

BIOINDIKÁTOROK ALKALMAZÁSA A FELSZÍNKÖZELI ÓZON KIMUTATÁSÁBAN

DIVÉKY ERIKA¹⁴

APPLYING BIOINDICATORS IN OZONE-MONITORING

Abstract: This article gives a general overview of bioindicators, and it shows the possibilities as well as limitations of plants in the ozone-monitoring. The utilization of ozone-bioindicators in Hungary in ozone-monitoring started only some years ago, but up to now only one type of tobacco has been involved in the investigations. After a short description of this realized Hungarian pilotproject, finally I give a short overview of the impact on public education of such experiments.

A légtisztaságvédelemben a műszeres emisszió- és immissziómérés mellett hazánkban a zuzmóterképezést kivéve – mely évtizedek óta ismert, csak az utóbbi években kezdenek megjelenni a bioindikátorokat illetve passzív mérőket alkalmazó alternatív módszerek.

A *bioindikátorok* olyan élőlények ill. élőlényközösségek, melyek életfunkciói adott környezeti faktorokkal szoros korrelációban állnak, így ezek kimutatására alkalmazhatóak. Fontos, hogy a légszennyezettségi terhelés és a hatás mértéke között megfelelő összefüggés mutakozzon és a hatás specifikus és ezáltal könnyen felismerhető legyen.

Két nagy csoportot különböztetünk meg: a *passzív* monitoringnál egy adott hely, adott élővilágból választják ki a teszt példányokat. Ennek előnye, hogy így a helyspecifikus flóra illetve fauna vizsgálható. A második az ún. *aktív* monitoring alkalmával bizonyos kritériumok alapján kiválasztott pontokra adott időtartamra indikátornövényeket helyeznek ki. Ez a módszer a mérési körülmények jobb szabványosítását teszi lehetővé többek között azzal, hogy a különböző talajadottságból, fajta beli, illetve vízellátottsági különbségből adódó eredménybefolyásolást kizárja, ezzel javítva a megfigyelési helyek eredményeinek jobb összehasonlíthatóságát.

Az aktív monitoringnál alkalmazott teszt élőlényeknél annak alapján, hogy az a légszennyezésre külső jól látható elváltozással pl. foltosodással vagy bizonyos anyag felhalmozásával reagál, beszélhetünk reakciós- vagy *hatásindikátorokról* és *akkumulációsindikátorokról* (1. táblázat) (Köhler, J. et al. 1994).

A bioindikátorok *előnye*, hogy bizonyos karakterisztikus elváltozásokkal a légszennyező anyagok immisszióméréssel nem kimutatható vegetációra gyakorolt veszélyét mutatják, illetve a drága és ezért csak pontszerű monitoros vizsgálattal szemben lehetőséget nyújtanak egy területet lefedő, kis raszteros immissziós hatásvizsgálatra. Az eredményeket egy monitor paralelméréseivel összehasonlítva ha-

¹⁴ E-mail: diveky@arcor.de

táskataszter készíthető, mely az adott szennyezőanyag idő- és helybeli eltéréseit mutatja. Egy ilyen hatáskataszter segítséget nyújthat a szennyezőhatások felismeréséhez, az immissziótrend követéséhez, az emisszióforrások felkutatásához és azok hatásterületének lehatárolásához, illetve egy később kidolgozandó légtisztaságvédelmi tervnél a területet és annak ökoszisztémáját illető antropogén változások értékeléséhez, és az ahhoz tartozó prognózisok elkészítéséhez.

1. táblázat Bioindikátorok csoportosítása (UMEG 1997)

Table 1 Grouping of bioindicators (UMEG 1997)

Akkumulációs indikátor	Reakciós indikátor
zöld káposzta – nehezen illó szerves vegyületek standardizált fűkultúra – fluor, kén, nehézfémek	standardizált zuzmóexpozíció – SO ₂ paradicsom – etilén kardvirág – fluor

Hátránya, hogy a módszer előrejelzésre nem alkalmas, hisz a kapott értékek a megelőző időszakra vonatkoznak, továbbá nehézséget jelenthetnek a meteorológiai adottságokból, és a növényi fejlettségéből eredő, a növény érzékenységét befolyásoló különbségek, melyek azonban megfelelő előkészítés mellett, adott fejlettségű példányok meghatározott számú és elhelyezkedésű levelének károsodásvizsgálatával standardizálhatók (Wäber, M. et al. 1996).

Bioindikátorokkal jól vizsgálható, a nyári félévben gyakran magas immisszióval jelentkező másodlagos, nitrogénoxidokból, szénmonoxidból és nem metán szerves oldószerekből napsugárzás hatására képződő légszennyezőanyag, a felszinközeli ózon. Karakterisztikája miatt, meteorológiai és emissziós-immisziós okokból indokolt lenne nagyobb területek lefedő vizsgálata, ez azonban műszerekkel költségessége miatt nem kivitelezhető. Ilyen esetekben nyújthatnak segítséget az ózon kimutatására alkalmas növényfajták, melyek a következők: dohány – *Nicotina Tabacum* var. *Bel W 3*, bokros bab – *Phaseolus vulgaris* var. *Pinto*, kis csalán – *Urtica urens* – vad formája, spenót – *Spinacia oleracea* Var. *Monnopa* (Arndt, U. et al. 1985) nyárfa – *Populus x euramericana* var. *Gebrica* (Arndt, U. et al. 1992) valamint a búza, a mályva és a lóhere (Schafner, P. 1998).

A dohányt ózonindikátorként Európában a '60-as évek eleje óta alkalmazzák, érzékenységét mutatja, hogy már 40 ppb-s koncentráció esetén a leveleken világos foltok – klorózisok jelennek meg, melyek hosszabb ideig tartó ózonterhelés esetén a levélszövet elhalásával sötét színű nekrozisokká változnak (Mülleder, N. et al. 1992).

A károsodás elsőként az idősebb leveleken jelenik meg, majd a felsőbb, fiatalabb levelekre is kiterjed. Az ózonhatást mutató kékeszöld vízfolthoz hasonlító károsodási szimptomák még visszafordítható elváltozások (Knabe, W. et al. 1973). Az ezt követő elparásodott nekrozisfoltok viszont már végleges károsodást jelentenek (1. ábra), melyek a növény fotoszintézisét csökkentve a levél idő előtti előrepedését okozzák. Haszonnövények esetén ez jelentős hozamcsökkenést jelenthet (Schafner, P. 1998). A nem ózon által okozott nekroziskárok megállapítására az indikátorállományon dohány *Bel W3* fajta mellett sokszor a dohány egy másik válto-

zatát is exponálják. A Bel B típus ózonra jóval érzékenyebb, vírusokra és gombákra viszont a Bel W3-al egyformán reagál. Ha mindkét típus nekrozisokkal egyformán terhelt, akkor a károk nem ózoneredetűek, ezen példányok a kiértékelésnél nem számítanak (VDI 2000a).

A Bel W3 dohányfajánál éppen az említett érzékenység jelent az előkészítési fázisban nehézséget, azaz, hogy a növény expozíció előtt ne károsodjék. Ennek elérése érdekében a palánták 10 hetes felnevelése lehetőség szerint szűrt levegős üvegházakban végzendő (2. ábra). Az állomásra történő kihelyezés előtt azonban mindenképp előzetes károsodás felmérést kell végezni.

Mivel az ózonképződést a sugárzás intenzitása befolyásolja, s így a magasabb ózonértékek elsősorban május elejétől szeptember végéig várhatóak, az ózonbioindikációra is ezen időszak ajánlott (VDI 2000a). Az expozíciós idő általában 2 hét, melynek elteltével az exponált növényeknél kárfelmérést végeznek, és új példányokat tesznek a helyükre (Arndt, U. et al. 1985).

A felmérésnél az egyes növények adott leveleinek százalékos nekrozisfokát vizsgálják (2. táblázat, 3. ábra), az eredményből az adott növény, illetve az állomáson található azonos növényfaj példányainak átlagos károsodási fokára, az állomások összátlagából pedig a vegetációs periódus terheltségi fokára következtetnek (Franzaring, J. 1997).

A dohány túlzott ózonérzékenysége miatt előfordulhat, hogy magas ózonterhelésű időszak al-



1. ábra Nekrozisos dohánylevél (foto: Divéky E. 2004)
Figure 1 Tobacco with neckroses
(photo: Divéky E. 2004)

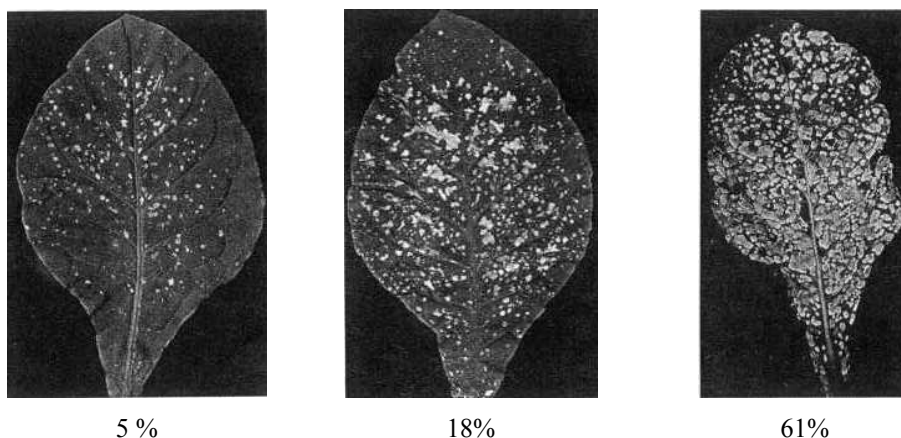


2. ábra Dohánypalánták előnevelése
(Kostka-Rick, R. 2000)
Figure 2 Precultivation of tobaccoplants
(Kostka-Rick, R. 2000)

kalmával a megfigyelőállomások eredményei között már nem lehet különbséget tenni, ekkor van jelentősége az állomáson elhelyezett dohányynál kevésbé ózonérzékeny babpalántának. Segítségével a teljesen károsult dohány ellenére az állomás terhelési fokára lehet következtetni (*Keitel, A. 1989*).

2. táblázat Ózon okozta levélkárosodás felmérési táblázata (*Müller, N. et al. 1992*)
Table 2 Surveytable to ozone leaf-injury (*Müller, N. et al. 1992*)

Károsodási fok	Károsodás kiterjedése	A vizsgált levélfelület károsodása százalékban
1	Felismerhető	1-5
2	Markáns	5-10
3	Erős	10-25
4	nagyon erős	25-60
5	teljes károsodás	60-100



3. ábra Ózon okozta százalékos levélkárosodás dohánylevélen (*VDI 2000b*)
Figure 3. Ozone leaf-injury on tobacco in percent (*VDI 2000b*)

Az indikátornövények közül több nem csak az ózonra érzékeny. A *Pinto bab* akkor reagál érzékenyen az ózonra, ha az nitrogénoxidokkal keveredett. Érdekesége, hogy tisztán nitrogénoxidokra egyáltalán nem reagál és tisztán ózonra is jóval kevésbé, mint azok keverékére (*Keitel, A. 1982*). A *kis csalán* ózonra és peroxiacetylnitrátra, míg a *vörös here* ózonra és kéndioxidra érzékeny. Ezen növények kombinációjával tehát a teljes légszennyezettségi szituációra is következtetni lehet (*UMEG 1997*). Reakciójuk hasonló a dohányéhoz, a babnál a nekrotikusok világos matt illetve fénylő besüllyedő egyenetlenül eloszló foltok (*Keitel, A. 1982*), a csalánnál világos bronzszínű pontok és foltok a levélerezet mentén. Utóbbi azonban ózonra nem annyira érzékeny, mint a többi faj (*Wäber, M. 1996*).

3. táblázat Ózon kimutatására alkalmas bioindikátorfajok vizsgálati jellemzői

(Köhler, J. et al. 1994)

Table 3 Examination characteristics of bioindicator species for ozone

(Köhler, J. et al. 1994)

Faj	Érzékeny-ség	Tenyész-idő	Példányszám állomásonként	Expozícióra érett	Kiértékelésnél vizsgált levelek
dohány Bel W3	O ₃	10 hét	6	ha van 5 kifej-tett levele	3-7.
bokros bab Pinto Var. "Agathe"	O ₃ , SO ₂ , (NO ₂ /NO)	csírázástól 4 hét	3	ha az első levélpár kifejlett	két primér levél és a trifolium
kis csalán	O ₃ , PAN	8 hét	2	ha 15 cm magas	a főág 5 felső levélpárja
lóhere	O ₃	4 hét	20	az első vágás után	a károsult és az egészséges levelek %-os aránya

A 3. táblázatban említett fajok kombinációjával felállított indikátorállomás (4. ábra) a teljes légszennyezettségi helyzet jobb megítélését teszi lehetővé.

A kárbeccslés lehetőség szerinti objektívításának és standardizálásának érdekében az első periódusban exponált különböző károsodásfokú példányokról ajánlott egy képarcívumot készíteni, mely a későbbi kiértékelést segíti. Az egységes megítélést segíti továbbá az állomások növényeinek együttes kiértékelése (Zimmermann, R. et al. 1995). A vizsgálat során ügyelni kell a pigmentfoltokra és mintákra, mert ezek nekrozishoz való hasonlóságuk miatt megtévesztőek lehetnek (Franzaring, J. 1997). A bioindikátorokkal végzett megfigyelések lehetőséget nyújtanak a vegetáció és indirekt módon az ember veszélyeztetési potenciáljának közelítőlegesen becslésére (Wäber, M. et al. 1996). Figyelembe kell azonban venni, hogy a biomonitoring vizsgálat a növény által felvett ózon hatását, és nem az adott hely teljes ózonterhelését mutatja, hisz magas ózonkoncentráció általában magas hőmérséklettel együtt jelentkezik. Ez a növényeknél hő- és vízstreszt okoz, ami a gázcsere nyílás záródásával és így az ózonnfelvétel és az ezáltal károsító hatás csökkenésével jár együtt (VDI 2000a). Így e módszer nem szolgáltat olyan kvantitatív adatokat, mint egy műszeres mérés, de mint azt az 5. ábra is mutatja, a bioindikátorok segítségével kapott, és az UV-monitor által mért adatok igen jó összefüggést mutatnak.

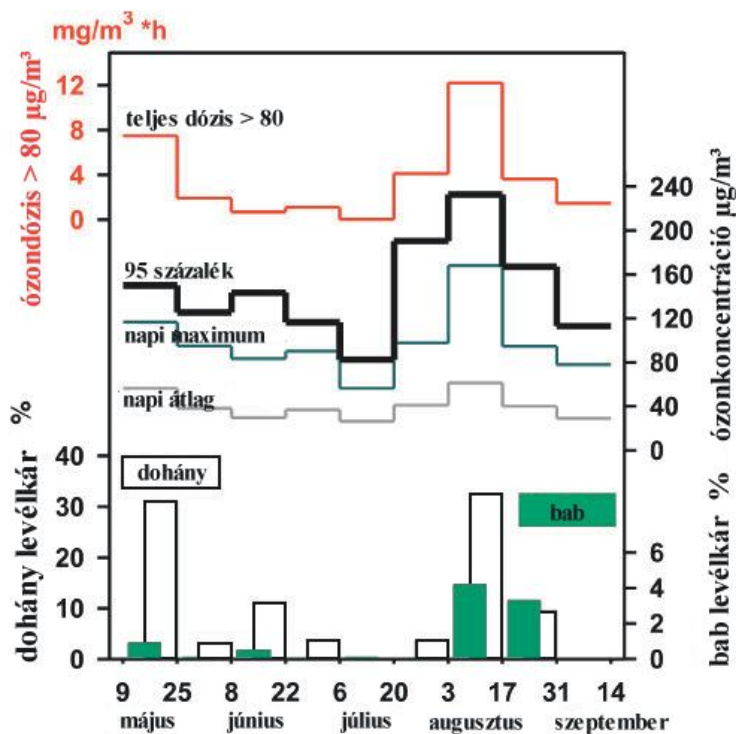
A diagram Stuttgartban egy 1998. nyári félévében babbal és dohányjal végzett ózonmonitoring eredményeit mutatja (Kostka-Rick, R. 2000). Mind a monitoros mérés, mind a bioindikáció eredményének ábrázolásán egyértelműen látszik a napsütéses órák magas arányának és a közlekedésből származó nagy légszennyezésnek „köszönhetően” 1998. májusában és augusztusában kialakult ózonepizódok.

A nyári esetenél a dohány százalékos levélkára a májusival megegyezik, azonban a bab mint kevésbé érzékeny bioindikátorfaj alkalmazásával ennek ellenére látható, hogy az ózonterhelés jelentősen meghaladta a májusit. Az augusztusi

magas ózonkoncentráció miatt annak idején Európa több pontján szmogriadót kellett elrendelni.



4. ábra Biomonitorállomás (Divéky E. 2000)
Figure 4 Biomonitoring station (Divéky E. 2000)

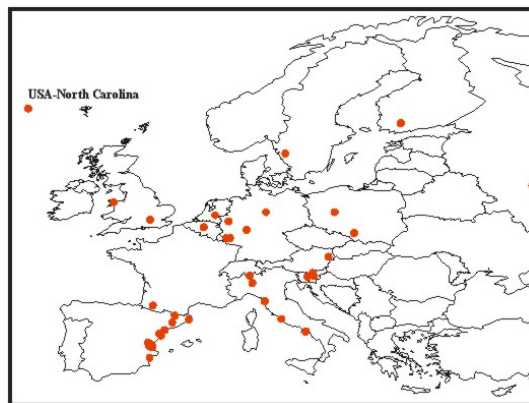


5. ábra Ózonbiomonitoring dohányval és babbal (Stuttgart–Esslingen 1998)
(Kostka-Rick, R. 2000)

Figure 5 Ozone biomonitoring with tobacco and beans (Stuttgart–Esslingen 1998)
(Kostka-Rick, R. 2000)

A helyi vegetációra gyakorolt ózonhatás jobb interpretálhatósága érdekében egy kísérletnél a dohány Bel W3 példányok mellett 53 vadon termő növényfajt vizsgáltak. A vizsgált növények 20 százalékánál (leginkább a pillangósoknál) a dohánnyal azonos, vagy annál magasabb ózonkárokat figyeltek meg. Ez is jól mutatja azt, hogy a feltételezés, miszerint az alkalmazott bioindikátor túlérzékenysége miatt alkalmatlan a helyi vegetációt érő károsodás fokának kimutatására, nem megalapozott (*Thalmair, M.* 1996).

A helyi mezőgazdasági vegetációra gyakorolt ózonhatást számos kísérlet alkalmával vizsgálták. Ebből a legátfogóbb az ICP-NWPC nemzetközi kooperációs program, melynek keretében Európa 15 országában és az USA-ban a mezőgazdasági termelés rizikóparaméterszámításához nem fás ültetvények és gabona légszennyezetségre és egyéb stresszhatásra való vizsgálatával mezőgazdasági növénykultúra hozamcsökkenését vizsgálják (*CEH* 2000). Kiválasztott regionális háttérállomásokon (6. ábra) 20 cserép ózonnal szemben rezisztens és 20 cserép ózonra érzékeny fehérvirágú lóhereklónt (*Trifolium repens*) helyeznek el, melyeknél a hosszú időn át tartó ózonterelés hatását vizsgálják (7. ábra).



6. ábra ICP-NWPC – hozamvizsgálat Európában (*CEH* 2000)
Figure 6 ICP-NWPC – output examination in Europe (*CEH* 2000)



7. ábra Háttérállomás – Cadenazzo, Tessin (Svájc) (*Divéky E.* 1999)
Figure 7 Background station – Cadenazzo, Tessin (Switzerland) (*Divéky E.* 1999)

Az érzékeny és rezisztens növényeket 4 hetes ciklusban vizsgálják, cserepenként számolják a virághozamot, nézik a növények károsodási százalékát és mérik a hozamkülönbséget (8. ábra).



8. ábra Ózon által károsított és egészséges lóhere (CEH 2000)
Figure 8 Ozone damaged and healthy trefoil (CEH 2000)

Kutatások kimutatták, hogy az ózonepizódok az érzékenyebb haszonnövényeknél (búza, bab, szőlő, lóhere, görögdinnye) majd minden évben látható, és tetemes károsodást okoznak. Az ennek következtében jelentkező hozamcsökkenés attól függően, hogy a káros hatás a növényt mely fejlődési szakaszában érte, meghaladhatja a 25-30%-ot is (Kostka-Rick, R. 2000). Természetesen a különböző növényeknél eltérő éghajlati adottságok és légszennyezettség mellett az azonos ózonterhelés másképp tolerálható. Így a megállapítandó kritikus terhelési szint – „Critical Level” – is területenként eltérő (Schafner, P. 1998).

Ahogy már cikkem elején említettem, hazánkban a biomonиторos felszínközeli ózonzfigyelés csupán pár éves múltra tekint vissza, egyelőre az is inkább csak figyelemfelkeltő célzatú és csupán a dohány Bel W3 klónra korlátozódik. 2001-ben a Tiszántúli Környezetvédelmi Felügyelőség kezdeményezésére az Európai Bizottság (LIFE) támogatásával a keleti országrész 5 legnagyobb városában: Miskolcon, Nyíregyházán, Debrecenben, Békéscsabán és Szegeden épült ki ilyen levegő biomonиторing rendszer (TIKÖFE 2005). Az első mintavételek 2002 tavaszán indultak, majd kibővített formában 2003-ban folytatódtak. Kezdeti nehézségként jelentkezett a növények fejlődési különbségéből, és helyi adottsági eltérésekből – például vízellátottság – adódó eredménybefolyásoltság, amit később igyekeztek kiküszöbölni.

Szegeden a megfigyelések önkormányzati támogatásnak köszönhetően 2004-2005-ben is folytatódtak (CSEMETE 2005). 2004-ben az ATIKÖFE és az SZTE Növénytani Tanszék segítségével ózondetektorral kalibrálták a bioindikátor növényeken keletkezett károsodás mértékét, így téve értékelhetővé a város különböző pontjain elhelyezett növények ózon okozta károsodását.

A Kossuth Lajos sugárúton és a Fűvészkertben elhelyezett ózonzmérő által szolgáltatott adatsorok végig egymáshoz hasonló tendenciát mutattak, úgy, hogy a

fűvészkereti adatok rendre kb. 20-30%-kal magasabbak voltak (*Fejlesztési iroda* 2005). A 2000-ben doktori munkám keretében a város 35 pontján végzett indigós passzív mérőket alkalmazó kísérletem során e két állomás viszonyítószámaként én is hasonló, átlagban 1,2-es szorzót kaptam (*Divéky E.* 2004).

Az egyszerre nagy területet lefedő – passzívmonitoros ill. bioindikátoros megfigyelések egyik nagy lehetősége a lakosság felszínközeli ózonnal kapcsolatos tájékozottságát célzó érzékenységeinek felkeltése, szenzibilizálása. A tájékoztatás ill. tájékozottság igényét a 2000. május és július között végzett passzív mérős kísérletem folyamán észleltem, amikor terepbejárásaim idején többször szólítottak meg érdeklődők. Amikor elmondtam, hogy felszínközeli ózont mérek, érdeklődve kérdezgettek tovább. E téma hazánkban valahogy nem igazán közismert probléma, bár 5 év távlatában kicsiny, de pozitív változás figyelhető meg.

Az említett kérdezősködések hatására 2000-ben és öt évvel később egy kérdőíves felmérést végeztem Szegeden, 2000-ben 140, 2004-ben – a város ugyanazon pontjain 166 személy megkérdezésével. A válaszadók kora 18 és 80 év között volt.

Tudni szerettem volna, mi jut eszükbe az embereknek az „ózon“ szó hallatán. 2000-ben a megkérdezettek 55,7%-a, 2004-ben 59,2%-uk egyértelműen a sztratoszférikus ózonnal asszociált. Az ózonnal kapcsolatos általános dolgokra gondolt 26,4% illetve 2004-ben 34,3%, s csupán 4,9%-nak s a következő felmérésnél 8,4%-nak jutott eszébe a felszínközeli ózonnal összefüggő fogalom.

E jól látható egyoldalúság a médiák hiányos, esetenként felszínes tájékoztatáspolitikáját tükrözi vissza. Úgy tűnik fontosabb az ami messze van tőlünk, s kevésbé az amiért valójában az egyes ember is tehetne. Majd mindenki tud „a nagy lyuk“-ról és „érzi mikor süt a Nap“, de sokan nem tudják mi az amit belélegeznek, s hogy az mit okozhat.

Arra, a kérdésre hogy tudja-e mi a felszínközeli ózon, 2000-ben nemleges választ adott 72,1%, s majd ugyanúgy 2004-ben 72,3%. A többi válasz igen színes képet ad a tájékozottságról és annak ellentettjéről. A válaszok fennmaradó csupán 12,9%-a az amely helyes, vagy legalább valamelyest megközelíti a valóságot. Ezek szerint: A felszínközeli ózon egy „a földközeli legalsó rétegben levő levegőszennyezés”, mely „UV-sugárzás hatására alakul ki”. „A felszín közelében halmozódik föl”, „a talajtól 40 centiméterre”; „ott, ahol a gyerekeket tolják” illetve „2-3 méter magasan”. „Fotokémiai reakciók során keletkezik”, „kipuffogógázokból”, „NO égésével”, „villamosgépek által”, illetve „NOx bomlásából”. „Káros”, „egészségre ártalmas”, „üvegházhatású gáz”, mely „lehet veszélyes is, meg jó is”.

A felmérés összességében a vártak megfelelően az ózonnal kapcsolatos informáltság nagy fokú hiányát tükrözte. Ennek tudatában valóban nagy szükség lenne egy alapos felvilágosítómunkára, melyben egy pilléreként a bioindikátorok légszennyezésvizsgálatban való megjelenése nagyban segíthet. Hisz, ha valamiről tudunk, annak érdekében cselekedni is tudunk, bár az alúlinformáltság a problémát érintő kérdések felvetésétől is megkímél.

IRODALOM

- Arndt, U. – Erhardt, W. – Keitel, A. – Michenfelder, K. – Nobel, W. – Schlüter, C.** 1985. Standardisierte Exposition von pflanzlichen Reaktionsindikatoren Staub Reinhalt. Luft 45/10. pp. 481-483.
- Arndt, U. – Brausam-Schmidt, C. – Geiger, B. – Nobel, W.** 1992. Methodische Arbeiten zur Verwendung des Pappelklons *Populus x euramericana* var. *Gelrica* als Bioindikator für Ozonbelastungen. In: **Köhler, J. – Arndt, U.** Bioindikatoren für Umweltbelastung – Neue Aspekte und Entwicklungen. Hohenheimer Umwelttagung–Verlag Josef Margraf Universität Hohenheim. pp. 199-206.
- CEH** 2000. Centre for Ecology & Hydrology Natural Environment Research Council (<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/>).
- CSEMETE** 2005. Biomonitoring CSEMETE dolgok 2005. szept. 06. (<http://www.csemete.com/hir/?id=2&r=8>).
- Divéky E.** 2004. A felszínközeli ózon vizsgálata Szegeden. In: Városökológiai tanulmányok Szeged példáján.
- Fejlesztési iroda** 2005. Beszámoló a Levegő Biomonitoring Programról, Szám: 3119/2005. Törvényességre bemutatva: 2005. január 6.
- Franzaring, J.** 1997. Ozon: Bioindikation von Photooxidantien mit Bel W3-Tabak. UWSF–Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 9/2. pp. 69-75.
- Keitel, A.** 1982. Wirkungen von Ozon auf Wachstum, Turgeszenz und andere physiologische Grössen einiger Indikatorpflanzen. Diss. Universität Hohenheim. p. 140.
- Keitel, A.** 1989. Praxiserprobte Bioindikationsverfahren – Staub – Reinhaltung der Luft 49. pp. 29-34.
- Knabe, W. – Brandt, C. S. – van Haut, H. – Brandt, C. J.** 1973. Nachweis photochemischer Luftverunreinigungen durch biologische Indikatoren in der Bundesrepublik Deutschland. Proc. 3rd Int. Clean Air Congr. pp. 110-114.
- Kostka-Rick, R.** 2000. Biologisch überwachen und bewerten. (<http://www.biomonitoring.de>).
- Köhler, J. – Wäber, M. – Peichl, L.** 1994. Dauerbeobachtung von Schadstoffwirkungen in Bayern; Bioindikation an drei Stationen mit Hintergrundbelastungen. In: Eco-Infoma '94, Bd. 5, Wien, pp. 59-70.
- Müllder, N. – Gross, H. – Arndt, U.** 1992. Wirkungsbezogene Messung von Ozon – Ein Vergleich der Reaktion von Tabak Bel W 3 und Indigo. In: **Köhler, J. – Arndt, U.** Bioindikatoren für Umweltbelastung – Neue Aspekte und Entwicklungen. Hohenheimer Umwelttagung–Verlag Josef Margraf Universität Hohenheim. pp. 49-59.
- Schafner, P.** 1998. Bioindikation von Ozon in Ostösterreich eine Fallstudie. In: Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien. Band 11.
- Thalmair, M.** 1996. Reaktion von Streß-Proteinen auf Ozon und UV-B-Strahlung bei Tabak (*Nicotina tabacum* L. cv. Bel W3 und cv. Bel B). Dissertation Ludwig-Maximilian-Universität, München. pp. 12-13.
- TIKÖFE** 2005. http://tiktfv.zoldhatosag.hu/egyeb/tiktfv/life/hu/gyerek/news_1.0.html
- UMEG** 1997. Immissions- und Wirkungsuntersuchungen in "Grossraum Stuttgart 1996".
- VDI** 2000a. Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) – Ermittlung und Beurteilung der phytotoxischen Wirkung von Ozon und anderen Photooxidantien – Verfahren der standardisierten Tabak-Exposition. VDI 3957. Blatt 6. pp. 1-17.
- VDI** 2000b. Verein Deutsche Ingenieure: Ermittelte prozentuale Blattschädigung durch Ozon an Tabak, 3957. Blatt 6. Entwurf Düsseldorf. pp. 9-11.
- Wäber, M. – Peichl, L.** 1996. Endbericht – Pilotprojekt Wirkungsmessungen. Aktives Biomonitoring von Immissionswirkungen im Untersuchungsgebiet München 1991-1994.
- Zimmermann, R.-D. – Erhardt, W. – Fischer, I. – Wildenmann, K.** 1995. Bioindikationsmethoden - Aktive Verfahren. Die Photooxidantien-Indikation. UWSF–Z. Umweltchem. Ökotox. 7/1. pp. 47-51.