

## A légszennyeződés hatása erdeinkre

MÉSZÁROS ERNŐ *akadémikus*

### A II. Erdővédelmi Konferencián elhangzott előadás

Az emberi tevékenység következtében a levegőbe kerülő szennyezőanyagok káros hatásait többféle módon fejtik ki. Egyrészt megváltoztatják a levegő összetételét, befolyásolva így módon a légköri folyamatokat és végső soron az éghajlatot is. Jó példát szolgáltat erre a tüzelőanyagok elégetésekor a légkörbe jutó szén-dioxid szintjének növekedése, amely a becslések szerint a jövőben nem elhanyagolható melegedést okoz. Másrészt a kibocsátott szennyezőanyagok a levegőből kiüledve megváltoztatják más földi szférák (bioszféra, hidroszféra, pedoszféra stb.) állapotát, sokszor az emittáló forrásoktól távol. Ebből a szempontból a savas ülepedés a legkárosabb, amely az energiatermelésből származó kén- és nitrogén-oxidokból keletkezik. Számos kutató feltételezi (pl. Ulrich, 1983), hogy az erdőállomány megfigyelt károsodását is a savas ülepedés okozza.

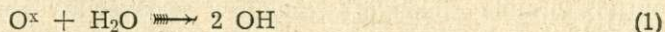
A savas ülepedésnek két fajtája van. Az első a száraz ülepedés, amely csapadégmentes időszakokban juttat savas gázokat és aeroszol részecskéket a fák leveleire és a talajra. A másik a nedves ülepedés, amely a csapadékvízben lévő anyagokból származik („savas eső”).

#### 1. Savak keletkezése a levegőben, illetve a felhő- és csapadékvízben

A savas ülepedést a fosszilis tüzelőanyagok kén- és nitrogéntartalma okozza, amely elégetéskor kén- és nitrogén-oxidok formájában a levegőbe kerül. Másrészt a tüzeléssel járó magas hőmérsékleten a levegő nitrogénjéből és oxigénjéből nitrogén-oxidok keletkeznek. Ezek az anyagok a levegőben tovább oxidálódnak. Az oxidáció végbemehet gázfázisban a levegőben, illetve a gáznemű komponensek elnyelése után a felhő- és csapadékvízben.

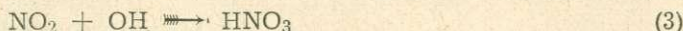
A levegőben a kén-dioxidot és nitrogén-oxidokat az ózomból és vízgőzből képződő ún. szabad gyökök oxidálják. Tekintve, hogy az ózon keletkezésében a nitrogén-oxidokon kívül járművek kipufogó gázaival a levegőbe jutó szén-monoxid és szénhidrogének is fontos szerepet játszanak, a savképződést a gépkocsi forgalom is befolyásolja.

A szabad gyökök olyan elektromos töltéssel nem rendelkező atomok vagy atomcsoportok, amelyek külső elektronpályáján páratlan számú elektron van, így igen jó oxidáló anyagok („elektronakceptorok”). Leglényegesebb közülük a hidroxil gyök (OH), amely az ózon fotokémiai bomlásából származó gerjesztett állapotú atomos oxigénből (O<sup>x</sup>) és vízgőzből keletkezik:



A hidroxil gyök mind a kén-dioxidot, mind a nitrogén-dioxidot gyorsan savak-

ká alakítja át a következő reakciók szerint:



A kénsav gáz a vízgőz molekulákkal együtt gyorsan kondenzálódik és apró savcseppecskék (aeroszol részecskék) jönnek létre. Ezzel szemben a salétromsavnak csak kis hányada kondenzálódik, így a levegőben jelentős mértékben gőzformában van jelen. A kénsav és a salétromsav cseppecskéket az egyetlen bázikus légköri gáz, az ammónia részben vagy egészben semlegesítheti.

A kén-dioxidot a felhő- és csapadékvíz viszonylag jól elnyeli. Az így keletkező szulfationokat a szintén elnyelt ózon, illetve a szabad gyökökből keletkező hidrogén-peroxid szulfáttá alakítja át.

Az elmondottak számunkra azért érdekesek, mivel illusztrálják azt a tényt, hogy a levegő és a csapadékvíz savasodásához nemcsak kén-dioxid és nitrogén-oxidok szükségesek, hanem oxidáló komponensek is, amelyek bonyolult kémiai reakciókkal keletkeznek. Ez más szavakkal azt jelenti, hogy a savasodás ütemének mérsékeléséhez nem csak a savképző anyagok, hanem az oxidánsok képződéséhez vezető légszennyezők emissziójának csökkentése is szükséges. A probléma különösen azért fontos, mivel az oxidánsok légköri tartózkodási ideje jóval rövidebb, mint a kén- és nitrogénvegyületeké. Így az a kérdés is felvethető, hogy az erdőkre káros savas ülepedést végül is „helyi” vagy „távoli” légszennyező források okozzák-e?

## 2. Száraz ülepedés

A kén- és nitrogén oxidok, a salétromsavas gőz, és a belőlük keletkezett kicsiny aeroszol részecskék csapadégmentes időben a turbulens diffúzió hatására kerülnek a levelek és a talaj felszínére. A turbulens diffúzió mérése meglehetősen nehéz feladat. Az egyik lehetséges eljárás az ún. gradiens módszer, amikor az elnyelő felület közelében és attól meghatározott távolságra megmérjük a koncentrációt, illetve a szélességet. Ez utóbbi arra szolgál, hogy a szélesség gradienséből kiszámíthassuk a turbulens kicserélődési együtthatót (K). A turbulens áramlás (F) az

$$F = K \frac{c_1 - c_2}{\Delta z} \quad (4)$$

egyenlet segítségével határozható meg, ahol  $c_1$  és  $c_2$  az első és második szinten mért koncentráció, míg  $\Delta z$  a szintek magasságkülönbsége. Feltételezve, hogy a lefelé irányuló áramlás a felület által ténylegesen elnyelt anyagmenyisséggel, az ülepedéssel (D) egyenlő, az ülepedés és a talajközeli koncentráció (C) aránya az ún. ülepedési sebességet (x) adja meg:

$$v = \frac{D}{C} \quad (5)$$

Az (5) formula előnye az, hogy  $v$  értékét különböző fák leveleire, illetve talajfajtákra meghatározva és a kapott eredményt általánosítva, az ülepedés a levegőben mért koncentrációból egyszerűen kiszámítható.

1. táblázat

**Közepes légköri koncentrációk (C), ülepedési sebességek (v) és száraz ülepedések (D) Magyarország háttér-levegőjében. A zárójelben levő ülepedési értékek kénben, illetve nitrogénben vannak kifejezve**

| Komponensek                    | C [ $\mu\text{gm}^{-3}$ ] | v [ $\text{cms}^{-1}$ ] | D [ $\text{gm}^{-2} \text{év}^{-1}$ ] |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| SO <sub>2</sub>                | 11,9                      | 0,6                     | 2,25 (1,13)                           |
| +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 8,4                       | 0,024                   | 0,06 (0,02)                           |
| NO <sub>2</sub>                | 6,8                       | 0,5                     | 1,07 (0,33)                           |
| HNO <sub>3</sub>               | 3,7                       | 2,0*                    | 2,32 (0,52)                           |
| +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 3,9                       | 0,03                    | 0,04 (0,01)                           |
| NH <sub>3</sub>                | 1,1                       | 0,14                    | 0,05 (0,04)                           |
| +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 3,5                       | 0,022                   | 0,02 (0,02)                           |

+aeroszolk

\*irodalmi adatok

Magyarországon ilyen jellegű méréseket fűfelszín fölött végeztünk. A mérések kimutatták, hogy az aeroszol részecskék száraz ülepedése elhanyagolható a gázok ülepedési sebességéhez képest. Ez azzal magyarázható, hogy a talajok ezeket a gázokat gyorsan ab- és adszorbeálják, amely a koncentrációgradiens (4-es formula), következésképpen a felszín felé irányuló fluxus megnövekedéséhez vezet. Amennyiben elfogadjuk, hogy a fűfelszínre meghatározott sebesség értékek első közelítésben erdőkre is alkalmazhatók, akkor megbecsülhetjük a száraz ülepedés erdőkre gyakorolt hatását. Ehhez azonban koncentráció adatokra is szükségünk van.

Az I. táblázat közvetlenül nem szennyezett, háttér levegőben mért átlagos koncentrációkat, a fűfelszínre vonatkozó ülepedési sebességeket, valamint az ezekből számított száraz ülepedés értékeit tartalmazza (Mészáros és Horváth, 1984). A koncentrációkat az 1. ábrán látható három állomás, Farkasfa, Kpuszta és Szarvas adataiból határoztuk meg. Az ülepedési sebességek megadják, hogy száraz időben egy év alatt 1 m<sup>2</sup> vízszintes felületre hány gramm légszennyező anyag ülepedik. A táblázatból látható, hogy kén esetén a száraz ülepedés értéke meghaladja az 1 gm<sup>-2</sup> év<sup>-1</sup>-et. Az is kitűnik, hogy a salétromsav gőz ülepedése is igen jelentős. Ezzel szemben az ammónia ülepedése elhanyagolható, mivel méréseink szerint a talajfelszín nem csak nyelője, hanem forrása is az ammónia gáznak.

### 3. Nedves ülepedés

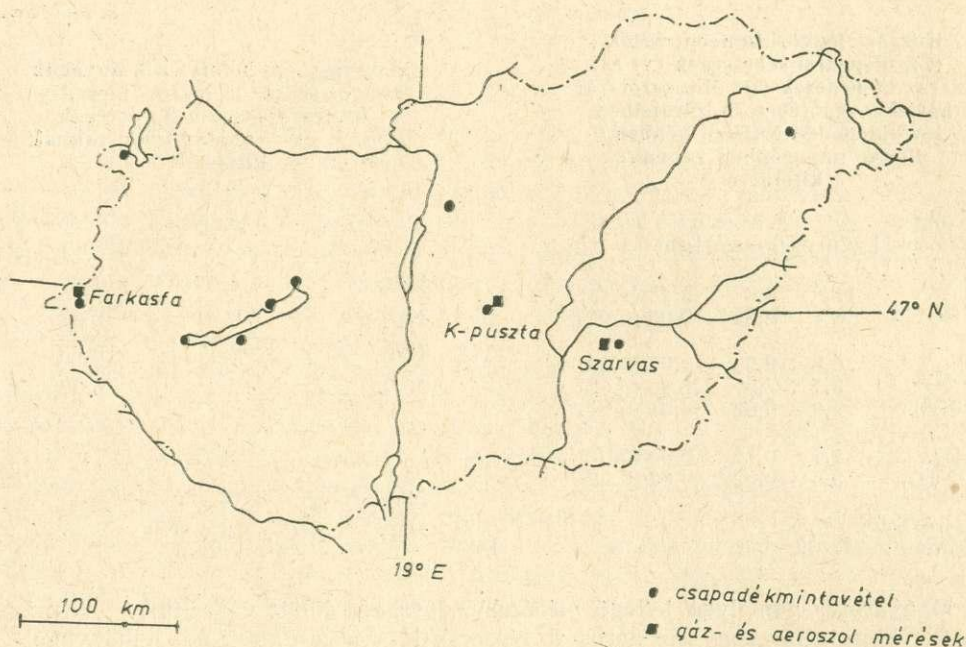
A csapadékvíz a természetben található a legtisztább vizek közé tartozik. Ennek ellenére számos oldódó és oldhatatlan anyagot tartalmaz, mivel az aeroszol részecskéket és oldódó gázokat a csapadék mintegy „kimossa” a levegőből.

A csapadékvíz kémiai összetételét az 1. ábrán látható hálózat segítségével rendszeresen ellenőrizzük. Az állomásokon lévő mintavevők olyan, ún. automatikus csapadékgyűjtők, amelyek csak csapadékhullás esetén nyílnak ki. A havi csapadékmintákból számos ion koncentrációját határozzuk meg, illetve

2. táblázat

**A savasságot befolyásoló anyagok átlagos száraz és nedves ülepedése Magyarországon. Az értékek g.m<sup>-2</sup>. év<sup>-1</sup> egységekben vannak kifejezve**

| Anyag                  | Száraz     | Nedves |
|------------------------|------------|--------|
| SO <sub>x</sub> -S     | 1,1        | 1,1    |
| NO <sub>x</sub> -S     | 0,86       | 0,33   |
| NH <sub>x</sub> -N     | 0,07       | 0,63   |
| H <sup>+</sup>         | ?          | 0,02   |
| SO <sub>x</sub> -S-nél | x=2 vagy 4 |        |
| NO <sub>x</sub> -S-nél | x=2 vagy 3 |        |
| NH <sub>x</sub> -N-nél | x=3 vagy 4 |        |



1. ábra. A háttér légszennyeződést mérő magyar állomáshálózat

megmérjük a minták pH-ját és elektromos vezetőképességét. Ha az így kapott koncentrációkat a mintavétel ideje alatt lehullott csapadékmennyiségekkel megszorozzuk, akkor a nedves ülepedés értékeihez jutunk. A nedves ülepedés a vízszintes felületegységre a mintavétel idején a csapadékkal lehullott anyagmennyiségeket jelenti.

Méréseink szerint (Horváth és Mészáros, 1984) a hazai csapadékvízben a fűtésből származó kén (szulfát) és a talajeredetű kalcium fordul elő a legnagyobb koncentrációban: 1,9, illetve 1,7 mg L<sup>-1</sup>. A csapadékvíz pH-ját is elsősorban ez a két anyag határozza meg. A pH szabályozásában kisebb szerepet játszik a nitrát és az ammónium. Ekvivalensben kifejezve a nitrát mennyisége 1/3—1/4-ét teszi ki a szulfát koncentrációnak. A pH átlagos értéke 4,5-tel egyenlő, ami több, mint 1 pH egységgel alacsonyabb, mint a széndioxid kialakította kb. 5,7-es egyensúlyi érték<sup>1</sup>. Ez azt jelenti, hogy a csapadékvíz hazánkban is meglehetősen savas. A savasságot növelő szulfát és nitrát értéke az év folyamán a tavaszi hónapokban maximális, amikor a levegő fotokémiai aktivitása jelentős és felgyorsul az ózon és a szabad gyökök keletkezése. Az utóbbi kb. 10 évben a pH és a szulfát értéke lényegében nem változott, míg a nitrát koncentráció folyamatosan emelkedett (lásd: Mészáros, 1984). Ez feltehetően a gépkocsipark növekedésével magyarázható.

A 2. táblázat alapján a száraz és nedves ülepedést hasonlíthatjuk össze. Mint látható, kén esetében a két fajta ülepedés egyenlő egymással, míg nitrát-nitrogénnél a száraz ülepedés meghaladja a nedves ülepedés mértékét. Ez

1. A szén-dioxid a vízben szénsav formájában oldódik, amelynek egy része ionokra, köztük hidrogénionokra disszociál.

azt jelenti, hogy a savas ülepedés, következőképpen a légszennyeződések erdeinkre gyakorolt hatásainak tanulmányozásakor a száraz ülepedést is figyelembe kell vennünk.

#### 4. Javaslatok további vizsgálatokra

Mint említettük a bemutatott ülepedési értékek csak első közelítésben alkalmasak a légszennyeződések erdeinkre gyakorolt hatásának tanulmányozására. A kérdés részletesebb megítéléséhez további, az erdőállomány különböző szintjeiben végzett rendszeres mérések szükségesek. Különösen igaz ez a megállapítás száraz ülepedés esetén, amely a fák koronája felett, illetve erdővel borított talajok közelében igen különböző lehet a fűfelszínre vonatkozó értéknél. Mind a száraz, mind a nedves ülepedésnél fontos a közvetlen (levelekre, fákra), illetve közvetett (a talajon keresztül) hatások különválasztása. Ráadásul magasabban fekvő erdeinknél a felhőcseppek levelekre való lerakódása is lényeges időszakos következményekkel járhat. A felhővíz kémiai összetételének meghatározását ezért szintén feladatunknak érezzük.

Végül nyilvánvaló, hogy a légköri mérések csupán input adatokat szolgáltatnak a hatások tanulmányozásához. A légszennyeződések megfigyeléseket közösen kell végeznünk biológiai, talajtani és ökológiai vizsgálatokkal. Csak komplex mérési programokkal közelíthetjük meg a probléma lényegét. Ezért az erdészek, meteorológusok és más érdekelt szakemberek ilyen irányú szoros együttműködését javasoljuk.

#### IRODALOM

- Horváth, L. and Mészáros, E., 1984: The composition and acidity of precipitation in Hungary. *Atmospheric Environment* 18, 1843—1847.
- Mészáros, E., 1984: Savas esők Magyarországon. *Magyar Tudomány* 29, 529—536.
- Mészáros, E. and Horváth, L., 1984: Concentration and dry deposition of atmospheric sulfur and nitrogen compounds in Hungary. *Atmospheric Environment* 18, 1725—1730.
- Ulrich, B., 1983: An ecosystem oriented hypothesis on the effect of air pollution on forest ecosystems. In „*Ecological Effects of Acid Deposition*” National Swedish Environment Protection Board, Report PM 1636, 221—231.

---

## AZ ERDŐ ÉS AZ EMBER

Ha valaki régi könyveket tanulmányoz, régi meséket olvas, gyakran felfedezi bennük a korabeli erdő-kultusz hatását. Az ókorban és a középkorban az erdő feltáratlan, félelmetes vadon volt, s abban az időben az emberek képzelete az erdőt különféle lényekkel népesítette be: egyszer istenekkel, óriásokkal, — máskor ördögökkel, manókkal, azaz olyan gonoszkodó törpékkal, kik nem olyan félelmetesek mint az ördög maga, inkább csak az ördög gonoszkodó cimborái. Az ókorban a pogány isteneknek az erdőkben gyakran áldoztak. A régi görögök minden erőt, mellyel a természetben találkoztak, amelyet az embernél nagyobbak, hatalmasabbnak éreztek, isteni erőnek, istennek néztek; legyen az valamely óriás fa, mely árnyat ad a tikkasztó hőségben, vagy pusztító vihar, amely a hajóst megrémíti.

Perschel Oszkár írja, hogy a pogány germánok inkább vonzódtak a fák, mint a kőbálványok tiszteletéhez, s nemcsak a ligeteket tekintették az istenek lakóhelyének, hanem egyes fákat is isteni lényeknek fogadtak el, minél fogva