

Levegő és egészség

1. Bevezetés

2. A levegő, amit belélegzünk

3. A légszennyezés egészségügyi problémái

4. A leggyakoribb légszennyező anyagok

4.1. Szén-dioxid

4.2. Kén-dioxid

4.3. Részecskék

4.4. Ózon

4.5. Nitrogén-dioxid

4.6. Nitrogén-oxidok

4.7. Szén-monoxid

4.8. Ólom

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

4.10. Biológiai eredetű légszennyező anyagok

5. Zárt terek légszennyező anyagai

5.1. Radon

5.2. Azbeszt

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

5.4. Dohányfüst

5.5. Formaldehid

6. A légszennyezés forrásai

6.1. Ipar

6.2. Ipari hulladék- és szemétkerakó helyek

6.3. Közúti szállítás

6.4. Háztartás

6.5. Mezőgazdaság

Levegő és egészség

1. Bevezetés

A levegőben található szennyezőanyagok szmogot és savas esőt okozhatnak, légúti és egyéb komoly megbetegedéseket idézhetnek elő, károsíthatják az élőlényeket védelmező sztratoszférikus ózonréteget, s hozzájárulhatnak a klímaváltozáshoz. A légszennyező anyagok különösen károsak lehetnek a gyerekekre és az idős korúakra.

Becslések szerint az európai városlakók 30-40 %-a az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation = WHO) vagy az Európai Unió (EU) által megadott levegőminőségi mutatók fölötti átlagos légszennyezés koncentrációnak van kitéve. Mégis, az itt élők közül nem mindenkinek lesz egészségügyi problémája. A légszennyezés koncentráció mértéke, tartama, térbeli kiterjedése, az életkor, egyéni érzékenység és egyéb tényezők fontos szerepet játszanak abban, hogy valaki légszennyezéssel kapcsolatos egészségkárosodást szenved.

A légszennyezés általánosan használt kifejezés: azon anyagok keverékére vonatkozik, mely természetes vagy mesterséges úton a légkörbe jut. Ezen anyagok közül a legjobban dokumentáltak (és hagyományosan megfigyeltek) a kén-dioxid (SO_2), a nitrogén-oxidok [NO_x ($=\text{NO}+\text{NO}_2$)], a szén-monoxid (CO), az ózon (O_3), az ólom (Pb), valamint a lebegő részecskék.

E szennyezőanyagok legfontosabb forrásai a fosszilis tüzelőanyagok elégetése (energiatermelés érdekében, továbbá ipari folyamatok és a közlekedés lebonyolítására), valamint a fa eltüzelése háztartási célokra. Ha valamely szennyezőanyag egyszer a levegőbe jut, nehezen lehet elkerülni. A légszennyezés e tekintetben tér el a szennyezések más formáitól.

A légszennyezés koncentrációja még helyi szinten is számottevően változhat, különösen felszíni kibocsátások esetén (pl. a közúti közlekedésből eredően). A kibocsátásban fellépő változások a légszennyezés koncentrációjának rövid tartamú változását idézik elő. Az, hogy az ember mennyire van kitéve a légszennyezésnek függ a szabadban eltöltött időtől, attól, hogy milyen mértékben jutnak légszennyező anyagok a szabad légtérből a zárt lakóterekbe, s attól, hogy milyen koncentrációban kerülnek szennyezőanyagok a lakóterek levegőjébe a fűtőtestekről, a lakberendezési tárgyokról és az építőanyagokról. A legtöbb ember életének sokkal nagyobb részét tölti zárt lakóterekben, mint a szabadban. Következésképp a zárt lakóter légszennyezése igen fontos népegészségügyi probléma, különösen a gyerekeknél.

A levegő, amit belélegzünk

Egy felnőtt 10.000-20.000 liter levegőt lélegzik be naponta - kb. 7-14 litert percenként. Ha viszont valaki erős fizikai munkát végez, 50 liter levegőt is belélegezhet percenként. Egy hároméves gyermek nyugalmi állapotban - egységnyi testsúlyra számítva - kétszer annyi levegőt lélegzik be, mint egy felnőtt. Következésképp, mivel légútjaik keskenyebbek és tüdejük még fejlődik, a légszennyező anyagok belélegzésének problémája az ő esetükben komolyabb és hatásuk tovább fennmarad.

A légszennyezés egészségügyi problémái

A légszennyező anyagok hatásai a következő két csoportba sorolhatók: akut (rövid tartamú) és krónikus (hosszú tartamú) hatások. Mindkét kategóriánál a hatások a kényelmetlen érzéstől a kisebb betegségeken át egészen a halálig terjedhetnek. Pl. a levegőben lévő por és egyéb szennyező részecskéknek lehetnek akut hatásaik (a szem és a torok közvetlen irritációja, sőt a fokozott légszennyezésre visszavezethető légzőszervi problémák, esetleg szívroham). Néhány szennyezőanyagra (pl. a kén-dioxidra) megadható olyan küszöbérték, amely alatt egészségkárosodás nem lép föl. Más szennyezőanyagokra (pl. a benzolra) nem állapítható meg küszöbérték, s némely egészségkárosító hatás a legkisebb koncentráció esetén is bekövetkezhet.

Adott populációban nem minden személyt érint egyformán ugyanaz a környezeti kockázat. Az egyéni érzékenységekben lényeges eltérések lehetnek a kortól, a táplálkozási körülményektől, a genetikai adottságoktól, s az általános egészségi állapottól függően. A különösen veszélyeztetett csoportokra - így a gyermekekre, fiatalokra, idős korúakra, a terhes nőkre és magzataikra, az alultápláltakra, s a betegségben szenvedő személyekre - kockázatbecsléseket kívánatos elvégezni. Rendkívül fontos eme kockázati csoportok azonosítása, hiszen ők érzékelik először az emelkedő szennyezőanyag koncentráció káros hatásait. Pl. az ólomkohók közelében élők közül a gyermekek vérében magasabb ólomkoncentrációt mutattak ki, mint a felnőttekben. Általában a lakosságnak csak egy töredéke van kitéve magas légszennyezés koncentrációnak, s a népesség jelentős részét érintő koncentrációk csupán az imént említett kockázati csoportokra hatnak érzékenyen. Következésképp a légszennyezésre visszavezethető bármiféle halálozási többlet a népességnek mindössze egy kis szeletére korlátozódik. Ily módon az egész népességre vonatkozó halálozási arányok gyakran gyenge és érzéketlen indikátorai a környezeti egészségügyi hatásoknak.

Táblázat

A légszennyezés becsült egészségügyi hatásai Európában

(WHO European Centre for Environment and Health. Concern for Europe's tomorrow, 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	0,3- 0,5	17 - 29 ezer
kisebb légúti betegségek gyermekeknél		
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

Adott populációban a légszennyezés által előidézett egészségkárosodás esetszámait nehéz megbecsülni.

Táblázat

A légszennyezés hatására bekövetkező egészségkárosodás fajtái gyermekeknél
(WHO/UNEP/USEPA, "Linkage methods for environment and health analysis", p. 81.
Geneva, World Health organization, 1995, WHO/EHG/95.26.)

Ország vagy régió	légszennyezés*	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 Olaszország, 1992	SO ₂ , NO _x , H ₂ S, TSP környezeti légszennyezés (a szabad légtérben) és passzív dohányzás	gyakoribbá váló légúti panaszok 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

Táblázat
Az Európai Unió (EU) levegőminőségi előírásai

kén-dioxid és lebegő részecskék: 80/779/EEC irányelv, kiegészítve a 89/427 irányelvvvel		
	referencia időszak	határértékek (elfogadva: 1983. április 1.)
kén-dioxid	egy év (a napi értékek mediánja)	120 $\mu\text{g m}^{-3}$, ha SPM* \leq 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ 80 $\mu\text{g m}^{-3}$, ha SPM \geq 40 $\mu\text{g m}^{-3}$
	tél (a napi értékek mediánja)	180 $\mu\text{g m}^{-3}$, ha SPM \leq 60 $\mu\text{g m}^{-3}$ 130 $\mu\text{g m}^{-3}$, ha SPM \geq 60 $\mu\text{g m}^{-3}$
	év, csúcs (a napi értékek 98 %-a)	350 $\mu\text{g m}^{-3}$, ha SPM \leq 150 $\mu\text{g m}^{-3}$ 250 $\mu\text{g m}^{-3}$, ha SPM \geq 150 $\mu\text{g m}^{-3}$
lebegő részecskék (SPM)	egy év (a napi értékek mediánja)	80 $\mu\text{g m}^{-3}$
	tél (a napi értékek mediánja)	130 $\mu\text{g m}^{-3}$
	év, csúcs (a napi értékek 98 %-a)	250 $\mu\text{g m}^{-3}$
irányadó értékek		
fekete füst	egy év (a napi értékek mediánja)	40- 60 $\mu\text{g m}^{-3}$
	24 órás közép	100-150 $\mu\text{g m}^{-3}$
kén-dioxid	24 órás közép	100-150 $\mu\text{g m}^{-3}$
	egy év (a napi értékek mediánja)	40- 60 $\mu\text{g m}^{-3}$
nitrogén-dioxid: EC 85/203/EEC irányelv		
	referencia időszak	határérték (elfogadva: 1987. július 1.)
	egy év (az egyórás közepek 98 %-a)	200 $\mu\text{g m}^{-3}$
irányadó értékek		
	egy év (az egyórás közepek 50 %-a)	50 $\mu\text{g m}^{-3}$
	egy év (az egyórás közepek 98 %-a)	135 $\mu\text{g m}^{-3}$
ólom a levegőben: 82/884/EEC irányelv		
	referencia időszak	határérték (elfogadva: 1987. december 9.)
	évi közép	2 $\mu\text{g m}^{-3}$
ózonküszöbök: 92/72/EEC irányelv		
egészségvédelem	8 órás közép	110 $\mu\text{g m}^{-3}$
a vegetáció védelme	1 órás közép	200 $\mu\text{g m}^{-3}$
	24 órás közép	65 $\mu\text{g m}^{-3}$
a lakosság tájékoztatása	1 órás közép	180 $\mu\text{g m}^{-3}$
a lakosság figyelmeztetése	1 órás közép	360 $\mu\text{g m}^{-3}$

*: SPM (Suspended Particulate Matter): lebegő részecske

Táblázat
Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) levegőminőségi előírásai

anyagok	átlagos idő	idővel súlyozott átlag
ólom (1987)	1 év	0,5- 1,0 $\mu\text{g m}^{-3}$
nitrogén-dioxid (1994)	1 óra	200 $\mu\text{g m}^{-3}$
	éves	40 -50 $\mu\text{g m}^{-3}$
ózon (1994)	8 óra	120 $\mu\text{g m}^{-3}$
kén-dioxid (1994)	10 perc	500 $\mu\text{g m}^{-3}$
	24 óra	125 $\mu\text{g m}^{-3}$
	éves	50 $\mu\text{g m}^{-3}$
részecskék (1994)		(a)
szén-monoxid (1994)	15 perc	100 mg m^{-3} (b)
	30 perc	60 mg m^{-3}
	1 óra	30 mg m^{-3}
	8 óra	10 mg m^{-3}

(a): nincsenek irányadó értékek, mivel nincsenek nyilvánvaló küszöbök a megbetegedésekre és az elhalálozásokra

(b): az irányadó érték alatt a vér karboxi-hemoglobin koncentrációja nem lépi túl a 2,5 %-ot

Szén-dioxid

Az aktív vulkánok mellett az utóvulkáni működés révén is jut CO_2 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. Bizonyosodott, hogy e gázfürdőben történő előírt időtartamú tartózkodás jótékony hatással van a különböző érrendszeri betegségekre, bizonyos reumatikus panaszokra, továbbá fagyás utáni állapot, valamint potenciás zavarok, illetve a frigiditás kezelésére. A Mátraderecskén feltörő szén-dioxid-gázt az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Igazgatóság gyógygázzá minősítette.

A leggyakoribb légszennyező anyagok

Kén-dioxid

A kén-dioxid könnyen oxidálódik, s másodlagos légszennyező anyagokként kén-troxidot (SO_3) és erősen maró hatású kénsavat (H_2SO_4) képez.

A kén-dioxid (SO_2) elsősorban a ként tartalmazó fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor keletkezik. A világméretű kibocsátások 80 %-a a szén és a lignit, 20 %-a pedig az olaj elégetéséből származik. A szén kéntartalma kb. 2 %, a nehéz fűtőolajé kb. 3 súlyszázalék. A vízgőzben és a felhőkben található kén-dioxid alapvető szerepet játszik a savas esők keletkezésében.

Londonban a 20. század elején a kén-dioxid és a füst magas légköri koncentrációja - mely a szén háztartási és ipari célokra történő elégetéséből származott - rendszerint egyidőben jelentkezett. Feldúsulásukat nagymértékben elősegítette az anticiklonális időjárási helyzet kialakulása, több napon át történő fennmaradása, s vele a vízszintes légáramlások szünetelése. Mindezek következtében a halálozások száma nőtt, s a krónikus légszennyezésben szenvedők állapota rosszabbodott. Azt nem lehetett megállapítani, hogy vajon a füstnek vagy a kén-dioxidnak volt-e nagyobb egészségkárosító szerepe, az viszont egyértelművé vált, hogy az említett hatásokat legnagyobb részben a füst részecskéiből a felszínre került savak okozzák.

A kén-dioxid belégzése a légutak szűkülését idézi elő. Az asztmában szenvedőket ez a betegség jobban érinti, mint az egészséges embereket. Ha egy asztmás beteg néhány percig olyan helyen tartózkodik, ahol $550 \mu\text{g m}^{-3}$ a kén-dioxid koncentrációja, a tüdőfunkcióiban már csekély változás következik be. A gyárkémények közelében lakóknál a szem és az orr irritációja és a légúti rendellenességek gyakran a kén-dioxidnak tulajdoníthatók. Nyugat-Európában az 1980-as évek elejétől a kén-dioxid kibocsátások számottevően és folyamatosan csökkennek, következésképp egészségkárosító hatásuk is mérséklődik.

Nagy koncentrációban a kén-dioxid károsíthat bizonyos növényeket, pl. a salátát és a spenótot azáltal, hogy fehér foltok jelennek meg a leveleiken és csökkenti a hozamukat.

Részecskék

A részecskék széles mérettartományban megtalálhatók a levegőben, s a légkörben betöltött szerepüket méretük határozza meg. A nagyobb részecskék nem maradnak sokáig a légkörben, s forrásuk közelében ülepednek ki. Belégzésük valószínűsége csekély. A kisebb részecskék nagy távolságokra eljuthatnak; általában őket lélegezzük be.

A részecskék szem-, orr- és torokbántalmakat okozhatnak. Némely nagyobb részecskét (átmérő $> 10 \mu\text{m}$), mely az orrba vagy a torokba jut, a szervezet természetes védekező rendszere kiszűri. Viszont 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.

A részecskéknek mind a mérete, mind az összetétele potenciálisan egészségkárosító hatású. A 20. század elején a téli szmogok alkalmával a kormot és a kén-dioxidot olyan kockázati tényezőnek tekintették, mely felelős a hörghurut és a tüdőtagulás kialakulásáért. Ezek a savas részecskék tüdőgyulladást okozhatnak és a vér alvadását idézhetik elő. Viszont ez idáig még nem sikerült kimutatni közvetlen kapcsolatot a részecske szennyeződés és az asztma között.

Ózon

Légköri előfordulása alapján az ózont kétféleképpen csoportosítjuk. Beszélhetünk sztratoszférikus ózonnól, mely a Föld felszíne fölött kb. 15-50 km magasságban található. A sztratoszférikus ózonszint meghatározó szerepe van a földfelszínre érkező ultraibolya sugárzás mérséklésében. Viszont a troposzférikus ózon - mely az általunk belélegzett levegő alkotója - szennyezőanyag, s károsíthatja az egészséget és a növényzetet.

A talajszinten található ózon másodlagos szennyezőanyag, mely elsődleges szennyezőanyagokból fotokémiai úton képződik. Az elsődleges szennyezőanyagok közé tartoznak a gépjárművek kipufogógázaiból származó nitrogén-oxidok és illó szerves vegyületek, valamint az oldószerek. A nitrogén-oxidok napsugárzás hatására (fotokémiai úton) ózont képeznek, mely a fotokémiai szmog lényeges összetevője. [Elsődlegesek azok a szennyezőanyagok, melyek közvetlenül jutnak a levegőbe (pl. a kén-dioxid) és az illó szerves vegyületek (Volatile Organic Compounds = VOC). Másodlagosak azok a szennyezőanyagok, melyek elsődleges szennyezőanyagok (pl. a talajszinti ózon) reakcióival (pl. fotokémiai úton) képződnek.]

A talajszinti ózon magas koncentrációja gyakran okoz gondot olyan klímaterületeken, ahol forró a nyár. Dél-Európában Athén küzd ezzel a problémával. Észak-Európában a troposzférikus ózon koncentrációi rendszerint magasabbak a vidéki területeken, ugyanis az ózon a szennyezett levegőben termelődik, s a légáramlások elszállítják a városokból. Az ózon

ily módon a határrétegen túllépő légszennyeződési probléma, melynek kezeléséhez nemzeti és nemzetközi megállapodások szükségesek.

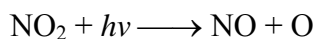
Míg az ózon károsíthatja a termést és a vegetációt, addig zárt terekben koncentrációja gyorsan csökken, miután műanyagokkal és különböző textiltermékekkel reakcióba lépett. A főbb légszennyező anyagok közül az ózon szinte az egyedüli, mely csupán a zárt tereken kívül, kizárólag a szabad légtérben jelent környezeti problémát.

A szervezet biológiai reakciója függ az ózon koncentrációjától, a belézés időtartamától, s a percenként belélegzett levegőtérfogattól, ugyanis csaknem az összes belélegzett ózon felszívódik. Ennélfogva azok az emberek, akik fokozott erőfeszítést igénylő fizikai munkát végeznek, több ózont lélegeznek be, s szervezetük valószínűleg lényegesen erősebben reagál annak hatásaira. A szervezetnek az ózonra adott biológiai reakciója ugyan nem általános, de nem is egyedi. Ha az egyén több napon át ki van téve a fokozott ózonkoncentrációnak, a szervezet reakciója megszűnik, akklimatizálódik a rendellenes körülményekhez. Ennek a jelenségnek mindeddig nincs megfelelő magyarázata, s a reakció csökkenése nem annak a jele, hogy a magas ózonkoncentrációjú levegő több napig tartó belégzése nem károsabb, mint az egy napig történő belégzés.

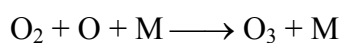
A belézés időtartamának a jelentősége és az a tény, hogy ez napos időben a 8 órát is meghaladhatja, szükségessé tette az ózonra vonatkozó levegőminőségi szabványok, illetve küszöbértékek megállapítását, melyeket rendszerint a 8 órás átlagos ózonkoncentrációban adják meg.

Az ózon káros az egészségre, 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 erőfeszítést igénylő munka jelentősen csökkenti a tüdőfunkciót. Ez a jelenség gyakran olyan tünetekkel társul, mint pl. mellkasi fájdalmak, émelygés, hányinger, köhögés, esetleg tüdővérzés. Az ózon megtámadja továbbá a gumit, lassítja a fák növekedését, mérsékli a terméshozamokat. (Pl. az USA-ban minden egyes évben az ózon önmagában több milliárd USD értékű terméskiesésért felelős.)

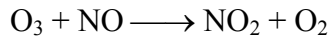
A sztratoszférikus ózon természetes módon keletkezik ($O_2 + O = O_3$), s védőréteget képezve a Nap káros ultraibolya, s annál kisebb hullámhosszúságú sugárzásával szemben hozzájárul az élet fenntartásához a Földön. Ugyanakkor a troposzférikus ózon – mint másodlagos légszennyező anyag – nem közvetlenül kerül a levegőbe, hanem más légszennyező anyagok [pl. nitrogén-oxidok, VOC-k (illó szerves vegyületek)] közreműködésével keletkezik. Mivel keletkezéséhez napsugárzás szükséges, a troposzférikus ózon koncentrációja általában nagyobb a délutáni órákban és nyáron, amikor intenzívebb a napsugárzás. A felszín közeli szennyezett levegőben az ózonképződés a következő módon történik. A $0,41 \mu\text{m}$ -nél kisebb hullámhosszúságú napsugárzás disszociálja a nitrogén-dioxidot nitrogén-monoxidra és atomos oxigénre:



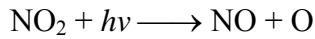
Ezután az atomos oxigén egyesül egy molekuláris oxigénnel egy harmadik molekula (M) jelenlétében, s ózont képez:



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



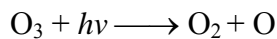
Ha van napsugárzás, az újonnan képződött nitrogén-dioxid elbomlik nitrogén-monoxidra és atomos oxigénre:



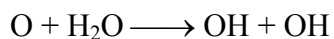
Innen pedig a folyamat kezdődik újra.

Következésképp, szennyezett levegőben nagy koncentrációban képződhet ózon, ha csak 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.

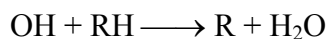
A hidroxil gyök akkor képződik, amikor a ($\lambda \leq 0,31 \mu\text{m}$ hullámhosszúságú) ultraviolet sugárzás disszociál néhány ózonomolekulát molekuláris oxigénre és oxigénatomra:



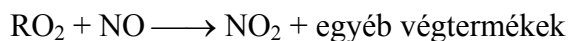
Az itt képződő atomos oxigén gerjesztett állapotban van, ami azt jelenti, hogy számos egyéb molekulával, így a víggőzzel is reakcióba léphet – ez esetben két hidroxil gyök molekulát képezve:



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.



Az R végtermék egy szerves hidrokarbonát vegyületet reprezentál, amelynek komplex molekuláris szerkezete lehet. Az R azután 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:



Ebben az esetben a nitrogén-monoxid úgy lép reakcióba a hidrokarbon vegyületekkel, hogy nem távolítja el a levegőből az ózont. Ennélfogva 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, ami által 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. Anélkül, hogy ezeket a

szennyezőanyagokat részletesen elemeznénk, esetenként fotokémiai oxidánsokként említik őket [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 légtéréből 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. Ugyanis 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 ózonzépződést, ugyanis a nitrogén-oxidok katalizálják az ózonzépződést a hidrokarbon vegyületek (VOC-k) jelenlétében.

Az ózon a légzőszervek gyulladását idézheti elő, s e tekintetben ez a legveszélyesebb az összes légszennyező anyag közül. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) kimutatásai szerint ha az egyórás ózonkoncentráció szintje eléri a $200 \mu\text{g m}^{-3}$ értéket, akkor ez a szem, az orr és a torok irritációját idézheti elő, valamint mellkasi kellemetlenségeket, továbbá köhögést és fejfájást okozhat. $160 \mu\text{g m}^{-3}$ ózonkoncentrációjú levegő 6 órás folyamatos belégzése gyulladást idézhet elő a légutakban, s a normális tüdőfunkciók változásához vezethet.

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 (ugyanakkor nincs megfelelő bizonyíték arra vonatkozóan, hogy bármely betegség hosszabb ideig tartana az asztmásoknál).

Olyan betegeknek, akik allergiában szenvednek, s ki vannak téve az allergiát okozó anyag hatásának, a megnövekedett ózonkoncentráció növeli a szervezet érzékenységét, illetve fokozza annak reakcióját. E megfigyelés annak kapcsán is lényeges lehet, hogy a pollenek és az ózon feldúsulása a felszínközeli levegőben gyakran együtt jár.

Nitrogén-dioxid

A nitrogén-dioxid égési folyamatok révén keletkezik, s lehet egyaránt elsődleges, illetve másodlagos szennyezőanyag. Jóllehet mind a nitrogén-monoxid, mind a nitrogén-dioxid természetes bakteriális eredetű, koncentrációjuk városi környezetben 10-szer, 100-szor magasabb, mint a természetes környezetben. Számos országban a nitrogén-dioxid kb. 50 %-át a gépjárművek állítják elő. Ily módon a koncentrációk a forgalmas utcákon magasabbak, mint a vidéki területeken.

Nedves levegőben a nitrogén-dioxid reakcióba lép a vízgőzzel, s egy maró hatású savat – salétromsavat (HNO_3) – képez. Ez a reakció a savas esők problémaköréhez tartozik.

Az NO_2 -koncentrációk határozott napi menetet mutatnak, a reggeli és az esti csúcsforgalom idején történő feldúsulásokkal. Hideg, csendes időben a koncentrációk növekedhetnek azért, hogy a talajközeli, túltelített levegőben a szennyezőanyagok a kondenzációs cseppeken kicsapódnak. Azon légköri feltételek, melyek az NO_2 -koncentráció növekedését okozzák, egyéb szennyezőanyagok, mint pl. a részecskék és a szén-monoxid feldúsulását is előidéznek.

A nitrogén-dioxid irritáló hatású gáz. Rendkívül magas koncentrációi esetén a légutak összeszűkülnek mind az asztmás, mind a nem asztmás egyéneknél. Az asztmásak ugyanakkor érzékenyebbek a nitrogén-dioxidra, mint az egészségesek. Az ő esetükben, ha kb. 30 percet tartózkodnak olyan levegőben, amelyben kb. $560 \mu\text{g m}^{-3}$ az NO_2 -koncentráció, a normális tüdőfunkciók csekély mértékben romlanak. Egészséges egyéneknél kb. $1800 \mu\text{g m}^{-3}$ NO_2 -koncentráció idézi elő a szervezet hasonló reakcióját. A szervezetnek az NO_2 -koncentráció változásaira adott válasza egyénenként eltérő. $560 \mu\text{g m}^{-3}$ koncentráció is kiválthatja a reakciót, ugyanakkor az kétszeres feldúsulás esetén is elmaradhat. Úgy tűnik, ez minden embernél megjelenik és tartósan fennmarad, ha az NO_2 -koncentráció eléri, illetve túllépi az $1800 \mu\text{g m}^{-3}$ értéket. Ennek magyarázata mindeddig nem világos.

Azoknál a családoknál, ahol gáztűzhely van a konyhában, a gyerekeknél magasabb a légúti megbetegedések kockázata, mint ott, ahol elektromos tűzhelyet használnak. Ez valószínűleg a nyílt láng miatt megnövekedett NO_2 -koncentrációnak tulajdonítható. Újabban azt is kiderítették, hogy a gáztűzhelyek használata során a levegőbe kerülő szennyezőanyagok hatására növekszik az asztmás tünetek gyakorisága a nők körében. Ezt a hatást korábban szintén az NO_2 -nek tulajdonították, azonban a rendelkezésre álló bizonyítékok nem meggyőzők.

Nem túl magas NO_2 -koncentráció esetén mind zárt térben, mind a szabad levegőn megnövekszik az allergén anyagokra érzékeny egyének szervezetének reakciója. Pl. kimutatták, hogy a forgalmas utak mentén élők körében növekszik az asztmatikus megbetegedések gyakorisága.

Nitrogén-oxidok

A nitrogén-oxidok magas koncentrációja valószínűleg hozzájárul a szív és tüdő betegségeihez, továbbá csökkenti a szervezet ellenállóképességét a légúti megbetegedésekkel szemben. Állatkísérletek alapján a nitrogén-oxidok magas koncentrációja meggyorsíthatja a rákos megbetegedések lefolyását. Továbbá a nitrogén-oxidok nagyon reakcióképes gázok, melyek kulcsszerepet játszanak az ózon és a fotokémiai szmog egyéb összetevőinek keletkezésében.

Szén-monoxid

A szén-monoxid 200-szor erősebben kötődik a hemoglobinhoz (Hb), mint az oxigén. [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.] 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 oxigénhiányhoz vezet. Ily módon a vérnek csupán néhány százalékos COHb-tartalma jelentős következményekkel járhat azon szövetekben, amelyek - esetleg a csekély vérellátás 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.

Úgy tűnik, 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.

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 szív működésre.

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. A kétségtelen és egyértelmű mérgező hatása ellenére napjainkig csupán sejtették, hogy koncentráció-változásai szabad levegőn is károsak az egészségre. Újabban 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. Ez utóbbi viszont feltételezi, hogy a CO már alacsony koncentrációban is veszélyes lehet, s hogy a korábban gondoltnál jóval több elhalálozás a szabad levegő CO-koncentrációjának az ingadozásaira vezethető vissza.

Ólom

Az ólom nehézfém, mely természetes úton a földkéregben megtalálható. Megtalálható továbbá a természetes környezetben, a vizekben, s a levegőben is. Koncentrációja a természetes környezetben alacsony, azonban az ólomnak, mint hasznos fémnek a bányászata megnövelte a szennyezőanyag légköri koncentrációját. Azon országokban, melyek még napjainkban is ólomozott üzemanyagot használnak, az ólom legnagyobb része a szénhidrogén-üzemű járművekből kerül a levegőbe. Míg a magas ólomkoncentrációk veszélye jól ismert, ugyanakkor megjegyzendő, hogy az alacsony ólomkoncentráció befolyásolhatja a gyermekek mentális (szellemi) fejlődését.

Karcinogén (rákkeltő) anyagok, mint a szabad levegő szennyezői

Számos rákkeltő vagy feltételezhetően rákkeltő anyag felbukkan a zárt légterek, illetve a szabad levegő szennyezői között. Közülük a benzol (C₆H₆), az 1,3-butadién (C₄H₆) 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. Történtek kísérletek a karcinogének rákkeltő hatásának meghatározására, azonban ezek a számítások még kezdeti stádiumban vannak.

A légszennyező anyagokra - melyek genotoxikus karcinogéneknek tekinthetők - az Egészségügyi Világszervezet (WHO) szakértői matematikai modelleket dolgoztak ki azon célból, hogy kiszámítsák az ún. "egységnyi kockázatot". Ezek a számítások állatokkal kapcsolatos, vagy járványügyi tanulmányokból származó információkon alapulnak. Ezt az egységnyi kockázatot általában úgy értelmezik, mint további rákos megbetegedés bekövetkezésének lehetőségét egy adott populációban, mely az adott rákkeltő anyagot 1 µg m⁻³ koncentrációban lélegzi be egész élete során. A benzol esetében pl. az egységnyi kockázati tényező 4·10⁻⁶. Ez azt jelenti, hogy egy egymilliós lélekszámú populációban 4 (illetve egy 250.000 fős populációban 1) további rákos megbetegedés lép fel, ha a lakosság 1 µg m⁻³ koncentrációban, folyamatosan lélegzi be a benzolt egész élete során. Megjegyzendő azonban, hogy ezek az elméleti kockázatbecslések számos bizonytalansági tényezőt tartalmaznak.

Szabványok megállapításához az egyes országok minden egyes veszélyforrás esetére kijelölik a kockázat egy elfogadható szintjét, mérlegelve a kockázatot és a szabvány előírásából várható hasznot, s megállapítva a népegészségügyi problémák megoldásának sürgősségét azon kis populációkban, amelyek ki vannak téve karcinogén hatásoknak. Nagy-Britanniában pl. a benzolra érvényes szabvány 5 µg m⁻³. Számos városban túllépi ezt az értéket, azonban ha összehasonlítjuk a mért koncentrációkat a szabvánnyal, meg kell

jegyeznünk, hogy egyrészt a szabványok megállapításához használt modellek konzervatívak, másrészt az adott karcinogén anyag belélegzése nem folyamatos.

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. Ennélfogva ezeken a helyeken a levegőminőség szabályozására törvényi előírás szükséges.

Radon

Adott földrajzi régiókban és azokban az épületekben, amelyeket nem radonmentesre terveztek és építettek, a radongáz olyan mértékben földúsulhat, hogy tüdőrákot okozhat. A radon belélegzéséből származó tüdőrák kockázata fokozottan érinti a dohányosokat. Európa azon területein, ahol magas a radon koncentrációja, a rákos megbetegedések nagyobb arányban fordulnak elő.

Azbeszt

Az azbeszt az egyetlen fonható ásványi szálasanyag. A köznapi szóhasználatban azbeszten általában a szerpentinazbesztet értik. Ez selymes fényű, rostos szerkezetű anyag. Tűzálló szövetek, hő- és elektromos szigetelők készítésére, valamint tömítésre használják. Hazánkban korábban építkezéseknél szigetelőanyagként használták. Parányi rostjai a levegőbe kerülve, belélegzéskor irritálják a légzőszerveket, azok gyulladásait idézik elő, melyek rákos megbetegedésekhez vezethetnek.

Illó szerves anyagok [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 (CH₄) – mely természetes módon keletkezik és semmilyen káros hatása nincs az egészségre – fordul elő a legnagyobb mennyiségben. Néhány további illó szerves vegyület: benzén, formaldehid és néhány klór-fluor-karbon vegyület. A VOC fő forrásai az ipati folyamatok (50 %) és a közlekedés.

Bizonyos VOC-k, mint pl. a benzén (mely ipari oldószer) és a benzo-a-pirén (mely a faégetéskor, dohányzás alkalmával és a húsok grillezésekor képződik) karcinogén anyagok, azaz rákkeltők. Jóllehet számos VOC nem igazán káros az egészségre, néhány közülük napsugárzás hatására reakcióba lép a nitrogén-oxidokkal, melynek eredményeként másodlagos légszennyező anyagok keletkeznek, amelyek már veszélyesek az egészségre.

Az illó szerves anyagok főként az otthon és a hivatalokban használatos oldószerekből és vegyszerekből származnak. Zárt terekben a fő forrásai a következők: parfümök, hajsprayk, bútorfényező, ragasztószerek, festékek és színezékek, lakkok, peszticidek (a kultúrnövényeket károsító kórokozók és állati kártevők ellen felhasznált, s a gyomnövények fejlődését gátló vegyi anyagok összefoglaló elnevezése), légfrissítők, molyirtók és számos egyéb termék. Ezek fő egészségkárosító hatása a szem, az orr és a torok irritációja. Komolyabb esetekben fejfájás, koordinációs zavarok és hányinger lépnek föl. 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.

Dohányfüst

Dohányzás alkalmával számos káros vegyi anyag kerül a levegőbe, mint pl. a nikotin, kátrány, formaldehid, nitrogén-oxidok és szén-monoxid. Ma már jól ismert tény, hogy a dohányzás rákot okoz. Ugyancsak jól ismert tény, hogy a passzív dohányosoknak rengeteg egészségügyi problémával kell szembenézniük. Így pl. a füst és a levegőbe jutó egyéb vegyi anyagok - különösen a gyerekek esetében - irritálják az orrot, a szemet és a torkot, rákot okozhatnak, növelik a hurutos megbetegedések esélyét, hajlamossá tesznek a tüdőgyulladásra, asztmatikus rohamokat idézhetnek elő, s csökkentik a tüdőfunkciót. A dohányzással kapcsolatos törvényi előírások országonként jelentősen eltérnek. Egyéb tényezők, mint pl. a dohánytermékek ára nyilvánvalóan szoros kapcsolatban van az adott országban a dohányosok számával. Magyarországon a dohányzással kapcsolatos jogszabályok, illetve előírások is fokozatosan közelítenek az EU ezirányú rendelkezéseire. Hazánkban 1999 november 1-től tilos a középületekben a dohányzás.

Formaldehid

A formaldehid főként ipari folyamatok révén kerülhet a levegőbe, továbbá fertőtlenítő és gombaölő szerként is használatos, valamint a szigetelő habok is tartalmaznak formaldehidet. A szem, az orr és a torok irritációján kívül az allergiára hajlamos személyeknél nehézlégzést, köhögést, bőrkiütést és egyéb komoly allergikus tüneteket válthat ki. Feldúsulása asztmatikus rohamokat idézhet elő.

Biológiai légszennyezők

A biológiai légszennyezők széles skálája ismeretes, így pl. a növényi pollenek, atkák, a háziállatok szőre, gombák, paraziták és némely baktérium. A legtöbbjük allergén és asztmát, szénanáthát, valamint egyéb allergikus megbetegedéseket okozhatnak.

A légszennyezés forrásai

Az egyes források hozzájárulása a helyi légszennyezéshez függ az adott helyen az ipari folyamatok jellegétől és méreteitől, a közutak állapotától, a közúti közlekedés járműsűrűségétől, a járművek korától, valamint a helyi időjárási viszonyoktól.

Ipar

Mivel a fosszilis tüzelőanyagokkal működő erőművek főként vidéken találhatóak, s a belőlük származó szennyezőanyagok a magas kémények miatt közelítőleg egyenletesen oszlanak el, a városi levegő minősége javult. Ugyanakkor a városok - elsősorban az ott képződő kén-dioxid és nitrogén-oxidok miatt - továbbra is fontos szennyező források maradnak. A magas kéményekből kibocsátott szennyezőanyagok jobb eloszlása azoknak a levegőben való jobb felhígulását, végső soron pedig a helyi szennyezőanyag-koncentrációk csökkenését eredményezte. Ez ugyanakkor a nagyobb területekre kiterjedő, sőt a határokon átnyúló légszennyezés kialakulásához vezetett.

Az optimális technológiai folyamatok kialakításával, s szűrőberendezések alkalmazásával Nyugat-Európában az erőművek szennyezőanyag-kibocsátásának jelentős csökkenését sikerült elérni. Ugyanakkor számos kelet-európai országban - különösen a régi erőművekben és azokban, amelyek magas kéntartalmú lignittel és barnaszénrel üzemelnek - még napjainkban is igen magas a kibocsátott szennyezőanyagok koncentrációja. Lokálisan persze a koncentrációt növelheti az anticiklonális időjárási helyzet kialakulása és tartós

fennállása, amikor az inverziós légrétegződés miatt a szennyezőanyagok a talaj közelében felhalmozódhatnak.

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. A hagyományos erőművek - úgy tűnik - továbbra is fontos légszennyező források maradnak, különösen azzal összefüggésben, hogy néhány ország leállította atomerőmű-fejlesztési programjait.

Ipari hulladék- és szemétkerakó helyek

Jóllehet számos országban a fosszilis tüzelőanyagokkal működő erőművek az ipari eredetű légszennyezés legnagyobb forrásai, az összes ipari tevékenység bármely régióban szignifikáns helyi forrása lehet a nagy térségekre kiterjedő légszennyezésnek. Ezek rendszeres ellenőrzése segít minimalizálni a helyi levegőminőségre gyakorolt hatásukat.

A szemét és a hulladék is hatást gyakorol a természetre azáltal, hogy szennyezi a levegőt, a talajt és a vizet. A nem megfelelően kezelt szemétkerakó helyek (a szemét földdel való elfedése vagy annak elégetése révén) szintén veszélyeztethetik az egészséget a fenti módokon.

A szemét földdel való elfedése, illetve elégetése a szemétkerakó két legáltalánosabb módja. A nem megfelelően kezelt szemétkerakókban a metán koncentrációja elérheti a robbanásveszélyes szintet (65 %), a szén-dioxid veszélyesen felgyűlhet (35 %), nyomokban szerves gázok képződhetnek, s a kerakó esetenként maró bűzt áraszthat.

A szemét nem megfelelő elégetése mérgező anyagok képződéséhez vezethet. Ilyenek lehetnek pl. a sósav, a dioxinok, a különböző furánszármazékok (furánvázat tartalmazó vegyületek; a furán kloroformra emlékeztető szagú, semleges kémhatású, színtelen folyadék) és a nehézfémek. A sósav - mely műanyagok elégetése során kerülhet a levegőbe - lokálisan hozzájárul a savas eső képződéséhez. Szerves anyagok és műanyagok alacsony hőmérsékleten történő elégetésével dioxinok és furánszármazékok kerülhetnek a levegőbe. Megfelelően végzett szemétkerakó során olyan füst képződik, melynek szennyezőanyag-koncentrációja a legszigorúbb környezetvédelmi előírásoknak is megfelel.

Közúti szállítás

Számos országban a gépjárművek előidézte légszennyezés már megelőzi a szénfüstből származót, mint az eddigi legjelentősebb légszennyező forrást. Előbbi szennyező forrás szerepe napjainkban egyre növekszik, ugyanis az egyes gépjárművek kibocsátásának a csökkentésére tett erőfeszítések légszennyezést mérséklő hatását gyengíti a forgalom állandó növekedése. Több kelet-európai országban a meglehetősen öreg autók használata - melyek képtelenek megfelelni a legújabb környezetvédelmi követelményeknek - továbbá a használt nyugat-európai autók importja azt jelenti, hogy e légszennyező forrás korlátozása nagy nehézségekbe ütközik.

A gépjárművek által kibocsátott légszennyező anyagok két csoportra oszthatók: vannak elsődleges és másodlagos légszennyezők. Az elsődleges légszennyező anyagok - melyeket a diesel-meghajtású járművek bocsátják ki - a következők: szén-monoxid, nitrogén-monoxid, benzol, részecskék és az ólom. Az ólomozott üzemanyaggal működő járművek által kibocsátott ólom jelentős része részecskék formájában kerül a levegőbe. Mivel a diesel-motorokban az üzemanyag nagy nyomású levegő jelenlétében ég el, így kevés szén-monoxid, viszont helyette nagy mennyiségű szén-dioxid keletkezik. Másodlagos szennyezőanyagok - melyek a benzin-üzemű motorokból származnak - a nitrogén-dioxid és az ózon.

Azon országokban, ahol már ólommentes üzemanyagot használnak, a levegő ólomkoncentrációja olyan szintre csökkent, amely már nem jelent gondot. Az ólommentes

üzemanyag szükségessé tette a motorban a katalizátor használatát, ami lényegesen csökkenti a levegőbe kerülő szénhidrogének, nitrogén-oxidok és a szén-monoxid mennyiségét, viszont növeli a szén-dioxid emisszióját és nem módosítja a részecskék kibocsátását. 1993-tól az EU-ban minden új benzin-üzemű autót katalizátorral kell felszerelni.

A katalizátoros autók bevezetése előtt a diesel-meghajtású járművek "tisztábbak" voltak, mint a benzin-üzeműek. Az EU előírásai ma már 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 részecskéknek, a PAH-oknak (policiklikus aromás hidrokarbonátok) és a kén-dioxidnak. Az EU-ban nemrégiben bevezetésre került a csökkentett kéntartalmú üzemanyag.

Az EU számos országában - az EU környezetvédelmi szabványaival összhangban - fokozatosan csökkentik a személygépkocsik és a teherautók kibocsátási küszöbértékeit. Azonban jóval nagyobb mértékű szigorítás szükséges ahhoz, hogy a gépjárművek csökkentett kibocsátásait ne ellensúlyozza azok számának gyors növekedése és mind kiterjedtebb használata.

A közúti szállítás és a gépjárműforgalom olyan terület, ahol a helyi hatóságok jelentős hatást gyakorolhatnak a helyi levegő minőségére azáltal, hogy intézkedéseik révén az egészségkárosító hatások mérséklődhetnek, s kellemesebbé válhat a környezet. Az önkormányzatoknak arra kell törekedniük, hogy a rendelkezésre álló anyagi források, s egyéb prioritások figyelembe vételével optimális megoldást találjanak a légszennyezés csökkentésére, illetve megszüntetésére. A helyi buszközlekedés műszaki feltételeinek javítása, a "park and ride" (azaz parkolj le személyautóddal a város peremén, s utazz a belvárosba helyi közlekedési eszközzel) rendszer kiépítése, forgalmi korlátozások bevezetése, a levegőminőségi szempontoknak a várostervezés során történő figyelembe vétele, kerékpárutak építése, a kerékpározás és a gyaloglás propagálása mind olyan lépések, amelyeket a helyi hatóságok megtehetnek. A gépjárművek szigorúbb és mind gyakoribb műszaki ellenőrzése lehetővé teszi, hogy az üzemanyag hatékonyan és gazdaságosan égjen el, s ezáltal kisebb legyen a légszennyezés, továbbá hatékonyabbá váljon az üzemanyag-fogyasztás az alacsony (60-90 km/h) sebességeken.

Háztartás

Kb. 1960 előtt a szénnek a háztartásokban történő felhasználása volt a részecskék legnagyobb légköri forrása. A légáramlások által szállított részecskék koncentrációja számos európai városban gyakran meghaladta az 1000 µg m⁻³ értéket, s a több száz µg m⁻³ évi átlagos koncentrációk közhelynek számítottak. Napjainkban az évi átlagos koncentrációk a legtöbb nyugat-európai városban 30 µg m⁻³ alá estek vissza. Kelet-Európában azonban még jóval nagyobb koncentrációk mérhetők, mint ahogy - bár kisebb mértékben - a dél-európai városokban, pl. Athénben is. Kelet-Európa jelentős részén a barnaszén, valamint a lignit képezik a részecskék legfontosabb forrását.

A szén összetétele és kalóriaértéke bányáról bányára változik. A szén fajtái közül - kalóriaértékét tekintve - a lignit minősége a leggyengébb, s a háztartási fűtés során a legtöbb szennyezőanyagot bocsátja ki. A lignit széntartalma 67 % (az antracit 95 %) és nyílt lángon könnyen, bár nem hatékonyan ég. Az antracit 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.

Az antracitnak - vagy egyéb, minimális füsttel égő fűtőanyagoknak - kemencében történő égetését meg kell fontolnia minden olyan helyi hatóságnak, ahol a széntüzelés során keletkező füst komoly gondot jelent. Az antracit zárt térben történő égetésének nagyobb hatékonysága az általános üzemanyagköltségek csökkenéséhez vezet, bár a szükséges berendezések

megvásárlása egyszeri beruházást igényel. A zárt rendszerre történő áttérés lehetővé teszi a szén tökéletes égését. A távfűtő rendszerek használata további lépés az energiahordozók hatékonyabb felhasználására. A megújuló energiaforrások (szél-, nap-, árapály-, hullám-, vízi energia, stb.) kiterjedtebb használata, s az energia-felhasználás hatékonyságának növelésére tett intézkedések szintén segítik a levegőminőség javítását.

A légszennyezés további fontos háztartási forrásai:

a. a gázzal működő fűtőtestek, kályhák és főzők, melyek működésekor szén-monoxid keletkezik. Ha használatuk során a légmozgás nem megfelelő, vagy e berendezések műszaki állapota rossz, a szén-monoxid veszélyes koncentrációban felhalmozódhat. Ezek használatakor nitrogén-dioxid is képződik, s koncentrációja meghaladhatja a szabad levegőn mért értékeket. A ventiláció segít megszüntetni ezt a légszennyező forrást.

b. a tábornyűzők, 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 légszennyeződés általános háttérszintjéhez.

Mezőgazdaság

A mezőgazdasági tevékenységek szintén jelentős forrásai lehetnek azoknak a kellemetlenségeknek, amelyek egyrészt hozzájárulnak a légszennyezés helyi szintjeihez, másrészt szagproblémákat okoznak. A legfontosabb szennyezési források a mezőgazdasági hulladék égetése és a tarlóégetés. 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.

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 szeméttlerakó 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