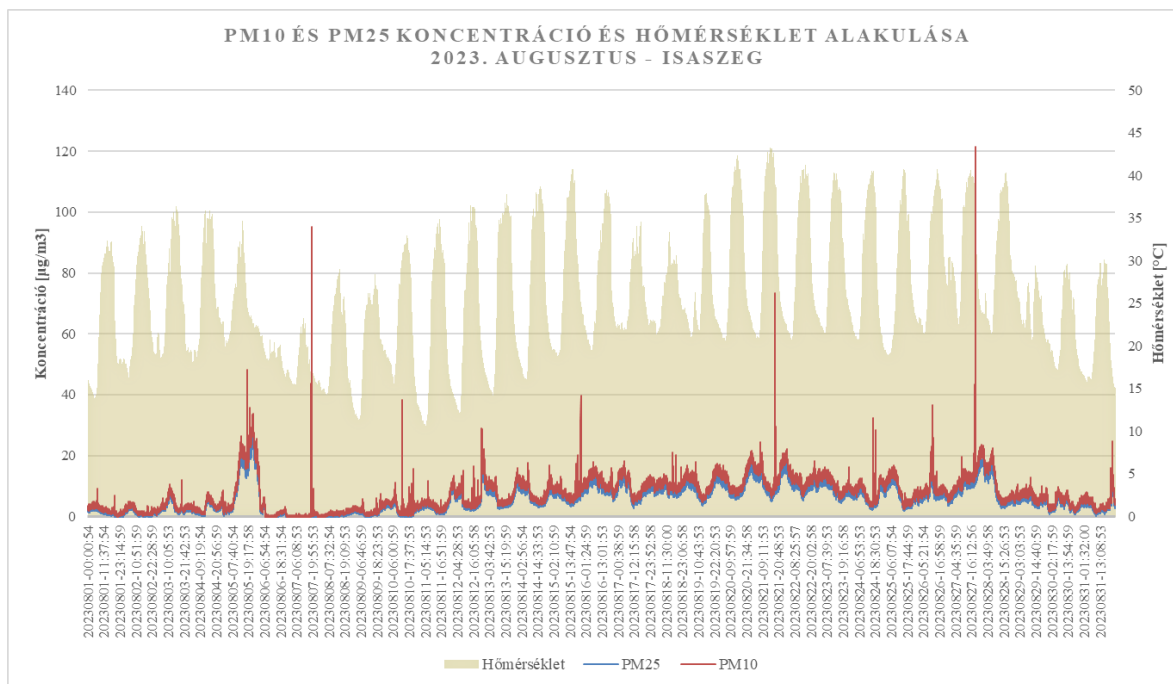


33. ábra: Szálló por koncentráció alakulása a 2023. augusztus 3-án bekövetkező erdőtűz után
(Forrás: Saját szerkesztés)



Az alábbi ábrán az Isaszegen mért hőmérséklet és szálló por koncentráció alakulásának kapcsolata látható. Ahogy fentebb említésre került, mivel a mérőműszer a fűtési szezon után került kihelyezésre, ezért csak az augusztusi adatok kerülnek bemutatásra.

34. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Isaszegen (2023. augusztus)
(Forrás: Saját szerkesztés)

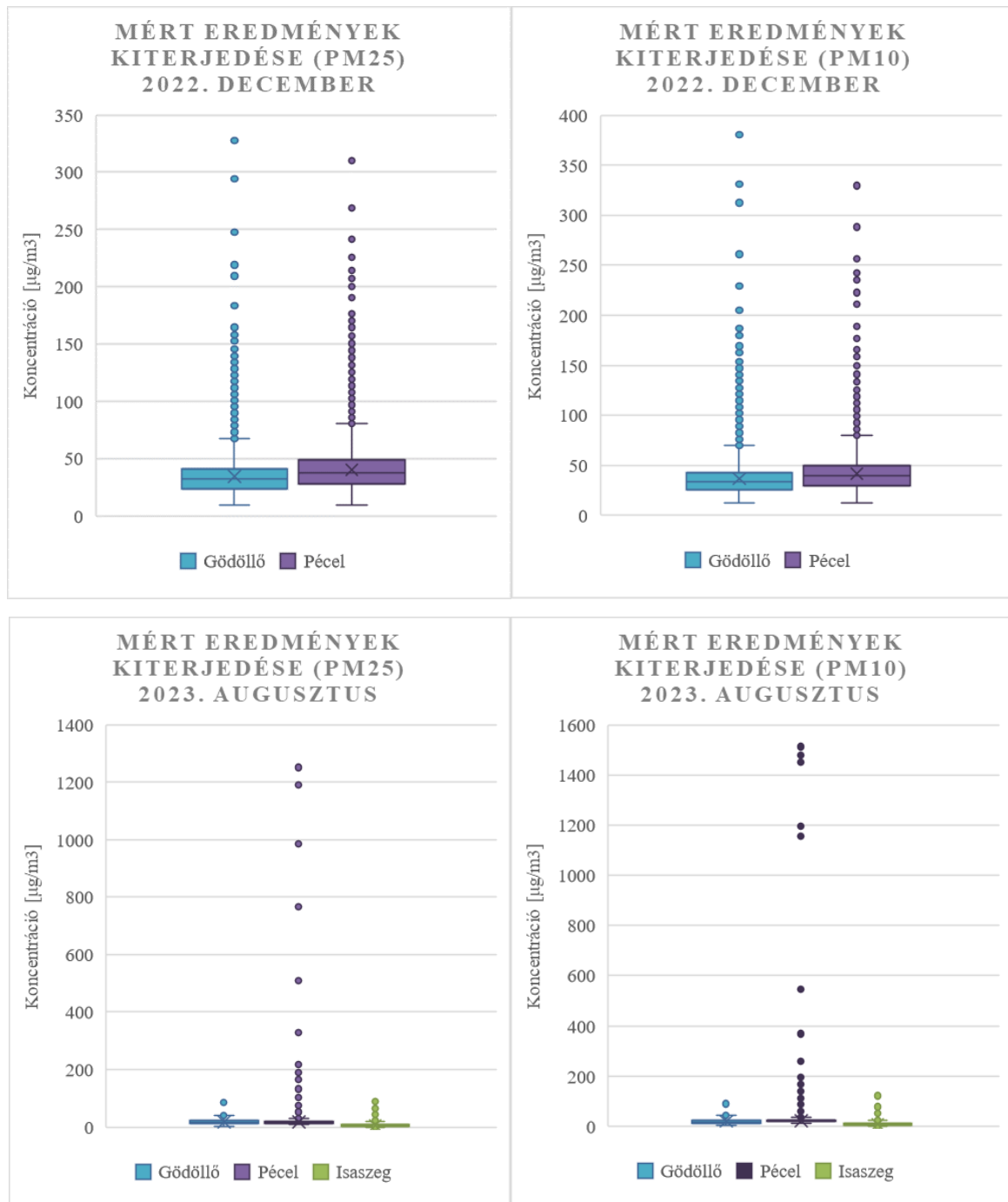


Ahogy a 34. ábrán is látható – néhány kiugró értéktől eltekintve – a szálló por koncentráció nőtt a hőmérséklet növekedésével. A legmagasabb érték augusztus 27-én – országos átlagban a hónap legmagasabb középhőmérsékletű napján – látható: ekkor a PM_{2.5} koncentráció 100,7 µg/m³, a PM₁₀ koncentráció pedig 121,5 µg/m³ volt. Mindhárom településen elvégzett mérés esetében elmondható, hogy a nyári, határértéket meghaladó magas koncentráció főként a csapadékmentes vagy aszályos napokon volt jellemző.

Annak érdekében, hogy kicsit pontosabb képet kapjunk a mért koncentrációk alakulásáról, érdemes a statisztikai kiterjedéseket is vizsgálni. Ezeket az alábbi ábrák szemléltetik. Az első oszlopban a decemberben és augusztusban mért PM_{2.5} koncentráció, míg a második oszlopban a PM₁₀ koncentráció látható. A téglalaptól lefelé mutató vonal alsó végpontja a mérési eredmények minimum értékét jelöli. A téglalapon lévő vízszintes vonal a mediánt, az X jelölés pedig az összes adat számtani átlagát jelenti. A téglalap hossza mutatja az 50% és 75% percentilis közé eső értékeket. A felfelé vezető vonal felső végpontja pedig a 90,4%-os percentilis értéket adja meg. A percentilis azt az értéket adja meg, mely az adott időszakban

mért óras értékek X%-os gyakorisággal mért értéke (azaz az 50%-os percentilis érték az adott hónapban mért óras értékek 50%-os gyakorisággal mért értékét jelenti)³.

35. ábra: Mérési eredmények kiterjedése
(Forrás: Saját szerkesztés)



³ A percentilisek értéke a 6/2011 (I.14.) VM rendeletben az ISO 11222:2002 „Levegőminőség – a levegőminőségi mérések időátlagára vonatkozó mérési bizonytalanság meghatározása” című szabvány alapján került megállapításra (<http36>)

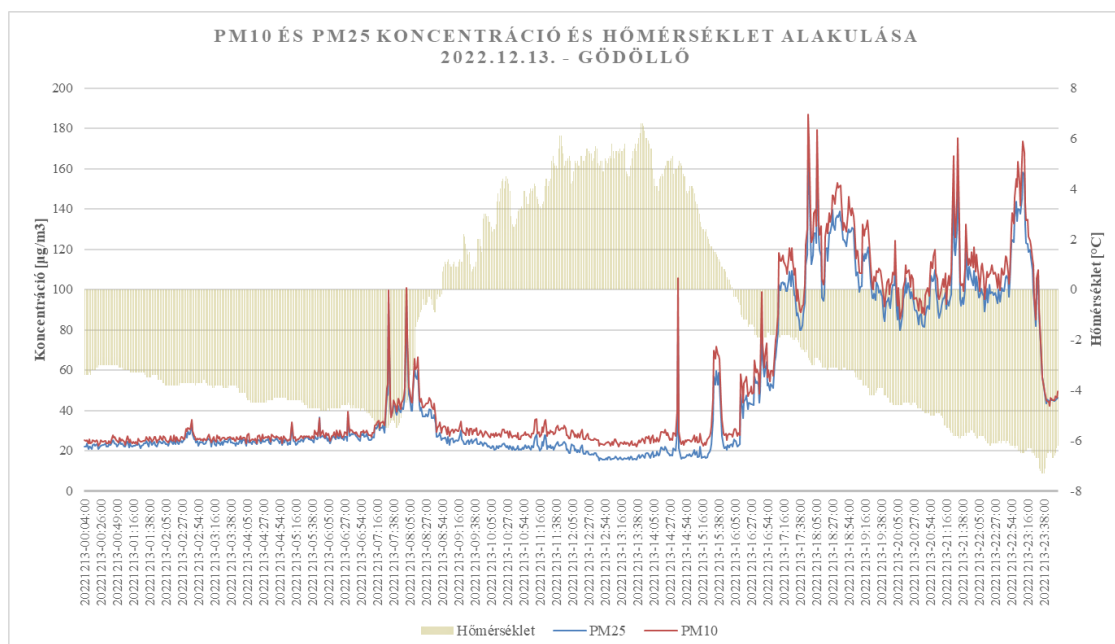
Ahogy az ábrákon is jól látható, mind a téli, mind a nyári hónapban a PM_{2.5} koncentráció a PM₁₀ koncentráció alatt marad. A három településen mért átlagok, mediánok, illetve legalacsonyabb mért értékek megközelítőleg megegyeznek, viszont a maximum értékekben nagy eltérést láthatunk. Mivel decemberre vonatkozóan Gödöllő esetében csak a hónap utolsó időszaka elérhető, ezért az ottani adatok nem kerülnek összehasonlításra. Amennyiben megvizsgáljuk az augusztusra vonatkozó ábrákat, azokon látható, hogy a legmagasabb koncentrációk Pécelen figyelhetők meg, melyek háttérben a már fentiekben részletezett tényezők állnak: 1) a mérőműszerrel szomszédos területen rendszeres udvari égetés figyelhető meg; 2) erdőtűzből származó részecskék megemelhették a szálló por koncentrációját.

4.3. Szálló por koncentrációjának változása a napszakok függvényében

Annak érdekében, hogy még alaposabban tudjuk vizsgálni a szálló por koncentráció alakulását a fűtési szezonban és nyáron, érdemes napi szintű adatokat elemezni. Ehhez két nap került kiválasztásra – az egyik 2022. december 13., mely decemberben a legalacsonyabb napi középhőmérséklettel rendelkezik, a másik nap pedig 2023. augusztus 27., mely pedig a legmagasabb középhőmérsékletű nap volt augusztusban. Mivel a szennyezőanyagok kibocsátása esetében általában különbség figyelhető meg a hétköznapok és hétvégék között, fontos megemlíteni, hogy december 13. hétköznapra (kedd), míg az augusztus 27. hétvégére (vasárnap) esett.

Az alábbi ábra szemlélteti a Gödöllőn mért adatokat 2022. december 13-ra vonatkozóan.

36. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2022. december 13.)
(Forrás: Saját szerkesztés)

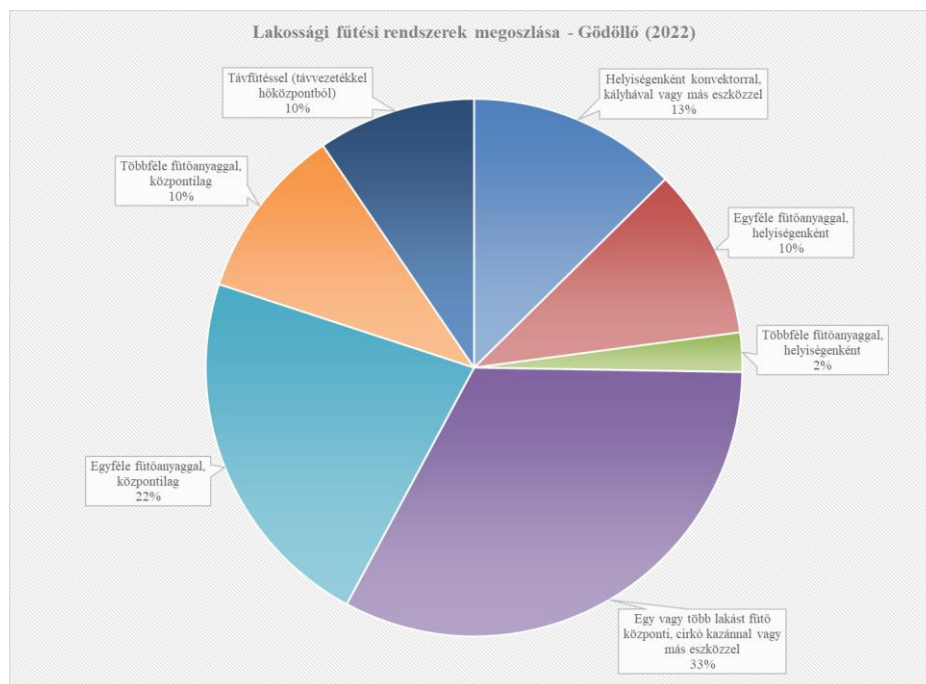


Ahogy a fenti ábrán is látszik, egyértelmű kapcsolat fedezhető fel a napszakok és a szálló por koncentrációjának alakulása között. Megfigyelhető, hogy a 0 óra 4 perc és a 6 óra 24 perc közötti időszakban a nap többi részéhez képest viszonylag alacsony – de folyamatosan emelkedő – szálló por koncentráció jellemző. Az első nagyobb ugrás a 6 óra 24 percet követő mérésnél látható – az inentől kezdődő és körülbelül 8 óra 30 percig történő koncentráció emelkedés főként a reggeli órák közlekedésének tulajdonítható Gödöllőn, mivel a kihelyezett mérőállomás – ahogy fenti fejezetben bemutatott 21. ábra is mutatja – az M3-as autópálya vonzaskörzetében, légvonalban körülbelül 310 méterre található.

A reggeli csúcsforgalmat követően ismét csökkent a szálló por koncentráció, a következő nagyobb emelkedés a decemberi napon a délutáni órákban, 14 órát követően figyelhető meg. A késő délutáni és esti órákra jellemző magas PM₁₀ és PM_{2.5} koncentráció a téli hónapokban a lakossági fűtésnek tulajdonítható – illetve ebben a napszakban is megjelenik a Budapest-Gödöllő vonalon ingázók közlekedéséből származó kibocsátás.

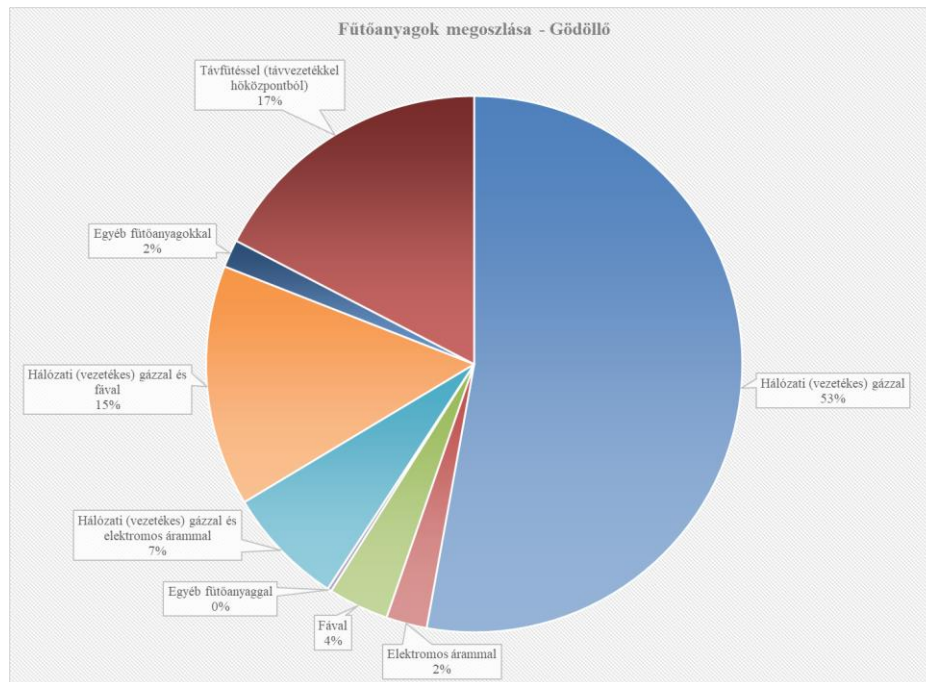
Ami a város lakossági fűtését illeti, az idei népszámlálás adatai alapján, a lakosság 33%-a egy vagy több lakást fűtő központi, cirkó kazánt vagy más eszközt használ fűtési célokra (http40). A fűtési rendszerek megoszlását az alábbi ábra szemlélteti.

37. ábra: Lakossági fűtési rendszerek megoszlása Gödöllőn (2022)
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (http40) adatok alapján)



A szálló por koncentráció szempontjából fűtőanyagok terén főként a lakossági biomassza és szén használata a meghatározó. Ahogy az alábbi ábra is szemlélteti, a lakosság nagy része hálózati (vezetékes) gázzal vagy távhővel fűt.

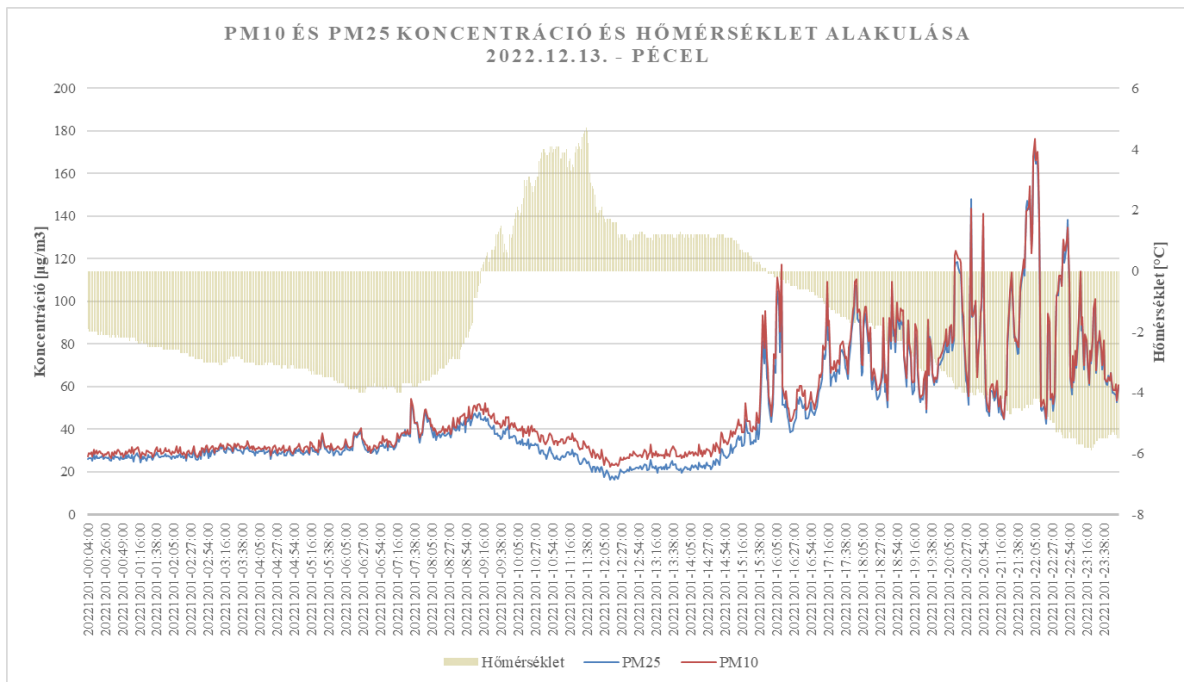
38. ábra: Fűtőanyagok megoszlása Gödöllőn (2022)
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (<http40>) adatok alapján)



Amennyiben alaposan megvizsgáljuk a diagramot, látható, hogy a lakosság 15%-a támaszkodik vezetékes gázra és fára. Ha ehhez hozzáadjuk a csak fával fűtők arányát, megkapjuk, hogy a kétféle fűtőanyagot alkalmazók aránya (19%) meghaladja a távfűtéssel rendelkezők arányát (17%).

A Pécelen mért adatokat az alábbi ábra szemlélteti. A mérési eredményeket tekintve hasonló tendenciát figyelhetünk meg, mint Gödöllő esetében, viszont a reggeli órákban nem figyelhető meg nagy emelkedés a koncentrációt illetően. Ez igazolhatja azt a meglátást, hogy Gödöllőn a reggeli szálló por koncentráció nagy részét a közlekedésből származó kibocsátás teszi ki.

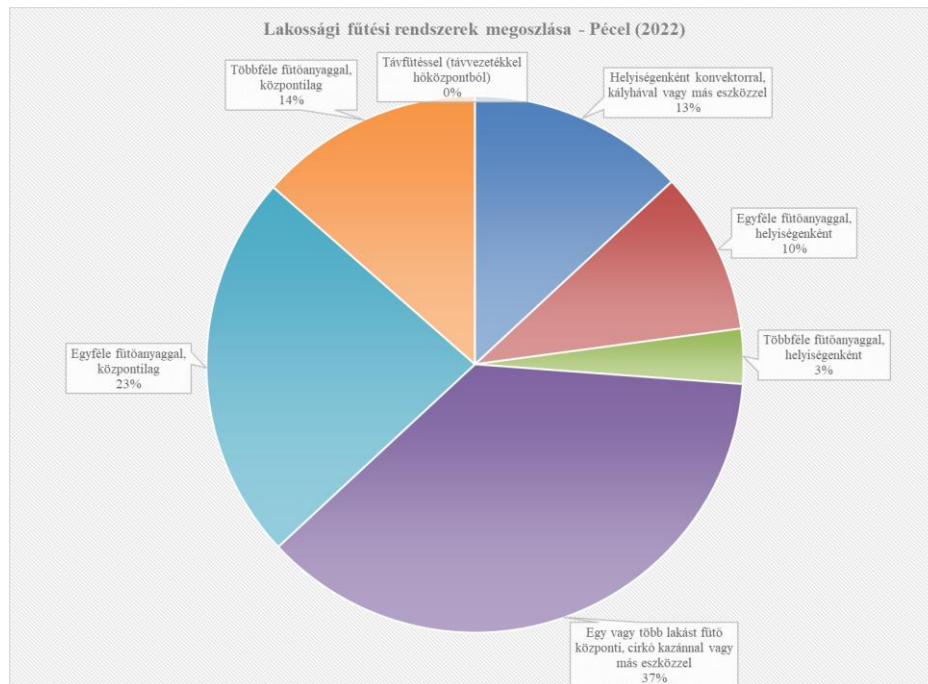
39. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2022. december 13.)
(Forrás: Saját szerkesztés)



A reggeli órákban körülbelül 7 óra 38 perctől kezdődően 8 óra 27 percig látható egy kisebb emelkedés – a kihelyezett mérőállomás egy, a falun áthaladó kisforgalmú út közelében került kihelyezésre. Az úton autóbusz forgalom is áthalad, ami a reggeli órákban hozzájárulhat a kis mértékű koncentráció emelkedéshez.

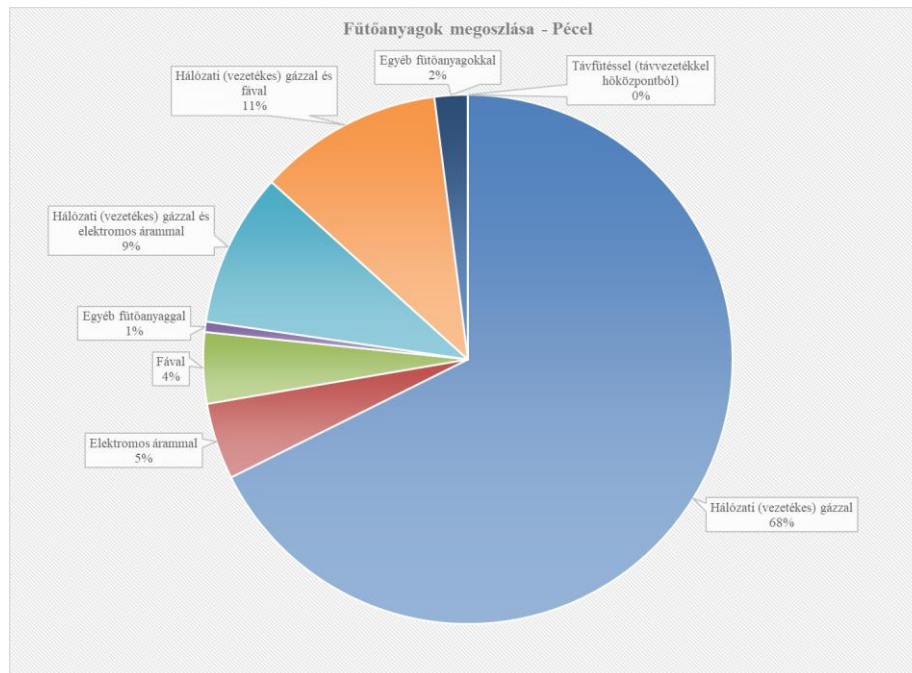
A délutáni órák esetében megfigyelhető, hogy a hőmérséklet csökkenésével szinte párhuzamosan egyre kiugróbb szálló por koncentrációt tapasztalunk. Ez – a meteorológiai adottságokon felül – a lakossági fűtésnek tulajdonítható. Ahogy az alábbi ábrán is láthatjuk, a péceli lakásállomány nagy része – hasonlóan Gödöllőhöz – központi, cirkó kazánal vagy egyéb eszközzel van felszerelve.

40. ábra: Lakossági fűtési rendszerek megoszlása Pécelen (2022)
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (<http40>) adatok alapján)



A lent látható diagram megmutatja, hogy fűtőanyagok tekintetében a lakosság nagy része hálózati (vezetékes) gázt használ, de Pécel esetében is a második legnagyobb hányadot a vegyes fűtés, azaz a hálózati (vezetékes) gáz és fatüzelés teszi ki, ami hozzájárul a délutáni, alacsony hőmérséklettel rendelkező órákban bekövetkező szálló por koncentráció jelenlétéhez. Ha pedig összeadjuk a vezetékes gázzal és fával, illetve a csak fával fűtők arányát, megkapjuk, hogy a lakosság 15%-a használja a két fűtőanyagot.

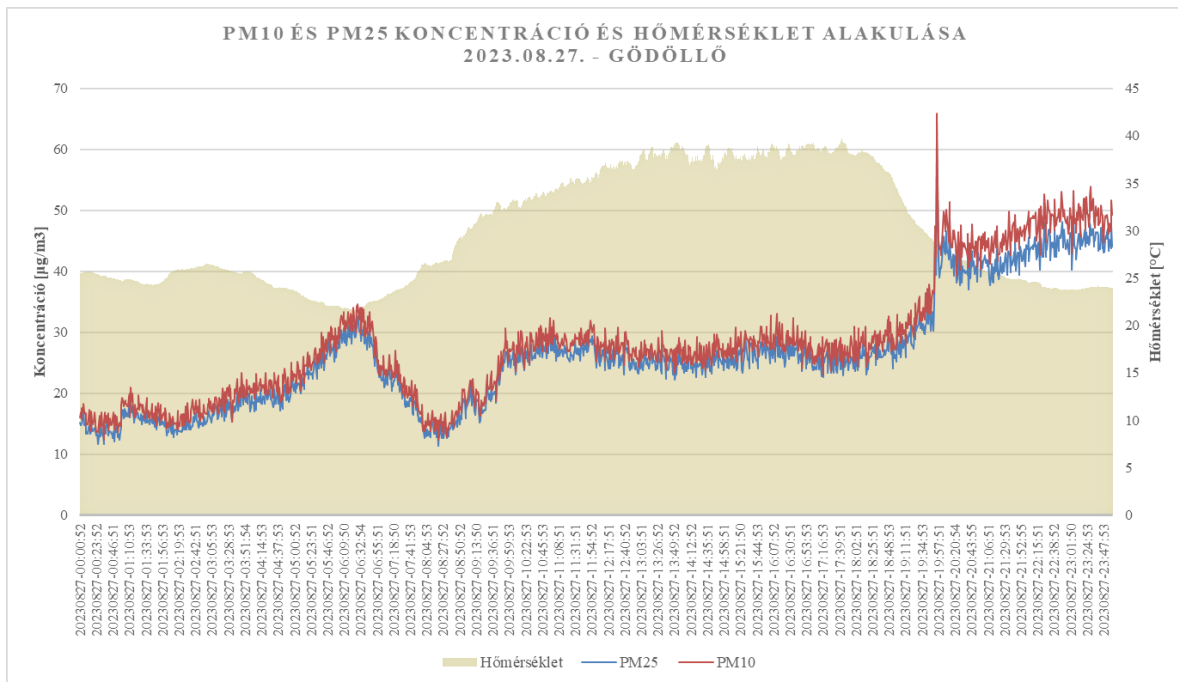
41. ábra: Fűtőanyagok megoszlása Pécelen (2022)
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (<http40>) adatok alapján)



Ahogy láthatjuk a mérési eredményekből és a fűtőanyagok arányából, a két település esetében a legfőbb, koncentrációt meghatározó tényező a reggeli órákban a mérőállomások közelében történő egyéni vagy közösségi közlekedés. A délutáni órákban pedig főként az alacsony hőmérséklet miatt megnőtt fűtési igények miatti lakossági fűtés alakítja a szálló por koncentrációját.

Ahhoz, hogy még inkább meg tudjuk vizsgálni a lakossági fűtés hatását a szálló por koncentrációra, nézzünk meg egy, a fűtési szezonon kívül eső napot. Az augusztusi hónap legmagasabb középhőmérsékletű napjának Gödöllőn mért eredményeit az alábbi ábra szemlélteti.

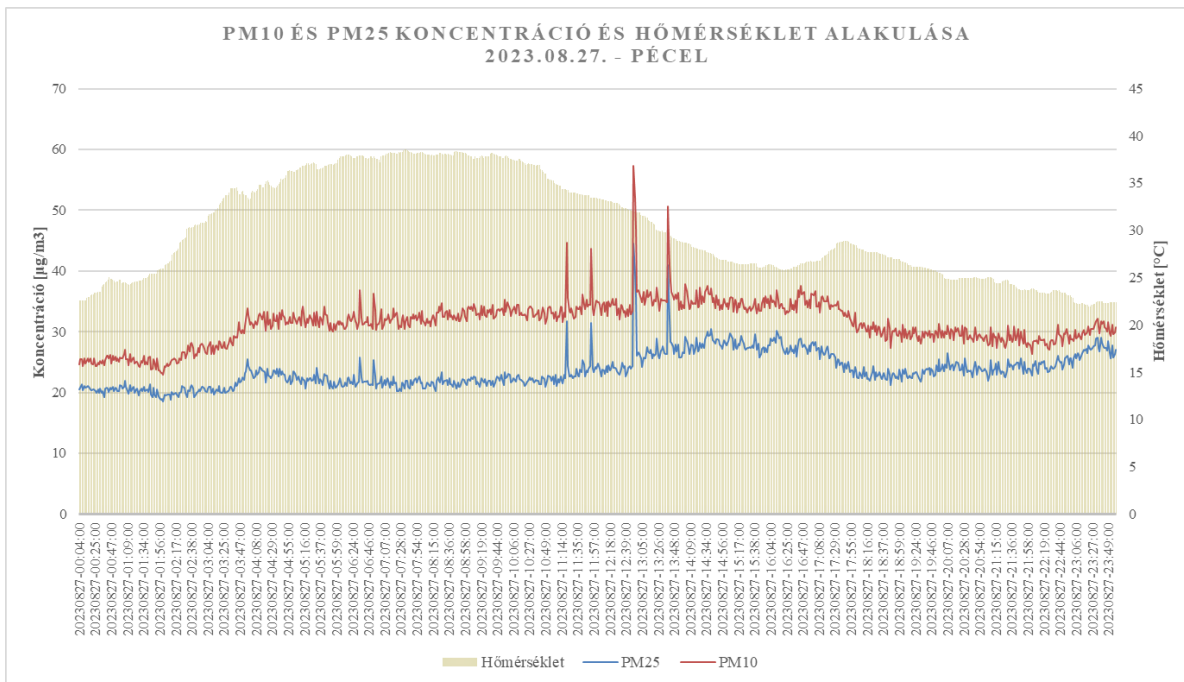
42. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2023. augusztus 27.)
(Forrás: Saját szerkesztés)



Ahogy a fejezet elején említésre került, augusztus 27. egy vasárnapi napra esett – a diagramon látszik is, hogy szemben a decemberi hétköznapon végzett méréssel, nem volt reggeli csúcsforgalom az autópályán, így a reggel körülbelül 6 és 9 óra között nem figyelhető meg nagy mértékű emelkedés a koncentrációt illetően. Nagyobb koncentráció emelkedés (napi átlaghoz képest 20%-os eltérés) az esti órákban, 19 órát követően figyelhető meg, melynek háttérben meteorológiai tényezők állhatnak – a forró, csapadékmentes, szélcsendes idő lelassította a légrétegek közötti átkeveredés sebességét, illetve gátolta a szálló por nedves ülepedését (Imre et al. 2012). A meteorológiai tényezők mellett megjelenhet az M3-as autópályáról származó, a környező településekről vagy az ország távolabbi részeiről induló, Budapestre visszaérkezők közlekedéséből származó kibocsátás is.

Az alábbi ábra a Pécelen mért eredményeket mutatja. Ahogy látható, a koncentráció trendvonala más utat fest le, mint Gödöllő esetében.

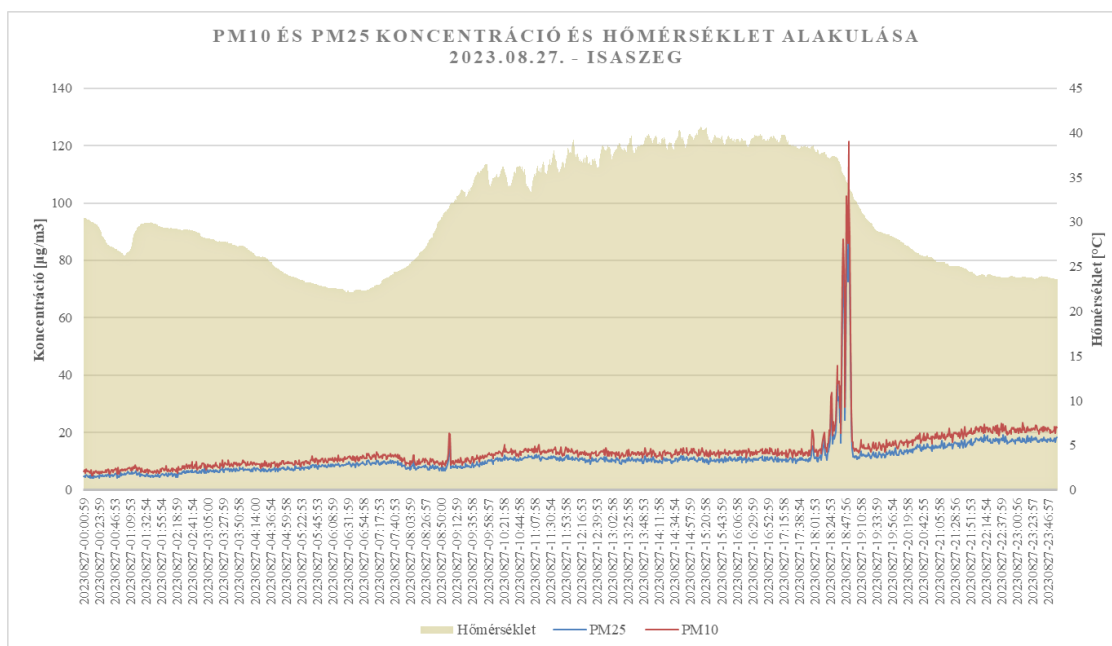
43. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2023. augusztus 27.)
(Forrás: Saját szerkesztés)



Az egyik jelentős különbség Gödöllőhöz képest a PM₁₀ és PM_{2.5} koncentráció közötti távolság – ahogy az eddigi mérési eredményeknél már láthattuk, a PM_{2.5} koncentráció általában nagyon szorosan megközelíti a PM₁₀ koncentráció értékét. Jelen mérésnél viszont jóval alatta marad, mely azt jelenti, hogy Pécel esetében magasabb arányban vannak jelen PM₁₀ részecskék. A kiugró értékek háttérben a közelben történő udvari égetés állhat.

Az Isaszegen végzett mérés eredményeit az alábbi ábra szemlélteti.

44. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Isaszegen (2023. augusztus 27.)
(Forrás: Saját szerkesztés)



Mint látható, egy nagyobb kiugrás volt mérhető a késő délutáni órákban, melynek háttérben hasonlóan Pécelhez, a közelben lévő területeken végzett tüzelésből eredő lokális kibocsátás állhat.

A december 13-án és augusztus 27-én a településeken mért átlagkoncentrációt az alábbi táblázat tartalmazza.

7. táblázat: Településeken mért átlagkoncentráció (2023. augusztus 27.)
(Forrás: saját munka)

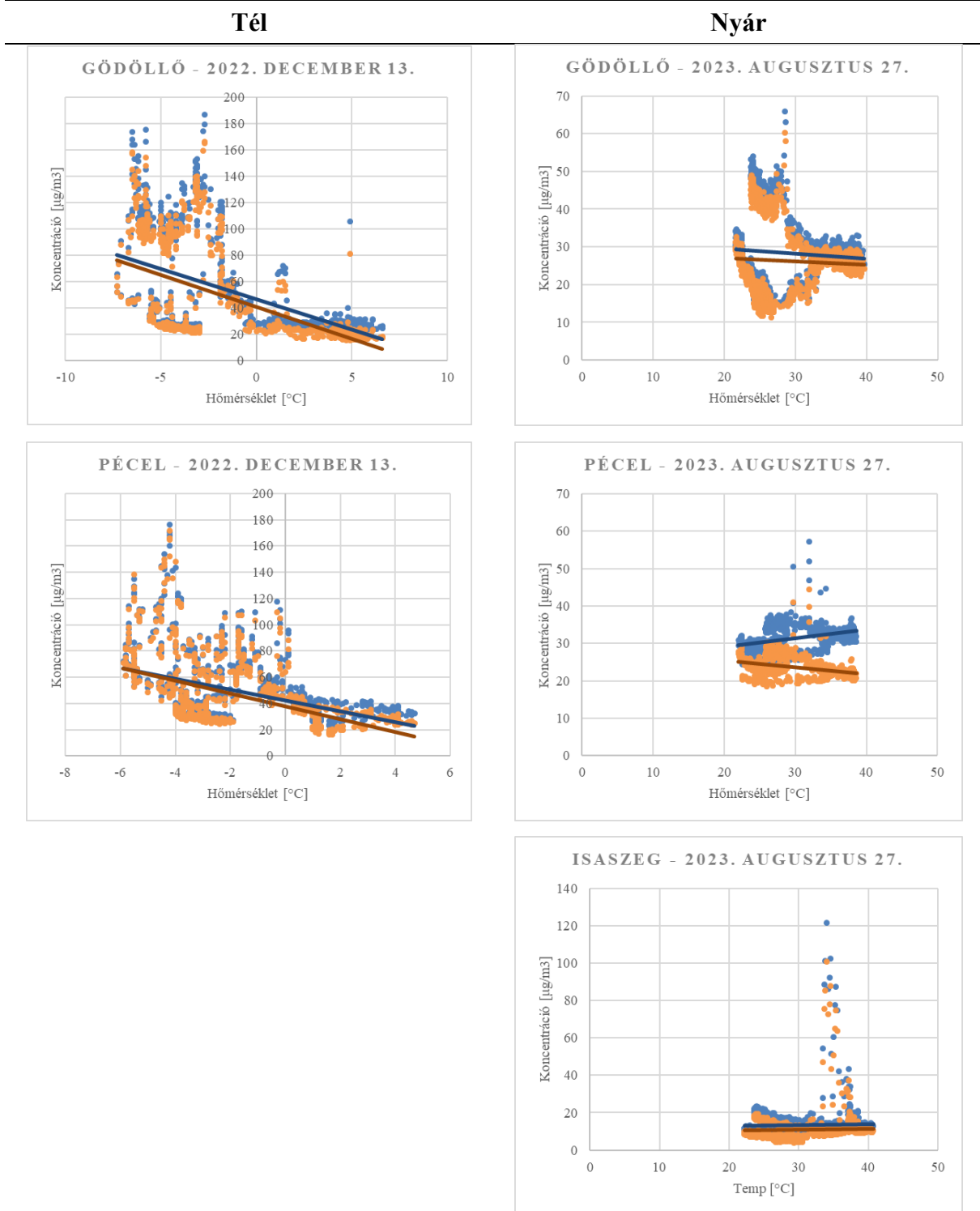
Település	2022. december 13.		2023. augusztus 27.	
	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]
Gödöllő	48,7	54,5	26,2	28,3
Pécel	46,1	49,7	23,6	31,4
Isaszeg	NA	NA	11,0	13,5

A táblázatban látható, hogy a legalacsonyabb napi átlagkoncentráció mind PM_{2.5}, mind PM₁₀ terén decemberben Pécelen, nyáron pedig Isaszegen volt mérhető. Illetve megállapítható, hogy Isaszegen megközelítőleg fele annyi volt az átlagkoncentráció mint Pécelen és Gödöllőn, melynek háttérben földrajzi adottságok állhatnak (lásd 3.3. fejezet).

A szálló por koncentráció és hőmérséklet kapcsolatát az alábbi mátrix szemlélteti – az első oszlopban a decemberi mérési nap, a második oszlopban pedig az augusztusi mérési nap diagramjai szerepelnek városok szerint. A függőleges tengely a koncentrációt, a vízszintes

tengely pedig a hőmérsékletet jelenti. A diagramok területén található egybefüggő vonalak a mérési eredmények trendvonalát, a pontok pedig a mérési adatpontokat szemlélteti.

45. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet – mátrix
(Forrás: Saját szerkesztés)



A decemberi méréssel kapcsolatban megállapítható, hogy mindkét település adatai nagyon hasonló trendet követnek – a hőmérséklet csökkenésével nő, a hőmérséklet növekedésével pedig csökken mind a PM_{10} , mind a $PM_{2.5}$ koncentráció. Gödöllő esetében a $PM_{2.5}$ részecskék koncentrációja leköveti a PM_{10} alakulását, míg Pécel esetében a legalacsonyabb hőmérséklettől a legmagasabb felé indulva távolodik a $PM_{2.5}$ koncentráció a PM_{10} -tól. Mindemellett megállapítható, hogy a Gödöllőn és Pécelen mért koncentrációk relatív gyakoriság szerint főként a $10-40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ közötti intervallumban tömörülnek (Gödöllő esetében a mérési adatok 64,6%-a, Pécel esetében pedig 59,9%-a helyezkedik el ebben az intervallumban).

Az augusztusi méréshez kapcsolódó diagramok alapján látható, hogy a három település más trendet követett, melynek hátterében főként a fentebbiekben ismertetett lokális tényezők állnak. A $PM_{2.5}$ koncentráció Gödöllő és Isaszeg esetében leköveti a PM_{10} alakulását, ám Pécel esetében eltér tőle – miközben nő a PM_{10} koncentráció, a $PM_{2.5}$ részecskék aránya fokozatosan csökken. Ami a relatív gyakoriságot illeti, Gödöllő és Pécel esetében az adatok nagy része (79,6%) a $10-30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ közötti intervallumba esik (79,6% és 98,9%). Ezzel szemben Isaszeg esetében a meghatározó intervallum a $0-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – az adatok 98,3%-a itt található.

5. Következtetések és javaslatok

A téli és nyári évszakok összehasonlításakor a mérés során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy télen magasabb szálló por koncentráció figyelhető meg mindhárom településen, mint a nyári időszakban. Ennek hátterében több tényező együttese áll:

1. meteorológiai tényezők: az anticiklonok jelenléte, az alacsony átlaghőmérséklet és légmozgás, a magas relatív páratartalom és az alacsonyabb keveredési rétegvastagság meggátolja a szálló por légkörből való kikerülését, ezzel a koncentráció csökkenését a téli időszakban. A nyári hónapokban viszont főként a csapadékhiánynak, aszálynak, a magas hőmérsékletnek és a szélcsendes időnek tulajdoníthatók a kiugró koncentrációértékek.
2. lakossági fűtés: az átlaghőmérséklet csökkenésével párhuzamosan nő a lakossági fűtés intenzitása, ezzel az abból származó szálló por kibocsátás.

Az egy hónapos mérési diagramok jól szemléltették, hogy vannak olyan időpontok, amikor jóval a határérték feletti koncentrációt lehetett mérni. Ennek hátterében főként a mérőműszerrel szomszédos területen történő alkalmankénti udvari égetés vagy tűzrakóhely használata áll, vagy egyéb környezeti tényező, mint például a 2023. augusztus 3-án bekövetkező erdőtűz, mely hozzájárulhatott Pécelen a hónap eleji megemelkedett koncentrációhoz.

A napi mérési adatok vizsgálatával lehetségessé vált a szálló por koncentráció alakulásának vizsgálata a napszakok függvényében. Az elemzés kimutatta, hogy télen (december 13.) Gödöllőn az éjszakai órákban a legalacsonyabb az átlag PM_{10} és $PM_{2.5}$ koncentráció, majd az első emelkedés a reggeli órákban figyelhető meg, melynek hátterében a reggeli órákban bekövetkező közlekedésből származó kibocsátás áll. Isaszegen és Pécelen nem, vagy csak minimális koncentráció emelkedés volt megfigyelhető ezekben az órákban.

A következő nagyobb emelkedés, ami már mindhárom település esetében megjelent, a délutáni órákra volt jellemző – a késő délutáni és esti órákra a hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan egyre magasabb és kiugróbb PM_{10} és $PM_{2.5}$ koncentrációt tapasztalunk, mely a lakossági fűtésnek (illetve Gödöllő esetében a Budapestről Gödöllő irányába ingázók közlekedéséből származó kibocsátásnak) tulajdonítható. Mindemellett vizsgálatra került a három település lakossági fűtési rendszereinek megoszlása, mely során megállapítható, hogy a legelterjedtebb fűtési rendszer a gázkazán használata. Fűtőanyag szempontjából főként hálózati (vezetékes) gázt használ a lakosság jelentős hányada, viszont a második legelterjedtebb fűtőanyag a tűzifa, aminek elégetése magas szálló por koncentrációt eredményez.

Ezen meglátásokat, miszerint 1) a lakossági fűtés jelentősen hozzájárul a szálló por koncentráció emelkedéséhez, 2) az évszakok közötti meteorológiai körülmények közötti különbségek hatással vannak a szálló por koncentrációra, alátámasztják a fűtési szezonon kívül történt napi mérési eredmények. Szemben a téli méréssel, augusztus 27-én Gödöllőn főként az esti órákban volt megfigyelhető nagyobb koncentráció emelkedés, melynek háttérében főként a fentiekben bemutatott meteorológiai tényezők állhattak. Pécelen és Isaszegen ezzel szemben szinte egész nap az átlagkoncentráció körül alakult a szálló por jelenléte, viszont helyenként rendkívül kiugró értékeket tapasztalhattunk, melynek háttérében a mérőállomások közelében lévő udvari égetés állhat.

A legalacsonyabb napi átlagkoncentráció mind $PM_{2,5}$, mind PM_{10} terén decemberben Pécelen, nyáron pedig Isaszegen volt mérhető. Illetve megállapítható, hogy Isaszegen megközelítőleg fele annyi volt az átlagkoncentráció mint Pécelen és Gödöllőn, melynek háttérében főként földrajzi adottságok állhatnak.

Jelen vizsgálat keretein belül azonban nem lehetséges teljes mértékben lehatárolni és elkülöníteni a lakossági fűtés hatását a meteorológiai és egyéb tényezőktől, mint például a közlekedésből származó kibocsátástól. Ahhoz, hogy ez lehetséges legyen, mindhárom település minimum két év teljes adatsorára szükség van, melyből már lehetséges lesz a fűtési szezonban mutatkozó tendenciák vizsgálata és pontosabb következtetések levonása a lakossági biomassza alapú tüzelés elterjedésére vonatkozóan.

6. Összefoglalás

A légszennyezés globális szinten nagy problémát jelent. Kiváltó okai között szerepel többek között a növekvő népességszám, a fokozott városiasodás, a folyamatosan növekvő fogyasztói igényeket kiszolgáló iparágak termeléséből eredő kibocsátás, az ezzel járó lakossági és ipari energiaigény folyamatos növekedése, illetve a jelenlegi globális energiapolitikai helyzet, melynek hatására a lakossági egy része biomassza alapú tüzelésre kénytelen átállni.

Jelen diplomamunka keretein belül három település – Gödöllő, Pécel és Isaszeg – kertvárosi részére telepített fix mérőállomás adatainak elemzésére került sor. Az elemzés célja a téli és nyári hónapok között megfigyelhető különbségek vizsgálata volt a szálló por koncentrációt illetően, kiemelt figyelemmel a lakossági fűtés okozta koncentráció növekedésre. A fix mérőállomásokon kívül megvizsgáltam az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat által a Budapest XVIII. kerületi Gilice térre kihelyezett automata mérőállomás által mért $PM_{2.5}$ és PM_{10} koncentrációt a 2021. január 1 – 2023. szeptember 31. közötti időszakokra vonatkozóan, mellyel főként az évszakok (fűtési szezon – a fűtési szezonon kívül eső hónapok) közötti különbségeket elemeztem. A kihelyezett mérőállomások adatai közül december és augusztus került kiválasztásra, napi adatok vizsgálatához pedig a december legalacsonyabb középhőmérsékletével rendelkező napja, december 13., illetve az augusztus legmagasabb középhőmérsékletű napja, augusztus 27. került kiválasztásra.

A téli és nyári évszakok összehasonlításakor a mérés során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy télen magasabb szálló por koncentráció figyelhető meg mindhárom településen, mint a nyári időszakban, melynek hátterében egyrészt meteorológiai tényezők, másrészt a lakossági fűtés áll.

A napi mérési adatok vizsgálatával lehetségessé vált a szálló por koncentráció alakulásának vizsgálata a napszakok függvényében. Az elemzés kimutatta, hogy télen (december 13.) Gödöllőn az éjszakai órákban a legalacsonyabb az átlag PM_{10} és $PM_{2.5}$ koncentráció, majd az első emelkedés a reggeli órákban figyelhető meg, melynek hátterében a reggeli órákban bekövetkező közlekedésből származó kibocsátás állt. Isaszegen és Pécelen nem, vagy csak minimális koncentráció emelkedés volt megfigyelhető ezekben az órákban, mely alátámasztja, hogy forgalmas közutaktól való távolság mennyiben befolyásolja a szálló por koncentrációját.

Mindhárom település esetében a késő délutáni és esti órákban a hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan egyre magasabb és kiugróbb PM_{10} és $PM_{2.5}$ koncentráció volt megfigyelhető, mely a lakossági fűtésnek (illetve Gödöllő esetében a Budapestről Gödöllő irányába ingázók

közlekedéséből származó kibocsátásnak) tulajdonítható. A koncentrációt illetően fontos tényező a lakosság által használt fűtőanyag. Mindhárom település lakossága főként hálózati (vezetékes) gázt használ, viszont a második legelterjedtebb fűtőanyag a tűzifa, aminek elégetése hozzájárult az esti órákban megfigyelt magas szálló por koncentrációhoz.

Összeségében megállapítható, hogy a téli időszakban a lakossági biomassza alapú tüzelés hozzájárul az emelkedett PM_{10} és $PM_{2.5}$ koncentrációhoz. Viszont mivel jelen diplomamunka készítésekor még nem állt rendelkezésre a három mérési helyszínre vonatkozóan minimum két évre visszamenőlegesen PM_{10} és $PM_{2.5}$ adat, ezért nem határozható el egyértelműen a lakossági biomassza alapú tüzelés az egyéb, szálló por koncentrációra ható tényezőktől (például közlekedéstől, meteorológiai tényezőktől). Ahhoz, hogy ez lehetséges legyen, mindhárom település minimum két év teljes adatsorára szükség van, melyből már lehetséges lesz a fűtési szezonban mutatkozó tendenciák vizsgálata és pontosabb következtetések levonása a lakossági biomassza alapú tüzelés elterjedésére vonatkozóan.

Irodalomjegyzék

Anderson, J. O. – Thundiyil, J. G. – Stolbach, A. (2012): Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *J. Med. Toxicol.* 8, 166–175.

<https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>

Bartholy J. – Mészáros R. – Geresdi I. – Matyasovszky I. – Pongrácz R. – Weidinger T. (2013). letöltés dátuma: 2023.03.07. forrás:

https://www.eltereader.hu/media/2014/05/Meteorologiai_alapismeretek_READER.pdf

Bános K. (2012): *A szálló por terheltség környezeti hatásai és csökkentésének gazdasági alternatívái.* [PhD-értekezés] Gödöllő: Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola.

Letöltés dátuma: 2023.04.04. forrás:

https://archive2020.szie.hu/file/tti/archivum/Banos_Katalin_ertekezes.pdf

Báthory Cs. – Dobó Zs. (2020): LIFE IP HUNGAIY *Technical description, operation and maintenance plan of the monitoring system, Phase I.*

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 (IJEMS) Vol. 4. (2019). No. 4.* DOI: 10.21791/IJEMS.2019.4.38.

Báthory Cs. – Woperáné Serádi Á. – Palotás Á. (2018): Légszennyezők terjedését befolyásoló keveredési rétegvastagság közvetett vizsgálata. *Energiagazdálkodás 59. évf. 2018. 1-2. szám.* pp. 22-25.

Belügyminisztérium – VÁTI Nonprofit Kft. (2011): Klímabarát városok – Kézikönyv az európai városok klímaváltozással kapcsolatos feladatairól és lehetőségeiről. pp. 21.

Bozó L. – Györgyné Váraljai I. – Ivanics I. – Vaskövi B. – Várkonyi T. (2001): *A környezeti levegőszennyezettség mérésének gyakorlata, Kézikönyv az immisszió vizsgálatához, pp. 1.*

letöltés dátuma: 2022.12.10. forrás:

<https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/immisszioskezikonyv.pdf>

Demény K. (2007): A Gödöllői-dombság általános bemutatása. *Tájökológiai Lapok 5 (2), 2013-223.* Letöltés dátuma: 2023.10.24. Forrás: http://real-j.mtak.hu/16912/2/TOL_5_2.pdf

European Environment Agency (2022): *Air quality in Europe 2022 Web Report.* Letöltés dátuma: 2022.12.10. forrás: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>

European Environment Agency (2022): *Europe's air quality status 2022.* Letöltés dátuma: 2023.10.14. forrás: <https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe-2022/>

European Environment Agency (2023): *Europe's air quality status 2023.* Letöltés dátuma: 2023.10.14. forrás: <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2023>

Európai Bizottság (2021): *A Bizottság Közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának - Bolygónk egészségessé tétele mindenki számára - Uniós cselekvési terv: „Út a szennyezőanyag-mentes levegő, víz és talaj felé”*. letöltés dátuma: 2022.12.10. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0400&from=EN>

Európai Bizottság (2022): *Uniós intézkedések az energiaválság megoldásáért*. Letöltés dátuma: 2023.10.07. forrás: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/eu-action-address-energy-crisis_hu#mit-tett-eddig-az-az-energiav%C3%A1ls%C3%A1g-kezel%C3%A9se-%C3%A9rdek%C3%A9ben

Farkas Csamangó E. (2014): *A szálló por környezetjogi szabályozása. Agrár- és Környezetjog 2014. 16. szám. 85-94*. Letöltés dátuma: 2023.10.19. forrás: <https://ojs.mtak.hu/index.php/JAEL/article/download/2705/1962>

Homonnay Gy. – Barna L. – Bánhidi L. – Chappon M. – Halász Gy. – Szilágyi S. – Vaszil L. – Zöld A. (2001): *Épületgépészet 2000 – Fűtéstechika II*. Budapest: Épületgépészet Kiadó Kft.

Hopke, P. K. – Dai, Q. – Li, L. – Feng, Y. (2020): *Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter. Science of the Total Environment. Vol 740*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140091>

http1 United Nations Climate Change honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.02. forrás: <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>

http2 Eurostat EC Data browser. Letöltés dátuma: 2023.03.04. forrás: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/HLTH_CD_IAP/default/table?lang=en

http3 Eurostat honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.05. forrás: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230609-2>

http4 Európai Parlament honlapja. Letöltés dátuma: 2023.04.09. forrás: <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20230316STO77629/klimavaltozas-a-globalis-felmelegedest-okozo-ueghazhatasu-gazok>

http5 Nitrogén-oxidok (2009). Letöltés dátuma: 2023.03.05. forrás: <https://www.legszenyeztes.hu/nitrogen-oxidok/>

http6 Kén-dioxid (SO₂) (2009): Letöltés dátuma: 2023.03.05. forrás: <https://www.legszenyeztes.hu/ken-dioxid/>

http7 Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.05. forrás: https://www.met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_alapismeretek/bevezetes_a_meteorologiaaba/#

http8 A talajközeli ózon (O₃) (2010). Letöltés dátuma: 2023.03.05. forrás: <https://www.legszenyeztes.hu/a-talajkozeli-ozon-o3/>

http9 Nemzeti Jogszabálytár. 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet a levegő védelméről.
Letöltés dátuma: 2023.09.20. forrás: <https://njt.hu/jogszabaly/2010-306-20-22>

http10 Nemzeti Jogszabálytár. 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről.
Letöltés dátuma: 2023.09.20. forrás: <https://njt.hu/jogszabaly/2011-4-20-2Y>

http11 United States Environmental Protection Agency honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.11. forrás: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>

http12 Eurostat honlapja. Letöltés dátuma: 2023.09.12. forrás: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Urban-rural_Europe_-_introduction#:~:text=In%202021%2C%20broadly%20similar%20shares,lived%20in%20pre-dominantly%20rural%20regions.

http13 United Nations Conference on Trade and Development honlapja. Letöltés dátuma: 2023.09.12. forrás: [https://hbs.unctad.org/total-and-urban-population/#:~:text=Urbanization%20continues&text=The%20share%20of%20urban%20population,minority%20\(35.3%20per%20cent\)](https://hbs.unctad.org/total-and-urban-population/#:~:text=Urbanization%20continues&text=The%20share%20of%20urban%20population,minority%20(35.3%20per%20cent))

http14 Központi Statisztikai Hivatal honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.16. forrás: <https://www.ksh.hu/sdg/3-9-sdg-13.html>

http15 Copernicus honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.16. forrás: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-level#:~:text=Over%20most%20of%20the%20European,than%20in%20the%20open%20ocean>

http16 Copernicus honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.16. forrás: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/temperature>

http17 United Nations Climate Change honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.16. forrás: <https://unfccc.int/documents/2409>

http18 EUR-Lex honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.16. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32015D1339>

http19 UNEP honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.16. forrás: <https://www.unep.org/>

http20 Európai Unió és az Európai Tanács honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.17. forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/paris-agreement/>

http21 Európai Bizottság honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.17. forrás: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

http22 EUR-Lex honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.17. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0400&from=EN>

http23 Európai Unió és az Európai Tanács honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.17. forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

http24 EUR-Lex honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.18. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=celex%3A32008L0050>

http25 EUR-Lex honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.18. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0400>

http26 Európai Bizottság honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.18. forrás: https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation_en

http27 EUR-Lex honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.05. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/HU/legal-content/summary/geneva-convention-on-long-range-transboundary-air-pollution.html>

http28 EMEP honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.05. forrás: <https://www.emep.int/>

http29 Európai Unió és az Európai Tanács honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.07. forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/how-dependent-are-eu-member-states-on-energy-imports/>

http30 Európai Unió és az Európai Tanács honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.07. forrás: <https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/where-does-the-eu-s-energy-come-from/>

http31 Európai Bizottság honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.07. forrás: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_hu

http32 Nemzeti Jogszabálytár. 259/2022. (VII. 21.) Korm. rendelet egyes egyetemes szolgáltatási árszabások meghatározásáról. Letöltés dátuma: 2023.10.07. forrás: <https://njt.hu/jogszabaly/2022-259-20-22>

http33 Nemzeti Jogszabálytár. 287/2022. (VIII. 4.) Korm. rendelet a veszélyhelyzet ideje alatt a tűzifaigények biztosításához szükséges eltérő szabályok alkalmazásáról. Letöltés dátuma: 2023.10.07. forrás: <https://njt.hu/jogszabaly/2022-287-20-22>

http34 Európai Bizottság Magyarországi Képviselőlet honlapja. Letöltés dátuma: 2023.04.20. forrás: https://hungary.representation.ec.europa.eu/strategia-es-prioritasok/fontosabb-unios-szakpolitikak/kornyezet-es-klimavedelem_hu

http35 European Environment Agency (2023). Letöltés dátuma: 2023.04.24. forrás: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>

http36 Nemzeti Jogszabálytár. 6/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról. Letöltés dátuma: 2023.10.07. forrás: <https://njt.hu/jogszabaly/2011-6-20-2Y>

http37 Országos Meteorológiai Szolgálat Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.08. forrás:

<https://legszenyezettség.met.hu/levegominoseg/informacio/GYIK#szamossag>

http38 Központi Statisztikai Hivatal honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.19. forrás:

<https://www.ksh.hu/sdg/3-5-sdg-3.html>

http39 Ezeremester honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.19. forrás: https://ezeremester.hu/cikk-6889/Korszeru_faelgazosito_kazanok

http40 Központi Statisztikai Hivatal honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.20. forrás:

<https://nepszamlalas2022.ksh.hu/eredmenyek/vegleges-adatok>

http41 Fejér Megyei Kormányhivatal honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.20. forrás:

<https://www.kormanyhivatal.hu/hu/fejer/hirek/nem-mindegy-mivel-es-hogyan-futunk>

http42 Google Earth. Letöltés dátuma: 2023.10.21. forrás: <https://earth.google.com/web/>

http43 Központi Statisztikai Hivatal honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.24. forrás:

<https://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haDetails.jsp?query=kshquery&lang=hu>

http44 Országos Meteorológiai Szolgálat Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.10. Forrás: <https://legszenyezettség.met.hu/levegominoseg/meresi-adatok/automata-merohalozat>

http45 Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.10. Forrás:

https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_honapok_idojarasa/

http46 Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.10. Forrás:

https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/

http47 Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság honlapja. Letöltés dátuma: 2023.10.20. Forrás:

<https://www.katasztrofavedelem.hu/modules/vesz/esemeny/60563/0?back=https%3A%2F%2Fwww.katasztrofavedelem.hu%2Fmodules%2Fvesz%2Fesemeny%2F60563>

Imre K. – Ferenczi Z. – Dézsi V. – Gelencsér A. (2014): A baj nem jár egyedül – hőhullámok és levegőszennyezettség. *Iskolakultúra* 2014/11-12. 96-102. Letöltés dátuma: 2023.10.23.

Forrás: https://epa.oszk.hu/00000/00011/00190/pdf/EPA00011_iskolakultura_2014_11-12.pdf

Innovációs és Technológiai Minisztérium (2020): *Nemzeti Energia- és Klímaterv*. letöltés dátuma: 2023.03.05. forrás: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu_0.pdf

Kozlova, E. – Chernysh, A. – Kozlov, A. – Sergunova, V. – Sherstyukova, E. (2020): Assessment of carboxyhemoglobin content in the blood with high accuracy: wavelength range optimization for nonlinear curve fitting of optical spectra. *Heliyon Volume 6, Issue 8*.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04622>

Lagzi I. – Mészáros R. – Gelybó Gy. – Leelőssy Á. (2013): *Atmospheric chemistry*. letöltés dátuma: 2023.03.07. forrás:

https://www.eltereader.hu/media/2014/04/Atmospheric_Chemistry_READER.pdf

Li, T. – Yu, Y. – Sun, Z. – Duan, J. (2022): A comprehensive understanding of ambient particulate matter and its components on the adverse health effects based from epidemiological and laboratory evidence. *Part Fibre Toxicol* 19, 67.

<https://doi.org/10.1186/s12989-022-00507-5>

Pardo, N. – Sainz-Villegas, S. – Calvo, A. I. – Blanco-Alegre, C. – Fraile, R. (2023): Connection between Weather Types and Air Pollution Levels: A 19-Year Study in Nine EMEP Stations in Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2023, 20, 2977. <https://doi.org/10.3390/ijerph20042977>

Petzold, A. – Kärcher, B. (2012): Aerosols in the Atmosphere. *Atmospheric Physics. Research Topics in Aerospace*. pp. 37-53. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30183-4_3

Press-Kristensen, K. (ford. Marozs Á., Lenkei P.) (2017): *A lakossági tüzelés légszennyezése – Dán tapasztalatok nemzetközi kitekintéssel*. Letöltés dátuma: 2023.10.20. forrás: https://www.levego.hu/sites/default/files/Pollution_from_residential_burning_hungarian_final.pdf

Qiu, G. – Li, H. – Zhang, Q. – Chen, W. – Liang, X. – Li, X. (2013): Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*. Volume 12, Issue 8. pp. 1307-1315. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60543-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60543-2)

Simon G. (2004): Légszennyezés. letöltés dátuma: 2022.12.20. forrás: <https://mek.oszk.hu/13700/13786/>

UNEP (2021): *State of the Climate*. UNEP honlapja. Letöltés dátuma: 2023.03.16. forrás: https://www.unep.org/explore-topics/climate-action/what-we-do/climate-action-note/state-of-climate.html?gclid=EAiaIQobChMI8t_s1Onv_gIVzAaLCh0tHgkbEAAYAiAAEgLIJ_D_BwE

Unger J. (2010): *A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa*. [MTA Doktori Értekezés]. forrás: http://real-d.mtak.hu/274/4/UngerJanos_5_Mu.pdf

World Health Organization: WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. letöltés dátuma: 2022.12.04. forrás: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: PM _{2.5} okozta halálozások száma 2011-ben.....	5
2. ábra: PM _{2.5} okozta halálozások száma 2020-ban.....	5
3. ábra: Aeroszol részecskék légköri tartózkodási ideje a méretük függvényében.....	9
4. ábra: PM ₁₀ és PM _{2.5} részecske mérete	10
5. ábra: Meteorológiai tényezők hatása a szálló por koncentrációra	11
6. ábra: A városi hősziget vázlatos keresztmetszeti képe és horizontális szerkezete ideális körülmények között.....	12
7. ábra: Legnagyobb ÜHG kibocsátó országok (2018)	14
8. ábra: Üvegházhatású gázok kibocsátásának változása országok szerint (2018).....	15
9. ábra: Oroszországból származó energiaimport aránya	18
10. ábra: Magyarország 2030-as energia- és éghajlatváltozási céljai.....	19
11. ábra: Európai Unió lakosságának kitettsége határértéket meghaladó PM _{2.5} és PM ₁₀ koncentrációnak	21
12. ábra: PM ₁₀ koncentráció 2021-ben.	22
13. ábra: PM ₁₀ koncentráció 2022-ben.	22
14. ábra: PM _{2.5} koncentráció 2021-ben.....	22
15. ábra: PM _{2.5} koncentráció 2022-ben.....	22
16. ábra: Szálló por koncentráció alakulása Magyarországon 2003-2019 között	23
17. ábra: Szálló por koncentráció szektorok szerinti megoszlása [%].....	24
18. ábra: Fűtőanyagok használatának településtípus szerinti megoszlása	25
19. ábra: Gödöllőn kihelyezett mérőállomás	27
20. ábra: Mérési helyszínek	28
21. ábra: Gödöllőn kihelyezett mérőállomás M3-as autópályától való távolsága	29
22. ábra: 2022. december középhőmérséklete [°C]	31
23. ábra: Csapadékösszeg 2022. decemberben	32
24. ábra: Időjárást alakító ciklonok 2022. december 13-án	32
25. ábra: 2023. augusztus középhőmérséklete [°C].....	33
26. ábra: Csapadékösszeg 2023. augusztusban.....	33
27. ábra: Magyarország szálló por koncentrációjának alakulása (2021.01.01-2023.09.31.)..	34
28. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2022. december)	35
29. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2023. augusztus)	36
30. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2022. december)	37
31. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2023. augusztus).....	37
32. ábra: Erdőtűz Budapest XVIII. kerületében (2023. augusztus 3.)	38
33. ábra: Szálló por koncentráció alakulása a 2023. augusztus 3-án bekövetkező erdőtűz után	38
34. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Isaszegen (2023. augusztus).....	39
35. ábra: Mérési eredmények kiterjedése.....	40
36. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2022. december 13.)	41
37. ábra: Lakossági fűtési rendszerek megoszlása Gödöllőn (2022).....	42
38. ábra: Fűtőanyagok megoszlása Gödöllőn (2022)	43
39. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2022. december 13.) ..	44
40. ábra: Lakossági fűtési rendszerek megoszlása Pécelen (2022).....	45
41. ábra: Fűtőanyagok megoszlása Pécelen (2022)	46
42. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Gödöllőn (2023. augusztus 27.)	47
43. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Pécelen (2023. augusztus 27.)..	48
44. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet alakulása Isaszegen (2023. augusztus 27.)	49
45. ábra: Szálló por koncentráció és hőmérséklet – mátrix	50

1. táblázat: Főbb üvegházhatást okozó gázok Globális Felmelegedési Potenciálja	4
2. táblázat: PM ₁₀ -re és PM _{2,5} -re vonatkozó határérték, tájékoztatói és riasztási küszöbérték	20
3. táblázat: A mérőegységben használt szenzorok tulajdonságai	27
4. táblázat: Mérési helyszínek főbb demográfiai és földrajzi adottságai	28
5. táblázat: Példa az OLM adatbázisából.....	29
6. táblázat: Példa a kihelyezett mérőállomások adataiból	30
7. táblázat: Településeken mért átlagkoncentráció (2023. augusztus 27.)	49

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Gonda-Nagy Melitta
A Hallgató Neptun kódja: EKL298
A dolgozat címe: Lakossági biomassza alapú tüzelés hatása a szálló por koncentrációra a Gödöllői-dombság területén
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

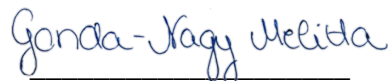
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023. év november hó 3. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Gonda-Nagy Melitta (hallgató Neptun azonosítója: EKL298) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre **javaslom** / **nem javaslom**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2023. év november hó 3. nap



belső konzulens