

Levegő és egészség

1. Bevezetés

2. A levegő, amit belélegzünk

3. A légszennyezettség egészségügyi problémái

4. A leggyakoribb légszennyező anyagok egészségre gyakorolt hatása

4.1. A szén-dioxid (CO_2)

4.2. A kén-dioxid (SO_2)

4.3. A részecskék (PM)

4.4. Az ózon (O_3)

4.4.1. A troposzférikus ózon

4.4.1.1. *Hogyan keletkezik?*

4.4.2. A sztratoszférikus ózon

4.4.2.1. *Hogyan keletkezik?*

4.4.2.2. *Az ózon lebomlásának környezeti hatásai*

4.4.2.2.1. *Az ultraibolya sugárzás változásai*

4.4.2.2.2. *Az ember és az állatok egészségére gyakorolt hatások*

4.4.2.2.3. *A szárazföldi ökoszisztémákra gyakorolt hatások*

4.4.2.2.4. *A vízi ökoszisztémákra gyakorolt hatások*

4.4.2.2.5. *A biogeokémiai ciklusokra gyakorolt hatások*

4.4.2.2.6. *A levegőminőségre gyakorolt hatások*

4.4.2.2.7. *A különböző anyagokra gyakorolt hatások*

4.4.3. Jövőképek

4.4.4. Személyes cselekvés az ózonréteg védelmében

- 4.5. A nitrogén-dioxid (NO_2)
- 4.6. A nitrogén-oxidok (NO_x)
- 4.7. A szén-monoxid (CO)
- 4.8. Az ólom (Pb)
- 4.9. A karcinogén (rákkeltő) anyagok, mint a szabad levegő szennyezői
- 4.10. Biológiai eredetű légszennyező anyagok

5. Zárt terek légszennyező anyagai

- 5.1. A radon (Rn)
- 5.2. Az azbeszt
- 5.3. Illó szerves vegyületek [Volatile Organic Compounds (VOC)]
- 5.4. A dohányfüst
- 5.5. A formaldehid (CH_2O)

6. A légszennyezés forrásai

- 6.1. Ipar
- 6.2. Ipari hulladék- és szemétlerakó helyek
- 6.3. Közúti szállítás
- 6.4. Háztartás
- 6.5. Mezőgazdaság

Levegő és egészség

1. Bevezetés

- A levegőben található szennyezőanyagok
 - (1) szmogot és savas esőt okozhatnak,
 - (2) légúti és egyéb komoly megbetegedéseket idézhetnek elő,
 - (3) károsíthatják az élőlényeket védelmező sztratoszférikus ózonréteget,
 - (4) hozzájárulhatnak a klímaváltozáshoz,
 - (5) különösen károsak lehetnek a gyerekekre és az idős korúakra.

Becslés:

Az európai városlakók 30-40 %-a az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation = WHO) vagy az Európai Unió (EU) által megadott levegőminőségi mutatók fölötti átlagos légszennyezettség koncentrációnak van kitéve ↔ az itt élők közül nem mindenkinek lesz egészségügyi problémája.

A légszennyezéssel kapcsolatos egészségkárosodást befolyásoló tényezők:

- (a) a légszennyezés koncentráció mértéke,
- (b) tartama,
- (c) térbeli kiterjedése,
- (d) az életkor,
- (e) egyéni érzékenység, stb.

Légszennyezettség:

azon anyagok keveréke, mely természetes vagy mesterséges úton a légkörbe jut. Közülük a legjobban dokumentáltak (és hagyományosan megfigyeltek):

- (1) a kén-dioxid (SO_2),
- (2) a nitrogén-oxidok [NO_x ($=\text{NO}+\text{NO}_2$)],
- (3) a szén-monoxid (CO),
- (4) az ózon (O_3),
- (5) az ólom (Pb) és
- (6) a lebegő részecskék (Total Suspended Particulates = TSP).

Legfontosabb forrásaik:

- (1) a fosszilis tüzelőanyagok elégetése

- (1a) ipari folyamatok
- (1b) háztartási fűtés
- (1c) közlekedés,

- (2) a fa eltüzelése háztartási célokra.

- A légszennyezettség koncentrációjának nagy a változékonysága, különösen felszíni kibocsátások esetén (pl. közúti közlekedés).

Az ember légszennyezettség terhelése a következő tényezőktől függ:

- (1) a szabadban eltöltött idő,
- (2) milyen mértékben jutnak légszennyező anyagok a szabad légtérből a zárt lakóterekbe,
- (3) milyen koncentrációban kerülnek szennyezőanyagok a lakóterek levegőjébe a fűtőtestekről, a lakberendezési tárgyokról és az építőanyagokról.

A legtöbb ember életének nagyobb részét tölti zárt lakóterekben, mint a szabadban $\Rightarrow$ a zárt lakótér légszennyezettsége fontos népegészségügyi probléma, különösen a gyerekeknél.

2. A levegő, amit belélegzünk

- Egy felnőtt 10.000-20.000 liter levegőt lélegzik be naponta – kb. 7-14 litert percenként. De erős fizikai munkavégzés esetén, 50 liter levegőt is belélegezhet percenként.

Egy hároméves gyermek nyugalmi állapotban – egységnyi testsúlyra számítva – kétszer annyi levegőt lélegzik be, mint egy felnőtt $\Rightarrow$ mivel légútjaik keskenyebbek és tüdejük még fejlődik, a légszennyező anyagok belélegzése náluk komolyabb problémát okoz és azok hatása tovább fennmarad.

3. A légszennyezettség egészségügyi problémái

- A légszennyező anyagok hatásai:

- (1) akut (rövid tartamú) és
- (2) krónikus (hosszú tartamú).

Hatások:

kényelmetlen érzés $\rightarrow$ kisebb betegségek $\rightarrow$ halál (mindkét kategóriánál).

Példa:

- (a) A levegőben lévő por és egyéb szennyező részecskéknek lehetnek akut hatásai (a szem és a torok közvetlen irritációja, légzőszervi problémák, esetleg szívroham).
- (b) Néhány szennyezőanyagra (pl. a kén-dioxidra) megadható olyan küszöbérték, amely alatt egészségkárosodás nem lép föl.
- (c) Más szennyezőanyagokra (pl. a benzolra) nem állapítható meg küszöbérték, s némely egészségkárosító hatás a legkisebb koncentráció esetén is bekövetkezhet.

- Az egyéni érzékenységben lényeges eltérések lehetnek (kor, táplálkozási körülmények és szokások, genetikai adottságok, általános egészségi állapot). A különösen veszélyeztetett csoportok (gyermekek, fiatalok, idős korúak, terhes nőkre és magzataik, alultápláltak, betegségben szenvedők) érzékelik először az emelkedő szennyezőanyag koncentráció káros hatásait $\Rightarrow$ kockázatbecsléseket kívánatos elvégezni rájuk vonatkozóan.

Példa:

Az ólomkohók közelében élők közül a gyermekek vérében magasabb ólomkoncentrációt mutattak ki, mint a felnőttekben.

- Általában a lakosságnak csak egy töredéke van kitéve magas légszennyezettség koncentrációnak, s a népesség jelentős részét érintő koncentrációk csupán az imént említett kockázati csoportokra hatnak érzékenyen. $\Rightarrow$ a légszennyezettségre visszavezethető halálozási többlet a népességnek egy kis szeletére korlátozódik $\Rightarrow$ az egész népességre vonatkozó halálozási arányok gyakran gyenge indikátorai a környezeti egészségügyi hatásoknak (1. és 2. táblázat).

1. táblázat

A légszennyezettség becsült egészségügyi hatásai Európában (WHO, 1995)

az egészségromlás indikátorai	az egészségromlás aránya az összlakossághoz viszonyítva, %	becsült évi esetszám, fő
köhögés és szembántalmak gyermekeknél	0,4 – 0,6	2,6 – 4 millió
kisebb légúti betegségek gyermekeknél	7 – 10	4 – 6 millió
családorvosi ellátást igénylő kisebb légúti betegségek gyermekeknél	0,3 – 0,5	17 – 29 ezer
ambuláns ellátást igénylő légúti betegségek	0,2 – 0,4	90 – 200 ezer
a tüdőfunkció több mint 5 %-os csökkenése	19	14 millió
krónikus tüdőbetegség	3 – 7	18 – 42 ezer
kórházi ellátást igénylő légúti betegségek	0,2 – 0,4	4 – 8 ezer

2. táblázat
A légszennyezettség hatására bekövetkező
egészségkárosodás fajtái gyermekeknél
(WHO/UNEP/USEPA, 1995)

ország vagy régió	*légszennyezés	az egészségkárosodás fajtái
Franciaország, 1989	vegyes ipari szennyeződés	nátha, s az ezzel kapcsolatos iskolai hiányzás
Cseh Köztársaság, 1992	PM ₁₀ , SO ₂ , NO _x	a megnövekedett PM ₁₀ koncentráció hatására, fellépő légúti komplikációk miatt növekszik a gyermekhalálozás gyakorisága
Svájc, 1989	NO ₂	a légúti panaszok száma megnő
Németország, 1991	TSP, NO ₂	a légzőszervi megbetegedések száma nő
Alpi Régió, 1993	SO ₂ , NO ₂ , O ₃	csökkent tüdőfunkció, gyakoribb asztmatikus panaszok
Hollandia, 1993	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , BS	fokozódó nehézlégzés, asztmatikus panaszokat csökkentő orr- és szájspray használata kívánatos
Finnország, 1991	SO ₂ , NO _x , H ₂ S, TSP	gyakoribbá váló légúti panaszok
Olaszország, 1992	környezeti légszennyezés (a szabad légtérben) és passzív dohányzás	gyakoribbá váló asztmatikus betegségek

*: PM₁₀: azok a részecskék, amelyek átmérője kisebb, mint 10 µm;
 NO_x [(NO_x (=NO+NO₂))]: nitrogén-oxidok;
 TSP (= Total Suspended Particulates): az összes lebegő részecske;
 BS (= Black Smoke): fekete füst

- Az emberi egészség és a környezet védelme érdekében egyre szigorodnak az EU levegőminőségi előírásai (3a-b. táblázat).

3a. táblázat

Az Európai Unió (EU) levegőminőségi előírásai

SO₂, NO₂, NO_x, PM, Pb: Council Directive, 1999/30/EC (1999. 04. 22.)

benzol (C₆H₆), CO: Council Directive, 2000/69/EC (2000. 11. 16.)

O₃: Council Directive, 2002/3/EC (2002. 02. 12.)

légszennyező	referencia időszak	határérték
kén-dioxid (SO ₂)	1 óra	350 µg m ⁻³ (egy naptári évben legfeljebb 24 alkalommal léphető túl)
	24 óra	125 µg m ⁻³ (egy naptári évben legfeljebb 3 alkalommal léphető túl)
	1 naptári év	20 µg m ⁻³
NO ₂ és NO _x	1 óra	200 µg m ⁻³ NO ₂ (egy naptári évben legfeljebb 18 alkalommal léphető túl)
	1 naptári év	40 µg m ⁻³ NO ₂
	1 naptári év	30 µg m ⁻³ NO _x
részecskék (PM ₁₀)	24 óra	50 µg m ⁻³ (egy naptári évben legfeljebb 35 alkalommal léphető túl)
	1 naptári év	40 µg m ⁻³
	24 óra (javasolt)	50 µg m ⁻³ (egy naptári évben legfeljebb 7 alkalommal léphető túl)
	1 naptári év (javasolt)	20 µg m ⁻³

3b. táblázat

Az Európai Unió (EU) levegőminőségi előírásai

SO₂, NO₂, NO_x, PM, Pb: Council Directive, 1999/30/EC (1999. 04. 22.)

benzol (C₆H₆), CO: Council Directive, 2000/69/EC (2000. 11. 16.)

O₃: Council Directive, 2002/3/EC (2002. 02. 12.)

légszennyező	referencia időszak	határérték
CO	a maximális napi 8 órás átlag	10 mg m ⁻³
O ₃	a maximális napi 8 órás átlag	120 µg m ⁻³ [egy naptári évben (3 év átlagában számítva) legfeljebb 25 napon léphető túl]
<i>információs küszöb</i>	<i>1 óra</i>	<i>180 µg m⁻³</i>
<i>készültségi küszöb</i>	<i>1 óra</i>	<i>240 µg m⁻³</i>
ólom (Pb)	1 naptári év	0,5 µg m ⁻³
benzol (C ₆ H ₆)	1 naptári év	5 µg m ⁻³

4. A leggyakoribb légszennyező anyagok egészségre gyakorolt hatása

4.1. A szén-dioxid (CO₂)

- A széndioxid hosszú tartózkodási idejű, a Föld légkörének alsóbb rétegeiben tökéletesen elkeveredő, színtelen, kémiai kölcsönhatásra nem hajlamos gáz. A Föld másodlagos légkörének kialakulásától kezdve természetes módon megtalálható az atmoszférában, légkörünk egyik fő összetevője.
- Az aktív vulkánok mellett az utóvulkáni működés révén is juthat CO₂ a légkörbe. Ezek a szén-dioxid kigőzölgések a mofetták. Hazánkban Mátraderecske területén 1992-ben észlelték, hogy gáz szivárog a község talajából. E gáz összetétele (86,16 % szén-dioxid, 7,12 % nitrogén, 5,11 % metán és 1,61 % oxigén) hasonló az erdélyi mofettákéhoz.

Az egészségre gyakorolt hatása:

(a) Mátraderecskén

Az e gázfürdőben történő előírt időtartamú tartózkodás jótékony hatással van

- (1) a különböző érrendszeri betegségekre,
- (2) bizonyos reumatikus panaszokra,
- (3) fagyás utáni állapot kezelésére,
- (4) potenciás zavarok kezelésére,
- (5) a frigiditás kezelésére.

A Mátraderecskén feltörő szén-dioxid-gázt az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Igazgatóság gyógygázzá minősítette.

(b) általában:

- (1) stimulálja a légzést
- (2) nagy koncentrációban fulladást okoz (lásd: borpincék a must erjedésekor)

4.2. A kén-dioxid (SO₂)

- A kén-dioxid (SO₂) elsősorban a ként tartalmazó fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor keletkezik. Könnyen oxidálódik, s másodlagos légszennyező anyagként kén-troxidot (SO₃) és erősen maró hatású kénsavat (H₂SO₄) képez.

(1) Fő forrásai:

(a) a szén és lignit (a globális kibocsátások kb. 80 %-ával),

(b) olaj (a globális kibocsátások kb. 20 %-ával).

(2) A szén kéntartalma kb. 2 %, a nehéz fűtőolajé kb. 3 súlysúlyszázalék.

(3) A vízgőzben és a felhőkben található kén-dioxid alapvető szerepet játszik a savas esők keletkezésében.

London, a 20. század eleje:

A kén-dioxid és a füst magas légköri koncentrációja – mely a szén háztartási és ipari célokra történő elégetéséből származott – rendszerint egyidőben jelentkezett.

Ok:

Anticiklonális időjárási helyzet:

(a) több napon át fennmarad,

(b) vele a vízszintes légáramlások szünetelnek.

⇒ (1) a krónikus légcsőhurutban szenvedők állapota rosszabbodott,

(2) a halálozások száma nőtt.

Nem megállapítható: A füstnek vagy a kén-dioxidnak volt-e nagyobb egészségkárosító szerepe?

Megállapítható: az (1) és (2) hatásokat legnagyobb részben a fűstrészecskékből a felszínre került savak okozták.

Az egészségre gyakorolt hatása:

(1) irritálja a szemet és az orrot.

(2) Belégzése szűkíti a légutakat. Ez különösen veszélyes az asztmában szenvedőknél.

(3) Gyengítheti a tüdőfunkciót. Ha egy asztmás beteg néhány percre olyan helyen tartózkodik, ahol legalább 550 µg m⁻³ a kén-dioxid koncentrációja, a tüdőfunkcióiban már csekély változás lép föl.

(4) Ha nagy a koncentrációja, károsíthat bizonyos növényeket, pl. a salátát és a spenótot → fehér foltok jelennek meg a leveleiken és csökken a hozamuk.

4.3. A részecskék (PM)

- A részecskék széles mérettartományban megtalálhatók a levegőben, s a légkörben betöltött szerepüket méretük határozza meg.
 - (1) nagyobb részecskék: nem maradnak sokáig a légkörben, s forrásuk közelében ülepednek ki $\Rightarrow$ belégzésük valószínűsége csekély.
 - (2) kisebb részecskék: a forrásuktól nagy távolságra eljuthatnak; $\Rightarrow$ általában ezeket lélegezzük be.

Az egészségre gyakorolt hatásuk:

- (1) A részecskék szem-, orr- és torokbántalmakat okozhatnak.
- (2) Némely nagyobb részecskét (átmérő $> 10 \mu\text{m}$), mely az orrba vagy a torokba jut, a szervezet természetes védekező rendszere kiszűri $\leftrightarrow$ az igen apró részecskék – melyek mélyen a tüdőbe jutnak – a véráramban elnyelődhetnek, vagy tüdő- esetleg egyéb egészségügyi problémát okozhatnak. Ide tartoznak azok a részecskék, melyek átmérője kisebb $10 \mu\text{m}$ -nél – innen ered a PM_{10} kifejezés. Az USA-ban kimutatták, hogy a légzőszervi és a szív-érrendszeri betegségekből származó halálozások száma a PM_{10} koncentrációjának növekedésével arányos.
- (3) A részecskéknek mind a mérete, mind az összetétele potenciálisan egészségkárosító hatású.
 - (3a) Kimutatták
a 20. század elején, hogy a téli szmogok alkalmával a korom és a kén-dioxid olyan kockázati tényezők, melyek felelősek a hörghurut és a tüdőtágulás kialakulásáért. Ezek a savas részecskék tüdőgyulladást okozhatnak és a vér alvadását idézhetik elő.
 - (3b) Nem sikerült kimutatni
közvetlen kapcsolatot a részecske szennyeződés és az asztma között.

4.4. Az ózon (O₃)

- Az ózon az oxigén háromatomos módosulata $\Rightarrow$ annál másfélszer sűrűbb, sugárzási szempontból igen aktív, rövid tartózkodási idejű nyomgáz. Színe halványkék, továbbá robbanásveszélyes és mérgező. Keletkezhet villámlás és egyéb elektromos kisülések hatására a levegőben, $\rightarrow$ a levegőnek sajátos illata van zivatar után (az ózon görög eredetű szó, jelentése: szagot árasztó).

4.4.1. A troposzférikus ózon

- A troposzférikus ózon szennyezőanyag – károsíthatja az egészséget és ártalmas az élővilág többi szereplőjére is.
- A talajszinti ózon magas koncentrációja gyakran okoz gondot olyan klímaterületeken, ahol forró a nyár (Pl. Athén).
Észak-Európában a troposzférikus ózonkoncentráció rendszerint magasabb vidéken.

Ok:

Az ózon a szennyezett levegőben termelődik, s a légáramlások elszállítják a városokból $\Rightarrow$ az ózon a határrétegen túllépő légszennyeződési probléma. Kezeléséhez nemzeti és nemzetközi megállapodások szükségesek.

4.4.1.1. Hogyan keletkezik?

- A felszín közeli ózon *másodlagos szennyezőanyag $\rightarrow$ *elsődleges szennyezőanyagokból fotokémiai úton képződik. Mivel keletkezéséhez napsugárzás szükséges, a troposzférikus ózon koncentrációja általában nagyobb a délutáni órákban és nyáron, amikor intenzívebb a napsugárzás.

Keletkezésében alapvető szerepet játszó elsődleges szennyezőanyagok:

- (1) nitrogén-oxidok (forrása: a gépjárművek kipufogógázai) és
- (2) illó szerves vegyületek (forrása: a gépjárművek kipufogógázai)
- (3) szén-monoxid (forrása: a gépjárművek kipufogógázai, háztartási fűtés)

A nitrogén-oxidok a Nap ultraibolya sugárzása hatására (fotokémiai úton) ózont képeznek, mely a fotokémiai szmog lényeges összetevője.

[*Elsődleges szennyezőanyagok: közvetlenül jutnak a levegőbe (pl. CO, CO₂, SO₂, NO_x és az illó szerves vegyületek: Volatile Organic Compounds = VOC).

*Másodlagos szennyezőanyagok: elsődleges szennyezőanyagok (pl. nitrogén-oxidok) reakcióival (pl. fotokémiai úton) képződnek (pl. a felszín közeli ózon).]

A felszín közeli szennyezett levegőben az ózonképződés a következő módon történik. A 0,41 μm-nél kisebb hullámhosszúságú napsugárzás disszociálja a nitrogén-dioxidot nitrogén-monoxidra és atomos oxigénre:

a nitrogén-oxidok reakciói:



Ezután az atomos oxigén egyesül egy molekuláris oxigénnel egy harmadik molekula (M) jelenlétében, s ózont képez:



Az ózon ezt követően lebomlik, s nitrogén-dioxidot képez:



Ha van napsugárzás, az újonnan képződött nitrogén-dioxid elbomlik nitrogén-monoxidra és atomos oxigénre:



Innen pedig a folyamat kezdődik újra.

⇒ szennyezett levegőben nagy koncentrációban képződhet ózon, hacsak a nitrogén-monoxid – az ózonnak a folyamatból történő eltávolítása nélkül – nem lép reakcióba más gázokkal. E feltételek mellett bizonyos hidrokarbon vegyületek (gépjárművek emissziói, ipari kibocsátások) és a hidroxil gyök (OH) aktivizálódnak.

a hidroxil gyök képződése és reakciója:

A hidroxil gyök akkor képződik, amikor a ($\lambda \leq 0,31 \mu\text{m}$ hullámhosszúságú) ultraibolya sugárzás disszociál néhány ózonmolekulát molekuláris oxigénre és oxigénatomra:



Az itt képződő atomos oxigén gerjesztett állapotban van $\Rightarrow$ számos egyéb molekulával, így a vígőzzel is reakcióba léphet – ez esetben két hidroxil gyök molekulát képezve:



Az OH-t gyöknek nevezzük, mivel szabad elektront tartalmaz. Ez az állapota lehetővé teszi az OH molekula számára, hogy reakcióba lépjen számos egyéb atommal és molekulával, beleértve a nem elégetett, vagy a csak részben elégetett hidrokarbonokat (RH), melyek a gépjárművek és az ipari folyamatok révén kerülnek a levegőbe.

a hidrokarbonátok képződése és reakciói:



Az R végtermék egy szerves hidrokarbonát vegyület, amelynek komplex molekuláris szerkezete lehet. Az R képes reakcióba lépni a molekuláris oxigénnel, RO_2 -t képezve. Az RO_2 egy reakcióképes molekula, mely képes eltávolítani a levegőből a nitrogén-monoxidot – vele egyesülve nitrogén-dioxidot képez:



Ekkor a nitrogén-monoxid úgy lép reakcióba a hidrokarbon vegyületekkel, hogy nem távolítja el a levegőből az ózont $\Rightarrow$ a szennyezett levegőben a reaktív hidrokarbonok lehetővé teszik az ózonkoncentráció növekedését azáltal, hogy megakadályozzák az ózonnak a nitrogén-monoxid által történő oly gyors lebontását, mint amilyen gyorsan az keletkezett.

A hidrokarbon vegyületek (VOC-k: Volatile Organic Compounds = illó szerves vegyületek) is reakcióba lépnek az oxigénnel és a nitrogén-dioxiddal $\Rightarrow$ egyéb nem kívánatos szennyezőanyagok jönnek létre, mint pl. a PAN (peroxi-acetil-nitrát – olyan légszennyező anyag, mely irritálja a szemet, s rendkívül káros a vegetációra), vagy a szerves vegyületek. Az ózon, a PAN, valamint egyéb oxidáló hatású szennyezőanyagok kis mennyiségei a fotokémiai szmog összetevői közé tartoznak. E szennyezőanyagokat esetenként fotokémiai *oxidánsokként is említik.

[*oxidánsok: azok az anyagok (pl. ózon), melyek oxigénje más anyagokkal reakcióba lép].

- A hidrokarbonát vegyületek (VOC-k) természetes alkotóelemei a légkörnek, hiszen a növényzet révén kerülhetnek a levegőbe. A nitrogén oxidjai a városok légteréből kijutva reakcióba léphetnek ezen természetes eredetű hidrokarbonátokkal, s szmogot képezhetnek rendkívül gyéren lakott területek fölött is. Ez a jelenséget megfigyelték már Los Angeles, New York és London közelében is. Némely térségben olyan nagy a természetes eredetű (háttér) hidrokarbonátok koncentrációja, hogy az megnehezítheti az ózonkoncentráció kívánatos mértékű csökkentését.

- A nagy települések ózonkoncentrációja mértékének csökkentésére tett óriási erőfeszítések ellenére az eredmények általában csalódást keltenek.

Ok: az ózon másodlagos szennyezőanyag, mely kémiai reakciók révén egyéb szennyezőanyagok közreműködésével keletkezik. Az ózonkoncentrációnak azonban csökkennie kell azon településeken, ahol mind a nitrogén-oxidok, mind a hidrokarbonátok kibocsátásai csökkennek. Ugyanakkor e két szennyezőanyag közül csupán az egyiknek a csökkenése nem szükségszerűen csökkenti az ózonképződést, ugyanis a nitrogén-oxidok katalizálják az ózonképződést a hidrokarbon vegyületek (VOC-k) jelenlétében.

4.4.2. A sztratoszférikus ózon

- A sztratoszférikus ózon a Föld felszíne fölött kb. 15-50 km magasságban található. Meghatározó szerepe van a földfelszínre érkező – az élő szervezetekre halálos – röntgen és ultraibolya sugárzás kioltásában, illetve mérséklésében.

4.4.2.1. Hogyan keletkezik?

(lásd: Levegőkémia, 7.3.2.1. fejezet)

- Az ózon folyamatosan képződik és bomlik le a légkörben, s napjainkig e két folyamat egyensúlyban volt.

az ózon akkor keletkezik, ha

az oxigén-molekulák elnyelik a $\lambda \leq 0,24 \mu\text{m}$ hullámhosszúságú ultraibolya sugárzást, s

az ózon akkor bomlik le, ha

az ózonmolekulák a $\lambda \geq 0,29 \mu\text{m}$ hullámhosszúságú ultraibolya sugárzást abszorbeálják.

E két folyamat kombinációja egy viszonylag állandó ózonmennyiséget tart fenn a sztratoszférában, mely elnyeli a napsugárzás ultraibolya hullámhossztartományának kb. 90 %-át, elsősorban a 0,2 – 0,33 μm közötti tartományban.

Az egészségre gyakorolt hatása:

- A főbb légszennyező anyagok közül az ózon szinte az egyedüli, mely csupán a zárt tereken kívül, kizárólag a szabad légtérben jelent környezeti problémát. (Zárt terekben koncentrációja gyorsan csökken, miután műanyagokkal és különböző textiltermékekkel reakcióba lépett.)

I. Ha a sztratoszférikus ózonréteg elvékonyodik

(1) Még a jelenlegi sugárzási feltételek esetén is az állandó sugárzásnak kitett bőrfelület vastagabbá válik és ráncosodik, továbbá jóval nagyobb gyakorisággal lépnek föl rajta elváltozások, beleértve a bőrrákot is. Ha az ózon által jelenleg elnyelt ultraibolya sugárzás a földfelszínre jutna, a helyzet sokkal rosszabb lenne.

(2) A tartós és intenzív ultraibolya sugárzás közvetlenül csak bőr- és szembetegségeket idéz elő (kelések, gyulladások, fekélyek, daganatok).

De: komoly bőrkárosodás $\Rightarrow$ közvetett hatások: $\rightarrow$ jobban hajlamosít a

- (a) hörghurutra,
- (b) tüdőgyulladásra,
- (c) gyomorfekélyre, s
- (d) a vér különböző betegségeire.

(3) Károsítja az immunrendszert.

Példa:

A Washington Egyetem dermatológusai kísérleteket végeztek a vékonyodó ózonpajzs élettani hatásaira vonatkozóan.

Eredmények:

- (a) az ózonpajzs 10 %-os csökkenése az immunrendszer kb. 2 %-os károsodását idézné elő,
- (b) a mérsékelt öv felett több mint 20 %-kal kellene az ózonpajzsnek vékonyodnia ahhoz, hogy akkora legyen az UV-besugárzás, mint amekkora az jelenleg egyes trópusi területeken.

(4) Károsíthatja a termést és a vegetációt.

II. Ha a felszín közeli ózon koncentrációja feldúsul

- A szervezetnek a megnövekedett ózonkoncentrációra adott válasza az egyéni érzékenységtől függ. Pl. az asztmában szenvedőket nem érintik súlyosabban ezek a hatások, mint az egészséges embereket.
- Olyan betegeknél, akik allergiában szenvednek, s ki vannak téve az allergiát okozó anyag hatásának, a megnövekedett ózonkoncentráció növeli a szervezet érzékenységét, illetve fokozza annak reakcióját.
- A pollenek és az ózon feldúsulása a felszín közeli levegőben gyakran együtt jár.
- A belégzés időtartamának a jelentősége és az a tény, hogy ez napos időben a 8 órát is meghaladhatja, szükségessé tette az ózonra vonatkozó levegőminőségi szabványok, illetve küszöbértékek megállapítását, melyeket rendszerint a 8 órás átlagos ózonkoncentrációban adják meg.

(1) A szervezet biológiai reakciója függ

- (a) az ózon koncentrációjától,
- (b) a belégzés időtartamától, s
- (c) a percenként belélegzett levegőtérfogattól (ugyanis csaknem az összes belélegzett ózon felszívódik).

Fokozott erőfeszítést igénylő fizikai munka végzésekor több ózont lélegzünk be, s szervezetünk valószínűleg lényegesen erősebben reagál annak hatásaira.

Ha több napon át ki vagyunk téve a fokozott ózonkoncentrációnak, szervezetünk reakciója megszűnik, akklimatizálódunk a rendellenes körülményekhez.

Magyarázat: ???

- (2) Szaga kellemetlen, mely irritálja a szemet és a légzőszervek nyálkahártyáit, súlyosbítva a krónikus betegségeket, mint pl. az asztmát és a hörghurutot. Még egészséges emberekben is egy viszonylag alacsony ózonkoncentrációjú levegőben végzett 6-7 órás mérsékelt fizikai erőlkifejtés jelentősen csökkenti a tüdőfunkciót.

Járulékos tünetei:

- (a) mellkasi fájdalom,
- (b) émelygés,
- (c) hányinger,
- (d) fejfájás,
- (e) köhögés, esetleg
- (f) tüdővérzés.

Az ózon megtámadja továbbá

- (i) a gumit,
- (ii) lassítja a fák növekedését,
- (iii) mérsékli a terméshozamokat.

Példa: Az USA-ban az ózon évente több milliárd USD értékű terméskiesésért felelős.

- (3) Előidézheti a légzőszervek gyulladását, s e tekintetben ez a legveszélyesebb az összes légszennyező anyag közül.

WHO-kimutató:

- (a) ha ccO_3 (1 órás küszöbérték) $\geq 200 \mu g m^{-3} \Rightarrow$

- (i) a szem, az orr és a torok irritációja,
- (ii) mellkasi fájdalom, továbbá
- (iii) köhögés és fejfájás.

- (b) ha ccO_3 (6 órás folyamatos belégzés) $\geq 160 \mu g m^{-3} \Rightarrow$

- (i) gyulladás a légutakban, s
- (ii) a normális tüdőfunkciók megváltozhatnak.

4.4.3. Jövőképek

Troposzférikus ózon:

A jövőbeni alakulását, illetve térbeni eloszlását befolyásoló folyamatok alig ismertek $\Rightarrow$ megbízható jövőképe nincs

Sztratoszférikus ózon:

Modellszámítás:

Ha 2000-re valamennyi freontartalmú anyag kibocsátását sikerült volna kiváltani, $\Rightarrow$ az ózonkoncentráció a 2060-as évekre stabilizálódott volna.

4.4.4. Személyes cselekvés az ózonréteg védelmében

- (1) Levegőpumpás spray-t, golyós dezodort, vagy olyan gáz-hónaljsprayket használjunk, melyek hajtóanyaga hidrokarbonát!
- (2) Kerüljük azokat a habosított műanyag dobozokat, és csomagolóanyagokat, melyek alkotóelemei CFC-gázok!
- (3) Magyarországon nem jellemző, de érdekességként megemlíthetjük, hogy az autók légkondicionálóinak szivárgása során is juthatnak freongázok a levegőbe. Ezt megelőzendő, akinek ilyen autója van tanácsos hetente (téli is) néhány percig működtetni a légkondicionálót, miáltal a biztosítékok olajozottak maradnak, csökken a szivárgás és a repedés veszélye!
- (4) Kerüljük el hűtőszekrényünk hűtőközegének szivárgását!
- (5) Halont nem tartalmazó tűzoltó készüléket használjunk!

4.4.2.2. Az ózon lebomlásának környezeti hatásai

4.4.2.2.1. Az ultraibolya sugárzás változásai

- A sztratoszférikus ózonkoncentráció a mérések kezdete óta 1991-2000 között érte el minimumát $\Rightarrow$ a földfelszínre érkező UV-B sugárzás intenzitása ekkor volt a legnagyobb.
- Az eritemális (a bőrfelület barnulását előidéző) ultraibolya sugárzás becsült százalékos növekedése 2000-ben az 1970-es évekbelihez képest a következő:
 - kb. 7 % az északi félgömb közepes szélességein télen/tavasszal
 - kb. 4 % az északi félgömb közepes szélességein nyáron/ősszel
 - kb. 6 % a déli félgömb közepes szélességein nyáron/ősszel
 - kb. 130 % az Antarktiszon tavasszal; és
 - kb. 22 % az Arktiszon tavasszal.
- A felszíni mérések szerint a nyári eritemális (a bőrfelület barnulását előidéző) ultraibolya sugárzás a déli félgömbön legfeljebb 40 %-kal haladja meg az északi félgömb ugyanazon földrajzi szélességén mért értéket.
- Az UV-B sugárzás jövőbeli előrejelzése nem megoldott.
Feltételezés: az ózonlebomlás előtti időszakhoz való lassú visszatérés várható 2000-2050 között.

4.4.2.2.2. Az ember és az állatok egészségére gyakorolt hatások

- A felszínre érkező UV-B sugárzás növekedése – mely a sztratoszférikus ózonlebomlásra vezethető vissza – növeli a rövid- és hosszútávú egészségkárosodás veszélyét.

(1) A szemre gyakorolt káros hatások:

- (a) gyakoribbá válnak a heveny reakciók, mint pl. a "hóvaktság";
- (b) megnő a hályog, illetve a hályoggal összefüggő vakság gyakorisága;
- (c) megnő a rákos szemdaganatok gyakorisága.

(2) Az immunrendszerre gyakorolt hatások:

(a) *hátrányos*

- (i) csökkent ellenállóképesség a daganatos és fertőző betegségekkel szemben,
- (ii) a szervezetnek valószínűleg növekvő gyakoriságú autoimmun és allergikus válaszai, továbbá az oltásokra adott csökkent reakciója.

(b) *előnyös*

- (i) mérséklődik bizonyos immunbetegségek (pl. pikkelysömör, nikkel-allergia) veszélye.

(3) A bőrre gyakorolt hatások:

- (a) a bőr simasága romlik,
- (b) a bőr gyorsabban öregszik (ok: a felszínre érkező ultraibolya sugárzás növekedése valószínűleg meggyorsítja a bőr öregedését)
- (c) növekedni fog a melanómás és nem melanómás bőrrák előfordulási gyakorisága (a melanóma a melanin, azaz a bőr festékanyaga okozta bőrelszíneződés, anyajegy valamely testfelületen),
- (d) növekszik a különböző sejtdaganatok gyakorisága,
- (e) bőrrák.

Példa:

Az USA Környezetvédelmi Ügynökségének (EPA) egyes szakértői szerint az Egyesült Államokban a bőrrákból eredő elhalálozások száma 2050-re eléri az évi 200.000 főt.

Védekezés:

- (1) a viselkedési szokások módosítása (pl. antioxidánsokban gazdag étrend választása),
- (2) a delelést megelőző és követő két-két órában a napozás mellőzése,
- (3) a testfelületeket fedő viselet (pl. kalap, napszemüveg használata).

4.4.2.2.3. A szárazföldi ökoszisztémákra gyakorolt hatások

- A megnövekedett felszíni UV-B sugárzás károsíthatja a szárazföldi organizmusokat, beleértve a növényeket és a baktériumokat is ↔ ezen organizmusok rendelkeznek védekezési mechanizmusokkal.
- Az utóbbi évek kutatásai → a megnövekedett felszíni UV-B sugárzás az adott faj megváltozott génszerkezetén keresztül fejt ki hatását. Ezen UV-B sugárzás az életfunkciókra hat (az életciklus tartamának változásai, a növény alakjának változásai, s azon növényi műtrágyák termelésének változásai, melyek védik a növényeket a kórokozóktól, a rovarok támadásaitól, befolyásolják az ember és a legelő állatok táplálékának minőségét).
- A szárazföldi ökoszisztémáknak a megnövekedett felszíni UV-B sugárzásra adott válasza → fajok közötti kölcsönhatások.
A magasabb növények növekedése közti verseny egyensúlya módosulni fog, s változik a növények kórokozókkal szembeni érzékenysége.
- A megnövekedett felszíni UV-B sugárzás évről évre főlhalmozódhat a hosszú életű évelő növényekben, s generációról generációra az egyéves növényekben.

4.4.2.2.4. A vízi ökoszisztémákra gyakorolt hatások

- A Nap UV-B, illetve UV-A sugárzásai ellentétes hatást gyakorolnak a fitoplanktonok növekedésére, fotoszintézisére, protein- és pigment tartalmára, valamint reprodukciójára – ily módon befolyásolva a táplálékláncot.
- A makroalgák és a hínárok kifejezetten érzékenyek a Nap UV-B sugárzására. Az említett fajok fontos biomassza-termelők a vízi ökoszisztémákban. Ezen organizmusok zöme összekapcsolódik ⇒ nem tudják elkerülni, hogy a növekedési oldaluk ne legyen kitéve napsugárzásnak. A hatások 10-15 m vastag vízoszlopban még megfigyelhetők.
- A zooplankton közösségek, s egyéb vízi organizmusok (tengeri sünök, korallak és kételtűek) is érzékenyek az UV-B sugárzásra.

- Az UV-B sugárzás – elnyelődésekor – felbontja az oldott és a részecske alakban található szerves szén, s a végterméket a bakteriális elbomlás és a remineralizáció számára alkalmassá teszi. A bomlástermékek fontos szerepet játszanak a vízi ökoszisztémák szén ciklusában.

Mivel az UV-B – miután elnyelődik – felbontja az oldott szerves szén $\Rightarrow$ intenzitásának növekedése növelheti mind az UV-B, mind az UV-A sugárzás behatolását a vízoszlopba $\Rightarrow$ az adott mélységbe lehatoló UV-B sugárzás mennyisége hatással van az oldott szerves szénre, s ez a hatás kölcsönös. A melegedés és a savasodás ezen anyagok gyorsabb lebomlását eredményezi, s ennél fogva fokozza az UV sugárzás behatolását a vízoszlopba.

- Az ózonlebomlás miatt a poláris óceáni ökoszisztémák vannak leginkább kitéve az UV-B sugárzás növekedésének.

rövid távú következmény: az arktiszi, illetve az antarktiszi óceáni ökoszisztémák termékenysége csökken,

hosszú távú következmény: bizonytalan

Példa:

A halak és egyéb tengeri élőlények csökkenő termékenységének lehet

- (a) gazdasági hatása,
- (b) érinti a táplálékláncot,
- (c) befolyásolja a természetes ragadozók életterét.

4.4.2.2.5. A biogeokémiai ciklusokra gyakorolt hatások

- A megnövekedett felszíni UV-B sugárzás nagyságrendjének és irányának a nyomgázok kibocsátására, s az ásványi nyersanyagciklusra gyakorolt fajspecifikus hatásai:
 - (a) az élő fa szövetében a kémiai összetétel változásai,
 - (b) az elpusztult fa anyagának (beleértve az avart is) fotodegradációja (fény általi lebomlása),
 - (c) a tűzben elszenesedett vegetációból származó szén-monoxid kibocsátás,
 - (d) a rothasztó baktérium-közösségek változásai, s
 - (e) a nitrogénmegkötő mikroorganizmusokra és a növényekre gyakorolt hatások.

- A szerves anyag az UV-B sugárzás behatolásának elsődleges szabályozója (UNEP, 1998).
 - (1) A megnövekedett UV-B sugárzás befolyásolhatja
 - (a) a biológiai folyamatok közötti egyensúlyt (melyek a szerves anyagot termelik), továbbá
 - (b) a kémiai és a bakteriális folyamatokat (melyek lebontják azt).
 - (2) Az egyensúly változásai módosítják a megnövekedett UV-B sugárzásnak a biogeokémiai ciklusokra gyakorolt hatásait. Ezeket a változásokat – melyeket az éghajlat és a savasodás változásai erősítenek – a víz tisztulása és a fénymínőség változásai idézik elő.
- A megnövekedett UV-B sugárzás egyaránt gyakorolhat pozitív, illetve negatív hatást a vízi ökoszisztémákban zajló bakteriális tevékenységre, mely befolyásolhatja a szén-, illetve ásványi tápanyag ciklust, valamint az üvegházgázok és a kémiai szempontból reaktív gázok felszínre jutását, s a légkörbe kerülését.

4.4.2.2.6. A levegőminőségre gyakorolt hatások

- A megnövekedett UV-B sugárzás növelni fogja a kémiai aktivitást az alsó légkörben (a troposzférában). A troposzférikus ózon érzékeny a nitrogén-oxidok (NO_x) és a hidrokarbonátok helyi koncentrációira.
Modellkísérletek: a megnövekedett UV-B sugárzás hatására a troposzférikus ózon koncentrációja
tiszta környezetben: csökken (a levegő NO_x -koncentrációja alacsony),
szennyezett környezetben: növekszik (a levegő NO_x -koncentrációja magas).
- A megnövekedett UV-B sugárzás következményei:
 - (a) az elsődleges szennyezőanyagok növekvő arányban hullanak ki a troposzférából,
 - (b) növekedni fog a hidroxil-gyökök (OH) koncentrációja,
 - (c) növekedni fog az oxidánsok (pl. a hidrogén-peroxid és a szerves peroxidok) koncentrációja,
 - (d) fokozott hatást fog gyakorolni a troposzférikus ózonra, a hidroxil-gyökökre, a metánra, a szén-monoxidra, s egyéb troposzférikus összetevőkre.

- A HCFC-k és HFC-k légköri lebomlásából származó trifluor-acetátnak (TFA) nincs számottevő hatása az emberre és a környezetre (legfeljebb mérsékelt, s rövid tartamú toxicitás). Az ózonlebontó anyagok legtöbb helyettesítőjének a légköri lebomlási mechanizmusai jól ismertek. E helyettesítők két legfontosabb csoportja a HCFC-k és a HFC-k. A HCFC-123 (CF_3CHCl_2), a HCFC-124 (CF_3CHFCl), valamint a HFC-134a ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$) légköri lebomlásával TFA keletkezik. A TFA a hidroszféra mindenütt jelenlévő komponense, s koncentrációja ott jóval nagyobb, mint az a jelenlegi források alapján magyarázható lenne. Ugyanakkor a HCFC-k és a HFC-k légköri lebomlásával keletkező TFA koncentrációja nagyságrendekkel kisebb, mint a hidroszférában tapasztalt érték.

4.4.2.2.7. A különböző anyagokra gyakorolt hatások

- A megnövekedett UV-B sugárzás következményei:
 - (a) a polimerek fizikai és mechanikai tulajdonságait negatívan befolyásolja,
 - (b) csökkenti a szabadban használatos szintetikus polimer termékek és a biopolimer anyagok (pl. a fa, a papír, a gyapjú és a gyapot) hasznos élettartamát,

ok: a megnövekedett UV-B sugárzás szinergisztikus hatása, a közvetlen sugárzásnak kitett anyagok fölmelegedése, stb.
- A hagyományos fotostabilizáló anyagok valószínűleg mérsékelni tudják a megnövekedett közvetlen ultraibolya sugárzás hatásait.

4.5. A nitrogén-dioxid (NO_2)

- A nitrogén-dioxid égési folyamatok révén keletkezik, s lehet egyaránt elsődleges, illetve másodlagos szennyezőanyag. Koncentrációja városi környezetben 10-szer, 100-szor magasabb, mint a természetes környezetben. Számos országban a nitrogén-dioxid kb. 50 %-át a gépjárművek állítják elő.
- Nedves levegőben a nitrogén-dioxid reakcióba lép a vízgőzzel, s egy maró hatású savat – salétromsavat (HNO_3) – képez (lásd: A savas eső)

- Az NO₂-koncentrációk határozott napi menetet mutatnak – a reggeli és az esti csúcsforgalom idején feldúsulnak.

Hideg, csendes időben a koncentrációk növekedhetnek.

Ok: a talaj közeli, túltelített levegőben a szennyezőanyagok a kondenzációs cseppeken kicsapódnak.

Az egészségre gyakorolt hatása:

- (1) Irritáló hatású gáz.
- (2) Rendkívül magas koncentrációi esetén

asztmás embereknél

- (a) a légutak összeszűkülnek,
- (b) érzékenyebbek az NO₂ koncentráció változásaira
- (c) ha kb. 30 percet tartózkodnak minimum kb. 560 µg m⁻³ NO₂-koncentrációjú levegőben ⇒ a normális tüdőfunkciók csekély mértékben romlanak,

egészséges embereknél

- (a) a légutak összeszűkülnek
- (b) –
- (c) ha kb. 30 percet tartózkodnak minimum kb. 1.800 µg m⁻³ NO₂-koncentrációjú levegőben ⇒ a normális tüdőfunkciók csekély mértékben romlanak,

- (3) A szervezetnek az NO₂-koncentráció változásaira adott válasza egyénenként eltérő. 560 µg m⁻³ koncentráció is kiválthatja a reakciót, ugyanakkor az kétszeres feldúsulás esetén is elmaradhat. Úgy tűnik, ez minden embernél megjelenik és tartósan fennmarad, ha az NO₂-koncentráció ≥ 1800 µg m⁻³.

Magyarázat: ???

- A konyhai gáztűzhely használata (elektromos tűzhelyhez képest) fokozza a légúti megbetegedések kockázatát.

Ok:

A nyílt láng miatt megnövekedett NO₂-koncentráció.

- A gáztűzhelyek használata során a levegőbe kerülő szennyezőanyagok hatására növekszik az asztmás tünetek gyakorisága a nők körében.

Magyarázat: ???

- Nem túl magas NO₂-koncentráció esetén mind zárt térben, mind a szabad levegőn megnövekszik az allergén anyagokra érzékeny egyének szervezetének reakciója.

Példa: A forgalmas utak mentén élők körében növekszik az asztmatikus megbetegedések gyakorisága.

4.6. A nitrogén-oxidok (NO_x)

- Nagyon reakcióképes gázok – kulcsszerepet játszanak az ózon és a fotokémiai szmog egyéb összetevőinek keletkezésében.

Az egészségre gyakorolt hatásuk:

Magas koncentrációjuk

- (1) hozzájárul a szív és tüdő betegségeihez,
- (2) csökkenti a szervezet ellenállóképességét a légúti megbetegedésekkel szemben.
- (3) meggyorsíthatja a rákos megbetegedések lefolyását.

4.7. A szén-monoxid (CO)

- Mivel a szén-monoxid színtelen és szagtalan, redukáló hatású gáz, mind zárt térben, mind szabad levegőn kockázati tényező. Zárt térben fokozottan veszélyes, hiszen ott könnyen földúsulhat.

Az egészségre gyakorolt hatása:

- (1) A szén-monoxid 200-szor erősebben kötődik a *hemoglobinhoz (Hb), mint az oxigén. A szén-monoxid gyengíti a vér oxigénszállító képességét, mivel karboxi-hemoglobin (COHb) képződik, az oxi-hemoglobin rovására. Ha túl sok oxigén helyére lép CO, ez fokozatosan oxigénéhséghez vezet. Ily módon a vérnek csupán néhány százalékos COHb-tartalma jelentős következményekkel járhat azon szövetekben, amelyek – esetleg a csekély vérrellátás miatt – oxigénhiányban szenvednek. A CO-mérgezés tünetei a fejfájás, hányás, valamint súlyos esetekben eszméletvesztés és halál – bár a folyamat rövid ideig tartó belégzés esetén visszafordítható.

[*A hemoglobin a gerincesek vörösvértestjeiben található összetett fehérje. Fehérje részből (globinból) és négy vastartalmú színezék részből (hem) áll. Oxigént szállít a szövetekbe. Nagyon könnyen köti meg az oxigént, s ekkor oxi-hemoglobinná alakul. Majd ez a szövetekben visszaalakul hemoglobinná. Az oxigén fölvétele a tüdőben egyszerű diffúzió útján történik.]

- (2) A dohányosok magasabb COHb-koncentrációhoz képesek alkalmazkodni. A szenvedélyes dohányosok vérében a teljes hemoglobin-tartalom 10 %-ához kötődik CO és képez vele COHb-t. A dohányosok – ha csekély mértékben is – a légkör CO-forrásai közé tartoznak.
- (3) Az egészséges, nemdohányzó embereknél a CO-belégzés hatásai akkor jelentkeznek, amikor a szén-monoxid már a teljes hemoglobin-tartalom kb. 5 %-ához kapcsolódik. Kimutatták, hogy alacsony vérnyomású betegeknél a vér 2,5 %-os COHb-tartalma már hatással lehet a szívműködésre.
- (4) A kétségtelen és egyértelmű mérgező hatása ellenére napjainkig csupán sejtették, hogy a CO koncentráció-változásai szabad levegőn is károsak az egészségre.

Példa:

Kimutatták, hogy a szívroham miatt kórházba szállított betegeknél, akiknél a roham valószínű okaként a levegőben található aeroszol részecskék koncentrációjának a változását jelölték meg, az szignifikánsan összekapcsolható a CO-koncentráció változásaival is.

- ⇒ (a) a CO már alacsony koncentrációban is veszélyes lehet,
(b) a korábban gondoltnál jóval több elhalálozás a szabad levegő CO-koncentrációjának az ingadozásaira vezethető vissza.

4.8. Az ólom (Pb)

- Az ólom nehézfém, mely természetes úton megtalálható,
 - (a) a földkéregben,
 - (b) a természetes környezetben,
 - (c) a vizekben, s
 - (d) a levegőben.
- Koncentrációja a természetes környezetben alacsony,
de: az ólomnak, mint hasznofémnek a bányászata megnövelte a szennyezőanyag légköri koncentrációját.

- Azon országokban, melyek még napjainkban is ólmozott üzemanyagot használnak, az ólom legnagyobb része a szénhidrogén-üzemű járművekből kerül a levegőbe.

Az egészségre gyakorolt hatása:

- (1) magas ólomkoncentráció: veszélye jól ismert,
- (2) alacsony ólomkoncentráció: befolyásolhatja a gyermekek mentális (szellemi) fejlődését.

4.9. A karcinogén (rákkeltő) anyagok, mint a szabad levegő szennyezői

Az egészségre gyakorolt hatásuk:

- (1) Számos *rákkeltő vagy feltételezhetően rákkeltő anyag felbukkan a zárt légterek, illetve a szabad levegő szennyezői között. Közülük a benzol (C_6H_6), az 1,3-butadién (C_4H_6) és a policiklikus aromás hidrokarbonát vegyületek (PAH) talán a legismertebbek. Némelyikük genotoxikus karcinogén, s mint ilyenek, elvileg bármilyen kis koncentrációban rákkeltőek lehetnek.

[*Az itt használt "rák" kifejezés magába foglalja az összes rosszindulatú daganatot, s a kapcsolódó betegségeket, mint pl. a leukémiát.]

- (2) A légszennyező anyagokra – melyek genotoxikus karcinogéneknek tekinthetők – a WHO szakértői matematikai modelleket dolgoztak ki azon célból, hogy kiszámítsák az ún. *egységnyi kockázatot.

[*egységnyi kockázat: további rákos megbetegedés bekövetkezésének lehetősége egy adott populációban, mely az adott rákkeltő anyagot $1 \mu g m^{-3}$ koncentrációban lélegzi be egész élete során.]

Példa:

A benzol esetében az egységnyi kockázati tényező $4 \cdot 10^{-6}$. Ez azt jelenti, hogy egy egymillió lélekszámú populációban 4 további rákos megbetegedés lép fel, ha a lakosság $1 \mu g m^{-3}$ koncentrációban, folyamatosan lélegzi be a benzolt egész élete során.

- (3) Szabványok (levegőminőségi küszöbértékek) megállapításához az egyes országok minden egyes veszélyforrás esetére

kijelölik

a kockázat egy elfogadható szintjét, miközben

mérlegelik

a kockázatot és a szabvány előírásából várható hasznot, s

megállapítják

a népegészségügyi problémák megoldásának sürgősségét azon kis populációkban, amelyek ki vannak téve karcinogén hatásoknak.

Példa:

A benzol egyéves átlagos időszakra vonatkozó EU szerinti határértéke $5 \mu\text{g m}^{-3}$. Számos városban túllépik ezt az értéket, azonban ha összehasonlítjuk a mért koncentrációkat e küszöbértékkel, megjegyzendő, hogy egyrészt a szabványok megállapításához használt modellek konzervatívak, másrészt az adott karcinogén anyag belélegzése nem folyamatos.

4.10. Biológiai légszennyezők

- A biológiai légszennyezők széles skálája ismerete (pl. a növényi pollenek, atkák, a háziállatok szőre, gombák, paraziták, s némely baktérium).

Az egészségre gyakorolt hatásuk:

- (1) A legtöbbjük allergén és asztmát, szénanáthát, valamint egyéb allergikus megbetegedéseket okozhatnak.

5. Zárt terek légszennyező anyagai

- Mivel életünk jelentős részét lakásban, munkahelyeken, középületekben töltjük, illetve éljük le, szükséges beszélnünk a zárt terek légszennyező anyagairól is. A nitrogén-dioxidhoz, a szén-monoxidhoz és az ólomhoz hasonlóan, számos egyéb szennyezőanyag befolyásolja a levegőminőséget zárt terekben. A munkahelyeken, s a középületekben nem választhatjuk meg a levegőt, amelyet belélegzünk $\Rightarrow$ ezeken a helyeken a levegőminőség szabályozására törvényi előírás szükséges.

5.1. A radon (Rn)

- Helyenként és azon az épületekben, amelyeket nem radonmentesre terveztek és építettek, a radongáz jelentős mértékben földúsulhat.

Példa:

Mátraalján, néhány faluban a lakóépületek radon-koncentrációja jóval az egészségügyi küszöbérték fölötti.

Az egészségre gyakorolt hatása:

(1) tüdőrákot okozhat.

A radon belégzéséből származó tüdőrák kockázata fokozottan érinti a dohányosokat. Európa azon területein, ahol magas a radon koncentrációja, a rákos megbetegedések nagyobb arányban fordulnak elő.

5.2. Az azbeszt

- Az azbeszt az egyetlen fonható ásványi szálak anyaga. A köznapi szóhasználatban azbeszten általában a krizotilt vagy szerpentinazbesztet értik: $\text{Mg}_6[(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}]$. Ez selymes fényű, rostos szerkezetű anyag. Tűzálló szövetek, hő- és elektromos szigetelők készítésére, valamint tömítésre használják. A savakkal szemben is ellenálló. Azbeszttel kevert cementből készül az eternitpala, melyet tetőfedésre, csövek, asztallapok, stb. készítésére használnak. Hazánkban korábban építkezéseknél szigetelőanyagként alkalmazták.

Az egészségre gyakorolt hatása:

Parányi rostjai a levegőbe kerülve,

- (1) belégzéskor irritálják a légzőszerveket,
- (2) a légzőszervek gyulladásait idézhetik elő, melyek
- (3) rákos megbetegedésekhez vezethetnek.

5.3. Illó szerves vegyületek [Volatile Organic Compounds (VOC)]

- Az illó szerves vegyületek a szerves vegyületek egy csoportját reprezentálják, melyek főként hidrokarbon (hidrogénből és szénből felépülő) vegyületek. Szobahőmérsékleten mindhárom halmazállapotban előfordulhatnak. Az ezernyi ilyen vegyület közül a metán (CH_4) – mely természetes módon keletkezik és semmilyen káros hatása nincs az egészségre – fordul elő a legnagyobb mennyiségben. Néhány további illó szerves vegyület: benzol, formaldehid és néhány klór-fluor-karbon vegyület. A VOC fő forrásai az ipari folyamatok (50 %) és a közlekedés.
- Az illó szerves anyagok főként az otthon és a hivatalokban használatos oldószerekből és vegyszerekből származnak. Zárt terekben a fő forrásai: parfümök, haj-sprayk, bútorfényezők, ragasztószerek, festékek és színezékek, lakkok, *peszticidek, légfrissítők, molyirtók, stb.

[*peszticidek: a kultúrnövényeket károsító kórokozók és állati kártevők ellen felhasznált, s a gyomnövények fejlődését gátló vegyi anyagok összefoglaló elnevezése.]

Az egészségre gyakorolt hatása:

- (1) Bizonyos VOC-k, mint pl. a benzol (mely ipari oldószer) és a benzo-a-pirén (mely faégetéskor, dohányzás alkalmával és a húsok grillezésekor képződik) karcinogén anyagok, azaz rákkeltők.

Számos VOC nem igazán káros az egészségre,

de: néhány közülük napsugárzás hatására reakcióba lép a nitrogén-oxidokkal
 $\Rightarrow$ másodlagos légszennyező anyagok keletkeznek $\Rightarrow$ ezek már veszélyesek lehetnek az egészségre.

- (2) irritálja a szemet, az orrot és a torkot,
- (3) súlyosabb esetekben fejfájás, koordinációs zavarok és hányinger lépnek föl,
- (4) Hosszútávon az illó szerves anyagok – melyek egyúttal potenciális rákkeltő anyagok is – valószínűleg károsítják a májat, a vesét és a központi idegrendszert.

E termékek előírás szerinti használata esetén – miközben a helyiségben megfelelő légáramlást biztosítunk – a keletkező légszennyeződés nem lépi túl a küszöbértékeket, s ez a levegő a legtöbb ember számára nem okoz egészségkárosodást.

5.4. A dohányfüst

- Dohányzás alkalmával számos káros vegyi anyag kerül a levegőbe (pl. nikotin, kátrány, formaldehid, nitrogén-oxidok és szén-monoxid).
- A dohányzással kapcsolatos törvényi előírások országonként jelentősen eltérnek. Egyéb tényezők is (pl. a dohánytermékek ára) szoros kapcsolatban vannak az adott országban a dohányosok számával. Hazánkban 1999 november 1-től tilos a középületekben a dohányzás. 2002-től az EU ide vonatkozó jogszabályai lépnek érvénybe.

Az egészségre gyakorolt hatása:

- (1) irritálja az orrot, a szemet és a torkot,
- (2) elősegíti a tüdőrák kialakulását,
- (3) növeli a hurutos megbetegedések esélyét,
- (4) hajlamossá tesz a tüdőgyulladásra,
- (5) asztmatikus rohamokat idézhet elő,
- (6) csökkenti a tüdőfunkciót.

5.5. A formaldehid (CH₂O)

- Iparilag metanolból (CH₃OH) állítják elő dehidrogénezéssel:



A formaldehid főként ipari folyamatok révén kerülhet a levegőbe, továbbá fertőtlenítő és gombaölő szerként is használatos, valamint a szigetelő habok is tartalmaznak formaldehidet.

Az egészségre gyakorolt hatása:

- (1) irritálja az orrot, a szemet és a torkot,
- (2) nehézlégzés, köhögés, bőrkiütés és egyéb komoly allergikus tünetek (különösen azon személyeknél, akik formaldehid allergiában szenvednek),
- (3) asztmatikus rohamokat idézhet elő.

6. A légszennyezés forrásai

- Adott helyen az egyes források hozzájárulása a helyi légszennyezéshez függ
 - (a) az ipari folyamatok jellegétől és méreteitől,
 - (b) a közutak állapotától,
 - (c) a közúti közlekedés járműsűrűségétől,
 - (d) a járművek korától, valamint
 - (e) a helyi időjárási viszonyoktól.

6.1. Ipar

- Mivel a fosszilis tüzelőanyagokkal működő erőművek főként vidéken találhatók, s a belőlük származó szennyezőanyagok a magas kémények miatt a levegőben jobban felhígulnak
 - ⇒ (1a) a helyi szennyezőanyag koncentrációk csökkentek
 - (1b) fokozódott a nagyobb területekre kiterjedő, sőt a határokon átnyúló légszennyezettség.
- ⇒ (2a) a városi levegő minősége javult,
- (2b) a városok – elsősorban a helyi eredetű kén-dioxid és nitrogén-oxidok miatt – továbbra is fontos szennyező források maradnak.
- (1) Nyugat-Európa:
 - (a) optimális technológiai folyamatok
 - (b) szűrőberendezések
 - ⇒ az erőművek szennyezőanyag kibocsátása jelentősen csökkent,
- (2) Kelet-Európa:
 - (a) elavult technológia,
 - (b) magas kéntartalmú lignit és barnaszén elégetése,
 - ⇒ az erőművek szennyezőanyag kibocsátása igen magas.

- Az Európai Unió országai és azok, akik aláírták a Légszennyezés Hosszútávú Transzportjáról Szóló Egyezményt (Convention on the Long Range Transport of Air Pollution), valamint a Második Kén Jegyzőkönyvet (Second Sulphur Protocol), vállalták, hogy jelentősen csökkentik kén-dioxid kibocsátásaikat.
- Néhány ország leállította atomerőmű-fejlesztési programját $\Rightarrow$ a hagyományos erőművek továbbra is fontos légszennyező források maradnak.

6.2. Ipari hulladék- és szemétklerakó helyek

- Bármely régióban a fosszilis tüzelőanyagokkal működő erőművek mellett az összes ipari tevékenység szignifikáns helyi forrása lehet a nagy térségekre kiterjedő légszennyezésnek.
- A szemét és a hulladék is hatást gyakorol a természetre, továbbá veszélyeztetheti az egészséget. A nem megfelelően kezelt szemétklerakó helyek (a szemét földdel való elfedése vagy annak elégetése révén) szennyezik a levegőt, a talajt és a vizet.
- A szemét földdel való elfedése, illetve elégetése a szemétklerakó két legáltalánosabb módja. A nem megfelelően kezelt szemétklerakókban a metán koncentrációja elérheti a robbanásveszélyes szintet (65 %), a szén-dioxid vészesen feldúsulhat (35 %), nyomokban szerves gázok képződhetnek, s a lerakó esetenként maró bűzt áraszthat.
- A szemét nem megfelelő égetése mérgező anyagok képződéséhez vezethet. Ilyenek lehetnek pl.
 - (a) a sósav, mely műanyagok égetése során kerülhet a levegőbe; lokálisan hozzájárul a savas eső képződéséhez,
 - (b) a dioxinok és a különböző *furánszármazékok, melyek szerves anyagok és műanyagok alacsony hőmérsékleten történő égetésével kerülhetnek a levegőbe,
 - (c) a nehézfémek.
 Megfelelően végzett szemétklerakó során olyan füst képződik, melynek szennyezőanyag koncentrációja a legszigorúbb környezetvédelmi előírásoknak is megfelel.

[*furánvázat tartalmazó vegyületek; a furán (C_4H_4O) kloroformra emlékeztető szagú, semleges kémhatású, színtelen folyadék.]

6.3. Közúti szállítás

- Számos országban a gépjárművek előidézte légszennyezettség terhelés már megelőzi a szénfüstből származót.

Ok:

- (a) az egyes gépjárművek kibocsátásának a csökkentésére tett erőfeszítések légszennyezettséget mérséklő hatását gyengíti a forgalom állandó növekedése.

Kelet-európai országok:

- (a) előregedett autók használata (alacsony vásárlóerő),
 - (b) a használt nyugat-európai autók importja,
- ⇒ e légszennyező forrás korlátozása komoly probléma.

- A gépjárművek által kibocsátott légszennyező anyagok csoportosítása:

- (a) elsődleges légszennyezők

Őket (szén-monoxid, nitrogén-monoxid, benzol, részecskék és ólom) a diesel-meghajtású járművek bocsátják ki. Az ólmozott üzemanyaggal működő járművek által kibocsátott ólom jelentős része részecskék formájában kerül a levegőbe. A diesel-motorokban az üzemanyag nagy nyomású levegő jelenlétében ég el ⇒ kevés szén-monoxid keletkezik, viszont helyette nagy mennyiségű szén-dioxid képződik.

- (b) másodlagos légszennyezők

Ők (a nitrogén-dioxid és az ózon) a benzin üzemű motorokból származnak.

- Azon országokban, ahol már ólommentes üzemanyagot használnak, a levegő ólomkoncentrációja jóval a küszöbérték alá csökkent.

katalizátor használata → ólommentes üzemanyag

- ⇒ (a) lényegesen csökken a levegőbe kerülő szénhidrogének, nitrogén-oxidok és a szén-monoxid mennyisége,
- (b) nő a szén-dioxid emissziója
 - (c) nem módosul a részecskék kibocsátása.

- A katalizátoros autók bevezetése előtt

a diesel-meghajtású járművek "tisztábbak" voltak, mint a benzin-üzeműek.

Ma

az EU előírásai megkövetelik, hogy a diesel-autók szénhidrogén-, NO_x- és CO-kibocsátásai nem haladhatják meg a benzin-üzemű katalizátoros autókét.

A diesel-üzemanyag nem tartalmaz ugyan ólmot, viszont számottevő forrása

(a) a részecskéknek,

(b) a PAH-oknak (policiklikus aromás hidrokarbonátok) és

(c) a kén-dioxidnak.

Az EU-ban bevezetésre került a csökkentett kéntartalmú üzemanyag.

- Az EU környezetvédelmi szabványaiban fokozatosan csökkentik a személygépkocsik és a teherautók kibocsátási küszöbértékeit.

De:

jóval nagyobb mértékű szigorítás szükséges ahhoz, hogy a gépjárművek csökkentett kibocsátásait ne ellensúlyozza azok számának gyors növekedése és mind kiterjedtebb használata.

- A helyi hatóságok levegőminőségi szabályozása

→ közúti szállítás és a gépjárműforgalom

⇒ tisztább és kellemesebb környezet.

Az önkormányzatok célja: optimális megoldást találni a légszennyezettség csökkentésére, illetve megszüntetésére.

A megvalósítás elemei:

(a) gépjárművek szigorúbb és mind gyakoribb műszaki ellenőrzése

(b) a helyi buszközlekedés műszaki feltételeinek javítása,

(c) a "park and ride" (azaz parkolj le személyautóddal a város peremén, s utazz a belvárosba helyi közlekedési eszközzel) rendszer kiépítése,

(d) forgalmi korlátozások bevezetése,

(e) a levegőminőségi szempontoknak a várostervezés során történő figyelembe vétele,

(f) kerékpárutak építése,

(g) a kerékpározás és a gyaloglás propagálása.

6.4. Háztartás

- a részecskék (PM) legnagyobb légköri forrása

Nyugat-Európa

1960 előtt:

a szénnek a háztartásokban történő felhasználása

A légáramlások által szállított részecskék koncentrációja számos európai városban gyakran meghaladta az $1000 \mu\text{g m}^{-3}$ értéket, s az évi átlagos koncentráció általában több száz $\mu\text{g m}^{-3}$ volt.

Ma

A részecskék évi átlagos koncentrációja a városokban $30 \mu\text{g m}^{-3}$ alá csökkent.

Kelet-Európa

Ma

jelentős barnaszén és lignit felhasználás

$\Rightarrow$ a koncentrációk még a dél-európai városokban (pl. Athén) mért értékeknél is jóval nagyobbak.

- A szén összetétele és kalóriaértéke bányáról bányára változik. A szén fajtái közül – kalóriaértékét tekintve – a lignit minősége $\Rightarrow$ a háztartási fűtés során a legtöbb szennyezőanyagot bocsátja ki.

lignit:

széntartalma 67 % és nyílt lángon könnyen, bár nem hatékonyan ég.

antracit:

széntartalma 95 % elégetéséhez speciális eszközök és gondosan adagolt levegő szükséges. Az összes szénfajtát tekintve ez ég a leghatékonyabban, s égése során jóval kevesebb fekete füst képződik, mint a lignit égetésekor.

- A levegőminőség javítása:
 - (1) a leghatékonyabb égésű energiahordozó használata
 - (2) zárt rendszerek alkalmazása
 - (3) távfűtő rendszerek használata
 - (4) A megújuló energiaforrások (szél-, nap-, bioenergia, stb.) kiterjedtebb használata,
 - (5) az energia-felhasználás hatékonyságának növelésére tett intézkedések

- A légszennyezettség további fontos háztartási forrásai:

(a) *a gázzal működő fűtőtestek, kályhák és főzők*

Működésük során szén-monoxid keletkezik. Ha használatuk során a légmozgás nem megfelelő, vagy a berendezések műszaki állapota rossz, a szén-monoxid veszélyes koncentrációban felhalmozódhat. Ezek használatakor nitrogén-dioxid is képződik, s ennek koncentrációja meghaladhatja a szabad levegőn mért értékeket. A ventiláció segít megszüntetni ezt a légszennyező forrást.

(b) *a tábortüzek, valamint a kerti grillsütők és tűzrakó helyek füst- és bűzforrások*

A kerti hulladék égetése füstöt termel, különösen akkor, ha nyirkos időben lappang a tűz és nem kap lángra. A füst szén-monoxidot és egyéb, egészségre káros, irritáló anyagot tartalmaz. Gondot jelenthet az asztmában és hurutos megbetegedésben szenvedők és a szívbetegek számára. Még akkor is, ha a közvetlen egészségkárosodás kockázata csekély, a nyílt tüzek hozzájárulnak a légszennyezettség általános háttérszintjéhez.

6.5. Mezőgazdaság

- A légszennyezettség legfontosabb mezőgazdasági forrásai:

(a) a mezőgazdasági hulladék égetése,

(b) tarlóégetés,

(c) szagproblémák

A talajtípustól és a trágyázástól függően, a legelő szarvasmarha vizeletében és trágyájában található nitrogén az adott mezőgazdasági területről származó nitrogén-oxid emisszió 20-40 %-át adja. A szarvasmarha és egyéb kérődzők metánt is kibocsátanak.

4. táblázat
Az egyes szektorok szennyezőanyag kibocsátását
leíró mutatók, 1994
(28 európai ország adatai alapján)

forrás	SO ₂	NO _x	*NMVOC	NH ₃	N ₂ O	CO ₂	CO	CH ₄
	%							
ipar	50,0	16,2	0,3	0,1	5,1	27,4	0,7	0,2
ipari hulladék- és szemétlerakó helyek	12,4	6,4	15,6	1,2	18,2	12,0	8,3	25,9
közúti szállítás	3,1	30,2	18,6	0,4	2,6	11,7	33,0	0,4
háztartás	14,4	7,6	14,7	0,0	5,3	33,1	22,0	2,9
mezőgazdaság	0,0	0,1	7,9	46,2	23,2	0,5	0,4	21,7

*NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compounds): metánt nem tartalmazó illó szerves vegyületek