

Kulcsszavak: talaj mint potenciális víztározó, szélsőséges vízháztartási helyzetek, árvíz/belvízveszély, aszályérzékenység, beszivárgás, vízkapacitás, hasznosítható vízkészlet, racionális földhasználat, nedvességmegőrző agrotechnika

IRODALOM

- Birkás Márta – Gyuricza Csaba (szerk.) (2004): *Talajhasználat – Művelésbátás – Talajnedvesség*. SZIE MKK Növénytermesztési Intézet, Quality Press, Gödöllő
- Csete László – Várallyay György (szerk.) (2004): *Agroökológia (Agroökoszisztémák környezeti összefüggései és szabályozásának lehetőségei)*. (AGRO-21 Füzetek, 37.)
- Juhász István (szerk.) (2009): Magyarország talajainak állapota (a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) adatai alapján). Földművelésügyi Minisztérium Agrárkörnyezetvédelmi Főosztály. Budapest
- Láng István – Csete L. – Harnos Zs. (1983): *A magyar mezőgazdaság agroökológiai potenciálja az ezredfordulón*. Mezőgazdasági, Budapest
- Láng István – Csete L. – Jolánkai M. (szerk.) (2007): *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás*, Budapest
- Németh Tamás – Stefanovits P. – Várallyay Gy. (2005): *Országos Talajvédelmi Stratégia tudományos háttere. Tájékoztató: Talajvédelem*. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest
- Pálfai Imre (2005): *Belvizek és aszályok Magyarországon. (Hidrologiai Tanulmányok)* Közlekedési Dokum. Kft., Budapest
- Somlyódy László (2002): *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései*. MTA, Budapest
- Somlyódy László (2011): A világ vízdilemmája. *Magyar Tudomány*. 12, 1411–1424. • <http://www.matud.iif.hu/2011/12/02.htm>
- Várallyay György (1985): Magyarország talajainak vízháztartási és anyagforgalmi típusai. *Agrokémia és Talajtan*. 34, 267–298.
- Várallyay György (2003): *A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Egyetemi jegyzet*. FVM Vízgazd. Osztály, Budapest–Gödöllő.
- Várallyay György (2005): Magyarország talajainak víztározó képessége. *Agrokémia és Talajtan*. 54, 5–24.
- Várallyay György (2007): A talaj mint legnagyobb potenciális víztározó. *Hidrologiai Közöny*, 87, 5, 33–36.
- Várallyay György (2008): A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. (*KLÍMA-21 Füzetek* 52) 57–72.
- Várallyay György (2010a): A talaj, mint váztározó; talajszárazodás. (*KLÍMA-21 Füzetek* 59) 3–25.
- Várallyay György (2010b): *Talajdegradációs folyamatok és szélsőséges vízháztartási helyzetek, mint a környezeti állapot meghatározó tényezői*. (*KLÍMA-21 Füzetek* 62) 4–28.
- Várallyay György (2012): A talajnedvesség szerepe a növény vízellátásában. In: „Talaj–víz–növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben”. I. Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Nap, 2012. november 23. MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest, 17–22.
- Várallyay György – Szücs L. – Rajkai K. – Zilahy P. – Murányi A. (1980): Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100 000 méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan*. 29, 77–112.



A VÍZ SZEREPE A LÉGKÖRI FOLYAMATOKBAN

Geresdi István Horváth Ákos

az MTA doktora, egyetemi tanár,
Pécsi Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék
geresdi@gamma.ttk.pte.hu

a földrajztudomány kandidátusa, vezető főtanácsos,
Országos Meteorológiai Szolgálat

Bozó László

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár,
Országos Meteorológiai Szolgálat
Budapesti Corvinus Egyetem

A Föld légkörében átlagosan csak minden tízezeredik molekula víz, a víz mégis nagyon fontos szerepet játszik a légköri folyamatokban. A víz halmazállapot-változásai nyomán alakul ki a csapadék, és mivel légnemű halmazállapotban a vízmolekulák széles hullámhossztartományban nyelik el az infravörös sugárzást, jelentősen befolyásolják a Föld–légkör rendszer sugárzás-egyenlegét. Az időjárást és az éghajlatot meghatározó folyamatok mellett a víz fontos szerepet játszik a légkörben lejátszódó kémiai folyamatok szabályozásában, a légköri szennyező anyagok kimosódásában. Az alábbiakban áttekintjük ezeket a folyamatokat: bemutatjuk, hogy a vízgőz és a felhők milyen hatással vannak a Nap, valamint a Föld és a légkör által kibocsátott sugárzás terjedésére; ismertetjük a gyakran szél-szélsőséges időjárást eredményező csapadékképződést, és szó lesz a víznek a légköri szennyezőanyagok kimosódásában játszott szerepéről is.

Bevezetés

A vízgőz a gyorsan változó gázok közé tartozik, átlagos koncentrációja a légkörben kb.

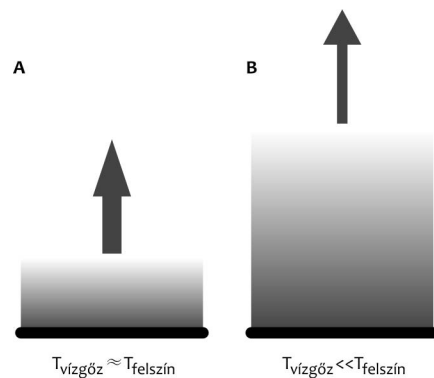
harmada–negyede a szén-dioxidénak. Azonban a csapadékképződési folyamatoknak köszönhetően közel négy nagyságrenddel gyorsabban cserélődik ki a légkör víztartalma, mint a széndioxid-tartalma. A gyors kicserélődés miatt a vízgőz nem tud egyenletesen elkeveredni a légkörben. Általában a felszín közelében a legnagyobb a vízgőz koncentrációja (átlagosan néhány gramm található 1 m³-nyi levegőben), és a magassággal gyorsan csökken az egységnyi térfogatban lévő vízgőz mennyisége (8 km magasan már csak néhány tized grammnyi vízgőzt tartalmaz 1 m³-nyi levegő). Megfigyelték, hogy esetenként 5–6 km-es magasság felett is viszonylag nagy mennyiségben található vízgőz (Chiou et al., 1997). Az átlagos értéket meghaladó vízgőz-koncentráció döntően a 10–12 km-es magasságig emelkedő zivatarfelhőknek köszönhető, amelyek jelentős mennyiségű vízgőzt emelnek fel a troposzféra felsőbb régióiba. Mivel a felemelkedő vízgőznek legfeljebb 10–15%-a hullik vissza a felszínre eső, hó vagy jégeső formájában, lokálisan megnőhet a vízgőz

koncentrációja a troposzféra felső felében-harmadában. A csapadékképződés viszonylag alacsony hatásfoka ellenére egy-egy zivatarfelhőből nagy mennyiségű, 10^8 – 10^9 liternyi víz jut a felszínre. A kihulló csapadék gyakran jár együtt szélsőséges időjárással, például jégesővel, viharos erejű széllel. A csapadék-képződéshez vezető fizikai folyamatok mellett a felhőkben kémiai folyamatok is lejátszódnak. A vízcseppek a légkörben található gázokat kémiai tulajdonságuktól függően abszorbeálják, összegyűjtik a szilárd halmazállapotú szennyező anyagokat, illetve bizonyos aeroszolrészecskék kondenzációs magvakként szolgálnak a felhőképződés során. A felhők tehát nemcsak a vízgőz, hanem a légkörben található szennyezőanyagok transzportjában is fontos szerepet játszanak.

A víz hatása a Föld–légkör rendszer sugárzásegyenlegére

A légkörben található víz halmazállapotától függően befolyásolja a Nap által kibocsátott rövidhullámú (0,2–4,0 mm), és a Föld és a légkör által kibocsátott hosszuhullámú (4,0–80 mm) elektromágneses sugárzást. Míg a vízgőz jelentősebb mértékben a hosszuhullámú sugárzás, addig a jégrészecskék és a vízcseppek inkább a rövidhullámú sugárzás terjedését befolyásolják. Mivel a vízgőz a széndioxidhoz hasonlóan széles hullámhossztartományban nyeli el a hosszuhullámú sugárzást, az üvegházhatás szempontjából első közelítésben egyformán kezelhetők. Van azonban egy fontos különbség a két gáz légköri eloszlását illetően, amely alapvetően befolyásolja az üvegházhatást. Míg a széndioxid közel egyenletesen keveredik el a troposzférában, addig a vízgőz esetében jelentős koncentrációcsökkenés figyelhető meg a felszíntől mért magasság növekedésével. Ez

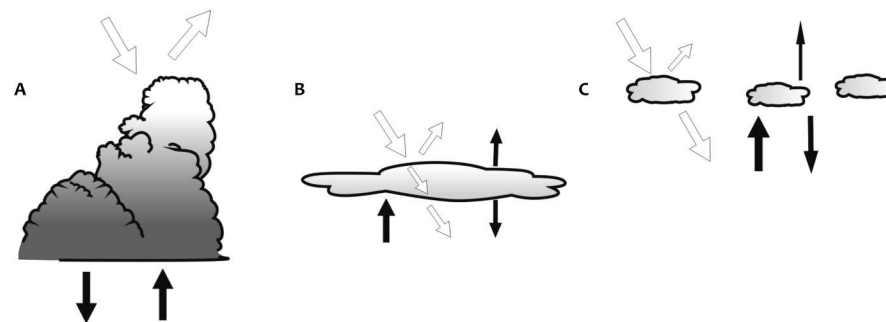
a különbség azért fontos, mert a Föld–légkör rendszerből elektromágneses sugárzás formájában távozó energia nagyságát az adott gáz hőmérséklete határozza meg. Mivel a vízgőz általában a felszín közelében fordul elő nagyobb koncentrációban, a hőmérséklete nem tér el lényegesen a felszín hőmérsékletétől (1a. ábra). Így amennyiben csak a felszín közelében magas a vízgőz koncentrációja – az esetek többségében ez a helyzet – a légkörből távozó energia nagyságát nem befolyásolja lényegesen a levegőben található vízgőz mennyisége. Az intenzív zivataroknak köszönhetően időnként jelentős mennyiségű vízgőz kerül a felső troposzféra és a sztratoszférába (Wang, 2003). Mivel a troposzféra teteje és a felszín közötti hőmérséklet-különbség akár 70 – 80 °C is lehet, a kisugárzott energia jelentősen csökken (1b. ábra).



1. ábra • A vízgőztartalom vertikális eloszlásának hatása a Föld–légkör rendszerből távozó hosszuhullámú sugárzásra. A – a troposzféra vízgőztartalma nagyrészt a felszínhez közeli egy-két kilométeres tartományban található; B – a vízgőz koncentrációja a troposzféra magasabb régióiban is jelentős. A fekete nyílak vastagsága a kisugárzott energiával arányos.

A Föld felszínének közel felére vetnek árnyékot a felhők. Az eltérő vastagságú és horizontális kiterjedésű felhők a Napból érkező sugárzásnak megközelítőleg 20%-át verik vissza a világűrbe. Mivel a felhőkben a vízgőztartalom is magas, ezért a hosszuhullámú sugárzás világűrbe való kijutását is gátolják. A 2. ábrán foglaltuk össze, hogy a különböző felhőtípusok hogyan befolyásolják a rövid- és a hosszuhullámú sugárzás terjedését. Az akár 10 km magasra is felemelkedő zivatarfelhőkben lévő vízcseppek és jégekristályok (2a. ábra) a Napból érkező sugárzás közel 100%-át visszaverik. A Föld felszíne által kibocsátott sugárzást a zivatarfelhőkben található vízgőz szinte teljes egészében elnyeli. Mivel a felhőalap hőmérséklete 50 – 60 °C-kal meghaladja a felhőtető hőmérsékletét, a felhő által kisugárzott energia döntően a felhőalapról irányul a felszín felé. A felszín közelében, valamint a 4–6 km magasan elhelyezkedő, ún. alacsony és közép magas szintű felhők vastagsága csak néhány száz méter (2b. ábra). Ezekről a felhőkről a kis vertikális kiterjedés miatt a Napból érkező sugárzásnak csak közel fele verődik vissza. A visszaverődés függ a felhőt alkotó vízcseppek koncentrációjától és

méretétől. Az 500 m-nél kisebb felhővastagság miatt a felhőalap és a felhőtető hőmérséklete között csak néhány fokok különbség van, ezért a felfelé és a lefelé irányuló hosszuhullámú sugárzás közel megegyezik egymással. A 2c. ábra a magas szintű cirrusfelhők hatását mutatja. Ezek a felhők kizárólag jégekristályokból állnak. A Napból érkező sugárzást csak kismértékben képesek befolyásolni, ugyanis a felhőt alkotó jégekristályok közötti átlagos távolság kb. 10 cm. Mivel a vízcseppek jóval nagyobb koncentrációban vannak jelen a felhőkben, a vízcseppek közötti átlagos távolság kb. 1 mm (Geresdi, 2004). A magas szintű felhők alacsony hőmérsékletük miatt hosszuhullámon csak jóval kevesebb energiát bocsátanak ki, mint közép- és alacsony szintű felhők vagy a vertikálisan nagy kiterjedésű zivatarfelhők. A rövid- és a hosszuhullámú sugárzás terjedésére gyakorolt hatások eredője alapján megállapíthatjuk, hogy a felhőzet általában csökkenti a Föld–légkör rendszer hőmérsékletét. Ez alól kivételt a cirrusfelhők jelentenek, amelyek jelenléte inkább hőmérséklet-emelkedést eredményez. Műholdas és felszíni mérések alapján a felhők nettó hatását a sugárzásegyenlegre 10 – 20 W



2. ábra • Felhők hatása a rövid- és hosszuhullámú sugárzás terjedésére. A fehér nyílak a Napból érkező rövid-, a fekete nyílak a felszín által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás terjedését mutatják. A: zivatarfelhők, B: alacsony és közép magas szintű felhők, C: cirrusfelhők hatása.

m²-re becsülik (Chen – Rossow, 2002). A bizonytalanság csökkentése azért nagyon fontos, mert annak nagysága megegyezik azzal a hatással, amely a CO₂-koncentráció megduplázódásával egyenértékű.

A víz szerepe a globális cirkulációban

A Föld légkörét átfogó globális cirkuláció mozgatója a trópusok és a pólusok közötti sugázmérleg-különbség. A trópusokon a napsugárzás rövidhullámú energia bevételének és a felmelegedett felszín hosszuhullámú kisugárzásával járó energiavesztésének a mélege pozitív. Ezzel szemben a pólusok körüli területeken a rövidhullámú besugárzás és a hosszuhullámú kisugárzás különbsége negatív. A két terület között kialakuló belső energia-különbség egy része kinetikus energiává alakul, és a kialakuló légmozgásokra ráakódik a föld forgásából származó eltérítő erő is. Végeredményben létrejön a mérsékelt öv időjárását meghatározó nyugati szelek öve, amelyen kisebb-nagyobb hullámok keletkeznek ciklonokkal és anticiklonokkal.

A globális cirkuláció folyamatában fontos szerepet kap a víz. A víz a fázisátalakulásokon keresztül egyfajta másodlagos energiahordozónak tekinthető, a melegebb területekről elpárolgó vízgőz ugyanis a hidegebb területekre sodródva és ott kicsapódva jelentős mennyiségű hőenergiát szabadít fel. A nyugati szelek övében kialakuló ciklonok erősségét alapvetően befolyásolja az, hogy bennük mekkora mennyiségű vízgőz képes kicsapódni, és ezzel együtt mennyi látens hő szabadul fel. A ciklonokban történő nedvességkicsapódás felhő- és csapadékképződéssel jár, vagyis a nagyobb csapadékot adó ciklonok általában gyorsabban fejlődnek és mélyebbek lesznek (Ahmadi et al., 2004). A ciklonokba beáramló vízgőz sokszor nagy távolságból érkezik,

nemegyszer a trópusi meleg tengerekből jut a légkörbe, és ún. nedves szállítószalagokba rendeződve áramlik fel a nyugati szelek övébe. Másrészt viszont a ciklonok áramlási rendszerében lezajló összeáramlások és feláramlások teremtik meg a vízgőz kicsapódásának feltételeit, vagyis a csapadékképződést.

A nedvesség hiánya a felhőzet csökkenésével jár, amely közvetlenül kihat a hőmérsékleti szélsőségek alakulására. A legnagyobb napmagasság idején, júniusban és júliusban Közép- és Dél-Európában úgy is ki tud alakulni rendkívül meleg időjárás, hogy nem áramlik be déli, meleg levegő, mindössze a felhőzet hiányában heteken keresztül zavartalanul sütő nap melegíti fel az alsó légkört. A másik oldalról, a nedvesség hiányában akár egy kora őszi hidegfrontot követő éjszakán a zavartalan hosszuhullámú kisugárzás miatt is fagypontra süllyedhet a hőmérséklet. Nedvesség hiányában a nyári félévben a nyugati szelek öve is jobban visszahúzóódik északra, és Európa délebbi területei fölé terjeszkedik ki a sivatagot jellemző leszálló légmozgások öve.

A vízgőznek még nagyobb szerepe van a helyi időjárás alakításában, amelynek látványos megnyilvánulásai a helyi zivatarok. A gomolyfelhőben a vízgőz intenzív kicsapódása látens hő felszabadulásával jár, ami belülről melegíti a felhőt. A környezeténél melegebb gomolyfelhőre ilyen módon felhajtóerő hat, amely így percek alatt a magasba törhet, feltéve, hogy rendelkezésére áll elegendő fűtőanyag, azaz vízgőz. A gomolyfelhőket fűtő vízgőz egy része a nedves talajból származik, és a napsugárzás hatására felmelegedett talajból párolog a légkörbe. Nedves időszakban, vízzel telített talajállapot mellett könnyebben alakulnak ki a nyár eleji helyi zivatarok, mint kiszáradt talajfelszín fölött, amikor csak a távolról idesodródott vízgőzre számíthatnak.

Az energiaátalakulásban elhasználódott „segédanyag”, a kicsapódott víz és az abból hulló eső vagy éppen annak hiánya meghatározza a mezőgazdaságot, a környezetet, végső soron az egész életünket.

A földi cirkulációt tovább bonyolítja a légkört alulról határoló földfelszín, az óceánok, szárazföldek vagy a hegységek változatos eloszlásával. A tenger és szárazföld eltérő felszíne közvetlenül hat a cirkulációt meghatározó két fő elemre, az energia-háztartásra és a nedvességforgalomra. Egész Eurázsia éghajlata és időjárása gyökeresen más lenne, ha például a Földközi-tenger jóval délebbre terjedne ki, és a száraz Szahara helyett a trópusokig lenyúló meleg tenger lenne, hiszen a mérsékelt övi ciklonok jelentős nedvességforráshoz jutnának, és a napsugárzás energiája nem a levegő melegítésére, hanem párolgásra fordítódna.

Hasonlóan meghatározó szerep jut a hegyláncoknak. A Sziklás-hegység Alaszkától Mexikóig húzódó hegyláncjai a nedvesség áramlása szempontjából szinte elvágják a nyugati áramlást. A hegyláncok által feláramlásra kényszerített légtömegek elveszítik a nedvességük jelentős részét. Az Egyesült Államok középső és keleti részén lehullott csapadéknak csak kis része származik a Csendes-óceánból, a vízgőz túlnyomó többsége a Mexikói-öböl, illetve az Atlanti-óceán trópusi vizéből kerül a légkörbe. Az Atlanti-óceán hatalmas területével meghatározó nedvességforrást jelent Eurázsia számára, azonban ez a nedvesség a hatalmas vízfületnek csak viszonylag kis területeiről képes a légkörbe jutni. A víz párolgását ugyanis alapvetően befolyásolja annak hőmérséklete, illetve a párolgó vizet befogadó levegő állapota. A legjobban akkor párolog a tenger, ha felszíne melegebb a fölötté lévő levegőnél, és a lég-

áramlások a magasba juttatják a kilépő vizgőzt. Ilyen a helyzet ősszel, az Atlanti-óceán Ráktérítő környéki vízfületei fölött. A térségben kialakuló hurrikánok éppen ezt a lehetőséget használják fel, és a meleg tengervíz-ből veszik energiájuk túlnyomó többségét. Egyéb helyzetekben viszont a meleg levegő-hőz képest hideg tengervíz fölött kialakul egy vékony, hideg légréteg, amely ugyan gyorsan telítődik vízgőzzel, de az így létrejövő hőmérsékleti inverzió miatt ez nem jut ki a szabad légkörbe. Amikor tehát nyáron a saharai leszálló légáramlás kinyúlik az óceán fölé, akkor a légkör onnan nem sok nedvességbevitelre számíthat. A nyugati szelek övében a ciklonok keltette csapadékképződési folyamatok erősen elhasználják az övben lévő vízgőzt. Az itteni hűvösebb tengerfelszínről kevesebb nedvesség jut a légkörbe, az is elsősorban kisebb térségekből, például a Golf-áramlás által érintett területekről. Az említettek alapján az észak-atlanti térségben a víz-mérleg negatív (Czelnai, 1999). A szükséges vízgőz pótlás a távolabbi trópusokról a nyugati szelek övébe jutó nedvességáramok közreműködésével érkezik.

A globális cirkuláció tehát alapvetően befolyásolja a vízgőz és a víz körforgalmát. A kontinenseket sújtó szárazságok, illetve az árvizeket okozó esőzések feltételei legtöbbször nem a helyi hatásokon, hanem a földi cirkuláció körülményein múlnak.

Légköri nyomanyagok nedves ülepedése

A légkörben különböző halmazállapotokban található víz a fizikai folyamatok mellett a légkör kémiai összetételét is szabályozza, és hatással van a felszíni ökoszisztémák állapotára. A nedves ülepedés a csapadékvízben a felszín vízszintes felületegységére időegység alatt érkező anyag mennyiségét jelenti. A lég-

köri aeroszolrészecskék egy része kondenzációs magyakként már a felhő keletkezésének pillanatában a felhővízbe jut. A felhőképződés során a felhős levegőben maradt kisebb részecskék Brown-féle mozgásuk miatt ütközhetnek a már kialakult felhőcseppekbe. A felhővíz elnyeli a különböző nyomgázokat, amelyek a folyadékfázisban lépnek kémiai reakcióba. Levegőkémiai szempontból lényeges folyamat a vízben ionokat képző nyomgázok oldódása. Ide tartozik többek között a szén-dioxid is: a levegőben kémiai reakciókban ugyan nem vesz részt, vízben viszont jól oldódik. Ennek eredményeként a légköri felhő, köd és csapadék egyensúlyi pH-értéke nem 7, hanem hőmérsékletfüggően 5,6–5,7 körül van, tehát savas irányba eltolódik.

A felhő párolgása során a korábban elnyelt anyagok visszakerülnek a levegőbe. Ha viszont csapadék képződik, akkor a vízben lévő anyagok a nagy esési sebességű csapadékelemekkel elhagyják a felhőt. A csapadékelemek függőleges mozgásuk során a felhő alatt további gázokat abszorbeálnak, illetve az esési sebesség különbsége miatt ütközhetnek is a nagyobb méretű aeroszolrészecskékkel.

A fentiekben leírtak miatt a csapadék hullásnak jelentős légköri tisztító hatása van. A felszínre hulló csapadék víz különböző anyagokat juttat az egyes környezeti szférákba. A

légszennyeződés tehát a nedves ülepedésen keresztül kihat a talajra, a vízre, a jégtakaróra és természetesen a bioszférára is. A csapadék-víz a különböző ökoszisztémáknak könnyen felvehető oldott tápanyagokat szolgáltat. Ha azonban a légkör szennyezettsége meghalad egy bizonyos szintet, a csapadékvízzel kiülepedő anyagok a bioszférában komoly, akár visszafordíthatatlan károkat is okozhatnak (például savas esők, toxikus nehézfémek vagy nehezen lebomló szerves vegyületek ülepedése). A csapadékvíz kémiai összetételének meghatározása, időbeli változásainak folyamatos nyomon követése ezért a levegőkörnyezeti megfigyelő hálózatok programjának fontos részét jelenti. Ha ismerjük egy adott anyag koncentrációját (C_i) a csapadékvízben, akkor ezt a mintavételi idő alatt területegységre lehullott csapadékmennyiséggel összeszorozva a nedves ülepedéshez (D_w) jutunk. Az 1. táblázat az egyik hazai regionális háttérszennyezettség-mérő állomáson gyűjtött csapadékminták kémiai összetételét, illetve a nedves ülepedés mértékét mutatja.

Légszennyezés határok nélkül

Az emberiség a múlt század 60-as éveinek vége felé szembesült azzal a ténnyel, hogy bizonyos légszennyező anyagok nemcsak forrásaik közelében, hanem jelentős távolság-

	κ	pH	NH ₄ -N	Na	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃ -N	SO ₄ -S	P
C_i	19	5,8	0,44	1,42	0,21	0,13	0,62	0,95	0,43	0,75	457
D_w	–	–	202	649	96	59	283	434	197	343	–

1. táblázat • A csapadékvíz kémiai összetétele (C_i : mg/l) és a nedves ülepedés (D_w : mg/m²/év) értékei Magyarországon, a Kecskeméti közelében található k-pusztai regionális háttérszennyezettség-mérő állomáson 2011-ben. A táblázatban κ a fajlagos elektromos vezetőképességet (μS/cm) jelöli, P pedig az állomás területén lehullott éves csapadékmennyiség mm-ben (= l/m²). A szulfát-, nitrát- és ammóniumionok koncentrációját, illetve ülepedésének mértékét kén-, illetve nitrogén-egyenértékben tüntettük fel.

ban, a kibocsátó ország határain túl is káros környezeti hatást fejthetnek ki. Olyan területek ökoszisztémái is károsodhatnak a légköri szennyezőanyag ülepedése eredményeként, amelyek távol esnek a közvetlen ipari, energetikai, közlekedési, mezőgazdasági vagy egyéb kibocsátó forrásoktól. A szennyezés hatástávolságát az adott nyomonanyag légköri tartózkodási ideje határozza meg. A kén- és nitrogénvegyületek esetében ez átlagosan

néhány nap hosszúságú, ami azt jelenti, hogy ezek az anyagok a felszíni kibocsátó forrásoktól több száz kilométeres távolságra is eljuthatnak, mielőtt kihullanak a légkörből. Ebben a felhő- és csapadékképződési folyamatok mellett természetesen a légköri konvekciónak és advekciónak is meghatározó szerepe van.

Kulcsszavak: felhőképződés, sugárzásegyenleg, globális cirkuláció, ciklonok, nedves ülepedés

IRODALOM

- Ahmadi-Givi, Farhang – Craig, C. – Plant R. S. (2004): The Dynamics of a Mid-latitude Cyclone with Very Strong Latent Heat Release. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 130, 295–323. DOI: 10.1256/qj.02.226
- Chen, Ting – Rossow, William B. (2002): Determination of Top-of-atmosphere Longwave Radiative Fluxes. A Comparison between Two Approaches Using ScaRaB Data. *Journal of Geophysical Research*. 107, D8, DOI:10.1029/2001JD000914 • ftp://ftp.cira.colostate.edu/ftp/Raschke/Book/Kidder/BOOK-CSU/Chapter%2010%20-%20Radiation-Budget/ScaRaB-Lit/Chen-JGR02-ScaRaB.pdf

- Czelnai Rudolf (1999): *Világóceán*. Vince, Budapest
- Chiou, Er-Woon – McCormick, M. P. – Chu, W. P. (1997): Global Water Vapor Distributions in the Stratosphere and Upper Troposphere Derived from 5.5 Years of SAGE II Observations (1986–1991). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 102, D15, 19105–19118. DOI: 10.1029/97JD01371
- Geresdi István (2004): *Felhőfizika*. Dialóg Campus, Budapest
- Wang, Pao K. (2003): Moisture Plumes above Thunderstorm Anvils and Their Contributions to Cross-tropopause Transport of Water Vapor in Midlatitudes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 108, D6, DOI: 10.1029/2002JD002581

