

A LEVEGŐ

1. Néhány tény és feltételezés a Föld légkörével és annak történetével kapcsolatban

1.1. Gázburok kialakulása a Földön. Üvegház hatás

A földi időjárási jelenségek a kb. 15 km vastag troposzférában zajlanak le.

A mintegy 5 milliárd éves Földön kb. 3,5 milliárd éves üledékes kőzetek is vannak, melyeknek vízből kellett lerakódniuk. A legrégebb fossziliák is kb. 3,5 milliárd évesek.

A Földnek 1 milliárd éves korában már volt összefüggő folyékony víztakarója. A napsugárzás akkori intenzitását a mostaninak kb. $\frac{3}{4}$ részére becsülik. Valószínűleg az akkori üvegház hatás okozta a felszíni szilárd jég (egy részének) felolvadását.

- **Az üvegház hatás lényege:** A látható fény jórészt gyengítetlenül éri el a Föld kérgét, ami alacsonyabb felszíni hőmérséklete miatt a fénynél alacsonyabb frekvenciájú elektromágneses sugárzást (hősugarakat) emittál. Ez a hősugárzás melegít egyes felszíni gázokat, melyek a hőt konvekció útján terjesztik szét a Föld felszínén.
- Üvegház hatást okoz például a CO_2 , a CH_4 és a vízgőz. Nem okoz üvegház hatást az N_2 .

A Föld gázburka valószínűleg a szilárd kéreg kialakulásakor kezdett felhalmozódni vulkáni gázokból. Összetétele kezdetben azokéhoz hasonlíthatott. Tartalmaznia kellett vízgőzt, ammóniát és széndioxidot is.

- A $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ üvegház hatást okozott, de nagyobb része vízként lecsapódott.
- Az NH_3 a napsugárzástól elbomlott. Az N_2 felhalmozódott a légkörben, a moláris tömegű H_2 elszökött az atmoszférából.
- A CO_2 üvegház hatást okozott, de legnagyobb része oldódott a felszíni vízben és karbonátos üledékben megkötődött.

A karbonátos kőzetekben kötött CO_2 tömege kb. 60-szorosa a mai légkör tömegének. Ha felszabadulna, kb. 60 bar volna a légnyomás.

- Nem egyidejűleg volt ennyi az atmoszférában. Ahogy valamennyi CO_2 a légkörbe került, a tengerek a nagy részét megkötötték. A felszíni víztömegnek ma is jelentős szabályozó szerepe van.
- A légkör infravörös foton befogó képessége (az üvegház hatás mértéke) nem arányos a CO_2 tartalommal. Egy már befogott fotont ugyanis nem tud még egyszer befogni.
- A vízgőz lecsapódása és a CO_2 vízben való megkötődése gyengítette az üvegház hatást.
- A Föld felszínének mai átlagos hőmérséklete $+15^\circ\text{C}$.

A Hold: Ugyanolyan távol van a Naptól, mint a Föld, így a felszínét ugyanolyan intenzitású napsugárzás éri, mint a Földét. Viszont nincs légköre (tömege 1,2 %-a a Földének), és így nincs rajta üvegház hatás sem. A napos oldalán $+100^\circ\text{C}$ -ig melegszik, az éjszakáin -180°C -ig hűl a felszín. Az átlaghőmérséklet -18°C .

A Vénusz: Tömege 82 %-a a Földének. Közelebb van a Naphoz, mint a Föld, felszíni átlaghőmérséklete légkör híján is $+87^\circ\text{C}$ volna. Már minimális üvegház hatás esetén sem volnának felszíni vizei (nincsenek is). Felszínén a CO_2 mennyisége kb. ugyanannyi, mint a Földén, de nem kötődött meg karbonátos üledékekben, hanem a légkörében maradt. A felszíni légnyomás 60 bar, átlaghőmérséklete $+500^\circ\text{C}$.

A Mars: Viszonylag kis tömege (0,11-szerese a Földének) miatt nehézségi erőtere gyenge, légköre jórészt elszökött. Tömegének hőmérséklete alacsony, tektonikai folyamatai lelassultak vagy leálltak. Szén-dioxid nem jut a megmaradt légkörébe, felszínén az üvegház hatás gyenge. Éjszakai oldala -140 °C-ig lehül, felszíni hőmérséklete a nyári félévben csak a déli féltekén éri el a 0 °C-t.

1.2. Energiatermelő (bio)kémiai folyamatok, melyek megváltoztatták a földi légkör összetételét

Baktériumokban lejátszódó (bio)kémiai reakciók

Aerob szervezetekben lejátszódó folyamatok:

- nitritbaktériumokban: $2 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (-661 kJ·mol⁻¹)
- nitrátbaktériumokban: $2 \text{HNO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_3$ (-151 kJ·mol⁻¹)
- vasbaktériumokban: $4 \text{Fe}^{2+} + 4 \text{H}_3\text{O}^+ + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{Fe}^{3+} + 6 \text{H}_2\text{O}$ (-268 kJ·mol⁻¹)
- hidrogén oxidációja: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ (-477 kJ·mol⁻¹)

Anaerob szervezetekben lejátszódó folyamatok:

- metánképző baktériumokban:
 - $4 \text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (-139 kJ·mol⁻¹)
 - $4 \text{HCOOH} \rightarrow 3 \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (-120 kJ·mol⁻¹)
 - $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ (-28 kJ·mol⁻¹)
- deszulfobirió baktériumokban: S²⁻-t termelnek
- denitrifikáló baktériumok: N₂-t termelnek
- kénbaktériumokban: $2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$ (-4949 kJ·mol⁻¹)
- kemoautotróf baktériumok: Ezt az energiát használják CO₂ megkötésre (C₆H₁₂O₆ képzés).

Fényenergia hasznosítással lejátszódó folyamatok: A fényenergia befogásához pigment anyagok kellenek, pl. a látóbíborhoz hasonlóak.

- korábbi időkben: fényenergiából, bakterioklorofill hatására
 - $6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12 \text{S} + 6 \text{H}_2\text{O}$ (+301 kJ·mol⁻¹)
- újabb időkben: fényenergiából, klorofill-a hatására (ettől oxigénben dúsult a légkör)
 - $6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{O}_2$ (+2880 kJ·mol⁻¹)

A keletkező O₂ néhány fontosabb hatása:

- A keletkező O₂ a vasbaktériumokban a vasat oxidálta (hematit telepek pl. Ukrajnában, a Labrador-félszigeten, Ny-Ausztráliában, stb.). A korábbi baktériumok az oxidációtól elpusztultak, a későbbiek már enzimek védték.
- Oxidálódott a légkör CH₄ és vulkáni gázok H₂ tartalma.
- A reagensek és a primitívebb baktériumok fogytával nőtt a légkör O₂ tartalma.
- Ezután terjedtek el kb. 100 millió év alatt a karbon és a hidrogén légköri oxigénnel való égetésével energiát nyerő szervezetek (a baktériumok kb. 1,5 milliárd évig voltak egyeduralgok). A mai növények fotoszintetizálnak és lélegeznek, de nem a saját maguk termelte oxigént hasznosítják.
- A Földre érkező UV sugárzás hatására a magas légkörben ózon képződött (O₂ + ½ O₂ ↔ O₃), Az ózon 15-50 km magasságban dúsul, melyet a befogott sugárzás felmelegít.

- Szárazföldi élet csak O₂ tartalmú légkörben kezdhett kialakulni, ez védte meg a szárazföldi élőlényeket a káros sugárzástól.
- Az ózon mennyisége: tengerszinten normál állapotú gázként kb. 3 mm vastag réteget képezne.
- Az inert CFC-vegyületek felszállnak a magas légkörbe, ahol a sugárzás roncsolja őket. Bomlástermékeik pedig az ózont roncsolják.

1.3. A földi klímát befolyásoló csillagászati tényezők

A Föld Naphoz viszonyított mozgásának elemei

- A Föld saját tengelye körüli forgása, a körülfordulási idő 24 h. Következmény: nappalok és éjszakák váltakozása.
- A Föld Nap körüli keringése. A keringési idő 365 nap 5 óra 48 min 45 s. A forgástengely a keringési síkkal szöget zár be. Következmény: évszakok váltakozása.
- A forgástengely és a keringési sík által bezárt szög 21,8°-24,4°. A tengely kb. 41 000 éves ciklusban precessziós mozgást végez. A hajlásszög most éppen 23,4°, értéke lassan csökken. Következmény: az évszakok közti különbség csökken.
- A földpálya lapultsága a Nap és a bolygók vonzása miatt kb. 100 000 éves ciklusban változik. A Földet érő napenergia éves átlagban gyakorlatilag független a pálya lapultságától, de lapultabb pálya esetén a megvilágítottság jelentősebben ingadozik egy keringés alatt.

A klíma csillagászati okból való változásának lehetőségét 1860-ban vetették fel (Scot James Croll, jóval később pontosította Milutin Milankovics). Maximum pár százezer év korú mélytengeri minták alapján az 1970-es években tudták számítógépi numerikus modellel ellenőrizni.

A földi klímát befolyásoló további tényezők:

- Jégkorszakok kialakulásának a mérsékelt égöv hűvösebb nyarai kedveznek. Ekkor a téli hó kevésbé olvad, kiterjedése nő. A forróbb nyár a hidegebb tél ellenére is intenzívebb olvadást eredményez.
- Ha kontinens van valamelyik sarkvidéken, a melegebb tengeráramlások nem tudnak eljutni a sarkig. Akkor ott nagyobb hőtömeg halmozódik fel és lehűlés következik.
- A fehér hótakaró hővisszaverő, Ha már kialakult, gyorsítja a hőtömeg felhalmozódását, és ez néhány száz vagy ezer év alatt jégkorszak kialakulásához vezethet. A felmelegedési folyamat a hó elolvadásáig lassúbb.
- A légkör CO₂ tartalma 100 éve 0,028 % volt, ma 0,035 %. A növekedés okát antropogénnek szokás ítélni. A növekedés hatása ma még kiszámíthatatlannak tűnik.
- A szubdukciós övekben megolvadó karbonátos kőzetekből a vulkánok jelentős tömegű CO₂-t juttatnak a levegőbe.
- A vulkánok által kibocsátott CO₂-t a tengerek és a növényzet megkötötte. Ezek hosszabb idő távlatában klímakiegyenlítő hatású tényezők. **Lehűléskor** a párolgás és a csapadék kisebb mértékű, a karbonátos kőzetek lassabban mállanak. Így kevesebb CO₂ válik ki a légkörből. Ha a vulkánosság intenzitása változatlan, a légkör CO₂ tartalma nő, mely a melegedésnek kedvez. **Felmelegedéskor** a folyamat fordított. Így a rendszer bizonyos mértékig önszabályozó.

Normális állapotnak a jégkorszakok tűnnek, a mostani interglaciálisok „szerencsés” időszakok az élővilágnak.

2. A levegő összetétele

A levegő gázok, gőzök, folyadékok és szilárd anyagok keveréke. A jelenlegi légkör leggyakoribb komponensei a troposzféra alján:

Gázok:

- A két fő gáz komponense (99 V%): 78 V% N₂, 21 V% O₂.
- További gáz komponensek:
 - CO₂
 - nemesgázok: He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn
 - nyomokban, helyenként és időnként előforduló gáz komponensek
 - SO₂, SO₃
 - NO_x
 - CO
 - CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀
 - freonok
 - O₃ (talaj közelben és a magas légkörben)
 - aldehidek
 - H₂S

Gőzök:

- vízgőz
- nyomokban, helyenként és időnként előforduló gőzök, pl. szerves oldószerek, Hg gőz, stb.

Folyadék:

- víz

Szilárd anyagok:

- jég, hó
- (üledő és szálló) porok, pl.
 - növényi porok: spóra, pollen
 - kő anyagú porok (aktív kvasav, szilikát, karbonát)
 - éghető és robbanóképes porok (szénpor, fűrészpor, liszt, műanyag porok)
 - égéstermékek (pernye, korom)
 - radioaktív porok
 - nehézfém tartalmú porok

3. A levegő néhány fontosabb fizikai jellemzője

3.1. „Moláris tömeg”

A levegő fizikai jellemzőinek meghatározását nagymértékben egyszerűsíti, ha – bár nem kémiailag meghatározott összetételű gázkeverék – meghatározunk rá egy „látszólagos” moláris tömeget: 78 V% nitrogénnel, 21 V% oxigénnel és 1 V% szén-dioxiddal számolva moláris tömegeik térfogatszázalékaikkal súlyozott átlaga $M_l = 29,02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Avogadro-törvény).

3.2. A levegő sűrűsége

A levegő sűrűsége (ρ_0) normál légköri nyomáson ($p_0 = 101,3$ kPa) az egyetemes gáztörvénnyel számolva a hőmérséklet függvényében (eredmények az 1. táblázatban):

$$\rho_0(T) = \frac{p_0 \cdot M_l}{R \cdot T}.$$

1. táblázat A levegő sűrűsége normál nyomáson a hőmérséklet függvényében

hőmérséklet (°C)	sűrűség (kg·m ⁻³)
-20	1,397
-15	1,370
-10	1,344
-5	1,319
0	1,294
5	1,271
10	1,249
15	1,227
20	1,206
30	1,166
40	1,129

3.3. A barometrikus magasságformula

Nehézségi erőterben az önsúlyától komprimálódó izotermikus gázoszlopra (itt levegő oszlopra) vonatkozik.

A magasságot z jelöli, a gáz nyomása és sűrűsége a $z=0$ helyen (a tengerszinten) p_0 illetve ρ_0 . A gáz sűrűsége z magasságban $\rho(z)$, nyomása $p(z)$, $z+dz$ magasságban $p+dp = p - \rho \cdot g \cdot dz$. Izotermikus gázban az egyetemes gáztörvény szerint $\rho = p \cdot \rho_0 / p_0$. Ezért

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{\rho_0}{p_0} \cdot p \cdot g,$$

melyből a légnyomás (eredmények a 2. táblázatban):

$$p(z) = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{\rho_0 \cdot g}{p_0} \cdot z\right).$$

A molekulakonzentráció a magasság függvényében

μ molekula tömegű, ρ sűrűségű gázban a molekulakonzentráció (1 m³ gázban levő molekulák száma) $N = \rho / \mu$. A barometrikus magasságformula szerint

$$N(z) = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\rho_0 \cdot g}{p_0} \cdot z\right),$$

mely az egyetemes gáztörvény szerint (k a Boltzmann-állandó)

$$N(z) = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{\mu \cdot g}{k \cdot T} \cdot z\right).$$

2. táblázat. A légnyomás értéke a tengerszint feletti magasság függvényében a barometrikus magasságformula szerint 0 °C hőmérsékletű levegőoszlopra

tengerszint feletti magasság (m)	légnyomás (kPa)
0	101,3
100	100,0
200	98,8
300	97,6
400	96,3
500	95,1
1000	89,4
1500	83,9
2000	78,8
2500	74,1

3.4. A levegő dinamikai viszkozitása

A levegő dinamikai viszkozitása 0 °C-on $170 \cdot 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$, 100 °C-on $220 \cdot 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$, a függvény a nevezett intervallumon jó közelítéssel lineáris függvénye a t hőmérsékletnek:

$$\eta(t) = (1700 - 5 \cdot t) \cdot 10^{-6} \quad (\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2})$$

A kinematikai viszkozitás

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$$

A kinematikai és a dinamikai viszkozitás értékei a 3. táblázatban olvashatók.

3. táblázat. A levegő dinamikai és kinematikai viszkozitása a hőmérséklet függvényében

hőmérséklet (°C)	dinamikai viszkozitás, η ($\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$)	kinematikai viszkozitás, ν ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)
0	$1700 \cdot 10^{-6}$	$1314 \cdot 10^{-6}$
10	$1750 \cdot 10^{-6}$	$1401 \cdot 10^{-6}$
20	$1800 \cdot 10^{-6}$	$1493 \cdot 10^{-6}$
30	$1850 \cdot 10^{-6}$	$1587 \cdot 10^{-6}$
40	$1900 \cdot 10^{-6}$	$1683 \cdot 10^{-6}$

3.5. Gömb alakú szemcse ülepedése nyugvó levegőben (Stokes-törvény)

Stokes-törvény

A Stokes-törvény megadja az η dinamikai viszkozitású, végtelen kiterjedésű levegőben kis v sebességgel mozgó d átmérőjű, ρ_g testsűrűségű gömbre a mozgással ellentétes irányban ható közegellenállási erőt:

$$F = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot v$$

Ez a közegellenállási törvény lamináris áramlás, azaz kis sebességű mozgás esetén érvényes, amikor a Reynolds-számra

$$Re = v \cdot d \cdot \rho \cdot \eta^{-1} < 0,1.$$

Nehézségi erőterben eső gömbre a súlya, a felhajtó erő és a Stokes-törvény által leírt közegellenállási erő hat. Amikor felgyorsulva a sebessége állandósul, a gömb az ún. ülepedési végsebességgel esik, melynek értéke a három erő egyensúlyából:

$$v_v = \frac{g \cdot (\rho_g - \rho) \cdot d^2}{18 \cdot \eta},$$

ahol g a nehézségi gyorsulás. A gömb különféle testsűrűség értékeire számított ülepedési végsebessége 20 °C hőmérsékletű levegőben a 4. táblázatban olvasható.

4. táblázat. A nehézségi erő hatására 20 °C hőmérsékletű levegőben süllyedő különféle testsűrűségű gömbök ülepedési végsebessége. A *-gal jelölt sorokban (a mikrométernél kisebb mérettartományban) a Cunningham-féle korrekcióval számított értékek szerepelnek

a gömb átmérője (m)	1000 kg·m ⁻³ sűrűségű gömb ülepedési végsebessége (m·s ⁻¹)	1500 kg·m ⁻³ sűrűségű gömb ülepedési végsebessége (m·s ⁻¹)	2000 kg·m ⁻³ sűrűségű gömb ülepedési végsebessége (m·s ⁻¹)	2500 kg·m ⁻³ sűrűségű gömb ülepedési végsebessége (m·s ⁻¹)
10 ⁻³	0,302	0,453	0,604	0,755
10 ⁻⁴	0,003 02	0,004 53	0,006 04	0,007 55
10 ⁻⁵	0,000 030 2	0,000 045 3	0,000 060 4	0,000 075 5
10 ⁻⁶	0,000 000 302	0,000 000 453	0,000 000 604	0,000 000 755
10 ⁻⁶ *	0,000 000 351	0,000 000 527	0,000 000 703	0,000 000 878
10 ⁻⁷ *	0,000 000 008	0,000 000 012	0,000 000 016	0,000 000 020

Cunningham-féle korrekció

A mikrométeres mérettartományban a kis méretű gömbök süllyedésében a Brown-mozgás is megfigyelhető. Ennek az ülepedési végsebességet csökkentő hatását az ún. Cunningham-féle korrekció veszi figyelembe:

$$v_v = \frac{g \cdot (\rho_g - \rho) \cdot d^2}{18 \cdot \eta} \cdot \left(1 + 2 \cdot k \cdot \frac{\lambda}{d} \right),$$

ahol k a gázra jellemző állandó (levegőre 0,86), λ a levegő gázmolekuláinak közepes szabad úthossza ($9,5 \cdot 10^{-8}$ m). Ülepedő porszemcséknél a Brown-mozgás már 3 μm -es szemcseméretnél jelentkezik.

- A szemcsék mozgását a nevezett tényezőkön kívül a vivő közeg mozgása (áramlási sebesség, turbulencia), továbbá fény- és hőforrások, elektromos és mágneses mezők, valamint tehetetlenségi erők (pl. centrifugális- és Coriolis-erők, stb.) is befolyásolják.
- Azonos tömegű, de nem gömb alakú szemcsék a gömbnél lassabban ülepednek.
- Bányalevegőben a 2 μm -nél finomabb szemcsék gyakorlatilag nem ülepednek le.

3.6. A levegő nedvesség- és páratartalma

Abszolút nedvességtartalom

A levegő abszolút nedvességtartalma az egységnyi térfogatú vagy tömegű nedves levegőben levő vízgőz tömege:

$$f_V = \frac{m_g}{V_{lev}} \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$$

vagy

$$f_m = \frac{m_g}{m_{lev}} \quad (\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$$

A levegő maximális abszolút nedvességtartalma vízgőz adattáblázatokban általában megtalálható, értéke a hőmérséklettől függ (5. táblázat).

5. táblázat. A levegő maximális abszolút nedvességtartalma a hőmérséklet függvényében

hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	$f_{V,max}$ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	$f_{m,max}$ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
-10	2,1	1,56
0	4,84	3,74
10	9,4	7,53
20	17,3	14,3
30	30,4	26,1
40	51,1	45,3

Relatív páratartalom

A levegőben ténylegesen levő (m_g) és az adott hőfokon maximum lehetséges ($m_{g,max}$) vízgőz tömegének aránya. Normál hőmérsékleten az egyetemes gáztörvény jól közelíti a vízgőz állapotváltozásait, így a tömegek aránya azonos a vízgőz parciális nyomásának és az adott hőfokhoz tartozó telítési gőznyomás arányával:

$$\varphi = \frac{m_g}{m_{g,max}} = \frac{P_g}{P_{g,max}} \quad (-)$$

- A relatív páratartalom 0 és 1 közti viszonyszám ($0 \leq \varphi \leq 1$).
- Az emberi tüdőnek a $0,4 \leq \varphi \leq 0,75$ tartomány kedvező.
- Mérése:
 - Assmann-féle vagy parittyás pszichrométerrel,
 - hajszál higrométerrel,
 - Reynould-féle abszorpciós higrométerrel,
 - a nedves levegő törésmutatójának, elektromos vezetőképességének, permittivitásának meghatározásával.

Harmatpont

Az a hőfok, amire a nedves levegőt lehűtve az telítetté válik.

- A páratartalom méréshez a telítési állapot jellemzői ($m_{g,max}$, $\rho_{g,max}$) a harmatpont előállításával mérhetők meg.
- A lehűlő nedves levegőből a harmatponton csapadék válik ki.
- Füstgázokból annak harmatpontján korróziót okozó (általában savas) oldat válik ki (harmatponti korrózió).

4. Porok

Por fogalma

Levegőben maximum $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ sebességgel hulló szemcsék halmaza.

- Gázban diszpergált durva és koloid diszperz szemcsék polidiszperz rendszere.
- A szemcseméret eloszlást általában a részecskék optikai (fény diszperziós) vagy áramlási (ülepedési végsebesség) tulajdonságainak mérésével határozzák meg.
- A levegő portartalmának jellemzésére *koniometriás* (szemcseszámlálásos) vagy *gravimetriás* (por tömeg méréses) módszerek voltak és vannak használatban.
- A szemcsék mérettartománya a molekuláris mérettől maximum $200 \mu\text{m}$ -ig terjed. Szemcseméret tartományok:

makroszkópos	$d > 100 \mu\text{m}$	durva diszperz rész
mikroszkópos	$100 \mu\text{m} > d > 0,5 \mu\text{m}$	
kolloid	$500 \text{ nm} > d > 1 \text{ nm}$	
amikroszkópos	$1 \text{ nm} > d$	

- Másik osztályozás:
 - durvapor: $d > 50 \mu\text{m}$
 - finompor: $50 \mu\text{m} > d > 0,5 \mu\text{m}$
 - nagyon finom por (pl. a füst is ilyen): $0,5 \mu\text{m} > d$.
- Az $1 \mu\text{m}$ -nél finomabb szemeket tartalmazó diszperz rendszerek a szolok (aeroszolok, lioszolok).
- A tüdőhólyagocskákba a $\varnothing 7,1 \mu\text{m}$ ekvivalens gömbátmérőnél kisebb porszemcsék be tudnak hatolni. Pneumokoniózist (portüdő megbetegedést), az aktív kavasavat tartalmazó porok szilikózist okozhatnak. Régebben csak az $\varnothing 7,1 \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcséket tartották veszélyesnek.

Lebegő és leülepedett por

A lebegő (szálló) por porfelhőt képez. A leülepedett por térfogatából kisebb részt tesz ki a diszperziós közeg.

A levegő szálló por tartalmának értékei néhány magyarországi mérési ponton az 1. mellékletben olvashatók.

5. A hőenergia tüzeléssel való előállításakor várható emisszió különféle tüzelőanyagokra

Folyékony és szilárd tüzelőanyagok elégetésekor a füstgáz emisszió a tüzelőanyag összetétele alapján sztöchiometriai módszerrel jól becsülhető. Néhány fontosabb, a számításoknál vizsgálandó reakció:

- $C + O_2 \rightarrow CO_2$ $(-393,51 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
 - égéshő és fűtőérték: $32,762 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - elméleti oxigénigény: $2,664 \text{ kg O}_2/\text{kg C}$
 - szén-dioxid emisszió: $3,6641 \text{ kg CO}_2/\text{kg C}$
 - egységnyi fűtőértékre jutó elméleti oxigénigény: $0,0813 \text{ kg O}_2/\text{MJ}$
 - egységnyi fűtőértékre jutó szén-dioxid emisszió: $0,1118 \text{ kg CO}_2/\text{MJ}$
- $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O (f)}$ $(-571,66 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
 $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O (g)}$ $(-483,64 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
 - égéshő: $141,78 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - fűtőérték: $119,78 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - elméleti oxigénigény: $7,936 \text{ kg O}_2/\text{kg H}_2$
 - vízgőz emisszió: $8,936 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg H}_2$
 - egységnyi fűtőértékre jutó elméleti oxigénigény: $0,0662 \text{ kg O}_2/\text{MJ}$
 - egységnyi fűtőértékre jutó vízgőz emisszió: $0,4479 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{MJ}$
- $S + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$ $(-296,83 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
 - égéshő és fűtőérték: $9,2574 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - elméleti oxigénigény: $0,9980 \text{ kg O}_2/\text{kg S}$
 - kén-dioxid emisszió: $1,9980 \text{ kg SO}_2/\text{kg S}$
 - egységnyi fűtőértékre jutó elméleti oxigénigény: $0,1078 \text{ kg O}_2/\text{MJ}$
 - egységnyi fűtőértékre jutó vízgőz emisszió: $0,2158 \text{ kg SO}_2/\text{MJ}$
- $\text{CH}_4 + 2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O (f)}$ $(-890,27 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
 $\text{CH}_4 + 2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O (g)}$ $(-802,25 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
 - égéshő: $55,493 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - fűtőérték: $50,006 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
 - elméleti oxigénigény: $1,995 \text{ kg O}_2/\text{kg CH}_4$
 - szén-dioxid emisszió: $2,743 \text{ kg CO}_2/\text{kg CH}_4$
 - vízgőz emisszió: $2,246 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg CH}_4$
 - egységnyi fűtőértékre jutó elméleti oxigénigény: $0,0399 \text{ kg O}_2/\text{MJ}$

- egységnyi fűtőértékre jutó szén-dioxid emisszió: 0,0549 kg CO₂/MJ
- egységnyi fűtőértékre jutó vízgőz emisszió: 0,0449 kg H₂O/MJ

Néhány következtetés a Magyarországon gyakrabban alkalmazott tüzelőanyagok füstgáz emissziójával kapcsolatban [1]:

- A hőenergia termelésre jelenleg leggyakrabban használt kémiai anyagok és hazai tüzelőanyagok közül elméletben a földgáz égésekor a legalacsonyabb a szén-dioxid kibocsátás (0,055-0,060 kg·MJ⁻¹). Nincs hamutartalma, elhanyagolható a kén-dioxid emisszió is. Ezzel szemben vízgőz kibocsátás (0,033-0,045 kg·MJ⁻¹) lényegesen meghaladja a biomasszákét (0,029-0,032 kg·MJ⁻¹) és többszörösen meghaladja a szenekét (0,013-0,028 kg·MJ⁻¹).
 - Nitrozus gázok (NO_x) képződésének mértékét a tüzeléstechnikai paraméterek is befolyásolják, mely külön vizsgálatot igényel. A jelenlegi széntüzelésű kazánok viszonylag alacsony (1000 °C-nál kisebb) égéstér hőmérséklete miatt az NO_x képződése kismértékű.
 - A földgáz energetikai alkalmazására kapott alacsony fajlagos szén-dioxid kibocsátás számottevően magasabb lehet a kapott értékeknél, ha a gáz nem éghető komponens, például N₂ gázt vagy elsősorban CO₂-t is tartalmaz.
 - Tovább növeli a fajlagos emisszió mértékét a nagy távolságra való szállítás energiaigénye és a volumetrikus veszteség is. A légkörbe elszökő metán már önmagában is üvegház hatást okoz, és a légkörben idővel egyébként is szén-dioxiddá és vízgőzzé ég el.
- A legmagasabb szén-dioxid emisszió értékek a szenekre adódnak (0,091-0,118 kg·MJ⁻¹), mely mintegy másfél-kétszer akkora, mint a kitermelés helyén felhasznált, és csak szénhidrogén vegyületeket tartalmazó földgázé.
 - A földgázzal szemben a hazai barnaszenekeket és lignitet szinte kivétel nélkül mind a kitermelés helyének közvetlen közelében tüzeltek és tüzelik el ma is. A vízgőz kibocsátás mértéke igen alacsony, 0,013-0,028 kg·MJ⁻¹.
 - A kén-dioxid kibocsátás esetenként számottevő, de ennek mérséklésére a lignittel illetve barnakőszénrel fűtött visontai és bokodi hőerőművekben füstgáz kéntelenítő reaktorok működnek.
- Az egységnyi fűtőértékre kapott hamu tömege kétségkívül a szenekre a legnagyobb. Magyarországon jelenleg az erőműi széntüzelés szilárd maradványanyagainak, azaz a hamunak és a füstgáz kéntelenítési gipsznek csak kis részét hasznosítják.
 - Ezek az anyagok jelentős része azonban számos célra használható, az alkalmazás módszereit jórészt kidolgozták. Megfelelő gazdasági viszonyok között célszerűbb lehet a szóban forgó melléktermékek hasznosítása a deponálás helyett.
- A földgázok és a szenek fajlagos szén-dioxid emissziója közé esnek a felsorolt folyékony tüzelőanyagokra, azaz a benzinre, gázolajra, metanolra, etanolra, kerozinra valamint a zsírra kapott értékek (0,069-0,079 kg·MJ⁻¹).
 - A szénhidrátok CO₂ kibocsátása megegyezik a szenekre kapott legmagasabb értékekkel. Mindezen anyagok fajlagos vízgőz kibocsátása magas, közel anyai, esetleg magasabb is, mint a földgázé (0,026-0,056 kg·MJ⁻¹).
- A gyakoribb növényi biomassza anyagok eltüzelésekor a szenekével gyakorlatilag azonos szén-dioxid kibocsátással kell számolni. Ráadásul a vízgőz emisszió becsült értéke még a száraz anyagokra is jóval magasabb értékűnek adódott, mert az éghető illó tartalmuk hidrogén- és oxigéntartalma jóval magasabb, mint a szeneké.
 - Nyilvánvalóan még magasabb fajlagos vízgőz kibocsátás értékeket adódnak nedves anyagokra. A faanyag, a szalma, a kukoricaszár, és más hasonló tüzelőanyagok begyűjtése és erőműbe szállítása a technológia egészét tekintve

rontja ezeket az értékeket.

- Egy ilyen erőmű ellátására való terület nyilvánvalóan lényegesen nagyobb, mint egy szénbánya területe.
- A kivágott, és így legalább évtizednyi ideig hiányzó erdők nem tudnak a nevezett idő alatt szén-dioxidot megkötni és fotoszintézissel oxigénné alakítani, éppen a hiányuk miatt.

A vizsgálat célja azt ellenőrizni, helyes-e a közkeletű megállapítás, miszerint számottevően kedvezőbb környezeti hatások remélhetők a biomassa vagy az abból előállítható egyes folyékony tüzelőanyagok energetikai alkalmazása esetén ahelyett, hogy a hazai szénkészleteinket hasznosítanánk megfelelő módon. A kapott eredmények alapján [1] úgy tűnik, hogy ez az állítás nem felel meg a valóságnak. Bizonyos esetekben nemhogy számottevően, de egyáltalán nem kedvezőbb ilyen szempontból a biomassa alkalmazása.

6. A levegő tisztaságának védelméről szóló néhány jogszabály és szabvány

- 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet a levegő védelmével kapcsolatos egyes jogszabályokról [3]
- 2005. évi XV. törvény az üvegházhatású gázok kibocsátási egységeinek kereskedelméről [4]
- 213/2006. (X. 27.) Korm. rendelet az üvegházhatású gázok kibocsátási egységeinek kereskedelméről szóló 2005. évi XV. törvény végrehajtásának egyes szabályairól [5]
- ISO 14064 Greenhouse gases (Üvegházhatású gázok)
 - 1. rész (ISO 14064-1): Előírások és útmutatás üvegházhatású gázok kibocsátásainak és kivonásának szervezeti szintű számszerűsítésére és jelentés készítésére
 - 2. rész (ISO 14064-2): Előírások és útmutatás üvegházhatású gázok kibocsátásainak csökkentésére vagy kivonásuk fokozására irányuló projektszintű számszerűsítésére, figyelemmel kísérésére és jelentés készítésre (magyarországi honosítása: MSZ ISO 14064-2:2008, 2008. április 1.)
 - 3. rész (ISO 14064-3): Előírások és útmutatás üvegházhatású gázokra, állítások validálására és verifikálására (magyarországi honosítása: MSZ ISO 14064-2:2008, 2008. április 1.)

6.1. A légköri levegő minőségének átfogó jogi szabályozása

A 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról rendelkezik. **Célja és hatálya:**

- 1. §** A rendelet célja a környezeti levegő minőségének tartós és hatékony megóvása és javítása, az emberi egészség védelme és a környezet állapotának megőrzése érdekében.
- 2. §** (1) A rendelet hatálya azokra a természetes és jogi személyekre, továbbá jogi személyiséggel nem rendelkező szervezetekre terjed ki, akik (amelyek) tevékenysége, létesítménye, terméke levegőterhelést okoz vagy okozhat (a továbbiakban: légszennyező).
(2) A rendelet hatálya nem terjed ki
 - a) a természetes és mesterséges eredetű ionizáló és nem ionizáló sugárzásból keletkező légszennyezésre,
 - b) a levegő munka-egészségügyi védelmére,
 - c) a zárt terek levegőminőségének szabályozására.

Alapfogalmak (3. §) A rendelet alkalmazásában

környezeti levegő (a továbbiakban: levegő): a légkör egésze, a munkahelyek és a zárt terek levegőjének kivételével.

anyag: bármely kémiai elem és annak vegyületei, a radioaktív anyagok és a genetikailag módosított szervezetek kivételével.

légszennyező anyag: a levegő természetes minőségét hátrányosan befolyásoló olyan anyag, amely természetes forrásból vagy az emberi tevékenység közvetlen vagy közvetett eredményeként kerül a levegőbe, és amely káros vagy káros lehet az emberi egészségre, a környezetre, illetve károsítja vagy károsíthatja az anyagi javakat.

levegőterhelés (emisszió): valamely anyag vagy energia levegőbe juttatása.

levegőszennyezés (légszennyezés): légszennyező anyagnak a légszennyező anyag kibocsátási határértéket meghaladó mértékű levegőbe bocsátása.

légszennyezettség (immisszió): a levegőben a levegőterhelés hatására kialakult légszennyező anyag koncentrációja, beleértve a légszennyező anyag adott időtartam alatt felületekre történt kiülepedését.

alap légszennyezettség: a vizsgált légszennyező forrás környezetében kialakult, más légszennyező források által okozott, jogszabályban meghatározott időtartamra vonatkoztatott átlagos légszennyezettség, amelyhez a vizsgált légszennyező forrás kibocsátásának hatása hozzáadódik.

levegővédelmi követelmény: minden olyan, a levegő terhelését, az azt okozó tevékenységet és létesítményt, valamint a légszennyezőt, továbbá a légszennyezettséget érintő intézkedés, előírás, tilalom, amely hatósági határozaton alapul, vagy amelyet jogszabály ír elő.

elérhető legjobb technika: a korszerű technikai színvonalnak megfelelő módszer, üzemeltetési eljárás, berendezés, amelyet a kibocsátások megelőzése és - amennyiben az nem valósítható meg - a kibocsátások csökkentése, valamint a környezet egészére gyakorolt hatás mérséklése érdekében alkalmaznak, és amely a kibocsátási határértékek megállapításának alapjául szolgál. Az elérhető legjobb technika meghatározásának szempontjait a rendelet 1. *melléklete* tartalmazza.

- A technika fogalmába beleértendő az alkalmazott technológia és módszer, amelynek alapján a berendezést (technológiát, létesítményt) tervezik, építik, karbantartják, üzemeltetik és működését megszüntetik.
- Az elérhető technika az, amelynek fejlesztési szintje lehetővé teszi az érintett ipari ágazatokban történő alkalmazását, elfogadható műszaki és gazdasági feltételek mellett, figyelembe véve a költségeket és előnyöket, attól függetlenül, hogy a technikát az országban használják, vagy állítják elő, amennyiben az az üzemeltető számára ésszerű módon hozzáférhető.
- A legjobb technika azt jelenti, hogy a leghatékonyabb a környezet egészének magas szintű védelme érdekében.

bűz: kellemetlen szagú légszennyező anyag vagy anyagok keveréke, amely összetevőivel egyértelműen nem jellemezhető.

új létesítmény, új tevékenység: az az építmény, berendezés vagy más légszennyező forrás, illetve technológia, amelynek létesítését a rendelet hatálybalépését követően engedélyezik.

érintett nyilvánosság: a nyilvánosság azon része.

- a) amelyre a 7. § (7) bekezdés szerinti intézkedési programról való döntés - különösen annak környezeti hatásai miatt - kihat vagy kihathat, valamint
- b) amely a döntésben érdekelt, különösen az olyan környezetvédelmi vagy más civil szervezet, amelynek tevékenységi körét az intézkedési programról való döntés érinti.

célérték: az emberi egészség és a környezet egészére gyakorolt káros hatások elkerülése, megelőzése vagy csökkentése céljából a környezeti levegőben meghatározott légszennyező anyag koncentráció, amelyet - ahol lehetséges - adott időtartam alatt kell elérni.

hosszú távú célérték: a környezeti levegőben csak hosszú időtávon biztosítható légszennyező anyag koncentráció, amely szintje alatt - a tudomány jelenlegi állása szerint - az emberi egészséget és a környezet egészét károsító közvetlen hatások fellépése valószínűtlen.

A levegő védelmének általános szabályai

4. § A levegővédelmi követelményeket az országos és regionális környezetvédelmi, illetve társadalmi, gazdasági programok, tervek, a területfejlesztési, terület- és településrendezési tervek kidolgozása során, valamint az önkormányzatok környezetvédelmi programjaiban, a gazdálkodó szervezetek terveiben és a műszaki tervezésben - a külön jogszabályokban foglaltak szerint - érvényesíteni kell.

5. § (1) Tilos a környezeti levegő olyan mértékű terhelése, amely légszennyezést vagy határértéken felüli légszennyezettséget okoz, valamint a környezeti levegő bűzzel való terhelése.

(2) A levegőterhelést okozó forrásokra, tevékenységekre, technológiákra, létesítményekre (a továbbiakban: légszennyező forrás) az elérhető legjobb technika alapján, jogszabályban, illetőleg a környezetvédelmi hatóság határozatában kibocsátási határértéket, levegővédelmi követelményeket kell megállapítani.

(3) Azon tevékenységeknél, ahol kibocsátási határértéket a légszennyező forrás sajátosságai miatt megállapítani nem lehet, levegővédelmi követelmények, műszaki intézkedések előírásával, az elérhető legjobb technika alkalmazásával kell a levegőterhelést megelőzni, vagy a legkisebb mértékűre csökkenteni.

(4) A (2) és (3) bekezdés szerint megállapított kibocsátási határértéket, illetőleg levegővédelmi követelményt az engedélyezési eljárás során úgy kell meghatározni, hogy a levegőterhelés nem okozza a légszennyezettségi határérték túllépését.

(5) A légszennyező pontforrás közvetlen hatásterülete a vizsgált légszennyező pontforrás körül lehatárolható azon legnagyobb terület, ahol a pontforrás által kibocsátott légszennyező anyag terjedése következtében várható a vonatkoztatási időtartamra számított, szabványokban rögzített módon meghatározott, a légszennyező pontforrás környezetében fellépő leggyakoribb meteorológiai viszonyok mellett, a füstfáklya tengelye alatti talajközeli légszennyezettség-változás

- a) az egyórás (szálló por esetében 24 órás) maximális érték 80%-ánál nagyobb; vagy
- b) az egyórás (szálló por esetében 24 órás) légszennyezettségi határérték 10%-ánál nagyobb; vagy
- c) a terhelhetőség 20%-ánál nagyobb (terhelhetőség: a légszennyezettségi határérték és az alap légszennyezettség különbsége).

(6) Tilos a környezeti hatásvizsgálat-köteles, illetőleg az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás hatálya alá tartozó tevékenység végzése céljából új légszennyező pontforrást telepíteni, ha a légszennyező pontforrás közvetlen hatásterületén az alap légszennyezettség értéke már meghaladja, illetve az új légszennyező pontforrás üzembe helyezése következtében várhatóan meghaladja az éves légszennyezettségi határértéket, kivéve, ha

a) a légszennyező saját költségén, az új légszennyező pontforrás közvetlen hatásterületén, az adott légszennyező anyag tekintetében, a levegő szennyezettsége szempontjából egyenértékű kibocsátás csökkentését egyidejűleg biztosítja, vagy

b) a beruházás megvalósulása következtében az adott légszennyező anyag határérték alatti kibocsátása (levegőterhelés) kisebb lesz, mint a beruházás előtti állapotban volt, vagy

c) a légszennyező más jogszabályban előírt módon bizonyítja, hogy a légszennyező pontforrás közvetlen hatásterületén a helyi mérésekkel megállapított alap légszennyezettség az új légszennyező pontforrás kibocsátásával együtt sem haladja meg az éves légszennyezettségi határértéket.

6. § (1) A rendelet 2. mellékletében felsorolt tevékenységek, illetve létesítmények esetében a légszennyezőnek védelmi övezet kell kialakítania - a 27. § (2) bekezdése szerint korszerűsített (rekonstruált) légszennyező források kivételével - az új légszennyező források körül, illetve a nyomvonalas közlekedési létesítmények mentén.

(2) A környezetvédelmi hatóság a 2. számú mellékletben felsorolt, külön jogszabály alapján környezeti hatásvizsgálat-köteles, illetőleg egységes környezethasználati engedélyezési eljárás hatálya alá tartozó tevékenységek, létesítmények esetében a védelmi övezet nagyságát a környezetvédelmi engedélyben, illetőleg az egységes környezethasználati engedélyben határozza meg.

(3) A környezetvédelmi hatóság a rendelet 2. mellékletében felsorolt, külön jogszabály alapján környezeti hatásvizsgálati, illetőleg egységes környezethasználati engedélyezési eljárás hatálya alá nem tartozó tevékenységek, létesítmények esetében a védelmi övezet nagyságát más hatósági eljárásban - ha az eljárásban szakhatóságként van kijelölve - az érdemi döntésre jogosult hatóság megkeresésére adott szakhatósági állásfoglalásában határozza meg.

(4) A környezetvédelmi hatóság a rendelet 2. mellékletében nem szereplő tevékenységek esetében más hatósági eljárásban - ha az eljárásban szakhatóságként van kijelölve - a védelmi övezet szükségességét - az (5) bekezdésre tekintettel - vizsgálhatja és a védelmi övezet nagyságát az érdemi döntésre jogosult hatóság megkeresésére adott szakhatósági állásfoglalásában legfeljebb 1000 méterben határozhatja meg.

(5) A védelmi övezet nagyságát a légszennyező anyag kibocsátások, a terjedési viszonyok (különösen az uralkodó szélirány, időjárási viszonyok), a domborzat, a védőelemek és a védendő területek, építmények figyelembevételével kell meghatározni.

(6) A környezeti hatásvizsgálati, továbbá az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásban a környezetvédelmi hatóság a rendelet 2. mellékletének A)-D) pontjaira előírt védelmi övezet legalacsonyabb mértékénél kisebb védelmi övezetet is meghatározhat, amennyiben valamennyi levegővédelmi követelmény teljesül. A meghatározott védelmi övezet sugara azonban nem lehet kisebb az A) pontban felsorolt tevékenységek esetében 300 m-nél, a B) pontban felsorolt tevékenységek esetében 200 m-nél, illetve a C)-D) pontokban felsorolt tevékenységek esetében a légszennyező forrás közvetlen hatásterületénél.

(7) Meglévő telephelyen tervezett új forrás esetében a környezetvédelmi hatóság a (6) bekezdésben foglaltaknál kisebb távolságot is meghatározhat.

(8) A kijelölt védelmi övezetben nem lehet lakóépület, üdülőépület, oktatási, egészségügyi, szociális és igazgatási célú épület, kivéve a telepítésre kerülő, illetve a már működő légszennyező források működésével összefüggő építményt.

(9) Új autópálya, autóút, egy- és kétszámjegyű országos közút esetén a környezetvédelmi hatóság a védelmi övezet kijelölését követően a Kormány által rendeletben meghatározott szakhatósági jogkörében nem adhat szakhatósági hozzájárulást a közút kezelője részére a (8) bekezdésben felsorolt építmények védelmi övezetben történő elhelyezésével kapcsolatos eljárásban.

(10) A védelmi övezet kialakításával kapcsolatos költségek a légszennyezőt terhelik.

(11) Amennyiben a védelmi övezet a légszennyező tulajdonában van, akkor annak a védelmi övezetként való fenntartásával kapcsolatos költségek a légszennyezőt terhelik.

(12) Amennyiben a védelmi övezet nem a légszennyező tulajdonában van, és azt más hasznosítja, akkor a védelmi övezetként való fenntartási költségek a hasznosított terület tekintetében a hasznosítót, hasznosítás hiányában a légszennyezőt terhelik.

6.2. Üvegházhatású gázok

A 2005. évi XV. törvény üvegházhatásúként definiálja a következő gázokat:

A törvény célja (1. §): A törvény célja, hogy az Európai Közösség kibocsátási egységkereskedelmi rendszerében, valamint más, nemzetközi együttműködéssel megvalósuló projekttevékenységekben való részvétel feltételeinek megteremtésével a Magyar Köztársaság csökkentse az emberi tevékenység hatására bekövetkező éghajlatváltozás kockázatát.

A törvény hatálya (2. §):

(1) A törvény hatálya kiterjed

- a) a (2) bekezdésben megjelölt kivételekkel – a törvény 1. mellékletében meghatározott üvegházhatású gázkibocsátással járó tevékenységekre,
- b) a Kiotói Jegyzőkönyv alapján nemzetközi együttműködéssel megvalósuló projekttevékenységekre, valamint
- c) a kibocsátási egységek kereskedelmére (forgalmára) terjed ki.

(2) Nem terjed ki a törvény hatálya a kizárólag kutatásra, fejlesztésre, valamint új termékek és eljárások kipróbálására irányuló tevékenységekre.

Alapfogalmak (3. §):

üvegházhatású gáz: a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄), a dinitrogén-oxid (N₂O), a fluorozott szénhidrogének (HFC-k), a perfluorkarbonok (PFC-k) és a kén-hexafluorid (SF₆). A törvény *nem sorolja* az üvegházhatást okozó gázok közé a vízgőzt.

szén-dioxid-egyenérték: egy tonna szén-dioxid vagy azzal megegyező éghajlat-módosító potenciált megtestesítő mennyiségű üvegházhatású gáz.

kibocsátási egység: az e törvény szerinti kötelezettségek teljesítésére felhasználható, egy tonna szén-dioxid-egyenérték meghatározott időn belül történő kibocsátását lehetővé tevő forgalomképes vagyoni értékű jog.

létesítmény: minden olyan helyhez kötött műszaki egység, ahol egy vagy több, a törvény 1. mellékletében felsorolt tevékenység vagy bármely más, azzal technológiailag összefüggő tevékenység, valamint az adott telephelyen folytatott tevékenységhez műszakilag

kapcsolódó tevékenység folyik, és amely az 1. számú mellékletben meghatározott üvegházhatású gáz kibocsátását eredményezi, vagy arra közvetlenül hatással van.

üzemeltető (környezethasználó): a környezethasználat feltételeit megállapító engedély jogosultja.

Kiotói Jegyzőkönyv: az 1995. évi LXXXII. törvény által kihirdetett ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményhez kapcsolódó, 1997-ben, Kiotóban elfogadott jegyzőkönyv.

új belépő: azon üzemeltető, amely a Nemzeti Kiosztási Tervnek az Európai Bizottság részére jóváhagyás céljából történt benyújtását követően

- kapott kibocsátási engedélyt, vagy
- a létesítmény jellegének, működésének megváltozása, továbbá - a Nemzeti Kiosztási Tervben megállapított mértékű - bővítése következtében kapott új kibocsátási engedélyt.

7. Egyes szennyező komponensek levegőből való leválasztásának elve

Kén-dioxid leválasztása erőművek és fűtőművek füstgáz áramából

A füstgázt (általában függőleges helyzetű, ellenáramú) kéntelenítő reaktoron vezetik át. A kéntelenítő reagens általában mészkő őrleményt vagy oltott meszet tartalmazó víz permet, ritkán égetett mész. Az oltott meszes reakció általában a legjobb leválasztási hatásfokú. A bruttó reakcióegyenletek az egyes esetekben a következők:

- mészkő őrleményre: $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow$
- égetett mészre: $\text{CaO} + 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \downarrow$
- oltott mészre: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \downarrow$

Az alacsony önköltség biztosítása céljából csak megfelelően nagy kapacitású erőművekben vagy fűtőművekben esetében alkalmazzák.

Szén-dioxid elhelyezés geológiai tárolókban

Ha az égést nem levegő, hanem oxigén befúvásával táplálják, akkor a füstgáz tömegének nagy része CO_2 . Ez a gáz – természetesen jelentős költséggel és nem kockázatmentesen – földalatti tárolóba, esetleg megfelelően mély tengerfenékre sajtolható.

Por gázáramból való leválasztásának néhány módszere

Textil szűrők: A szűrőn kialakuló porleplenyt megfelelő időnként eltávolítják, mert a légellenállást akár tízszeres mértékűre is megnövelheti.

Elektrosztatikus porleválasztók (elektrofilterek): Erős inhomogén elektrosztatikus mezőben átvezetett füstgáz porszemcséi az egyik elektromos pólushoz vonzódnak és feltöltődnek. Majd feltöltődés után a másik elektródához vonzódnak, azon semlegesítődnek és leválaszthatók. Nagy tömegű por leválasztására nagy kapacitású tüzelőberendezéseknél (pl. erőművekben, cementgyárakban, stb.).

Porciklonok: Felül hengeres, alul kúpos örvénykamra hengeres részébe érintőirányban bevezetett gáz porszemcséi a centrifugális erőterben örvénylő gázból a kúpos rész alján kiválnak. Általában több, sorba kapcsolt fokozatban alkalmazzák.

Gázmosók: A tisztítandó, általában kis térfogatú füstgázt folyadékzárón vezetnek át. A por fizikailag, esetleg egyes gáz komponensek kémiai módon megkötődnek a folyadékban, melyből (vagy mellyel együtt) azok eltávolíthatók.

Levegőben szálló por megkötése és leválasztása

Víz porlasztásával a porforrás környezetében. A nedvesség pormegkötő hatása kapilláráktív anyagok adagolásával fokozható. Ezzel a módszerrel a mikrométeres nagyságrendbe eső szemcseméretű porszemek többsége általában nem kötődik meg.

Por emisszió megakadályozásának néhány módszere

A kiporzás mértékének mérséklése a porzó felület

- burkolásával,
- növényzet telepítésével,
- durva szemű közúzalék szórásával,
- nedvesítésével (kiszáradás után már általában hatástalan),
- tömörítésével,
- stabilizálásával: kötőanyag (pl. vízüveg, polimerek, stb.) adagolásával a felső talajrétegbe, mészes agyagos talajba keverésével, stb.).

Mesterségesen kialakított felületek kiporzása az előbbi felületi pormegkötési módszerek alkalmazása mellett a felületek tájolásával, azaz az uralkodó szélirányhoz igazításával mérsékelhető alapvetően.

Irodalom

- [1] Molnár József: Magyarországi szén és más fosszilis tüzelőanyagok energetikai alkalmazásakor várható emisszió. Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat, 75. kötet, p121-130. Miskolc, Egyetemi Kiadó, 2008.
- [2] Központi Statisztikai Hivatal, STADAT táblák helye: http://portal.ksh.hu/portal/page?_pageid=37,115776&_dad=portal&_schema=PORTAL
- [3] 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet a levegő védelmével kapcsolatos egyes jogszabályokról: http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0100021.KOR
- [4] 2005. évi XV. törvény az üvegházhatású gázok kibocsátási egységeinek kereskedelméről: http://www.kvvm.hu/cimg/documents/2005_15_UHGt.pdf
- [5] 213/2006. (X. 27.) Korm. rendelet az üvegházhatású gázok kibocsátási egységeinek kereskedelméről szóló 2005. évi XV. törvény végrehajtásának egyes szabályairól: http://klima.kvvm.hu/documents/41/213_2006_kr.pdf

1. melléklet. A levegő ülepedő porral való szennyezettsége a fővárosban, a megyeszékhelyeken és néhány ipari településen a manuális mérőhálózat adatai alapján (2003–). Forrás: Központi Statisztikai Hivatal, STADAT táblák [2] (letöltve: 2010. február 10.). Az imisszió adatokat ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 30 napos átlagértékekből számították. Az éves határérték $120 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2} \text{ év}^{-1}$.

	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.
Budapest	7,4	6,7	6,6	6,9	6,4
Pécs	7,9	7,1	5,8	5,5	7,3
Komló	9,5	8,0	7,7	7,5	6,8
Kecskemét	11,0	8,9	8,4	7,6	4,1
Békéscsaba	3,8	3,7	6,4	1,7	3,7
Miskolc	5,0	3,7	4,9	5,2	4,6
Kazincbarcika	5,0	4,1	5,1	3,9	4,1
Tiszaújváros	5,9	3,4	4,0	4,0	5,1
Ózd	5,0	4,6	6,9	6,2	5,7
Szeged	7,2	4,9	5,1	7,6	4,8
Székesfehérvár	5,4	3,0	6,8	4,9	6,0
Dunaújváros	7,6	5,9	13,2	12,1	10,6
Győr	13,4	8,5	9,5	12,3	7,9
Debrecen	5,6	6,1	6,5	6,5	6,1
Eger	4,7	3,6	4,5	4,2	4,7
Szolnok	7,5	5,0	7,4	5,9	5,5
Tatabánya	10,9	9,1	8,2	12,0	9,3
Dorog	19,7	8,9	7,8	9,7	9,6
Salgótarján	6,6	6,5	5,6	5,9	5,6
Vác	5,0	6,0	7,4	8,8	6,7
Kaposvár	9,0	5,3	4,4	4,7	8,4
Nyíregyháza	5,7	6,3	7,3	6,9	6,7
Szekszárd	6,0	5,9	8,8	6,8	6,5
Szombathely	5,3	4,4	5,8	6,2	10,2
Veszprém	4,9	3,1	4,4	3,6	4,5
Ajka	6,1	4,5	4,3	3,2	3,7
Várpalota	3,9	3,4	5,1	4,0	3,9
Zalaegerszeg	6,3	6,0	6,2	7,3	14,8

2. melléklet. A levegő 10 µm alatti szálló porral való szennyezettsége az automata mérőhálózat adatai alapján (2003–). Forrás: Központi Statisztikai Hivatal, STADAT táblák [2] (letöltve: 2010. február 10.). Jelmagyarázat: (a) 1 óras átlagértékekből számolva, (b) a 24 órás határértéket meghaladó adatok az összes 24 órás adat százalékában, (c) határértékek: 24 órára 60 µg·m⁻³, 1 évre 43 µg·m⁻³ a tűrés figyelembevételével, (d) határértékek: 24 órára 55 µg·m⁻³, 1 évre 42 µg·m⁻³ a tűrés figyelembevételével, (e) határértékek: 24 órára 50 µg·m⁻³, 1 évre 40 µg·m⁻³, (f) 2007. VI. 14-én áthelyezték a budapesti Teleki térre, (g) az érvényes adatok száma nem felel meg a hatályos jogszabály minősítési követelményeinek, (h) 2007. VII. 25-én helyezték ide a budapesti Baross térről

	átlagos immiszió, 2003., (a,c), µg/m ³	határérték túllépés, 2003, (b,c), %	átlagos immiszió, 2004., (a,d), µg/m ³	határérték túllépés, 2004, (b,d), %	átlagos immiszió, 2005., (a,e), µg/m ³	határérték túllépés, 2005, (b,e), %	átlagos immiszió, 2006., (a,e), µg/m ³	határérték túllépés, 2006, (b,e), %	átlagos immiszió, 2007., (a,e), µg/m ³	határérték túllépés, 2007, (b,e), %	átlagos immiszió, 2008., (a,e), µg/m ³	határérték túllépés, 2008, (b,e), %
Ajka	35,9	9,76	29,5	5,82	29,0	11,24	25,7	5,80	23,8	2,81	23	5,46
Budapest, Baross tér (f)	(g)	(g)	54,5	42,35	47,4	37,07	41,4	26,45	39,9	28,05	..	..
Budapest, Teleki tér (h)	..	..	..	..	..	..	..	..	15,4	0,91	35	15,9
Budapest, Gilice tér	54,9	30,74	31,9	9,62	44,8	29,53	37,7	20,66	30,1	12,22	32	11,98
Debrecen, Kalotaszeg tér	36,8	6,88	31,7	7,89	35,2	16,97	32,3	12,68	28,2	6,52	29	9,47
Dorog	(g)	(g)	40,1	14,84	37,8	23,14	42,3	27,49	31,2	14,92	31	13,33
Dunaújváros	(g)	(g)	23,7	5,09	24,8	8,03	34,7	17,94	25,0	7,12	23	5,22
Eger	36,7	8,95	39,6	19,59	39,8	22,71	42,7	31,48	27,8	6,42	28	10,39
Esztergom	-	-	27,5	8,98	33,7	18,21	28,1	15,14	28,7	11,02	27	10,25
Győr, Szent István út	27,5	3,05	25,3	1,42	29,3	9,17	29,3	9,55	26,8	6,09	20	1,10
Győr, Ifjúság körút	(g)	(g)	32,7	11,60	41,5	25,55	37,7	21,51	29,5	12,10	20	2,45
Kazinccarcika	(g)	(g)	22,9	1,65	19,9	1,42	16,6	1,10	13,8	0,00	35	21,05
Komló	51,8	38,90	18,0	0,03	15,4	-	36,9	21,45	-	-	40	23,95
Miskolc, Búza tér	48,3	22,41	53,2	36,71	56,9	50,14	62,2	62,40	41,1	25,07	41	25,07
Nyíregyháza	39,3	14,76	29,0	7,51	34,1	16,12	35,1	16,18	24,7	3,61	29	12,20
Pécs, Boszorkány u.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pécs, Légszeszgyár u.	20,9	14,52	16,4	0,35	15,5	-	33,9	13,21	31,4	11,20	31	14,12
Pécs, Szabadság	62,8	44,93	44,0	0,09	(g)	(g)	39,1	22,97	29,2	8,73	25	8,41
Sajószentpéter	29,5	9,21	22,3	2,29	20,5	3,52	35,9	22,88	29,3	11,58	31	16,43
Salgótarján	(g)	(g)	50,8	36,36	25,4	2,97	41,6	31,67	42,5	29,88	36	23,40
Sopron	-	-	31,0	11,73	34,6	19,34	36,3	20,73	29,7	11,85	28	9,14
Százhalombatta,	49,2	21,87	28,7	7,82	30,3	11,27	29,2	11,27	21,9	4,13	19	3,10

Búzavirág tér												
Szeged	51,0	27,61	41,9	22,54	46,1	35,01	44,8	32,60	42,7	27,98	41	26,05
Szolnok	31,1	7,26	22,7	1,12	22,0	5,81	22,7	3,73	20,6	1,74	16	0,93
Tatabánya, Ságvári út	41,9	16,94	29,9	9,12	23,0	1,56	34,5	14,25	26,7	6,87	26	7,14
Tatabánya, Erdész u.	30,7	11,73	17,6	–	29,7	14,44	30,7	14,72	24,2	4,95	27	7,12
Vác	(g)	(g)	16,7	–	17,4	0,90	–	–	31,9	14,13	25	6,17
Várpalota	(g)	(g)	31,2	8,93	35,5	22,22	49,8	37,91	37,9	25,64	38	25,00
Veszprém	32,7	6,83	26,8	4,32	28,5	10,65	26,6	5,15	25,9	5,92	24	5,83

3. melléklet. Fosszilis tüzelőanyagok (energiahordozók) tüzelőanyagok főbb műszaki jellemzői

szilárd tüzelőanyagok	légnemű (gáz) tüzelőanyagok	folyékony tüzelőanyagok
1. hamutartalom 2. nedvességtartalom 3. fix karbon (C) 4. éghető illó tartalom: <ul style="list-style-type: none"> • (illó) karbon (C) • hidrogén (H) • oxigén (O) • nitrogén (N) • (éghető) kén (S) (A tüzelőanyag karbontartalma: fix C+illó C)	1. portartalom 2. víztartalom 3. gázelegy komponensek, például: <ul style="list-style-type: none"> • metán (CH₄) és homológ vegyületei (etán, propán, bután, pentán, hexán, stb. (C_nH_{2n+2})) • szén-monoxid (CO) • hidrogén (H₂) • nitrogén (N₂) 	1. szilárd anyag tartalom 2. elemi összetétel 3. olajkocsz képződésre való hajlam (Conradsson-szám)
Vegyületek: 1. ásványos összetétel, vegyületek (fuzit, vitrit, stb.) 2. illó vegyületek		
gyulladásí hőmérséklet	gyulladásí hőmérséklet	gyulladásí hőmérséklet
lobbanáspont	robbanási koncentráció határok levegőben	lobbanáspont
szemcseeloszlás, fajlagos felület		
tömegeloszlási jellemzők: 1. sűrűség, testsűrűség, halmazsűrűség 2. porozitás, hézagosság 3. rézsűszög	tömegeloszlási jellemző: sűrűség	tömegeloszlási jellemző: sűrűség
szilárdság		viszkozitás, dermedéspont
égéshő, fűtőérték (MJ·kg ⁻¹)	égéshő, fűtőérték (MJ·kg ⁻¹ , MJ·m ⁻³)	égéshő, fűtőérték (MJ·kg ⁻¹ , MJ·m ⁻³)
elméleti égéshőmérséklet (NO _x képződés)	elméleti égéshőmérséklet (NO _x képződés)	elméleti égéshőmérséklet (NO _x képződés)
elméleti/valódi oxigénigény	elméleti/valódi oxigénigény	elméleti/valódi oxigénigény
a hamu összetétele: 1. izzítási veszteség 2. oxidos összetevők (SiO ₂ , MgO, CaO, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O, TiO ₂ , SO ₃ , stb.)		
Hamu frakciók: 1. salakosodási hajlam 2. salak/pernye tömegmegoszlás 3. szemcseeloszlás, összetétel		

4. szemcsék alakja és szerkezete		
füstgáz főbb összetevői: 1. általában: CO ₂ , SO ₂ , O ₂ , N ₂ , H ₂ O (g) 2. rendellenesen: CO, NO _x , H ₂ , CH ₄ és homológjai 3. pernye	füstgáz főbb összetevői: 1. általában: CO ₂ , SO ₂ , O ₂ , N ₂ , H ₂ O (g), NO _x aldehydek 2. rendellenesen: CO, H ₂ , CH ₄ és homológjai 3. por	füstgáz főbb összetevői: 1. általában: CO ₂ , SO ₂ , O ₂ , N ₂ , H ₂ O (g), NO _x aldehydek 2. rendellenesen: CO 3. por