



Légszennyezettség hatása az emberi kitettségre és a biztonságra a járványok idővonalában

Air pollution impact on human exposure and safety during the times of epidemics

Dr. Bera József,

Fonometro Környezetvédelmi Kutató és Oktatástámogató Bt., Budaörs, Magyarország
info@fonometro.hu

Összefoglalás — A COVID-19 járvány a biztonság és a környezetvédelem közötti kapcsolat mélyebb vizsgálatát igényli. A koronavírus okozta légúti megbetegedésben és a betegállapot súlyosságában ugyanis nem a betegség idején fennálló levegőminőség a meghatározó. Arra kell helyeznünk a hangsúlyt, hogy a beteg korábban milyen hosszú időszakot töltött el a légszennyezőanyaggal terhelt környezetben, és a légszennyezettség mértéke mekkora mértékű volt. A vírusok elleni védekezést segíti, ha a levegőszennyezettség és annak időtartama is csökken. De mit és milyen mértékben kell megváltoztatni, és miként tegyük ezt? A kérdést környezeti idővonal elemzéssel és levegőminőség mérés alapján kívánjuk megválaszolni, amit jelen munkánkban foglaltunk össze.

Kulcsszavak: koronavírus, légszennyezettség, biztonság

Abstract — The COVID-19 epidemic calls for a deeper study of the relation between safety and the environment. This is because air quality at the time of the disease is not the determining factor in respiratory diseases or in the severity of the coronavirus-related condition. We should focus on how long the patient has been effected by the air polluted environment in the past and how high the air pollution level was. In the long run, it helps to protect against viruses if both air pollution and its duration are reduced. But what should we do, to what extent and how to do it? We would like to answer this question by environmental timeline analysis and air quality measurement, which is summarized in this work.

Keywords: coronavirus, air pollution, safety

1. BEVEZETÉS

A koronavírus okozta COVID-19 fertőző betegséggel kapcsolatban több kutatási jelentés is napvilágot látott, amely a megbetegedések és az elhalálozások számát a levegőminőséggel, főként a nitrogén-dioxid koncentrációval hozza összefüggésbe [1] [2]. A közzétett kutatási jelentések műholdas légszennyezettségi és légáramlási adatok összevetésével mutatnak rá, hogy azokban a térségekben, ahol jelentősebb a légszennyezés más térségekhez képest, ott a koronavírushoz köthető elhalálozások száma is kimagasló. Ez a megállapítás arra utal, hogy a koronavírus-fertőzéssel érintett lakosság egészségi állapota és a levegőminőség közötti kapcsolat feltárása a vírusfertőzésnek való kitettség és a járvány lefolyásának jobb megismeréséhez vezet. Mindehhez a légszennyezés adatok, a légszennyezettséget befolyásoló környezeti körülmények, valamint a biztonságra is kiterjedően a kibocsátó források elemzése szükséges.

2. JÁRVÁNNYAL KAPCSOLATOS FOLYAMATOK

2.1. Levegővédelmi folyamatok

A vírusfertőzés okozta járvány kezelése a kiemelt figyelmet igénylő betegellátáson és a vakcina kifejlesztésén, valamint a járvány visszaszorításán túl a kapcsolódó egyéb folyamatok megismerésére is kiterjed. Keletkezését tekintve el kell fogadnunk a koronavírus és a COVID-19 fertőző betegség jelenlétét, hiszen mindkettő itt van és küzdelmet folytatunk ellene. A küzdelemben minden ország jelentős energiát fektet a járvány visszaszorításába és a betegek gyógyításába, ami a levegővédelmi összefüggésekhez vezetett. Ilyen összefüggés, hogy a kitettséget az egyéb krónikus betegségek mellett az egyes személyek légúti betegsége súlyosbítja, mivel a koronavírus a légzőszervet támadja meg. Tapasztalatok szerint az idős korban lévőknél ez a helyzet fokozottabban jelentkezik. A légzőszervi betegségekkel előtérbe került a légszennyezettség, a kutatások jelenlegi fázisaiban főként a nitrogén-dioxid és a szilárd légszennyezők egészségügyi állapotra gyakorolt szerepe. A légszennyező anyagok azonban összetett folyamaton keresztül vezetnek a légzőszervi betegségek kialakulásához, ezért a koronavírusal szembeni kitettség is számos tényezőtől függ. Azt elsődlegesen elfogadjuk, hogy a kitettség eltérő mértékű az egyes embereknél, és tudjuk, hogy az eltérésben az életkor és az egyéb előzménybetegségek meghatározó szerepet kapnak. Az eltérő kitettség azonban függ a lakóköznyezetétől és az élethelyzetektől, egyénenként az életvitelszerűen bejárt terület és napi útvonal – elsősorban levegővédelmi szempontú – környezeti állapotától is. Erre vonatkozóan még kevés ismeret áll rendelkezésre, az érintett térségek levegőszennyezettséggel kapcsolatos környezeti állapotával foglalkozó kutatások eredménye azonban rámutat a kapcsolatra [1] [2] [3].

A vizsgálat kiindulási alapja, hogy a koronavírusal szembeni kitettséget azok a környezeti körülmények befolyásolják, amelyekkel az emberek az életterük és a viselkedésük alapján kapcsolatba kerülnek. Ezek a környezeti körülmények a létfenntartásban elkerülhetetlen, személyenként változó helyzetet teremtenek a levegőminőség vonatkozásában is. A levegőkörnyezeti jellemzőket az egyének az ehhez szükséges lehetőségek hiányában, vagy az elfogadottság miatt nem képesek befolyásolni. Azonban létezik több olyan tényező,

amelynek megváltoztatása vagy jobbá tétele az érintettek magatartásán vagy szándékán múlik.

2.2. Kapcsolódó folyamatok

A levegőminőség kedvező változása mellett a COVID-19 fertőző betegséggel kialakuló járvány negatív hatása, hogy a védekezéshez szükséges intézkedések olyan mértékű gazdasági fordulathoz vezettek, amely lokálisan és tágabb értelemben is bizonytalanságot okoz. A vírus elleni védekezés érdekében bevezetett intézkedések iparágak jelentős visszaesését, több esetben teljes leállását eredményezték. A tevékenységek visszaesése vagy a leállás egyaránt kihat a létfenntartási folyamatokra és a mentális közérzetre, ezáltal az emberek biztonságára. A „biztonság” fogalmát ebben az esetben tágabb értelmezésben alkalmazzuk [4] szerint.

Ha megnézzük a termelési vagy szolgáltatói szektorokat, számos olyan tevékenységet találunk, amely az elvárt eredményt tekintve a mindennapi életvitelhez elengedhetetlenné vált napjainkra. A működés leállításával kialakuló hiány, az esetleges hiányérzet rövid idő alatt kedvezőtlen biztonságérzet kialakulásához vezet, az emberek bizalma gyorsan megrendül. A megszokott technológiák és szolgáltatások folyamatos működése létfontosságú, hiányuk következménye, hogy a vírussal szembeni félelemhez párosul a biztonságérzet csökkenése, amelyre az ellátási biztonság szemléltet megfelelő példát a lakosság körében kialakult felvásárlási hullám formájában. De a járványhelyzetben bevezetett korlátozások meddig jelentenek nagyobb biztonságot, mint a korlátozások nélküli életvitelben megszokott biztonság? Hangsúlyozzuk, hogy a biztonság kialakulása és fenntartása társadalmi méretű, szükséges és egyben túlmutat az egyén szintjén.

A vírus elleni védekezést ugyanakkor tágabb értelmezésben kell megvalósítani, amihez egyfajta környezeti idővonalat használunk. A COVID-19 koronavírussal összefüggésbe hozott légszennyezés, illetve a nitrogén-dioxid jelenléte ugyanis szoros összefüggésben van a biztonságot – létbiztonság, ellátási biztonság [4] – meghatározó emberi tevékenységekkel, az üzemekkel és a gépgyártással, a közlekedéssel és a közlekedési szolgáltatásokkal, de szerepet kap az urbanizáció, az épületek és a lakókönyezet fenntartása is. Ezek a tevékenységek a mindennapok feltételrendszeréhez tartoznak, más megközelítésben a létfenntartás miatt a biztonság alapját adják.

A kedvező levegővédelmi folyamat és a biztonság együttes értékelésével való megközelítéssel elkerülhetetlen, hogy a COVID-19 járványt környezeti idővonal mentén elemezzük. A járványt megelőző időszak, a járvány, és a járványt követő időszak figyelembevételével szükséges vizsgálni azokat a környezeti hatásokat, amelyek befolyásolják a vírusfertőzést és következményeit, de az emberi tevékenységeket tekintve meghatározzák a gazdaság működését, a múltbeli, a jelenlegi és a jövőbeni emberi szándékokat. A járvány elleni védekezésnek ki kell terjednie a jövőbeni kedvező állapot fenntartására is, amelynek célja megakadályozni a vírus újbóli megjelenését vagy a járvány ismételt kialakulását, valamint csökkenteni kell a légúti betegségekhez köthető kitettség mértékét. Az elmondottak alapján a vizsgálathoz „környezeti idővonalra” van szükség, amely egyaránt kiterjed a vírus jelenlétére, valamint a megelőző és a következő időszakokra.

A koronavírusról eddig közzétett információk alapján a környezeti körülmények, így a légszennyező anyagok jelenléte összefüggésbe hozható a személyek kitettségével, a betegség súlyosságával és a sajnálatos elhalálozásokkal. A környezeti körülmények alakulása azonban összetett folyamat, a nitrogén-dioxid szennyezettség csupán a kialakult helyzetet szemlélteti az egyik legfontosabb szennyezőanyag koncentráció bemutatásával [1] [2]. Nem szabad háttérbe szorítani, hogy más légszennyezők, például a szilárdanyagok hasonló mértékben meghatározzák a légúti betegségeket és a vírus terjedését. További levegőminőségi probléma, amikor a vírusnak kitett, sok esetben legyengült szervezet és az épülethelyiség rossz levegője együttesen vezet olyan közérzet kialakulásához, amely érzékeny mentális állapotot okoz. Az összefüggés jelentősége, hogy járványhelyzetben a védelem hatékony és fontos eszköze az otthonmaradás az emberi kontaktok csökkentése érdekében.

A környezeti körülményeket és a levegőminőséget tehát több szempontból is vizsgálni szükséges a COVID-19 fertőző betegség vonatkozásában. Egyrészt meghatározó a környezeti levegő állapota, amely befolyásolja járvány idején a megbetegedések számát és súlyosságát. A levegőkörnyezeti helyzet befolyásolja a járvány folyamatát, az eddigi tapasztalatok szerint a légszennyezéssel összefüggő egészségi állapot a járvány terjedésében és kezelésében alapvető tényező. Nem nehéz belátni, hogy a járványt követő időszakban a termelés újraindításával a légszennyeztség növekedésére lehet majd számítani, ezért a járvány kiújulására irányuló felkészülésben is helyet kap az egészségügyi kitettséggel összefüggő levegőminőség. Másrészt mindaddig, amíg a vírus visszaszorításának egyik eszköze az otthonmaradás, az otthonok levegőjének is megfelelő minőségűnek kell lennie. Egyszerűbb megfogalmazásban a gyakori légcserre, a szellőztetés alapvető a járványok idején. Ebben a körbe tartoznak azok az épületek is, amelyek használata még a fertőző betegség elterjedésével is folyamatos, hiszen a biztonság fenntartása a javakkal való ellátás nélkül nem lehetséges.

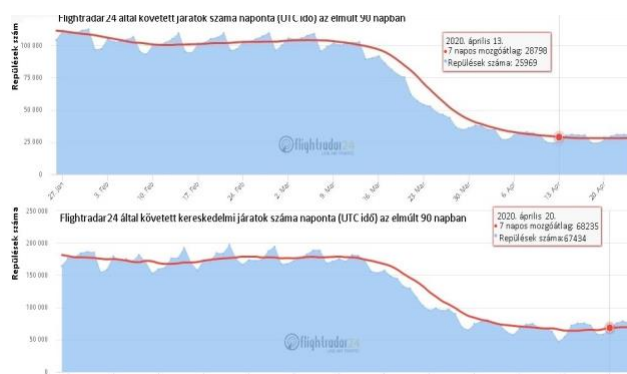
3. JÁRVÁNY ÉS BIZTONSÁG ÖSSZEFÜGGÉSEI

Ahogy említett tettünk róla, járványok idején a vírusfertőzés terjedésében fokozott szerepet kap a biztonság. De mit értünk biztonság alatt az emberek egészségét és a létfenntartáshoz szükséges folyamatokat egyaránt fenyegető helyzetben, amikor a döntéseket eltérő, egymásnak sokszor ellentmondó szempontok befolyásolják?

A helyzet áttekintéséhez látni kell, hogy a műszaki technológiák széles körű alkalmazásával a környezetvédelmi szempontok fokozott mértékben irányítják rá a figyelmet a biztonságra. A környezeti hatások csökkentése a működési biztonságot is érinti, ellenhatás alakul ki a biztonságra való törekvés és a környezethasználat kapcsolatrendszerében. Az ellenhatás lényege, hogy a technológiák folyamatos működtetése a biztonság szükséges feltétele, ami új környezeti hatásokat okozva további biztonsági kockázatokat eredményez. Ezek a biztonsági kockázatok akadályozzák a dinamikus egyensúlyban lévő környezetvédelmi rendszer kialakulását [4]. A humán lét összetettségét tekintve be kell látni, hogy a környezeti hatások kezeléséhez a biztonság ismerete is szükséges, hiszen az eddigi tapasztalatok szerint járvány idején nem a környezetvédelem szabályozza a

tevékenységeket és a megszokott folyamatokat, hanem a megbetegedések miatt a munkaerő karanténba és kórházakba kerülése, valamint a járvány miatt bevezetett kényszerű intézkedések sorozata. A környezethasználatához köthető biztonságra visszahatnak a járvánnyal kapcsolatos intézkedések.

Ezeknek az intézkedéseknek a hatását mérhetjük le a légiközlekedést érintő változásokkal is, amit a járványt megelőző időszakra és a járvány idejére jellemző légiforgalom összevetésével szemléltetünk. Annak ellenére számos kritika éri a légiközlekedést a környezetben okozott légszennyeztség és zajterhelés miatt, hogy a repülőterek környezetvédelmi szabályozása folyamatos, az elmúlt évtizedekben egyre több szabályozási elem kerül be a légiközlekedési folyamatokba. A szabályozás sarkalatos kérdése maradt azonban a légiforgalom növekedése, az emelkedő művelet- és járatszám, amelynek kezelése a környezetvédelem számára máig megoldatlan feladat maradt [5]. A járatszám visszaesésével természetesen a koronavírus járvány idején is csökkent a kibocsátás, illetve a környezetterhelés, ami jelen esetben nem a környezetvédelmi, hanem a kényszerű járványügyi korlátozással függ össze. A légiforgalom alakulása az 1. ábrán látható.



1. ábra: Légiforgalom alakulása járvány előtt és a járvány időszakában [forrás:www.flightradar24.com]

Az 1. ábrán látható, hogy 2020 március hónap 2. hetében mind a teljes, mind a kereskedelmi járatszám drasztikus csökkenése következett be, amely helyzetet a környezeti hatások – főként a zajterhelést és a levegőszennyeztséget – tekintve első megközelítésben előnyösnek tarthatnánk. A környezeti előnyök mellett azonban egy széles körben megszokott utazási és szállítási lehetőség jelentős visszazorulásáról beszélünk, ami az ellátási biztonság csökkenése mellett a szektorban dolgozók munkahelyét is veszélyezteti, érintve a gazdasági és a politikai biztonság területeit. Tehát a járvány a nem tervezett környezetvédelmi előny okozása mellett szokatlan, a biztonsággal kapcsolatos újabb és egyben negatív helyzet kialakulásához vezetett. A modern környezetszennyezés alapja ugyanis, hogy az egyének és a társadalmak az élet részének tekintik a humán környezethasználatot, és ez jelent biztonságot számukra. A kérdés továbbra is az, hogy mit értünk „biztonság” alatt?

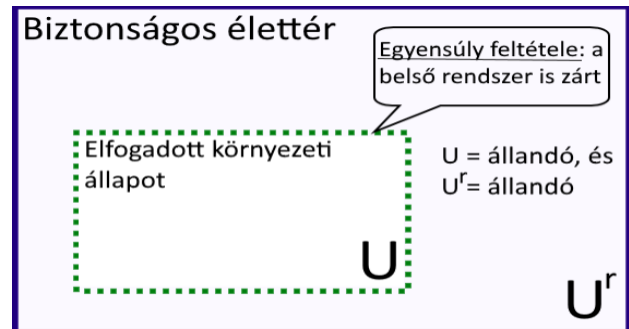
A témával foglalkozó kutatók általános vélekedése, hogy a „biztonság” egy komplex meghatározás, amely területenként sajátos jelentéstartalmat hordoz, ezért fogalmát nem lehet valamennyi területre megkülönböztetés nélkül kiterjeszteni. Meghatározásánál célszerű a lényegi tartalomra koncentrálni, és aszerint gondolkodni, hogy a

biztonság egy pillanatnyi veszélymentes, bántódásmentes állapot [6]. A humán környezethasználatokat tekintve az eddigi meghatározást saját kutatásaink alapján egészítjük ki, miszerint a „biztonság” a komplexitásából adódóan meghatározza az élő szervezet és a környezet közötti kapcsolatot, amelynek lényeges eleme a „hajlandóság”. A problémamegoldáshoz kötődő „hajlandóság” párosul a „bizalommal”. A bizalom kialakulását a „tudat” teszi lehetővé, ami szűkebb értelmezésben a logikus és absztrakt gondolkodás, a valóság megismerése. Tágabb értelemben a „tudathoz” tartozik az „érzékelés” és az „érzelem” is, ami befolyásolja az „akaratot”, mint a cselekvés mozgatórugóját. Az elmondottak alapján a „biztonság” és a „tudat” felhasználásával rögzítjük a „tudati biztonság” fogalmát.

Tudati biztonság:

A valóság megismerésén és az érzékelésen alapuló, szándékos figyelemmel vezérelt cselekvéssorozat, ami az életfeltételek biztosítására, az élet megszűnéséhez vezető károsodások elleni védelemre, valamint a létfenntartásra és konfliktusok elhárítására irányul.

A „biztonság” megítéléséhez nyújt segítséget a „biztonságérzet”. A biztonságérzet olyan tudatállapot, amikor a környezetből érkező input jelek nyugalmi helyzet kialakulásához vezetnek, ezáltal az élettér és az elfogadott környezet kényszerű megváltoztatására nem alakul ki igény. A *biztonságérzet alkotóelemeit, a közöttük fennálló kapcsolattal* [4] alapján a 2. ábrán szemléltetjük.



2. ábra: Biztonságérzet alkotóelemei és kapcsolatuk [4]

Ahhoz, hogy a „tudati biztonság” alapján kialakuljon a valós cselekvéssorozat, minden biztonságtérületen erősíteni kell azokat a folyamatokat, melyek kielégítik a funkcióknak megfelelő igényeket. Az emberek mindennapi igényei elsőként az ellátási biztonsággal kerülnek kapcsolatba, amely tágabb értelemben valamennyi biztonságtérülettel összefügg, egyben a különböző iparágak és technológiák, illetve a működési rendszerek és alkalmazások meghatározó jellemzője. Ezáltal szervesen kapcsolódik a környezetvédelemhez, a kapcsolat minősége szerint gátló és segítő tényező. A biztonságtérületeket és az ellátási biztonság helyét az elmondottak megértéséhez a 3. ábrán szemléltetjük [4] alapján.

jogi biztonság gazdasági biztonság létbiztonság	Kiemelt csoportok	politikai biztonság
	környezetbiztonság	
	ellátási biztonság	
	közlekedési biztonság	
	működési biztonság	
	közmbiztonság	
	nukleáris biztonság	
	ökológiai biztonság	
	szociális biztonság	
	élet- és vagyonbiztonság	
	közbiztonság	
	katonai biztonság	

3. ábra: Biztonság területei funkciók és élethelyzetek szerint [4]

Különböző technológiák – ide értve a gyártást, a közlekedést és az energiatermelést – kibocsátásvizsgálata alapján jutunk arra a következtetésre, hogy a környezeti igénybevétel a biztonság megítélésének alkotóeleme, közvetlen hatást gyakorol a tudati biztonságra és a biztonságérzetre. A humán tevékenységek alapvető jelentőséget kapnak az ellátási biztonság terén, mivel a közlekedési rendszerek, az energiaellátás, az anyagi javak előállítása és rendelkezésre bocsátása, valamint a kapcsolódó folyamatok fenntartása mind ide tartozik. A fenntartás kiegészül a fejlesztéssel és az építéssel, ezek összetartoznak az ellátási biztonság szempontjából. De mindez nem működik az elfogadható közegészségügyi helyzet nélkül, hiszen a gazdaságnak egészséges munkaerőre és korlátozások nélküli folyamatokra van szüksége, hogy a humán igények teljesítése megtörténhessen.

A koronavírussal kapcsolatban kialakult járványhelyzet rávilágít arra, hogy a biztonságot is jelentő környezethasználatokkal az emberiség olyan folyamatokat indított el, amelyek a kiváltott hatás miatt később, például egy vírusfertőzés idején következményekkel járnak. Ilyen következmény a légúti megbetegedések és a levegőszennyezettség közötti összefüggés, amely a tapasztalatok szerint a koronavírussal szembeni fogékonyságot és a megbetegedések súlyosságát fokozza. Az érintettség kialakulása hosszú folyamat eredménye, megértéséhez a környezeti idővonalat vesszük igénybe.

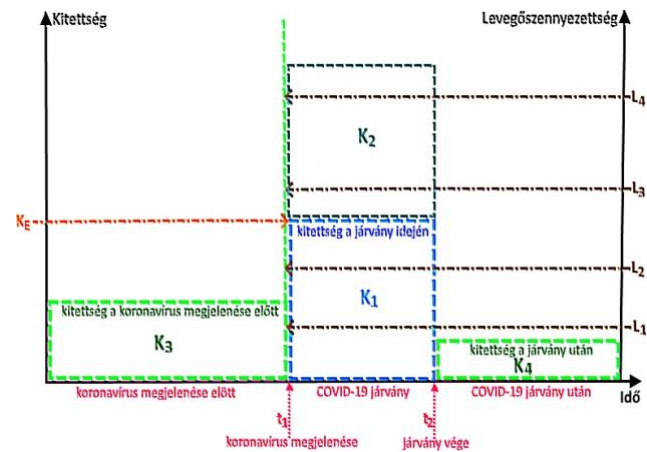
4. JÁRVÁNY KÖRNYEZETI IDŐVONALA

A vírusfertőzéssel kezdődő folyamatok – az egészségügyi és a járulékos folyamatok egyaránt – megértése járványhelyzetben és a járványt követően is szükséges. A következmények felszámolása és a betegek gyógyítása, illetve az újabb fertőzések visszaszorítása mellett a járvány kiújulásával a hatások újbóli kezelése további kihívást jelent a szakemberek számára. Vírusfertőzés esetén az egyik feladat a humán kitettséget befolyásoló tényezők vizsgálata, valamint annak megismerése, hogy ezek a tényezők milyen módon befolyásolják a betegszámot és a megbetegedés súlyosságát, a halálozási ráta mértékét. Mivel a koronavírus a légzőszervet támadja meg, a következményeit és a terjedését befolyásoló egyik tényező a környezeti körülmények állapota, ezen belül a levegőszennyezettség mértéke.

Tény, hogy már évtizedekkel ezelőtt is találkozhattunk olyan vélekedéssel, amely a vírushoz köthető betegségeket a légszennyezéssel is összefüggésbe hozta. Az eltelt idő rövidsége miatt jelenleg még kevés adat áll

rendelkezésünkre a koronavírus okozta betegségek és a levegőminőség kapcsolatáról, de az eddigi tapasztalatok alapján arra következtetünk, hogy a nitrogén-dioxid és a szilárd légszennyezőanyagok a megbetegedéseket és az elhalálozásokat, valamint a vírus terjedését egyaránt meghatározzák. A vírusfertőzéssel kialakuló betegséggel összefüggésben a nitrogén-dioxid légszennyezőre, a fertőző betegség terjedése miatt a szilárd légszennyezőre hívta fel a figyelmet több kutató. Többek között erre a következtetésre jutott nemrégiben egy olasz kutatócsoport is [7]. Annak ellenére, hogy a jelenlegi felvetések további vizsgálatokkal való tudományos alátámasztására még várni kell, érdemes alaposabban utánajárni, hogy mi a helyzet a légszennyezésből eredő környezeti helyzet és a megbetegedések közötti kapcsolattal. Minderre úgy kerítünk sort, hogy a levegőminőséggel kapcsolatos kitettséget vizsgáljuk az idő függvényében.

A légszennyezéssel összefüggő megbetegedések, valamint az érzékenység kialakulásának vizsgálatát huzamosabb érintettségre célszerű elvégezni. Arra ugyanis nem találtunk minden kétséget kizáró igazolást, hogy az alkalmoszerűen vagy az eseti jelleggel bekövetkező, illetve az egy-két alkalommal ismétlődő, az átlagos levegőminőségtől eltérő légszennyezettség – az extrém helyzetektől eltekintve – az érintett személyeknél bizonyított egészségkárosodáshoz vezetett volna. Másik, de nem kevésbé fontos ok, hogy az eddigi ismereteink szerint hosszabb idő szükséges a magasabb fokú kitettséghez, amelynek levegőminőséggel való összefüggéseit keressük jelenleg. Ezek a feltételezések vezettek arra, hogy „környezeti idővonal” mentén gondolkodjunk, amihez a 4. ábrán bemutatott sémát alkalmazzuk.



4. ábra: Környezeti idővonal a vírusfertőzéssel kapcsolatos megbetegedések és a légszennyezés közötti összefüggés vizsgálatához

A 4. ábrán az idő függvényében tüntettük fel a kitettség alakulását, jelen esetben a levegőszennyezettséggel hoztuk összefüggésbe a mértékét. A koronavírus megjelenése előtt t_1 időpontig a környezeti körülmények és élethelyzetek alapján mindenkinél a K_3 kitettségi szint alakul ki. A K_3 kitettséget a levegőszennyezettség és az időtartam együttesen határozza meg, mértéke attól függ, hogy egy ember mennyi időt tölt olyan környezetben, ahol a levegőszennyezés mértéke magasabb, vagy alacsonyabb. Természetesen az egészségügyi állapotot sok más tényező is befolyásolja, így a 4. ábrát ezzel a tartalommal csak a koronavírus vonatkozásában, a levegőszennyezésből eredő kitettség megítélésére alkalmazzuk.

Amennyiben a koronavírus nem kerül ki a környezetbe és nincs járvány, a K_3 alap kitettséggel lehet számolni, amely minden embernél más-más értéket vesz fel. Nagyobb létszámmal, például egy térség lakosságánál a K_E átlagos kitettséget célszerű figyelembe venni, amit a demográfiai adatok, az átlagos életkor, a megbetegedések és az ellátás alapján, de továbbra is az adott térségre jellemző levegőszennyeztség figyelembevételével határozhatunk meg. A koronavírus megjelenésével és járvány kitörésével t_1 után a kitettség meredeken növekszik, amikor a K_1 és K_2 értékek kialakulásával kell számolni, amit az $L_1...L_4$ levegőszennyeztség és a vírusfertőzés együttes hatása befolyásol. Amennyiben hosszú távra állnak rendelkezésre levegőszennyeztség adatok, akkor a kiváltott hatást az $L_1...L_n$ intervallumban vizsgálhatjuk a mért értékek függvényében. Kedvező esetben K_1 lesz a meghatározó kitettség, de magasabb légszennyeztség és időtartam esetében a K_1+K_2 kitettség is kialakulhat, amelynél a vírusfertőzés megelőzésére már jóval nagyobb figyelmet kell fordítani.

A járvány megszűnésével t_2 időpont után is megmarad a kitettség, amit a K_4 értékkel azonosítottunk. A K_4 szintén függ az $L_1...L_4$, illetve $L_1...L_n$ intervallumban a térségben kialakuló légszennyezéstől, de t_2 időponttól a járvány idején bevezetett intézkedések hatására kisebb mértékű a környezethasználat, amelynek következménye, hogy a légszennyeztség is csökken. A járványügyi korlátozások feloldása után a környezethasználatok fokozatosan megkezdődnek, amelynek következménye a levegőszennyeztség növekedése, ami a K_4 értéket jelenleg még ismeretlen mértékben befolyásolja. A K_1 és K_2 , valamint a K_4 több környezeti tényező függvénye, amelyek közül a legfontosabb, hogy a $t_1...t_2$ időintervallum melyik évszakra esik, illetve milyen az átlagos hőmérséklet nappal és éjjel. Az ipar és a közlekedés mellett ugyanis az épületek fűtése jelenti a jelentős légszennyezőanyag, ezen belül a nitrogén-dioxid kibocsátást. Tehát azzal is célszerű számolni a jövőben, hogy a 4. ábra szerinti $t_1...t_2$ időintervallum a környezeti idővonalon az év melyik szakaszában jelenik meg. Az összefüggés hasonló módon jelentkezik a t_1 előtti és t_2 utáni környezeti idővonal tartamokban is, hiszen télen az adott térség egyéb környezeti adottságai mellett a fűtéshez kapcsolódó magasabb levegőszennyeztség a K_3 és a K_4 kialakulását is meghatározza. Kisebb mértékben, de a téli fűtési időszakon kívül, akár nyáron is felléphet olyan helyzet urbanizációs környezetben, amikor a nitrogén-dioxid és a szilárd légszennyezők kedvezőtlen, szmogos levegőminőségi helyzetet okoznak.

Összességében a levegőminőséget a kibocsátó források mellett a környezeti körülmények is befolyásolják olyan mértékben, hogy érdemes tovább elemezni a kapcsolatot és a koronavírussal való összefüggéseket.

5. JÁRVÁNY ÉS A LEVEGŐVÉDELMI KÖRÜLMÉNYEK

5.1. A levegőminőségről általánosságban

Nekünk a levegőre, a levegőnek ránk van szüksége. A Föld körül az évmilliók során egy körülbelül 100 km vastag levegőburok alakult ki, amely az élőlények számára lehetővé teszi a légzést és szabályozza a Nap besugárzását. A levegő összetétele az évszázadok folyamán kismértékben változott, a változást főként az emberi tevékenységeknek tulajdonítjuk. A légköri levegő egy aerodiszperz rendszer, amelyben gázok keveréke szilárd és folyékony részecskéket tartalmaz. A tökéletes tiszta levegőt kémiai

értelemben nem lehet meghatározni, mivel a földtörténet során ez sohasem létezett, természetes forrásból eredő anyagok – talajokról kikerülő por, tüzek égéstermékai, vulkáni kitörések porai, tengerek kibocsátásai, kozmikus por – mindig jelen volt a levegőben. Ezért a légkör összetételét jelenleg is a bioszféra szabályozza. Természetes környezetben a légszennyező komponensek száma 1400-1600 közötti, amelyek a Földön mindenütt előfordulhatnak, egyaránt lehetnek természetes és antropogén eredetűek. A természetes értelemben tiszta levegő összetételét [8] alapján az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat: A természetes tiszta levegő összetétele

Gázkomponens	Térfogatszázalék
Nitrogén [N ₂]	78,10 %
Oxigén [O ₂]	20,93 %
Argon [Ar]	0,9325 %
Szén-dioxid [CO ₂]	0,03-0,04 %
Kripton [Kr]	0,0001 %
Neon [Ne]	0,0018 %
Hélium [He]	0,0005 %
Xenon [Xe]	0,000009 %

Az 1. táblázatban felsorolt komponenseken kívül a levegő több más komponenst tartalmaz, amelyek főként a CO, O₃, H₂, CH₄, N₂O, SO₂, H₂S, NO_x, NH₃ és szilárdanyag, valamint változó mennyiségben vízgőz. Az antropogén tevékenységek a levegő összetételét különböző szennyezőanyagokkal befolyásolják, amelyek tartózkodási ideje a levegőben nem végtelen, a kiürülés anyagokként eltérő, néhány naptól a néhány évig terjed. A szennyezőanyagok tartózkodási idejére a levegőben – a teljesség igénye nélkül – a 2. táblázatban szemléltetünk példát.

2. táblázat: Szennyezőanyagok tartózkodási ideje a levegőben

Légszennyező komponens	Tartózkodási idő
dinitrogén-oxid [N ₂ O]	200 év
metán [CH ₄]	7 év
nitrogén-dioxid [NO ₂]	3 nap
szilárd szennyezőanyagok	1-2 órától az 1-2 napig

A dinitrogén-oxid egy színtelen, nem gyúlékony gáz. Anesztetikus és analgetikus hatása miatt a sebészetben és a fogászatban egyaránt használják, ismertebb nevén nevetőgáz az euforizáló hatásából adódóan. Az egészségügy mellett a belsőégésű motorok üzemanyagához is keverik, nagyban növeli a motorok teljesítményét oxidáló hatása miatt. Az elterjedt alkalmazás mellett azonban tudni kell, hogy üvegházhatása hozzájárul a globális felmelegedéshez. A metán egy telített szénhidrogén, amely színtelen szagtalan gáz. Központi eleme a szén, a szénatom körül hidrogénatomok helyezkednek el. Sűrűsége a levegőnél kisebb, ezért felfelé áramlik, egy szoba légtérét felülről lefelé tölti meg. A természetben előforduló üvegházhatású gáz, amely főként a szerves anyagok rothadásával, és emésztési folyamatok nyomán jön létre. A nitrogén-dioxid vörösesbarna, szúrós szagú gáz, vízben jól oldódik. Nitrogén-dioxid keletkezik a nitrogén-oxid levegőn történő oxidációja során. A nitrogén-oxidok (NO_x) főként a járművek és a hőtermelő

berendezések égéstermékéből erednek. A környezeti levegőben jelen lévő oxidáló anyagok hatására a nitrogén-monoxid gyorsan alakul át nitrogén-dioxiddá, de a direkt égetés is nitrogén-dioxid kibocsátó forrás. A szilárd szennyezők számtalan forrásból származnak, amelyek főként a tüzelő- és a motorhajtó anyagok égetése, a hulladék égetése, a gépjármű fékrendszerek és gumibroncsok használata, a gyártási és a termelő technológiák, az építkezések. Szinte valamennyi emberi tevékenységnél jelen van. A természetes folyamatok még mindig meghatározóak, jelentős diffúz források alakulnak ki a növényzet hiánya miatt például erdőirtás helyén vagy szántóműveléskor. A levegőben szálló porrészecskék mérete széles tartományban mozog, az egészségre a 10 mikronnál (10 μm -nél) kisebb méretű por jelenti a nagyobb veszélyt, mivel bejut a mélyebb légutakba. A bemutatott szennyezőanyagok környezeti és élettani hatását a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat: Szennyezőanyagok környezeti és élettani hatása

Légszennyező komponens	Környezeti és élettani hatás
dinitrogén-oxid [N_2O]	A légzést nem táplálja. Szerepet játszik a fotokémiai szmog kialakulásában, savas ülepedésben. Légzőszervi megbetegedéseket okoz.
metán [CH_4]	Levegővel robbanóelegyet képez. Ugyanannyi molekulára vonatkoztatva a szén-dioxidnál 23-szor intenzívebb üvegházhatása van.
nitrogén-dioxid [NO_2]	A téli és a nyári szmogok kialakulásában egyaránt meghatározó szerepet játszik. Légzőszervekben a nedves légúti nyálkahártyához kapcsolódva salétromos savvá, és salétrom-savvá alakul, ezáltal helyileg károsítja a szövetet. Felszívódva a véráramba jut, ahol a hemoglobin molekulát metemoglobinná oxidálja, így az nem képes oxigént szállítani a szervekhez. Csökkenti a tüdő ellenálló képességét a fertőzésekkel szemben, súlyosbítja az asztmás betegségeket, vérkép elváltozást okoz, jelenléte a tüdőfunkció gyengüléséhez vezet.
szilárd szennyezőanyagok	A porrészecskék ingerlik a szem kötőhártyáját, a felső légutak nyálkahártyáját. A tüdőelváltozás mértékét befolyásolja a belélegzett por mennyisége. Csökkenti a tüdő ellenálló képességét a fertőzésekkel, baktériumokkal és a vírusokkal szemben.

Az eddigiekben említett légszennyezők mellett szót kell még ejteni további kettő meghatározó anyagról, a szén-dioxidról (CO_2) és a formaldehidről (CH_2O) is. A környezeti levegőminőség mellett mindkettő komponens befolyásolja a zárt terek levegőjét, amely körülmény a huzamos emberi tartózkodás miatt meghatározó lehet a COVID-19 járvány idején.

A szén-dioxid légköri nyomáson légnemű, gáz halmazállapotú vegyület, a szén egyik oxidja. A tiszta levegő átlagosan 0,04 térfogatszázalék szén-dioxidot tartalmaz, az ismert kutatási adatok szerint a 2016-ban megállapított korrigált átlag 370-404 ppm. Ez a szén-dioxid mennyiség magasnak mondható, mivel a légköri szén-

dioxid koncentráció 100 éve még csak 280 ppm volt. A globális felmelegedés egyik fő oka az emberi tevékenységek szén-dioxid kibocsátása. Számos forrásból kerül a levegőbe. A széntartalmú anyagok égetése, az élő szervezetek és a mikroorganizmusok légzése, valamint a háztartások és az ipar mellett a vulkanikus folyamatok és a tengerek kötött szén-dioxidjából felszabaduló mennyiség is szerepet játszik a folyamatban. Színtelen, kis koncentrációban szagtalan, a levegőnél nagyobb sűrűségű vegyület, zárt helyiségben alulról felfelé tölti meg a teret. Amikor a belélegzett levegő a normál szén-dioxid koncentráció többszörösét tartalmazza, akkor enyhén savanykásnak érezzük a levegőt, de ez a koncentráció már veszélyes lehet, mert fulladást, eszméletvesztést is okozhat. A jó hír, hogy a növények víz mellett szén-dioxidot használnak fel a fotoszintézishez. Élettani hatása főként a szédülés, fejfájás, emelkedett vérnyomás, szapora pulzus, fulladás, öntudatlanság. Átgondolva ezeket az élettani hatásokat be kell látnunk, hogy több is van közöttük, amely a mindennapi életünkben jelen van és gyógyszereléssel kezeljük.

A szűkebb életterület meghatározó, de kevésbé publikált szennyezőanyag a formaldehid. A formaldehid egy szerves vegyület, szobahőmérsékleten gáz halmazállapotú, színtelen, szúrós szagú, rákkeltő hatású gáz. A környezetben szinte mindenhol előfordul, a növényi és az állati szervezetek anyagcsere terméke, de az emberi szervezetben is megtalálható ebben a formában. Számtalan emberi tevékenység során keletkezik, az ipari termelés mellett a dohányfüst és a járműmotorok égéstermékai is tartalmazzák. Kereskedelmi forgalomban is kapható formalin elnevezéssel, ami a formaldehid 30-50 %-os vizes oldata. Belső terekben a mennyiségét növelik az új bútorok, a lakásfelújításnál használt anyagok, a farost- és rétegelt lemezek formaldehid alapú műgyanta ragasztóanyagai, a hang- és hőszigetelő habok. A szaglásérzékelés határa 0,05-1,00 ppm, de már 0,3 ppm-től szemirritációt okozhat, egészségügyi kockázatok 1 ppm feletti koncentráció felett alakulhatnak ki. A levegőben gyorsan párolog, a felezési ideje 10-30 nap. A beltéri levegőben megtalálható formaldehid irritálja a szem és a felső légutak nyálkahártyáját, károsodhat a garat nyálkahártyája, a huzamosabb formaldehid terhelés befolyásolja a tüdő funkcióit, növeli a légúti megbetegedések rizikóját. Hosszan tartó ismételt belélegzése a felső légutak krónikus gyulladását okozza. Orrnyálkahártya általi felvételnél az anyag percekben belül lebomlik, ezért a hatás a levegőnek kitett szervekre korlátozódik. Nagyobb koncentrációban okoz asztmás betegeknek tüneti erősödést, valamint fejfájást és rossz közérzetet.

A levegőszennyeztség áttekintésével fokozatosan jutottunk el a természetes tiszta levegőtől a környezetet és az emberi egészséget egyaránt befolyásoló levegőminőséghez. Az áttekintés nem lehet teljes ebben a formában. Látható azonban, hogy számos olyan légszennyező van a környezetünkben, amely a szabadban és a zárt helyiségekben egyaránt kihat az emberi egészségre, különösen a koronavírussal is összefüggésbe hozott légúti betegségekre. Célszerű tehát mérési adatokkal vizsgálni, hogy mi a helyzet a levegőkörnyezeti helyzet terén.

5.2. Helyiségek levegőkörnyezeti állapota

Abban egységes a szakértők vélekedése, hogy a koronavírus okozta járvány sikeres kezeléséhez a személyes kontaktusok számát csökkenteni kell, a fertőzés terjedését csak így lehet visszaszorítani. A COVID-19 járvány kezdete óta törekszenek arra a döntéshozók, hogy a lakosságot minél nagyobb számban vegyék rá az otthonmaradásra. De milyen kilátásokra számíthatunk, ha a szokásosnál hosszabb időt töltünk zárt térben, az életterünket a lakóhelyiségek jelentik és csak korlátozott mértékben mozdulhatunk ki a szabadba, a friss levegőre? Ebben a helyzetben fokozottabb figyelmet kell fordítanunk a helyiségek levegőminőségére is, hogy a járvány elleni védekezés ne járjon újabb egészségügyi kockázatok kialakulásával, vagy járulékos megbetegedéssel.

Kevésbé ismert tény, hogy a beltéri levegőben esetenként több a szennyezőanyag, mint a környezeti levegőben. Ez aggodalomra ad okot, amennyiben belegondolunk, hogy életünk döntő részét normál életvitel mellett is épületekben, négy fal között töltjük, ami felöleli a lakást, a munkahelyet, a tanintézményt, a bevásárlóközpontot, az üzletet, a szórakozóhelyeket, a közintézményeket. Egyes szennyezők koncentrációja sokszor magasabb lehet épületen belül, mint a szabadban meghatározott határérték. A rossz beltéri levegőminőségnek több forrása is van, ezért a nem megfelelő légszere feltételeinek kialakítása meghatározó. A légzés útján elhasznált levegő helyébe ugyanis friss levegőt kell engedni, amit az épületkorszerűsítés, vagy a zajcsökkentés érdekében elterjedt, légmentesen záródó nyílászárók akadályoznak. A járvány kezelésében a felületek folyamatos fertőtlenítése, a tisztítószeres és a fertőtlenítéshez használt vegyszerek szintén kibocsátó források, fokozott használatuk a levegőminőséget is nagyobb mértékben befolyásolja, sajnos negatív irányban.

A beltéri levegőkörnyezeti helyzet vizsgálatához és jobb megismeréséhez a kutatásaink során a szén-dioxid és a formaldehid jelenlétét helyeztük előtérbe. Az ember légzése és a személyes levegőhasználat, a fűtés, a dohányzás, a gáztűzhelyek használata a szén-dioxid koncentrációt növeli egy zárt térben. Megfigyelhető, hogy a magas szén-dioxid koncentráció tanterekben vagy előadóterekben is problémát jelent. Ha huzamosabb időt át elmarad a szellőztetés egy teremben, ahol embercsoport tartózkodik, akkor a megemelkedő szén-dioxid koncentráció miatt észrevehetően csökken a hallgatóság figyelme, a tanulók könnyen elalszanak, a jelenlévők fokozott mentális terhelésnek teszik ki magukat a magas koncentrációs igény miatt. Hasonló helyzet alakul ki a lakóhelyiségekben is, ahol kevesebb személy tartózkodik, de értelemszerűen kisebb a légtér is. Egy rosszul szellőztetett hálóhelyiség kedvezőtlenül hat a pihenésre, sokaknál az alvás utáni ébredés fejfájással kezdődik, vagy fáradékonysággal jár.

A formaldehid jelenléte az átlagos lakóhelyiségekben ma már elfogadott, ami az elterjedten alkalmazott kibocsátó forrásoknak, például fából készült bútoroknak és padozatnak, ajtóknak és szigetelőanyagoknak köszönhető. A formaldehid vizes oldata a formalin, amit a biocid hatás miatt a fertőtlenítő termékek is tartalmaznak. A folyékony szappanok, a fogkrémek, a kozmetikumok, a műszálak, a gombaölő szerek, a folyékony tisztítószeres és a legtöbb fertőtlenítőszer formaldehiddel készül. Látható, hogy szinte mindazon anyagokban találunk formaldehidet, amivel a

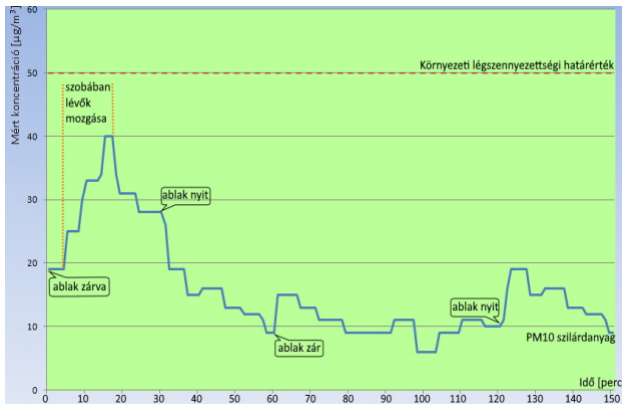
fertőzés terjedésének megakadályozásához, valamint egy átlagos lakásban körbe vesszük magunkat.

A szén-dioxid, a PM₁₀ szilárdanyag (10 µm) és a formaldehid koncentráció jelenlétét átlagos lakóhelyiségben műszeres méréssel vizsgáltuk. A méréseket egy 2,40x4,80 m alapterületű, átlagosan berendezett lakószobában végeztük el. A szén-dioxid és a szilárdanyag koncentráció mérését a reggeli órában kezdtük, ezt megelőző éjjel két fő tartózkodott a helyiségben zárt ablakok és ajtó mellett. A mérés idején ablaknyitással befolyásoltuk a beltéri légállapotot. A második mérést jól kiszellőztetett helyiségben kezdtük, majd elvégeztük a felületek tisztítását, amihez általános folyékony tisztítószer, ablak- és üvegtisztítót, bútorápoló aeroszolt használtunk.

Első felvetésünk, hogy szellőztetés hiányában feldúsul a vizsgálatba vont helyiségben a szén-dioxid koncentráció, amelynek mértéke növekszik a szobában tartózkodó személyek mozgásával. A szilárdanyag vonatkozásában hasonló eredményt várunk, a mozgás felkavarja az éjszakai nyugodt helyzetben leülepedett port, ami a levegőben növekvő koncentrációt okoz. A mérések alapján arra is választ keresünk, hogy az ablak nyitása milyen mértékben módosítja a szennyezőanyag koncentrációt. Második felvetésünk, hogy a lakóhelyiség levegőminőségét meghatározza, ha fertőtlenítő- és tisztítószerrel áttöröljük a bútorok és a padló felületeit, a kialakuló koncentráció lecsengése az időben elnyúló folyamat. Szén-dioxid vonatkozásában a „jó levegő” határértékének a környezeti levegőre jellemző átlagos koncentrációt, szilárdanyag vonatkozásában a környezeti levegőre [10] alapján meghatározott határértéket, formaldehid vonatkozásában [9] alapján a WHO által lakóházakra javasolt 0,1 ppm koncentrációt vettük alapul. A mérési eredményeket az 5-7. ábrákon szemléltetjük.



5. ábra: Lakóhelyiségben mért szén-dioxid koncentráció



6. ábra: Lakóhelyiségben mért szilárdanyag koncentráció



7. ábra: Lakóhelyiségben mért formaldehid koncentráció

A vizsgálat eredményei alapján igazoltnak látjuk azt a felvetést, hogy 8 óra időtartamban, csukott nyílászárók mellett kettő személy kilégzésével a szén-dioxid koncentráció a „jó levegő” mértékét jelentősen meghaladja. Ablaknyitási hiányában, az ébredés utáni időszakban a szén-dioxid koncentráció további emelkedését tapasztaltuk. Az ablak nyitásával a szén-dioxid koncentráció gyorsan csökkent, de a környezeti levegőre meghatározott 404 ppm értéknél még 30 perc elteltével is jóval magasabb, a „jó levegő” mértékét lakóhelyiségben még huzamosabb szellőztetéssel sem sikerült elérni. A szellőző levegő hatására az első időszakban csökkent a szilárdanyag koncentráció, majd a folyamatot kismértékű koncentrációváltozás jellemzi, amelyben az ablak nyitásokor egyaránt tapasztaltunk kismértékű emelkedést. A mért koncentráció újbóli csökkenése csak nyugodt légállapot mellett következett be. A szilárdanyag koncentráció változásai arra utalnak, hogy a szennyezőanyag nem a nyitott ablakon keresztül beáramló levegővel, hanem a lakóhelyiségbe belépők ruházatával és használati tárgyaival került be a helyiségbe. Az ablak nyitása nem okoz olyan mértékű szilárdanyag koncentrációnövekedést, mint egy hosszabb, nyugodt időszak után a mozgással okozott légáram.

A formaldehid mérését átszellőztetett lakóhelyiségben kezdtük, így a mért koncentráció alapján a formaldehid jelenlétét a mérés kezdetén nem tudtuk kimutatni. Az ablakot folyamatosan zárva tartottuk. A mérés első szakaszában használati tárgyakat és ruházatot mozgattunk, ennek hatására a szoba levegőjében a formaldehid koncentráció kismértékben emelkedett, de nem érte el a 0,1 ppm értéket. Ezt követően a takarítás időszakában, a fertőtlenítőszer használata a helyiségben a formaldehid

koncentráció ugrásszerű növekedett, 8 perc alatt elérte az 1,28 ppm értéket. A takarítás befejezésével a helyiség levegőjében a formaldehid koncentráció lassú lecsengését tapasztaltuk, a szennyezőanyag a csökkenő mennyiség ellenére huzamosabb ideig jelen volt a helyiség levegőjében, közel 100 perc elteltével is kimutatható volt a 0,63 ppm koncentráció. A formaldehid koncentrációval megértését segíti, hogy 0,05-0,125 ppm között a szaglasküszöbnek megfelelő, a 0,01-1,6 ppm között a nyálkahártya és szemirritációt okozó hatással számolhatunk.

5.3. Környezeti levegőminőség

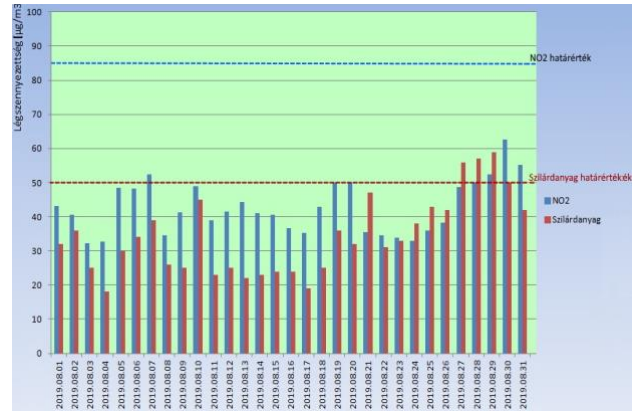
A környezeti levegő összetétele évmilliók alatt alakult ki, a növényzet révén a légkör idővel feldúsult oxigénnel. Természetes körülmények mellett összetett körfolyamat gondoskodik arról, hogy a levegőminőség állandó egyensúlyban maradjon. A növekvő légszennyezés azonban ezt az egyensúlyt megbontotta. Az emberi tevékenységtől eredő légszennyezők túlsúlya a természetes szabályozást zavarja. Ennek köszönhetően a nitrogén-dioxid és a szilárdanyagok fokozott légköri jelenlétét is, ami a légszennyezés mértékét, szélsőséges esetben a füstköd (szmog) kialakulását meghatározza. Téli szmog légsere-szegény, inverziós időjárási körülmények között jön létre. Az egyéb légszennyezők mellett ilyenkor a nitrogén-dioxid és a szilárdanyag az inverzió miatt nem tud a magasabb légrétegbe távozni, felszínközélen rekedve létrehozhat az úgynevezett londoni vagy fekete szmogot. Nyári szmog esetén az erős napsgárgázás fotokémiai reakciót indít el, amely során nitrogén-dioxid, ózon, hidrogén-peroxid és peroxi-acetil-nitrát keletkezik. A friss levegővel való keveredés hiánya miatt a légszennyezőanyag koncentráció fokozódik, és létrejön az úgynevezett Los Angeles-i vagy barna szmog, amit erősít a direkt nitrogén-dioxid kibocsátás. Jellemzően nagyforgalmú térségekben, száraz és napfényes időjárásnál fordul elő. A folyamatot segíti a terület hegyekkel körülvett katlan jellege, ahol megreked a szennyezett levegő.

Látható, hogy mindkét esetben meghatározó a nitrogén-dioxid és a szilárd légszennyezők hatása. Ez a hatás a levegőminőség és a légzőszervi megbetegedések összefüggésében a koronavírusnak való kitettséget is előtérbe helyezi, a légszennyezettség mértéke mellett annak időtartama és a magas koncentrációk gyakorisága kerül középpontba. Ezért a továbbiakban arra keresünk választ, hogy ezeknek az anyagoknak a koncentrációja eltérő környezeti körülmények mellett milyen mértékben módosul, és mekkora a kiváltott hatás a környezeti idővonal mentén. A vizsgálat eredménye azért kérdéses, mert a korábbiakban bemutattuk, hogy több szennyezőanyag pár nap alatt kiürül a levegőből. A folyamat azonban sajnos végtelen, a kibocsátások révén számolnunk kell a szennyezőanyagok állandó pótlásáról. Kisebb-nagyobb mértékben, és eltérő környezeti helyzetekben a légszennyezőanyagok utánpótlása szinte mindig megtörténik. A nitrogén-dioxid és a szilárdanyag koncentrációkat mérések alapján vizsgáltuk. Felvetésünk, hogy eltérő környezeti helyzetekben a belélegzett szennyezőanyagok mennyisége jelentős változást mutat, ami a 4. ábrán bemutatott környezeti idővonal függvényében a kitettséget befolyásolja.

Elsőként megnéztük nagyvárosi környezetben a nyári „nem fűtési időszakban” és a téli „fűtési időszakban”, valamint tavasszal a március-április időszakban a nitrogén-

dioxid és szilárdanyag koncentrációt. A felhasznált adatok forrása az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat Budapest I. kerület Széna tér mérőállomás, amely elhelyezkedése alapján a városi közlekedéstől eredő légszennyezettséget méri. A vizsgált időszakok: 2019. augusztus 01-31., 2020. január 01-31. és 2020. 03. 16-04.26. A határértéket [10] alapján vettük figyelembe.

A bemutatott mérési eredmények alapján látható, hogy naponta változik a légszennyeztség, amely változás esetenként jelentős az egymást követő napokon. A kibocsátás-változásnak a forrásjellemzők mellett a környezeti körülményekre visszavezethető okai vannak. A vizsgálat során nagyobb jelentőséget tulajdonítunk a koncentrációk nyári és téli időszakokban megfigyelhető tendencia jellegének és annak a ténynek, hogy a vizsgált időszakokban folyamatosan magas a nitrogén-dioxid és a szilárdanyag koncentráció az urbanizációs környezetben. Amennyiben a vizsgálatot kiterjesztjük a térségben tartózkodó személyek által belélegzett mennyiségekre, akkor a koronavírus szempontjából is érdekes eredményre jutunk. A légszennyeztség adatokat a 8-10. ábrák szemléltetik.

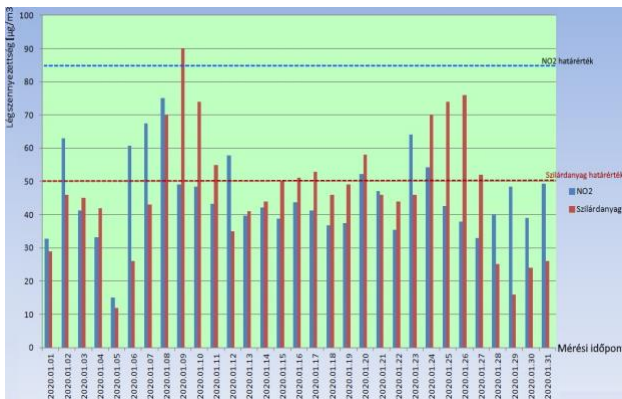


10. ábra: Légszennyeztség városi környezetben télen

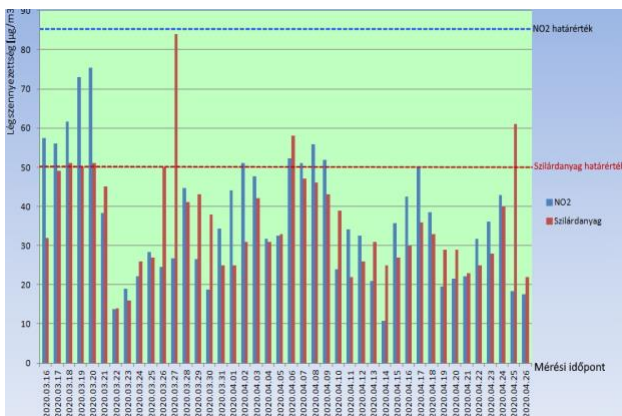
A légzés a külső légtér és a vér közötti gázcseré, ami a tüdőben történik. A levegőcserét a ki- és belélegzés biztosítja. Nyugodt légzéskor egy egészséges felnőtt ember 1 perc alatt 16-szor vesz levegőt, amivel 0,5 liter levegőt szív be és lélegzik ki. Nehézlégzéskor, illetve erőltetett légzéskor 2,5 l is lehet a légzési térfogat. A vizsgálatnál a belélegzett 0,5 l levegőt vettük alapul, és feltételeztük, hogy egy személy éves átlagban naponta legfeljebb 12 órát tartózkodik a szabadban. A havi átlagok alapján számolt légszennyezőanyag mennyiségek a 4. táblázatban láthatók.

4. táblázat: Belélegzett légszennyezőanyag mennyiségek

	nitrogén-dioxid			szilárdanyag		
	január	április	augusztus	január	április	augusztus
napi átlag [µg/m ³]	45,5	38,6	42,7	47,0	37,7	35,6
1 nap alatt belélegzett [µg]	262,2	222,3	243,0	270,2	216,6	205,1
1 év alatt belélegzett [µg]	2891			2704		

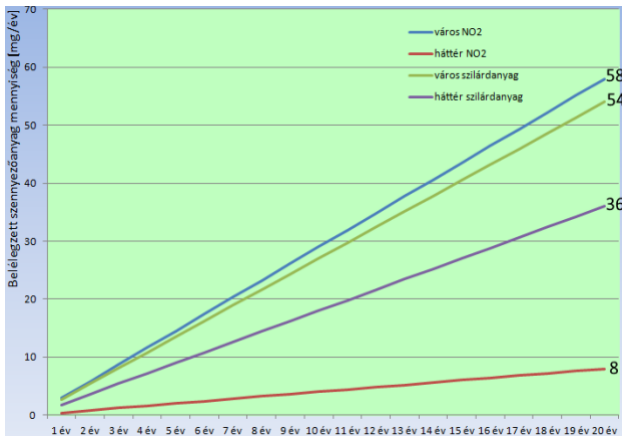


8. ábra: Légszennyeztség városi környezetben télen



9. ábra: Légszennyeztség városi környezetben tavasszal

Amennyiben az éves eloszlást nézzük, akkor éves átlagban 2,9 mg nitrogén-dioxidot és 2,7 mg szilárdanyagot lélegzünk be nagyvárosias környezetben napi 12 óras szabadban eltöltött idővel. A továbbiakban elvégeztük a vizsgálati eredmény idővonal és összehasonlító elemzését. Megnéztük, hogy 20 éves idővonalon mennyi szennyezőanyag kerül egy ember légzőszerveibe, valamint összevetettük az urbanizációs környezetet a természetes környezettel a belélegzett szennyezőanyagok szempontjából. Az összevetéshez az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat Sarród mérőállomáson rögzített levegőminőségi háttérterhelést vettük alapul. Háttérterhelés vonatkozásában az átlagos napi nitrogén-dioxid koncentráció 3,1-11,0 µg/m³, az átlagos napi szilárdanyag koncentráció 12,7-24,9 µg/m³, amely értékek messze elmaradnak a városi környezetben mért légszennyezettségtől. Az idővonal és összehasonlító elemzést a 11. ábrán szemléltetjük.



11. ábra: Belélegzett szennyezőanyag környezeti idővonal és összehasonlító elemzése

A vizsgálat eredménye rámutat arra a tényre, hogy az urbanizációs környezetben és a természetes környezetben belélegzett nitrogén-dioxid mennyiség markáns különbséget mutat. Amennyiben a természetes környezeti körülmények mellett belélegzett nitrogén-dioxidot vonatkoztatjuk a légzőszervek normál működtetésére, akkor átlagban 7,25-ször több nitrogén-dioxid jut a légzőszervekbe urbanizációs környezetben. Szilárdanyag vonatkozásában ez a különbség 1,5-szeres, ami az urbanizációs és a természetközeli környezeti állapot között kisebb eltérést mutat. A légzőszervi terhelés szempontjából tehát meghatározó a nitrogén-dioxid jelenléte, a terheléskülönbség a jelenlegi egészségügyi ismeretek alapján jelentősnek mondható. A szilárdanyag inkább a koronavírus terjedésében kap nagyobb szerepet, mivel városi és természetközeli környezetben egyaránt jelen van, ami meghaladja a nitrogén-dioxid mennyiségét. Ettől függetlenül a városi környezetben fellépő szilárdanyag szennyezettség mértéke szintén kiugróan mondható a természetes környezeti körülményekhez képest.

A 11. ábrán bemutatott jelleggörbék ollószerűen nyílnak. A folyamatosan szétnyíló ollójelleg miatt a levegőterheltség különbséget a légzőszervi terheltség szempontjából nevezük a továbbiakban „levegőterheltség expozíciós mutatónak”, amely jelen esetben az egyenes jelleggörbével szélsőséges esetet szemléltet. A modellnél ugyanis azt vettük alapul, amikor az évek számával egyenes arányban növekszik a belélegzett szennyezőanyag mennyisége. A belélegzett légszennyezőanyag mennyiség növekedése és csökkenése torzítja az egyenest, ami összefüggésben van a térség légszennyezettségi helyzetével. Kedvező helyzetet a levegőterheltség expozíciós mutató alapját adó jelleggörbe ellaposítása, az ollójelleg szűkítése jelent, amely lehetőség vizsgálata további kutatási célkitűzésünk. Nem nehéz ugyanis belátni, hogy a levegőterheltség expozíciós mutató javításával közelebb jutunk a koronavírussal összefüggő légzőszervi megbetegedések kezelésében a megoldáshoz.

6. KONKLÚZIÓK

A koronavírus és a nitrogén-dioxid szennyezettség közötti összefüggést ismertető kutatások megállapításai szerint a járvány súlyosságát fokozza a levegőkörnyezeti hatások okozta légúti betegség és egészségügyi kitettség. Ezért a COVID-19 járvány esetében is előtérbe került az antropogén tevékenységektől, az ipartól, az üzemelektől és a

közlekedéstől eredő környezeti hatások, a levegőminőség jobb megismerésének igénye.

A járvány visszaszorításának eszköze a személyes kontaktusok csökkentése, ami főként az otthonmaradással valósul meg, emberek huzamos időt töltenek lakásaikban, zárt terekben. Miközben biztonságban érezzük magunkat járvány idején az otthonunkban, hajlamosak vagyunk megfélemedezni az egyéb, főként a levegőkörnyezeti hatásokról. A biztonság ebben a vonatkozásban több kérdést is felvet, amelyekre elsőként a tudati biztonság és a biztonságérzet, valamint a vírusfertőzéssel kapcsolatos megbetegedések, illetve a légszennyezés közötti összefüggés vizsgálatához felállított környezeti idővonal ad választ.

Az általunk elvégzett vizsgálatok felvetése, hogy a koronavírus és a légúti betegségek közötti kapcsolatot a természetes állapothoz képest kimutatott levegőminőségi helyzetből adódó, belélegzett szennyezőanyag mennyiség is meghatározza. A lakóhelyiségek kellő ismeretek hiánya miatt csak látszólagos biztonságot jelentenek, sok esetben a levegőben kimutatható légszennyezők okán veszélyzóna alakul ki. Felvetéseink az elvégzett mérések és az elemzés alapján igazolást nyertek.

Ígazoltuk, hogy urbanizációs környezetben a szabadban eltöltött időben, légzés útján jóval több szennyezőanyag kerülhet az ember szervezetébe a természetes, kedvező állapottal jellemzett környezethez képest. Az elemzés alapján az életkor, illetve a szennyezésnek való időbeli kitettség is meghatározó tényező. A lakóhelyiségben elvégzett mérésekkel igazoltuk, hogy a zárt terekben a kellő átszellőzés nélkül kialakuló szennyezőanyag koncentrációk lecsengési ideje hosszú. Alátámasztottuk, hogy a szennyezőanyagok jelentős része nem a szellőző levegővel kerül a helyiségekbe, hanem a ruházattal és a használati tárgyakkal való behurcolás útján, amely elleni védelem a koronavírus vonatkozásában külön figyelmet érdemel.

A vizsgálati eredmények megalapozzák azt a felvetést, amely a koronavírus és a levegőkörnyezeti helyzet összefüggéseire irányul. A COVID-19 járvány hatásainak kezelésében így szerepet kell adni a levegővédelemnek, valamint a légszennyezést okozó technológiák, az emberi tevékenységek, a gépiüzemeltetés, az eszközhasználat és a közlekedés levegőterhelés vizsgálatának.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] https://makronom.mandiner.hu/cikk/20200421_a_levego_magas_nitrogen_dioxid_szintje_osszefuggeset_a_covid_19_magas_halalozasi_ratajaval, letöltés: 2020. 04. 22.
- [2] <https://infostart.hu/tudomany/2020/04/22/ez-mar-nem-talalatas-megvan-hol-lehet-magas-a-jarvany-halalozasi-aranya>, letöltés: 2020. 04. 22.
- [3] https://nepszava.hu/3075296_a-levego-nitrogen-dioxid-szintje-osszefuggeset-a-koronavirus-halalozasi-aranyaval, letöltés: 2020. 04. 22.
- [4] Bera J.: *Biztonság kontra modern környezeti probléma*, Műszaki Tudományos Közlemények (HU), 2018, Kolozsvár, pp. 47-50, <https://content.sciendo.com/view/journals/mtk/9/1/article-p47.xml>
- [5] Bera J., Pokorádi L.: *Közlekedés a környezetvédelmi rendszerhatáron innen és túl*, Közlekedéstudományi Konferencia 2016 Kiadvány, Győr, 2016, 116-143.
- [6] Csutorás G.: *Biztonságtudomány*, Környezetvédelmi Tudástár XXIX. kötet, Pannon Egyetem, Veszprém, 2013, 12-14.
- [7] <https://qubit.hu/2020/03/28/olasz-kutatok-szerint-ahol-nagy-a-levego-szennyezettseg-ott-jobban-terjed-a-koronavirus>, letöltés: 2020. 04. 27.
- [8] Dr. Kovács B.: *Levegőtisztaság-védelem*, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2004, p. 11.
- [9] <https://www.who.int/healthinfo/statistics/mortables/en/>, letöltés: 2020.05.12.
- [10] A levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 4/2011. (I. 14.) VM rendelet 1. melléklet