

fizikai szemle

A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította

XL. évfolyam

8. szám

1990. augusztus

A MAGYARORSZÁGI ERDŐPUSZTULÁS ÖKOLÓGIAI MEGKÖZELÍTÉSE

Jakucs Pál

KLTE Ökológiai Intézet, Debrecen

A világ erdőségeiben jelentkező új típusú faelhalások Magyarországot sem kerültk el. Az erdők pusztulása az emberi egészséges környezet drámai változásának következményeit jelentik. Minél előbb pontos diagnózist kell adni az erdőpusztulások elsődleges kiváltó okairól, hogy az ellenük való védekezésre fel lehessen készülni és a folyamatot visszafordíthatóvá lehessen tenni. Az ökológia tudománya ehhez hatékony segítséget tud nyújtani.

Magyarország a mérsékeltövi lombhullató erdők zónájában fekszik. Területének jelenleg 16 %-a erdősült, az emberi tevékenység előtti erdősültség 83 % volt. A legfontosabb domináns, őshonos fajok a kocsánytalan-, kocsányos- és csertölgy (*Quercus petraea*, *Qu. robur*, *Qu. cerris*), a gyertyán (*Carpinus betulus*), a bükk (*Fagus sylvatica*) és a kőris (*Fraxinus excelsior*). Gyakoriak az erdőkben még a hársak (*Tilia sp.*), juharok (*Acer sp.*) és égerék (*Alnus sp.*) is. Napjainkban az erdőknek kb. 43 %-a ültetett, tájidegen, nem őshonos fajokból áll (akác, erdeifenyő, fekete fenyő, kanadai nyárak). [1]

Az elmúlt évtizedekben többször lépett fel kisebb-nagyobb mértékű fapusztulás és famegbetegedés a magyarországi erdőkben is (szél- és hótörés, tűz, vadragás, helytelen erdőművelésből eredő károk). Ezek azonban korábban is ismertek voltak, nagyságrendjük az összes erdőhöz viszonyítva elenyésző volt.

Az 1978–1979-es évektől kezdődően azonban egy teljesen új típusú megbetegedés és gyors ütemű faelhalás jelentkezett a magyar erdőkben, amely a hegy- és dombvidékek klimazonális, őshonos kocsánytalan tölgy állományokat érintette. Magyarország összes fajából 16 % a kocsánytalan tölgy.

Az egész ország területén, 85 erdőrészletben több, mint 20 ezer kocsánytalan tölgy egyed megvizsgálva az 1985-ös évben már 20,5 %-ban voltak kipusztult fák. Az Északi Magyar Középhegységben (Zempléni-, Bükk-, Mátra-Börzsöny hgs.) 26,4 %-ban, a Dunántúlon (Bakony-, Mecsek-, Somogy-, Zselic hegység) 9,9 %-ban, az Alpokkal érintkező keskeny sávban 5,6 %-ban. [2] Azóta ezek az értékek folyamatosan tovább emelkedtek, a pusztulás folyamata egyes erdőrészletekben 1987-ben már elérte a 80–100 %-ot, másokban a folyamat stagnáló vagy csak enyhébben emelkedő jelleg. [3]

Az új típusú famegbetegedés Magyarországon tehát elsősorban a kocsánytalan tölgyet károsítja, de kisebb mértékben több helyen pusztulnak a kocsányos tölgyek, égerék, kőrisek és az ültetett erdeifenyők, fekete fenyők is. A betegség jelei észlelhetők a bükkön is, ezeknek elhalása azonban jelenleg még elenyésző nagyságrendű. [4]

Ökológiai kutatások

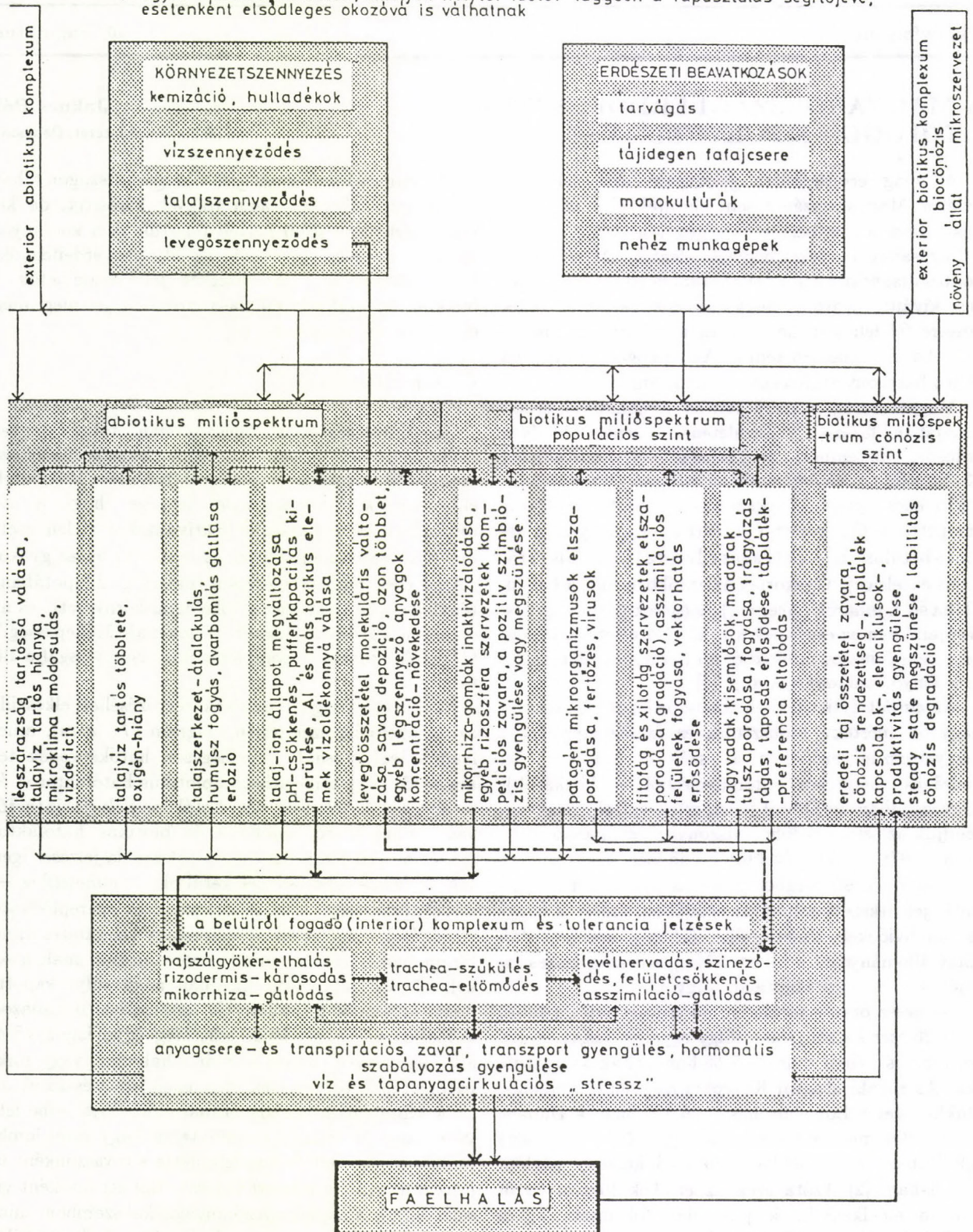
Magyarországon a kocsánytalan tölgy nagyarányú elhalási folyamata okait kutató ökológiai szemléletű komplex vizsgálatok 1981-ben kezdődtek el. Az ökológiai szemlélet lényege, hogy a populációkra és populációkollektívumokra (jelen esetben a kocsánytalan tölgyre és erdőjére) hatás gyakoroló, s ezek rendezettségében (egészségi állapotában) tényleges változást okozó "ökológiai-környezeti" és az ezeket a hatásokat fogadó "ökológiai-tűrőképességi" tényezők közvetlen komplementaritását vizsgálja ill. találja meg.

A kutató-vizsgáló munkák tervezéséhez elkészült az az ökológiai szemléletű diagram (1. ábra), amelyen a legfontosabb, lehetségesen hatóképesnek tekinthető, vagy minősíthető abiotikus hatófaktorok és az erdei fák lehetségesen hatóképesnek tekinthető, vagy minősíthető abiotikus és biotikus hatófaktorok és az erdei fák lehetséges tolerancia-jelzései igen sok variációs lehetőséggel kerültek — elméletileg — összekapcsolásra. [5] A diagramban szereplő kapcsolódások kerültek ellenőrzésre vagy vizsgálatra mind terepi felmérésekkel, mind laboratóriumi analízisekkel. A vizsgálati koncepcióban nagy súlyt kapott, hogy az egyes paraméterek analízisének ugyanazon erdőállományokban lévő, lehetőleg egymáshoz közel álló, egészséges, beteg és már elhalt fán, vagy mikrokozmetében történjenek, megfelelő ismétlésszámban.

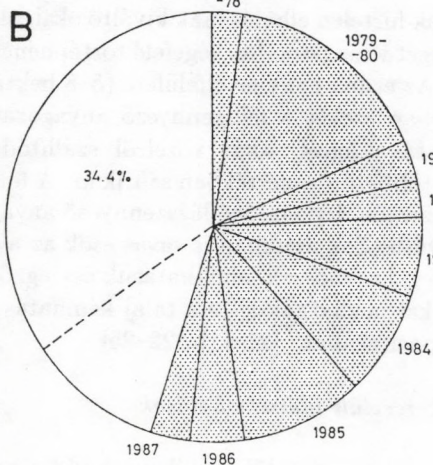
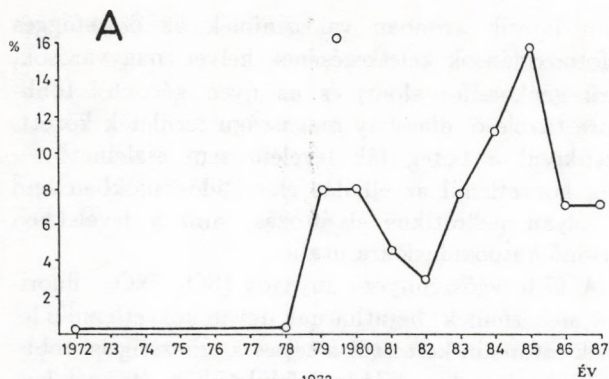
A kiindulási hipotézisnél már előre figyelembe lett véve, hogy a károsodó kocsánytalan tölgy, mint lombhullató fa, leveleit évente lehullatja s tavaszonként új fotoszintetizáló rendszert fejleszt. Emiatt másként viselkedik pl. a légszennyező anyagokkal szemben, mint a nem lombhullató fák, amelyek a levegőn keresztül a fa földfeletti részét közvetlenül érintő hatásokat több éven át akkumulálni képesek. [5]

ERDEI FÁK ELHALÁSÁNAK ÖKOLÓGIAI ÉRTELMEZHETŐSÉGE A HATÓKÉPESNEK
MINŐSÍTHETŐ MILIÓSPEKTRUM (KÁROSÍTÁS) ÉS A FOGADÓKÉPESNEK
MINŐSÍTHETŐ TOLERANCIASPEKTRUM (KÁROSODÁS)
KAPCSOLATÁBAN (Jakucs 1985)

- a jelenlegi erdei fa-elhalások döntő hatáskapcsolat-rendszere
- a légszennyezés direkt útja
- egyéb hatáskapcsolatok, amelyek helytől-időtől függően a fapusztulás segítőjévé, esetenként elsődleges okozóvá is válhatnak



1. ábra



2. ábra

Magyarországon a vizsgálatokat nagyban elősegítette az a tény, hogy a Man and Biosphere program keretében egy erdőállományban ("Sikfőkút Project") 1972 óta folyamatos komplex ökológiai kutatások történnek. Itt évenkénti ismétlésben igen sok potenciálisan hatékony tekinthető abiotikus és biotikus faktor alakulása, valamint az erdő válaszreakciója (pl. produktivitása, strukturális mutatói, egészségi állapota, stb.) folyamatos adatsorokkal kerültek rögzítésre. [6] Ennek az erdőnek a fapuszulási üteme és mértéke a 2. ábrán van bemutatva.

A környezet hatékony tekinthető faktorai

A beteg vagy elhalt fák környezetének abiotikus és biotikus komplexumait figyelembe véve, már a vizsgálatok első éveiben az alábbiak egyértelműen megállapíthatóak voltak. [4]

— Nem történt lényeges eltérés az elhalási folyamat éveiben vagy azt közvetlenül megelőző években a makroklimatikus viszonyok alakulásában. Nem voltak szélsőségesen száraz vagy aszályos évek, nem volt jelentős fagyhatás, a csapadék mennyisége és eloszlása, vagy a légnedvesség gyakorlatilag megfelelt a 100 éves meteorológiai átlagoknak (Magyarországon legutoljára 1946–1947-ben, majd 1986–1987-ben volt igen aszályos időjárás). A szárazságot több kutató elveti, mint primer okot, legfeljebb rásegítő hatásnak tekintheti. [7, 8]

— A faelhalás függetlenül jelentkezett a tengerszint feletti magasságoktól, a relief-viszonyoktól (égtáji kitettség, lejtőszög).

— A kocsánytalan tölgy fák elhalását nem befolyásolja, hogy a fa milyen növénytársulásban, vagy erdőtípusban fordul elő.

— A pusztulás egyaránt fellépett sarj- vagy mageredetű, természetes vagy ültetett (mesterséges) erdőkben.

— A fák kora (10–100 év), vagy az állományokon belül elfoglalt helyzete (kimagasló, alászorult) sem jelentett különbséget az elhalásban.

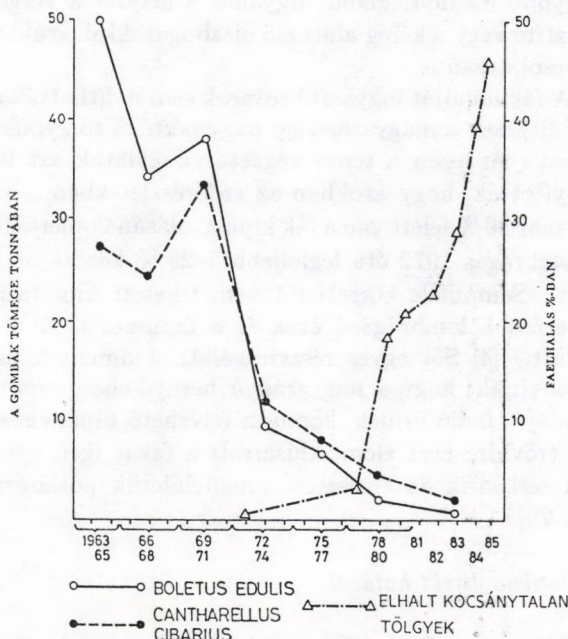
Volt azonban már az első kutatási időszakban néhány olyan empirikus megfigyelés, amely a későbbi vizsgálatokhoz jó kiinduló támpontokat adhatott [4]:

Nagyobb arányú volt a pusztulás mértéke a nem bázikus alapkőzeteken, különösen ha ezeken mély, vályogosodó, agyagos, enyhén savanyú barna erdőtalajok voltak, vagy pseudopodzolok.

A domb- és hegyvidéki nagy ipari légszennyező üzemek (veggyárak, hőerőművek, kohóművek) 15–20 km-es körzetében már az első években nagyobb volt a száradás mértéke.

Megfigyelhető volt, hogy a pusztulás kezdeti évétől fokozatosan eltűntek a magyarországi erdőkből azoknak az ehető gombáknak a termőtestjei (*Boletus*, *Cantharellus*, stb.), amelyek szimbiotikus gyökérmikorrhizás gombák (3. ábra). A gombák eltűnését más országok is jelezték. [9, 10, 40]

Az elszáradt vagy betegség látható jeleit (levélsárgulás a korányári időszakban, levélkisebbedés, levélritkulás, száradó ágak, stb.) mutató fák törzsében a vízszállító járatok járatok a fakéreg alatti sapwood-részben igen nagy százalékban viaszszerű gélanyagokkal, vagy hólyagocskákkal (thyllisek) el voltak tömődve.



3. ábra

A ható- ill. fogadóképesnek minősíthető spektrum vizsgálata

Miután a környék hatóképesnek tekinthető, igen nagyszámú tényezőjével (és kapcsolatrendszerükből) ki kellett választani azokat a fapusztulásban ténylegesen ható ökológiai környezeti és toleranciai faktorokat, amelyeknek komplemetarítása a fák tényleges elhalási folyamatának elsődleges okozói lehetnek, a kutatások egyidőben, több oldalról közelítve, munkacsoportok bevonásával indultak meg és tartanak ma is Magyarországon.

Biotikus direkt hatások

Egyes kutatók a lombos fák nagyarányú elhalását patogén mikroszervezetek vagy vírusok által okozott járványnak tekintik. Okozóként elsősorban a *Ceratocystis* nemzetségbe tartozó mikroszkópos gombákat, vagy a gyökértörzseket megtámadó *Armillaria* gombákat jelölik meg. [11–15]

A *Ceratocystis* gombáknak számos fajtát sikerült izolálni Magyarországon is elhalt vagy beteg fákról. A laboratóriumokban továbbtenyésztett gombák mesterséges visszafertőzésével azonban a természetben nem sikerült a betegség-jeleket az egészséges fákra kimutatni, sőt a kutatások során ezek a mikrogombák olyan fafajokról is előkerültek, amelyek ezidáig nem betegedtek meg. [3, 4, 16, a, b, 17, 13, 7] Bizonyítást nyert, hogy Európában a *Ceratocystis* nemzetségnek több tucat faja él [18], azonban ezek főleg a holt faanyagokon táplálkoznak, s tulajdonképpen nem patogének, hanem szaprofita, lebontó szervezetek. [3,18]

Hasonlóan nem tekinthetők elsődlegesen patogénnek az *Armillaria*-gombák sem, amelyek csak a már gyenge vitalitású, vagy elhalt fákra jelennek meg nagyobb mennyiségben. Ugyanez a helyzet a kérget pusztító vagy a kéreg alatt élő diszbogarakkal, szúkkal kapcsolatosan is.

A fák lombját fogyasztó rovarok sem indíthatták el elsődlegesen a magyarországi nagymértékű tölgypusztulást. Az ezen a téren végzett vizsgálatok azt bizonyították, hogy azokban az erdőrészekben, ahol ma már 50 % felett van a fák kipusztulásának mértéke, a lombrágás 1972 óta legfeljebb 5–28 % között mozgott. Semmiféle korrelációt nem lehetett kimutatni az erősebb lombrágású évek és a fapusztulás üteme között. [4] Sőt egyes részvizsgálati eredmények azt bizonyítják, hogy a nagyarányú hernyó-elszaporodás a talajra hulló ürülék, könnyen felvehető tápanyagjaival (rövidre zárt elemciklusai) a fákat igen gyorsan serkentik az elvesztett lombfelületük pótlására. [19, 20]

Abiotikus direkt hatások

Magyarországon a fotooxidánsok (pl. ózon) hatását nem vizsgálták a fák pusztulásával kapcsolatban.

Nem látszik azonban valószínűnek az összefüggés a fotooxidánsok keletkezésének helyei (nagyvárosok, sűrű gépkocsiforgalom) és az ilyen göcöktől többnyire távoleső, alacsony magasságú területek között. Ezenkívül a beteg fák levelein sem észlelhető — még közvetlenül az elhalás előtti időszakokban sem — olyan nekrotikus elváltozás, ami a levelekben történő autooxidációkra utalna.

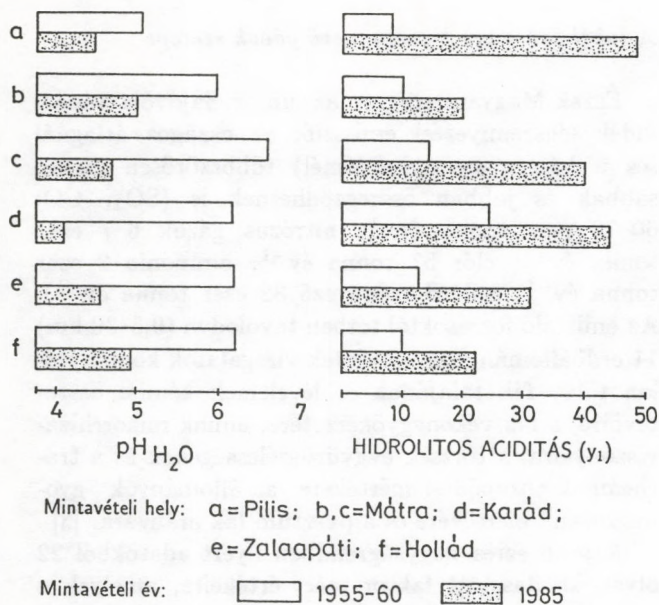
A fő levegőszennyező anyagok (SO_2 , NO_x , fluoridok, nehézfémek) bejuthatnak ugyan közvetlenül a levelek sztómáin keresztül a sejtes szerkezetig is, többnyire azonban deponálódnak felületükön. Ha ezek lennének a fák hirtelen elhalásának kiváltó okai, akkor inkább a vegetációs periódus végefelé történnének az elhalások. Az erdők nagy levélfelülete (5–8 hektár/hektár) azonban ezeket a légszennyező anyagokat (akár nagyobb távolságról, akár közelről szállítódnak az erdőkre) többszörös mértékben szűri ki. A leveleken, ágakon, törzsen deponálódó légszennyező anyagokat a többé-kevésbé önmagukban is savas esők az avarra és a talajrétegekre mossák, ahol hatásuk összegződhet és változásokat hozhatnak létre a talaj kémhatásában és puffer-kapacitásában. [21 a, b, 22–25]

Talajon keresztüli indirekt hatások

A magyarországi erdők esetében az eddigi vizsgálatok azt igazolták, hogy a faelhalás folyamatában a legerősebb okot a légszennyező anyagoknak a talaj kémiai- és talajjelölénybeli összetételét megváltoztató s ezeknek a fák gyökérzetén keresztül az egész fára gyakorolt hatásában lehet megtalálni.

Az erdei talajok fokozódó savasodását Magyarországon már azok az input-output elem-mérlegek jelezték 1972–1976 között, amelyben az erdő felé csapadékkal és száraz ülepedéssel érkező elem-mennyiségek kerültek összehasonlításra az erdők talaján keresztül az ökoszisztémából kijutó elem-mennyiségekkel. [26] A 4 éven át, havonként elemzett minták alapján a vizsgált tölgyerdő elem-mérlege Ca, Mg vonatkozásban negatív, S, Cl-nál pozitív volt 12–14 $\text{kg ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ értékekkel. Ugyancsak pozitív volt az erdő elem-mérlege a fő tápelemekben (N, P, K) és a mért nehézfémekben (Zn, Fe) is. Ugyanakkor a talaj kémhatása csökkenő tendenciájúvá vált. [4, 5] Az ország más területeinek erdőiben a 25–30 év után, közvetlenül az első talajszelvény mellett megismételt talaj-analízisek megerősítették az erdőtalajok felgyorsuló mértékű savasodásának tényét (4. ábra). Ezeknél a méréseknél közben az erdő nem változott, legfeljebb öregedett, de az ebből származható természetes savanyodás csak kis részét teheti ki a mért értékeknek. [27]

A gyorsan savanyodó (genetikai talajtípusát tekintve általában a semleges pH-hoz közelálló agyagbemosódás barna erdőtalajok) talajokban felbomlik a talaj kémiai rendezettsége, pufferkapacitása. [28] A talajoldatban megnő a felvehető alumínium mennyisége,



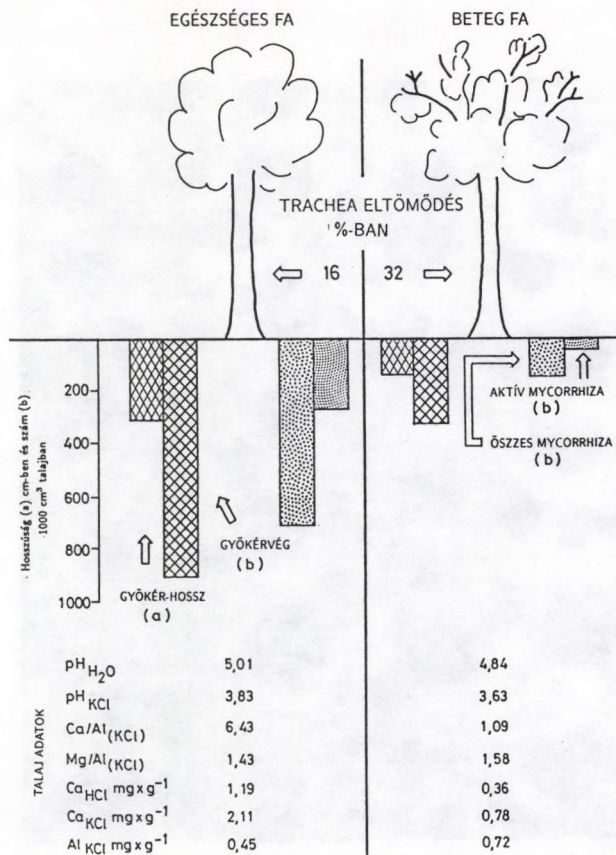
4. ábra

egyes toxikus nehézfémek vízdékony formába kerülnek. Általában megváltozik a nitrogénformák (NH₃, NO₃) egymáshoz való aránya is. [3]

A talaj állapotának gyors változását a talajban és a gyökérkörülí rhizoszférában élő mikroszervezetek populációi igen nehezen tudják tolerálni. Az elpusztuló, vagy átcserelődő mikroszervezet-populációk miatt megváltozik az erdőtalajokban a dekompozíció, mineralizáció és a humuszodás folyamatának jelege. Ezt gyorsan jelzik pl. az elszaporodó gyom-jellegű lág



1. fénykép



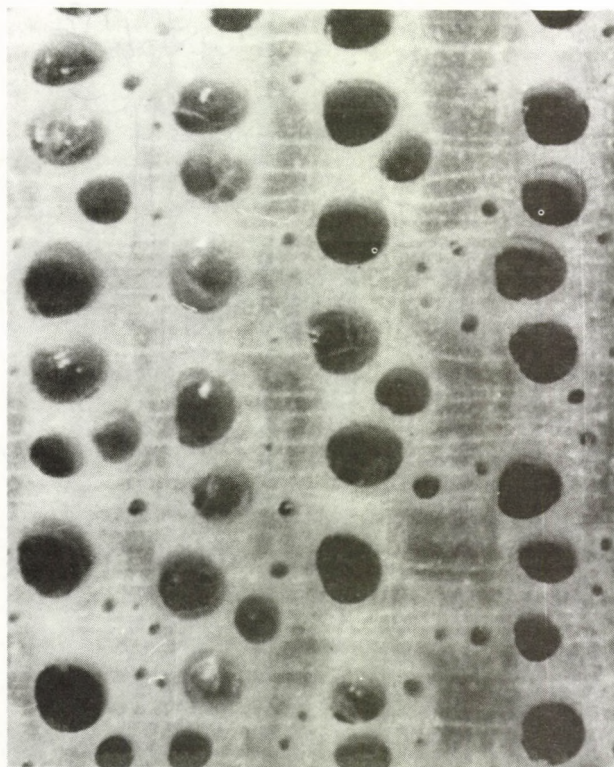
szárú növények tömeges fellépésükkel, vagy az avarbomlás ütemének lelassulása, s emiatt avarfelhalmozódási tendencia.

A kocsánytalan tölgy vékonygyökérzetével pozitív szimbiózisban élő mikorrhiza-gombák (1. fénykép) is erősen károsodnak és inaktívvá válnak (5. ábra). Pedig e gombák a fák víz- és tápanyagfelszívó gyökérzetének területét — különösen a szárazabb, meleg nyári időperiódusokban — három-négyszeresére tudják növelni. [29] A gyorsan savanyodó és felbomlott tápanyagegyensúlyi talajokban a rhizoszféra védő szerepének gyengülése miatt a hajszal- és vékonygyökérzet epidermise is károsodhat, sejtjeikbe vagy sejtközi üregeikbe nemcsak a toxikus elemek, de a talajlevegő is be tud jutni. [30, 31]

Végeredményben a légszennyező anyagok talajsavanyodást okozó hatása miatt megszakadnak és abnormalissá válnak az erdő (és a fák) anyagcseréje és energia-áramlási útjai, megváltozik az elemek felvételének a hormonális és enzimikus szabályozása (szelektív felvétel léphet fel). A kevésbé toleráns fa-egyedekben a felbomló immunális szabályozás miatt fellép az ökológiai stabilitás állapota, ez tulajdonképpen az ún. "víz- és tápanyagcseréje stressz".

A fák válaszképzése

A csökkent és károsodott gyökérzetű fa nem tudja minden időjárási helyzetben a megfelelő mennyiségű és minőségű vizet és tápelemeket felvenni. De gátlik ezen anyagoknak a fatörzsben való szállítódása is.



2. fénykép

A transpiráció által létrehozott negatív nyomás miatt ugyanis megszakadhatnak a törzsek tracheáiban a vízszlopok, légdugók keletkezhetnek bennük (embolia). A szervezet úgy védekezik, hogy a légdugókat különböző tömőanyagokkal (thyllisekkel) elzárja, eközben azonban megakadályozza a normális cirkuláció újra megindulhatóságának még a lehetőségét is.

Ez a trachea-eltömődés (2. fénykép) ugyanaz a jelenség, mint az őszi lombhullás idején a fásodási (gesztesedési) folyamat. Csakhogy, ha ez a folyamat már nyáron, vagy tavasszal bekövetkezik, amikor a levelek transpirációs és asszimilációs tevékenysége a legerősebb lenne, a hatás drasztikusan jelentkezhet. Megjelennek a "betegség-symptomák", akkor már elszaporodhatnak a biogén másodlagos károsítók is. Innen az út egyenes a gyors vagy elhúzódó elhalásig. [3, 4, 5, 32]

A fák pusztulása, majd kidőlése miatt módosul az erdő korábbi stabil rövidhullámú sugárzási mérlege, albedója, csapadékvíz intercepciója, stb. Az erdő belsőjében, a fák nélkül maradt góciókban a meleg napokon mikroklímátikusán száraz-meleg (hő-) szigetek léphetnek fel, éjszaka viszont innen erősebb a kisugárzás és lehűlés. E mozaikosság az erdő többi részének strukturális és anyagcirkuláltatási szervezetségét tovább-bontja olyannyira, hogy az már maga is elindíthat olyan folyamatokat, amelyek az egész erdő további degradálódását és értékcsökkenését idézhetik elő [5] (szárazföldi entrofizáció — lásd [41]).

A lokálisan nagy légszennyező góciók szerepe

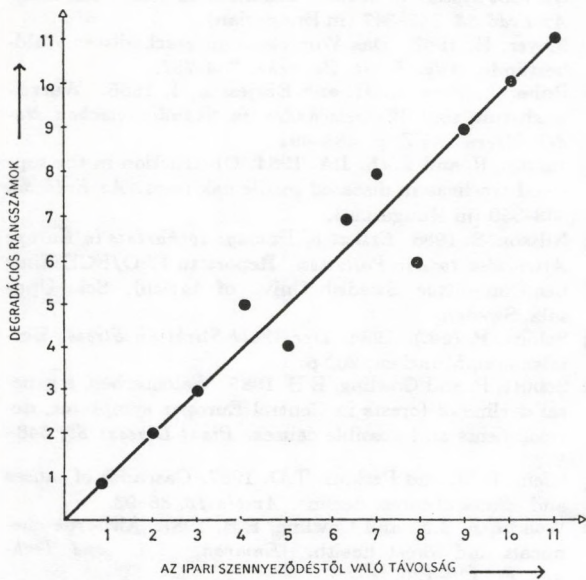
Észak-Magyarországon az un. Sajóvölgyi-iparvidék légszennyezési emissziói az országos átlagnál (és a háttér szennyeződésnél) többszörösen magasabbak és jobban összegződhetnek is (SO_2 , CO : 60–70 ezer tonna év^{-1} ; nitrozus gázok 6–7 ezer tonna év^{-1} ; klór 57 tonna év^{-1} ; ammónia 2 ezer tonna év^{-1} ; szilárd szennyező 32 ezer tonna év^{-1}). Az emittáló forrásoktól térben távolodva (0,5–30 km) 11 erdőállományban történtek vizsgálatok kocsánytalan tölgy fák talajának és leveleinek kémiai összetevőire, a fák vékonygyökérzetére, annak mikorrhizaviszonyaira, a törzsek évgyűrűségeire és a tracheáinak eltömődési mértékére, az állományok "gyomosodási" mértékére és a pusztuló fák arányára. [3]

A több ezres nagyságrendben nyert adatokból 22 olyan kiválasztott faktor mért értékeire, amelyek a pusztulás szempontjából hajlamosítónak vagy indikátornak ítélték, a 11 vizsgált helyszínre vonatkozóan rangsorszámot kaptak. Csak a legfontosabbakat kiemelve megállapítható, hogy az emissziós pontok felé közeledve a talajban csökkennek a savanyúsági értékek, valamint a Ca/Al-arány, emelkednek viszont a könnyen felvehető Al, Fe és más nehézfém-tartalmak valamint a NO_2 koncentrációja. A levelekben emelkedik az Al, Fe Mn, Pb, S koncentrációja, az N/P-arány, ugyanakkor csökken a Ca, K, Mg, P mennyisége és a Ca/Al-arány. Szintén csökken a gyökérmikorrhizák száma és aktivitásuk, keskenyednek az utóbbi évek évgyűrűségei. Az emissziós források felé közeledve növekszik a fákban eltömődött tracheák száma, a talajt borító lágyszárú növényzet "gyom"-jellege [41] és az állományokban elpusztult fák aránya.

A paraméter-számok helyezési értékeit összeadva az egyes helyek komplex degradációs sorrendjét lehetett megállapítani. Ezt korrelátatva a mintahe-lyek tényleges km-távolságaival azt az összefüggést lehetett bizonyítani, hogy az ipari légszennyeződéstől távolodóan a fák (és az erdőállomány) egészsége szempontjából együttesen értékelt paraméterek egyre kedvezőbbé válnak (6. ábra).

Összefoglalás és konklúzió

A Föld északi hemiszférájában az 1970-es évektől az egyre erősödő tendenciájú fa- és erdőpusztulás a bioszféra globális egyensúlyát fenyegeti. Gazdasági és az egészséges emberi életre történő hatása a jövőt tekintve ma még alig mérhető fel. Közép és Észak Európában az 1980-as évek közepén a fakárosodást $1440 \cdot 10^6 \text{m}^3$ -re becsülik, amely volumen évente 5–6 évi kivágásnak felel meg. Ebben az értékben nem szerepelnek a Kelet Európai országok, ahonnan csak bizonytalan információk vannak. [33]



6. ábra

A jelenség tényleges okát megismerni kívánó kutatások világszerte folynak. A közlemények tanulsága szerint a vélemények lényegében megegyeznek abban, hogy a folyamat okát a légszennyező kémiai anyagoknak az 1950-es évektől tartó exponenciálisan gyorsuló koncentráció-növekedésével lehet korrelációba hozni. Abban azonban, hogy melyik légszennyező komponens az elsődleges ok, eltérők a vélemények. Van ózon-, savas depozíció-, nehézfémek-, nitrogén-főlség-, magnéziumhiány-, radioaktivitás-, szerves szennyezők-, általános stressz-, stb. elmélet. [24, 33–39]

Az eltérő nézetek legfőbb okai az alábbiakban kereshetők:

— az egyes fafajok populációinak eltérő az ökológiai toleranciája a ható-faktorokkal szemben. Ez még ugyanazon fafaj elterjedési területén belül is ingadozhat az egyéb potenciális környezeti faktorok komplexumától függően.

— a tülevelű fák (fenyőfélék) asszimiláló részében a hatások több éven át akumulálódhatnak, a lombhullató fáknál a lomblevél évente "tisztá lappal" fogadja az azévi direkt légköri hatásokat.

— a kutatásoknál alkalmazott módszerek különböznek.

Az egy — feltételezett — hatófaktor klímakamrában történő kísérletes vizsgálattól az egész erdőt, mint ökoszisztémát tekintő ökológiai szemléletű, komplex terepvizsgálatokig igen sokféle megközelítés lehetséges.

Magyarországon a legerősebben károsodó kocsánytalan tölgy fák és környezetük ökológiai szemléletű vizsgálatával nyert eredmények az Ulrich és mások [21, 24] által képviselt álláspontokat támasztja leginkább alá. A savasodást okozó légszennyezők talajra gyakorolt hatása az erdőállományok destabilizá-

cióját idézi elő, ahol a fákban a gyökéren keresztül indul meg az "ökológiai tolerancia stressz", amely a víz- és tápanyagcirkuláció zavarát okozva idézi elő a betegség-tüneteket, majd a fák elhalását.

A folyamat ellen, csak ideiglenes és bizonytalan eredményű védekezést jelenthet a talajok pufferkapacitásának visszaállítása céljából történő trágyázás (pl. Ca, Mg-al.). Az egyetlen járható utat a nemzetközi összefogás jelentheti mindennemű légszennyező anyag kibocsátásának gyors visszaszorítására.

IRODALOM

- [1] Aselman, I. and Jakucs, P. 1988. Assessing regional productivity of temperate regions in Europe. In *Primary Production of the Biosphere*. Lieth, H. (ed.). 2nd Edn., Springer Verlag, New York (in press).
- [2] Igmándi, Z., Béky, A., Pagony, H., Szontagh, P. and Varga, F. 1986. The state of decay of sessile oak in Hungary in 1985. *Az Erdő* 35, 255–259 (in Hungarian).
- [3] Jakucs, P., Berki, I. and Holes, L. 1988. Industrielle Luft Emission und Waldschäden in N-Ungarn 1–4. *Acta Bot. Hung.* 34, (in press).
- [4] Jakucs, P. (ed.). 1983. *Examination of the Health State of Hungarian Oak Stands with Ecologically Oriented Methods*, 232 p. (in Hungarian).
- [5] Jakucs, P., Mészáros, I., Papp, B.L. and Tóth, J.A. 1986. Acidification of soil and decay of sessile oak in the "Síkfőkút Project" area (N-Hungary). *Acta Bot. Hung.* 32, 303–322.
- [6] Jakucs, P. (ed.). 1985. *Ecology of an Oak Forest in Hungary 1*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 546 p.
- [7] Marcu, G. (ed.). 1966. *Studii Cauzelor Si at Metodelor de Prevenire si Combatere a Uscarii Stejarului*. Cent. de Doc. Techn.p. Econ. Forestiera, Bucuresti, p. 1–582.
- [8] Staley, J.M. 1965. Decline and mortality of red and scarlet oaks. *Forest Sci.* 11, 2–17.
- [9] Gulden, G. and Hoiland, K. 1985. The role of ectomycorrhiza in a situation of air pollution and forest death. *Agarica* 6, 341–357.
- [10] Winterhoff, W. and Krieglsteiner, G.J. 1984. *Gefährdete Pilze in Baden-Württemberg*. Beih. 2. d. Veröffentl. f. Naturschutz u. Landschaftspflege in Bad.-Wtbg., Karlsruhe.
- [11] Scserbin-Parafenko, A.L. 1953. *Rakovüe i Szoszudisztüe Bolzni Lisztvennüh Porod*. Goszleszbizumizdat, Moszkva-Leningrad.
- [12] White, I.G. 1955. Toxin production by the oak wilt fungus *Endoconidiophora Fagacearum*. *Amer. J. Bot.* 442, 759–764.
- [13] Redfem, D.B. 1973. Growth and behaviour of *Armillaria mellea* rhizomorphs in soil. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 61, 569–581.
- [14] Rütze, M. and Liese, W. 1980. Biologie und Bedeutung der amerikanischen Eichenwelke. *Mitt. Bundesforschungsanstaltf. Forest u. Holzwirtschaft Hamburg-Reinbeck No. 128*.
- [15] Prihoda, A. 1982. *Odumiráni Dubv*. Lesnicke Práce, p. 34–36.
- [16]a. Frenzel, B. 1987. *über die Bedeutung Biologischer Erreger bei der Gegenwärtigen Walderkrankungen*.
- [16]b. Vajna, L., Eke, I. and Csete, S. 1984. Mycological-plant pathological-plant pathological examinations on the decay observed in sessile oak stands. *Az Erdő* 33, 362–366. (Hungarian).
- [17] Tóth, J.A., Berki, I. and Holes, L. 1988. *Cultivation of Quercus petraea Seedlings Infected by Ceratocystis in Solutions of Different pH and At³⁺ Concentrations*, p. 1–14 (in Hungarian).
- [18] Upadhyay, H.P. 1981. *A Monograph of Ceratocystis*. The Univ. of Georgia Press, Athens.

- [19] Szabó, L., Varga, Z. and Lakatos, Gy. 1983. Die Rolle der Laubfressenden Lepidopterenlarven im Zerreichentraubeneichen Waldökosystem. *Állattani Közl.* 70, 73–81.
- [20] Nagy, M. 1981. The effect of Lepidoptera larvae consumption on the leaf production of *Quercus petraea*. (*Matt.*) *Liebl. Acta Bot. Hung.* 27, 141–150.
- [21] a. Ulrich, B., Mayer, R. and Khanna, P.K. 1979. Deposition of Luftverunreinigungen und ihre Auswirkung in Waldökosystemen im Solling. *Schrift. Forstl. Fak. Univ. Göttingen* 58, 1–291.
- [21] b. Krahl-Urban, B., Papke, H., Schimansky, C. and Peters, K. (eds.). 1987. *Waldschäden*. 2nd Edn., KFA, Jülich, Kopp OHG, Köln.
- [22] Hutchinson, T.C. and Haras, M. (eds.). 1980. *Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems*. Plenum Press, New York.
- [23] Smith, W.H. 1981. *Air Pollution and Forests*. Springer-Verlag, New York Inc, 369 p.
- [24] Ulrich, B. and Pankrath, J. (eds.) 1983. *Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems*. Reidel Publ. Comp., Hingham, 389 p.
- [25] Einfluss von Luftverunreinigungen auf Böden, Gewässer, Flora und Fauna. 1987. *Arbeitsmaterialien des Bundesamtes für Ernährung und Forstwirtschaft*. Frankfurt/Main.
- [26] Jakucs, P., Kovács, M., Mészáros, I., Papp, B.L. and Tóth, J.A. 1981. Trends in element circulation in the forest ecosystem of the "Síkfőkút Project." In *MAB Survey of 10 Years Activity in Hungary*. Stefanovits, P. (ed.). MTA KESZ, Budapest, p. 15–48.
- [27] Stefanovits, P. 1986. Some new data on the soil acidification. *Magyar Tudomány* 31, 339–341 (in Hungarian).
- [28] Mészáros, I. 1984. Comparative chemical analysis of the soil, the root and the leaf in the decay of the sessile oak. *Az Erdő* 33, 367–369 (in Hungarian).
- [29] Papp, B.L. and Papp, M. 1984. Comparative study of the root system of healthy and diseased sessile oak trees. *Az Erdő* 33, 345–347 (in Hungarian).
- [30] Meyer, H. 1987. Das Wurzelsystem geschädigter Waldbestände. *Allg. Forst. Zeitschr.* 754–757.
- [31] Puhe, J., Persson, H. and Börjesson, I. 1986. Wurzelwachstum und Wurzelschäden in Skandinavischen Nadelwäldern. *AFZ*, p. 488–492.
- [32] Jakucs, P. and Tóth, J.A. 1984. Obstruction in the sapwood tracheae in diseased sessile oak trees. *Az Erdő* 33, 348–350 (in Hungarian).
- [33] Nilsson, S. 1986. *Extent of Damage to Forests in Europe Attributed to Air Pollution*. Report to FAO/ECE Timber Committee, Swedish Univ. of Agricul. Sci., Uppsala, Sweden.
- [34] Schütt, P. (ed.). 1984. *Der Wald Stirbt an Stress*. Bertelsmann, München, 262 p.
- [35] Schütt, P. and Cowling, E.B. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: symptoms, developments and possible causes. *Plant Disease* 69, 548–558.
- [36] Klein, R.M. and Perkins, T.D. 1987. Cascades of causes and effects of forest decline. *Ambio* 16, 86–93.
- [37] Woodman, J.N. and Cowling, E.B. 1987. Airborne chemicals and forest health. *Environ. Sci. and Technol.* 21, 120–126.
- [38] Prinz, B., Krause, G.H.M. and Stratman, H. 1982. *Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland*. LIS Berichte Nr. 28, Essen, p. 1–154.
- [39] McLaughlin, S.B. 1985. Effects of air pollution on forests. *J. Air Poll. Contr. Assoc.* 35, 512–534.
- [40] Schlechte, B. 1986. Zur Mykorrhizapilzflora in geschädigten Forstbeständen. *Z. Mykologie* 52, 225–232.
- [41] Jakucs, P. 1990: A szárazföldi eutrofizálódás erdőkben. *Természet Világa* 121, 74–76

AZ ÜVEGHÁZHATÁS ÉS A LÉGKÖRI SZÉNDIOXID

A sugárzási egyensúly

Miért olyan komfortos a Föld? Ezt a kérdést sok megfigyelő éveken át felteszi. Az alapválasz ismert minden fizikát tanuló egyetemi hallgató számára, aki már tanulta a feketetest-sugárzást. Mivel a Föld nem fekete, hanem szürke test, elnyeli a beeső napenergia 70 %-át. Ez az oka annak, hogy a Föld hőmérséklete nem zérus. Viszont a zérustól különböző hőmérséklet azt is jelenti, hogy a Föld infravörös sugárzást bocsát ki. A kialakuló sugárzási egyensúly megközelítőleg meghatározza a Föld hőmérsékletét.

A Nap felől nézve a Föld R sugarú korongnak tűnik, ahol a Föld sugara $R=6400$ km. A Nap sugárzási teljesítménye a Föld pályája mentén $I=1,4$ kW/m², így a Földre jutó teljes energia $(0,7)[1,4$ kW/m²](πR^2). Stefan törvénye szerint egy T hőmérsékletű test kisugárzási teljesítménye területegységeként σT^4 , így a gömbszerű Föld $(4\pi R^2)\sigma T^4$ teljesítménnyel sugároz. A beeső és kisugárzott teljesítményt egyenlővé téve a

$$(0,7)[1,4 \text{ kW/m}^2](\pi R^2) = (4\pi R^2)\sigma T^4$$

egyenletet kapjuk, amelyet T -re megoldva meg-

Gordon J. Aubrecht
Ohio Állami Egyetem Fizikai Intézete

határozható az egyensúlyi hőmérséklet:

$$\begin{aligned} T_0 &= [(0,7)(1,4 \text{ kW/m}^2)/4\sigma]^{1/4} = \\ &= [(0,245 \text{ kW/m}^2)/5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4]^{1/4} = \\ &= (43,2 \cdot 10^8 \text{ K}^4)^{1/4} = 255 \text{ K} = -18 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Ez egy magas hőmérséklet, de alacsonyabb a víz fagyáspontjánál, és 32 °C fokkal van a Föld mai átlagos hőmérséklete alatt. Továbbmenve, a Föld különböző részei különböző hőmérsékletűek. Lássuk ennek okát.

A globális hőmérséklet-eloszlás

A Föld felszínére érkező napsugárzás különböző a Föld egyes részein, mivel a Föld nem lapos korong, amint azt a sugárzási egyensúly tárgyalásánál feltételeztük, hanem gömbalakú. Egy végtelenül kicsiny dA felületelem Θ földrajzi szélességnél a beesési merőlegesre vonatkoztatva $dA \cdot \cos\Theta$ tényleges felületet jelent. Így a Nap sugárzásának intenzitása $\cos\Theta$ -val csökken a sarki területek felé haladva (lásd az 1. és 2. ábrát).