

METEOROLÓGIA A XX. SZÁZAD MÁSODIK FELÉBEN: A SZAKOSODÁS IDŐSZAKA

Bozó László

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár,
Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapesti Corvinus Egyetem
bozo.l@met.hu

„Az időjárás előrejelezhetőségének tanulmányozása így elvezetett abhoz a felismeréshez, hogy a determinisztikus rendszerek tanúsíthatnak véletlenszerű viselkedést is.”

(Götz Gusztáv, 2001)

„Filozófiai értelemben valamennyi, az emberi tevékenység következtében a légkörbe kerülő anyag veszélyt jelent, hiszen megzavarják bizonyos természetes folyamatokat.”

(Mészáros Ernő, 1993)

A légkörtudomány hazai történetét Mészáros Ernő dolgozta fel a kiemelkedő magyar természettudósok meteorológiai tárgyú tudományos könyveinek tükrében. A történet Berde Áron *Légtümeménytan* című könyvének bemutatásával kezdődött (Mészáros, 2013), majd a XIX. század második felében született munkák ismertetésével folytatódott (Mészáros, 2014a). A tanulmányosorozat harmadik része (Mészáros, 2014b) a XX. század első felét öleli fel, és 1952-ben fejeződött be Száva-Kováts József *Általános légkörtan* című könyvének bemutatásával.

A múlt század ötvenes éveinek első fele jelentős változásokat hozott a magyarországi egyetemi meteorológusképzésben, illetve eh-

hez szorosan kapcsolódóan a tudományág hazai fejlődésében. 1950-ben vették fel az első meteorológus-hallgatókat, akik a kilencféléves képzés után, 1954-ben kaptak diplomát. 1954 és 1957 között összesen 114 diplomás végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán (ELTE TTK). Közülük kerültek ki az Országos Meteorológiai Intézet, majd 1970-től az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), illetve az ELTE TTK Meteorológiai Tanszék tudományos és oktatói tevékenységét a század második felében meghatározó személyiségei. Ők azok, akik megszerzett tudásukat, tapasztalataikat könyvek formájában megörökítve elősegítették, hogy az következő generációk széles körű, korszerű és rendszerezett ismereteket szerezhessenek légkörtudományi tanulmányaik során. Nekik köszönhetjük azt is, hogy a magyarországi meteorológiai kutatások és szolgáltatások színvonala és eredményessége a 70-es évek első felére nemzetközi összehasonlításban is elismerésre méltó helyzetbe kerülhetett, sőt a levegőkémiai kutatásokban Magyarország a világ élvonalába törjön, továbbá a légkörfizika és az elméleti meteorológia területén is kiemelkedő eredményeket érjen el.

Dolgozatunkban áttekintjük a legfontosabb meteorológiai szakirányok – dinamikus meteorológia, szinoptikus- és műhold-meteorológia, levegőkémia és légkörfizika, levegőkörnyezet – fejlődését a magyar meteorológusok itthon és külföldön kiadott tudományos könyveinek tükrében. Tárgyalunk továbbá néhány általános témájú, a légkörtudomány szempontjából meghatározó jelentőségű munkát is. A korábbi időszakokkal összehasonlítva a meteorológiai szakirodalom örvendetesen gazdaggá és színessé vált: váltogatásunk az általunk legfontosabbnak tekintett, jelenleg is egyszerűen hozzáférhető tudományos szakkönyveket öleli fel. Terjedelmi és tematikai korlátok miatt nem foglalkozunk a leíró éghajlattannal, a mikro- és agrometeorológiával, és a szűkebb részterületeket vizsgáló, szakmailag egyébként értékes és izgalmas kiadványokkal (például az Országos Meteorológiai Szolgálat kiadványai, egyetemi kiadványok, disszertációk). Ezek felfedezését és megismerését a téma iránt mélyebben érdeklődő olvasóinkra bízuk.

Dinamikus (elméleti) meteorológia

Ebben a témában az első részletes, egyetemi tankönyvnek is szánt munka 1970-ben jelent meg (Dési – Rákóczi, 1970). Tartalmi felosztása az elméleti meteorológiai művek hagyományos rendszerét követi. A statikában a nyugalmi helyzetűnek feltételezett légkör egyensúlyának fizikai feltételeit mutatja be, a kinematikai részben a légköri mozgások mértani leírását adja meg, míg a dinamikai fejezetekben a légköri folyamatok komplex elemzésére kerül sor. Nemzetközi szinten a meteorológusok körében már a század első felében megvolt a törekvés arra vonatkozóan, hogy az időjárást befolyásoló légköri fizikai folyamatokat a dinamikus meteorológia esz-

közeivel, vagyis elméleti úton, számszerű megközelítéssel, matematikai egyenletek segítségével jellemezzék. Ez a törekvés azonban a magyar szakirodalomban főleg a XX. század közepe után vált általánossá. Így, elsősorban Dési Frigyesnek köszönhetően, hazánkban is egyre nagyobb teret kapott a dinamikus meteorológia, amelynek célja, hogy leírja a légköri mozgásrendszereket, vizsgálja a légkörben lejátszódó energiaátalakulásokat és sugárzási folyamatokat, a kutatások eredményeivel pedig segítse a különböző tér- és időskálájú meteorológiai előrejelzések pontosságának folyamatos javulását.

A légkör magasabb rétegeiről szerzett egyre bővülő ismereteink az 50-es években sokat lendítettek a dinamikus meteorológia tudományán. Ezt a folyamatot többek között az elektronikus számítógépek megjelenése is segítette. Ekkor már nemcsak a légköri folyamatok matematikai leírása volt a középpontban, hanem ennek segítségével az egyes meteorológiai változók számszerű előrejelzése is. Ez a fejlődési irány tükröződik többek között a könyv tartalmában és szerkezetében. A korábbi munkákkal összehasonlítva (például Száva-Kováts József: *Általános légkör-tan*) megállapítható, hogy a felsorolt részek egymáshoz viszonyított arányai megváltoztak: a statika és a kinematika rovására bővült a dinamika. Ennek további magyarázata, hogy a tudomány fejlődésével lehetőség nyílt arra is, hogy a korábban kényszerűen egyszerűsítő módon levezetett statikai és kinematikai összefüggéseket most már a légkördinamika keretein belül értelmezzék. Az újszerű matematikai és fizikai módszereket egyebek között a dinamikában is sikeresen alkalmazták. Ezen kívül korábban ismeretlen szakterületeket is tárgyal a könyv. Ezek közé tartoznak a *Mesterséges holdak a meteorológia szolgálatában*,

illetve *A felső légkör kutatása rakétával* című fejezetek. Az első szputnyik 1957-ben történt felbocsátásával, majd az űrtechnológia gyors és látványos fejlődésével addig elképzelhetetlen távlatok nyíltak a meteorológiai megfigyelések és mérések, valamint az adatszolgáltatás területén is. A korábban megszokottakhoz képest részletesebb leírást találhatunk a számszerű előrejelzés (numerikus prognosztika) modelljeinek és módszereinek témakörében is: a szerzők még csak joggal remélték, hogy „ezeknek elektronikus számítógépeket igénylő, gyakorlati bevezetésére – egy-két év múlva – hazánkban is sor kerülhet.” Ki kell még emelnünk a könyv utolsó *A légkör általános cirkulációja* című fejezetét, mert számos, közvetlenül a könyv megírását megelőző időszak megfigyeléseire, kutatásaira alapozott levezetést, következtetést mutat be (például Richard Scherhag munkája). A könyv szerzői külön fejezetet szenteltek a termodinamikának és a légköri sugárzási folyamatoknak is. A légkörtudományi szakirodalomban legtöbbit idézett nyugat-európai, amerikai és szovjet szakemberek munkái mellett a könyv több fejezetében is találkozhatunk kortárs magyar meteorológusok – Ambrózy Pál, Bodolai István, Szepesi Dezső, Tünczer Tibor és Tóth Pál – tanulmányaira történő hivatkozásokkal.

1978-ban, közel negyedszázados kihagyás után az ELTE Természettudományi Karán újból megindult a főszakos meteorológusok képzése. Ez a tény, továbbá a dinamikus meteorológia tudományágában bekövetkezett gyors fejlődés szükségessé tette a korszerű ismeretek tankönyvi megjelenítését is. Götz Gusztáv és Rákóczi Ferenc munkájaként 1981-ben látott napvilágot *A dinamikus meteorológia alapjai* című könyv (Götz – Rákóczi, 1981). A szerzők megállapításai szerint az

egy évtizeddel korábban megjelent, légkördinamikával foglalkozó szakkönyv (Dési – Rákóczi, 1970) bizonyos fejezetei – numerikus előrejelzés, a felső légkör rakétás kutatása, műhold-meteorológia – részben elavultak, illetve gyorsan fejlődő önálló tudományágakká váltak. A könyv célkitűzése az volt, hogy a dinamikus meteorológia hagyományos felépítési formáját követve ismertesse az alapvető meteorológiai folyamatok fizikai modelljeit, és felvázolja ezeknek az alaptudományok szintjén rendelkezésre álló matematikai-fizikai eszközrendszerét. Részben a legfrissebb, a 60-as és a 70-es években publikált tudományos eredmények alapján a légköri hullámmozgások – légköri hanghullámok, belső gravitációs hullámok, Rossby-hullámok, kevert hullámzások – leírásának is külön fejezetet szenteltek, amelyet a könyvben Práger Tamás jegyez. A könyv nem tartalmaz a légköri sugárzástannal kapcsolatos fejezetet: a szerzők ezt már nem tekintik a légkör dinamikájához közvetlenül besorolható szaktudománynak. Götz és Rákóczi nem tárgyalja a szinoptikus skálájú folyamatok numerikus prognosztikai módszereit sem, viszont részletesen bemutatják ezen módszerek elméleti alapjait. Terjedelmi korlátok miatt a trópusi mozgásrendszerek leírását vagy az általános cirkulációs modellekkel végzett laboratóriumi és numerikus kísérleteket is elhagyták. A könyv a címéhez hűen valóban a dinamikus meteorológia alapjait tartalmazza.

2001-ben jelent meg Götz Gusztáv *Káosz és prognosztika* című terjedelmes, a problémakört igen részletesen bemutató könyve (Götz, 2001), amely a *Szemelvények a dinamikai rendszerek elméletének és légkördinamikai alkalmazásainak témaköréből* alcímet viseli. Ez a mű a tekintett időszak egyik legkiemelkedőbb alkotása. A légkördinamikai folyama-

tokkal foglalkozó meteorológusok figyelme a 70-es évektől kezdődően fordult a káoszelmélet tanulmányozása felé. A szó hétköznapi jelentésével ellentétben a kaotikus rendszerek nem teljes rendezetlenséget mutatnak, hanem determinisztikus véletlenszerűséggel jellemezhetők. A véletlenszerűség a folyamat aperiodikus és nem előrejelezhető jellegére utal. Az elméleti meteorológusok vizsgálataikhoz alacsony rendű modelleket alkalmaztak, de természetesen ügyeltek arra, hogy a légköri energiaátalakulások lényeges elemeit, valamint az impulzus és a hő átvitelének meghatározó folyamatait az alkalmazott közönséges differenciálegyenletek megbízhatóan szimulálják. A könyv I. részének 1. fejezete a numerikus prognosztika mai formájához vezető út kezdeti szakaszainak bemutatását tartalmazza. A szerző szerint túlzás lenne mindezt a „tudományág történetének” nevezni, „mert sok vonatkozásban hézagos: elsődleges célját végül is a káosz felfedezésébe torkolló főbb mozzanatok felidézése alkotja. Érdeemes és érdekes ezt az utat gondolatban bejárunk, mert végállomása, a determinisztikus káosz létezésének felismerése [...] akár paradigmaváltásként, korunk fizikai világgképének a megváltozásaként is felfogható.” A 2. fejezetben a kaotikus viselkedés természetrajzát ismerhetjük meg olvasmányos formában. A 3. fejezet ismét inkább történeti jellegű: feleleveníti azokat a legfontosabb epizódokat, amikor a kutatók vizsgálataik során szembesültek a légköri rendszerek egy addig ismeretlen viselkedési típusával. A kötet II. része öt fejezetre tagolódik, lényegében magáról a dinamikai rendszerekben fellépő káoszról, más szóval a nemlineáris dinamika leírásáról szól. A könyv III. része a káoszelmélet meteorológiai alkalmazási lehetőségeit és az azokból levonható következtetéseket tekinti át. Külön

említést érdemel a 12. fejezet, amely az ún. *ensemble* (együttes) előrejelzések elméleti alapjait és gyakorlati alkalmazási lehetőségeit tárgyalja. Az előrejelzés során megoldandó nemlineáris egyenletrendszer nagy érzékenységet mutat a kezdeti feltételekre, vagyis kismértékű kezdeti bizonytalanságok is nagy eltéréseket eredményezhetnek a prognosztizált mezőkben. A kezdeti feltételek mindig tartalmaznak valamekkora hibát (például mérések hiánya, mérések pontatlansága), ezért az előrejelzés megbízhatóságának növelésére az ensemble előrejelzések sorozatát alkalmazzák. Az ensemble előrejelzés lényege, hogy kismértékben változó kezdeti feltételekkel több előrejelzést készítenek, az előrejelzések együtteséből aztán lehetségessé válik a valószínűségi megközelítés, következtetni lehet az előrejelzés bizonytalanságára. A mai meteorológiai előrejelzési szolgáltatások nélkülözhetetlen, és egyre szélesebb körben alkalmazott eszközrendszeréről van szó: az ensemble prognosztika közvetlenül a hibahatáron belüli lehetséges kezdeti állapotok valamilyen módszerrel kijelölt, alkalmasan megválasztott számosságú együttesének tagjait követi figyelemmel. A szerző ugyanebben a fejezetben az adaptív megfigyelésekkel kapcsolatos elméleti ismereteket is tárgyalja. Egy markáns légköri képződmény – például egy mérsékelt övi ciklon – rövid távú előrejelzése jelentősen javítható olyan járulékos, célzott légköri mérések végrehajtásával, amelyek abban a vezetőáramlással ellentétes irányba eső céltartományban történnek, ahol a képződmény fejlődésének prognózisa a legérzékenyebbnek tekinthető az alkalmazott prognosztikai modell kezdőfeltételeinek hibáitól. Az adaptív megfigyelések az ensemble prognosztika tökéletesítésének egyik ígéretes, bár kétségtelenül költségigényes módszerét jelentik.

Szinoptikus, repülés- és műhold-meteorológia

Meghatározó társadalmi elvárás a meteorológiai szolgálatok tevékenységével kapcsolatosan az időjárási elemekben várhatóan bekövetkező változások minél pontosabb előrejelzése, közvetetten tehát az élet- és vagyonevédelmi szolgáltatások biztosítása a lakosság és a speciális felhasználók (például vízügy, honvédelem, polgári repülés, energiaszolgáltatás) számára. A sikeres operatív tevékenység alapja az ehhez kapcsolódó sokoldalú elméleti-tudományos háttér, illetve a megfelelő technikai infrastruktúra a mérések és a megfigyelések, illetve az adatfeldolgozás és az adatcsere területén. A dinamikus meteorológia, a numerikus prognosztika, a légkörfizika vagy éppen a meteorológiai statisztika tudományterületén folyó alap- és alkalmazott kutatások egyik legfontosabb célkitűzése a légköri folyamatok mind precízebb megértésén keresztül végső soron az előrejelzési módszerek folyamatos fejlesztése, a prognózisok bevalásának javítása.

A szinoptika szűkebb területén belül két könyvet mutatunk be. Bodolai István és Bodolainé Jakus Emma 1981-ben megjelent *Mezoszinoptika* című könyve a szinoptikus meteorológia leghatározottabban érzékelhető légköri jelenségeinek (viharok, zivatarok, csapadék) kialakító rendszereit és folyamatait foglalja össze. A mezoszínoptika a nagyjából 10–100 km-es térbeli és órási időbeli skálán lejátszódó jelenségek (instabilitási vonalak, tornádók, szervezett konvektív rendszerek) tanulmányozásával, fejlődésük nyomon követésével, előrejelzésével foglalkozik. A könyv részletesen tárgyalja a mezoszínoptikus analízis módszertanát, ismerteti a legfontosabb mezoszínoptikai rendszereket, beleértve a csapadéktevékenység mezométerű rendszereit is. Utolsó fejezetében a mezoszínoptikus

skálán történő előrejelzéssel foglalkozik, bemutatva a hidrodinamikai közelítés alapjait, valamint a szinoptikus eljárásokat.

A légkör mindenkori állapota erőteljesen befolyásolja többek között a katonai és polgári repülőgépek alkalmazhatóságát, repülési útvonalaik tervezését. Nem véletlen, hogy a meteorológiai szolgálatok a repülés kiszolgálásával kapcsolatos tevékenységüket megkülönböztetett figyelemmel kezelik, elősegítve annak biztonságos működését. Bár nem csak az időjárás előrejelzésével foglalkozik Hille Alfréd *Repülési meteorológia* (Hille, 1955) című kötete, a prognosztika hangsúlyozott repülés-meteorológiai fontossága miatt mégis ebben a fejezetben teszünk róla említést. „A repülési meteorológia cím kifejezője annak a szoros kapcsolatnak, amely az aviatika és meteorológia között fennáll. A repülés a légi környezetben megy végbe, létezésének feltétele a légkör, repüléstudomány és légkör tan elválaszthatatlanok egymástól”, írja bevezetőjében Hille. A könyv a légkört és a légkörtant bemutató általános fejezetekkel kezdődik: ezekben természetesen rendszeres utalásokkal találkozhatunk a légkörtani elemek és a repülés kapcsolatára vonatkozóan. A negyedik, *Az időjárásirányító légköri képződmények és kihatásuk a repülésre* című fejezet, amelyben a frontok, a ciklonok, az anticiklonok és a kisebb méretű forgóörvények keletkezési feltételeiről és repülési hatásairól olvashatunk. A további fejezetekben a „különleges repülési kapcsolattal légköri fejlemények”, úgymint a köd, a jegesedés és a zivatar leírását, az „időelőjelzés” módszertanát, valamint a „repülő időjelző szolgálat” előírásait találjuk meg. Hille Alfréd kötetét gazdagon illusztrálta táblázatokkal, ábrákkal, illetve felhőképekkel.

Tánczer Tibor 1988-as kiadású *Műholdmeteorológia* című könyve a meteorológia egyik

legfiatalabb és egyúttal jelentős további fejlődés előtt álló szakágával foglalkozik. A könyv egy-egy fejezetének megírásában László István és Kapovitsné Róth Renáta működött közre. A TIROS-1 műhold 1960. április 1-én történt felbocsátásával kezdetét vette a műholdas technika meteorológiai célú alkalmazása. A műholdak hamarosan olyan eszköznek bizonyultak, amellyel részben megoldhatók a földfelszíni megfigyelőrendszerek hiányosságából adódó problémák: nélkülük Földünk déli féltékéről, a tengerrel borított és a sarkvidéki területekről csak igen korlátozott mértékben tudunk meteorológiai információhoz jutni. Megfelelő sűrűségű meteorológiai adatok hiányában nemhogy pontosan előrejelezni, de még diagnosztizálni is lehetetlen a légköri folyamatokat. Fontos időjárás rendszerek, mint például a mérsékelt övi és a trópusi ciklonok kialakulásának területei éppen a felszíni megfigyelések szempontjából adat-szegény területekre esnek. A meteorológiai műholdfelvételek vétele 1967-ben kezdődött meg az OMSZ-nál. Ezek alkalmazása az előrejelzési tevékenységben töretlenül fejlődik. A könyv az első két fejezetben a műholdak mozgását és ezek technikai jellemzőit ismerteti. A következő fejezet a műholdképek vizuális kiértékelésével foglalkozik, majd az ezt követő részekben részletes leírást kapunk a földfelszín szerepéről a felhőzet mezoméretű rendeződésében, a nagyméretű időjárás képződmények felhőrendszereiről, valamint a műholdfelvételek alapján végzett csapadékbecslés lehetőségeiről. Külön fejezet foglalkozik a műholdfelvételek digitális feldolgozásával és a műholdadatok értékelésének geometriai vonatkozásaival. Végül a könyv utolsó fejezete az addig felbocsátott és üzemelő amerikai és szovjet műholdsorozatok tagjait ismerteti, részletes ábrákkal illusztrálva.

Levegőkémia

A Meteorológiai Világszervezet (WMO) már a 60-as években felhívta a figyelmet arra, hogy a légkör változó kémiai összetételét és kapcsolatát a különböző tér- és időléptékű légköri folyamatokkal nyomon kell követni: 1969-ben létrehozta a BAPMON-programot (*Background Air Pollution Monitoring Network*), majd ennek folytatásaként, kibővített megfigyelési feladatokkal, 1989-ben a GAW-programot (*Global Atmosphere Watch*). Ennek keretében megkezdődött a globális és a regionális levegőtisztaság-megfigyelő állomáshálózat tervezése és telepítése. Az Országos Meteorológiai Szolgálat kutatóintézetében, a Központi Légkörfizikai Intézetben működő Levegőkémiai Osztályon végzett megfigyelések és kutatások már a 60-as évek elejétől olyan színvonalúak voltak, hogy ezekbe a nemzetközi monitoring programokba eredményesen be tudtunk kapcsolódni. Magyarország szinte a kezdetektől aktív szakmai-tudományos résztvevője az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága Európai Megfigyelési és Értékelő Programjának (ENSZ EGB EMEP) is, amely döntően az európai léptékű légköri nyomonanyag-transzportot hivatott összehangolt módon tanulmányozni.

A meteorológia egyik legfiatalabb tudományága, a levegőkémia az 50-es évek végén, a 60-as évek elején igen gyors és látványos fejlődésnek indult. A légkörkémiai kutatások kiterjednek a légköri nyomgázok, az aeroszol részecskék és a csapadékvíz kémiai összetételének meghatározására. Az évtizedek óta folyó levegő- és csapadékkémiai mérések lehetővé teszik a környezet állapotának értékelését, a hosszú idejű változékonyság nyomon követését. Meghatározhatóvá válik a felszínre üledett nyomonanyagok mennyisége, valamint

lehetőség nyílik a szennyezőanyagok forrásainak és nyelőinek azonosítására, továbbá komplex mérési és modellezési programokon keresztül a légkör és felszín közötti anyagcserre-forgalom is tanulmányozható. Mészáros Ernő akadémikus vezetésével a Központi Légkörfizikai Intézetben (KLFI) folyó hazai kutatások a korszakra jellemző, gyakran szinte megoldhatatlannak tűnő technikai, pénzügyi és egyéb nehézségek ellenére számos területen – elsősorban az aeroszolkutatásban – a világ élvonalába tartoztak, a kutatási eredményeket a legszínvonalasabb nemzetközi szakfolyóiratokban publikálták. A KLFI sikeres szakmai együttműködést alakított ki meghatározó nyugat-európai és amerikai kutatóintézetekkel is.

Az első magyar nyelvű levegőkémiai tárgyú tudományos szakkönyv 1977-ben jelent meg Mészáros Ernő tollából, *A levegőkémia alapjai* címmel (Mészáros, 1977). A levegőkémia a légkörtudomány egyik legfiatalabb, igen gyorsan fejlődő tudományága. Alapvető feladata a Föld légköri összetételének, a légkört alkotó gázok és aeroszol részecskék keletkezésének, átalakulásának és körforgalmának vizsgálata. A földtudományok hazai tudományos életben betöltött szerepének növekedését és megerősödését egyértelműen jelezte az a tény, hogy a Magyar Tudományos Akadémia 1965. április 20-i közgyűlése a korábbi nyolc osztályát tízre bővítve létrehozta a *Föld- és Bányászati Tudományok (X.) Osztályát*.

Mészáros Ernő a könyv egyes fejezeteiben különböző példákon keresztül, de visszatérő módon és nyomatékosan utal arra az előszóban megfogalmazott gondolatára, miszerint „A gázok és aeroszol részecskék az atmoszférába általában a többi földi szférából kerülnek, illetve meghatározott tartózkodási idő után ide jutnak vissza. A levegőkémia korszerű

művelése ezért csak a földtudományok vitathatatlan egységén alapuló szemlélettel lehetséges.” A légkör összetételére és szerkezetére vonatkozó bevezető részek után a Föld légkörének kialakulásáról és a fő alkotórészek kémiájáról kapunk áttekintést. Ezután a nyomgázok – hidrogén, hélium, metán, szén-monoxid, ózon, nitrogénvegyületek, kénvegyületek – keletkezését, légköri kémiai átalakulását vizsgálja a szerző, szerteágazó mérési és reakciókinetikai példákkal, magyarázatokkal, hivatkozásokkal illusztrálva. Mészáros a fejezet összefoglalásában felhívja a figyelmet a kéndioxid fontosságára, „amely aeroszol részecskékké alakulva légkörünk éghajlatának alakításában is szerepet játszhat”. A könyv megírása óta eltelt közel négy évtized bizonyította a figyelmeztetés időszerűségét: a jelenkori éghajlatkutatás egyik meghatározó és még számos nyitott kérdést tartalmazó kutatási területe éppen a légköri aeroszol kémiájának, a részecskék közvetlen és közvetett éghajlatszabályozó szerepének vizsgálata. A könyv következő fejezetében a légköri aeroszol keletkezéséről, jellemző koncentrációjáról és nagyság szerinti eloszlásáról, kémiai összetételéről és a kimutatás lehetséges módszereiről kapunk részletes áttekintést a 70-es évek legfrissebb tudományos eredményeinek – köztük természetesen az idehaza végzetek – tükrében. A bemutatott eredmények ezúttal sem korlátozódnak egy kiragadott tér- és időskálára: a globális óceáni, a kontinentális és a regionális háttér-aeroszol jellemzése mellett az emberi tevékenység által leginkább befolyásolt lokális skálán zajló jelenségekről is ismereteket szerezhetünk. Ezek mellett repülőgépes mérések alapján a felső troposzférában, sőt a sztratoszférában tapasztalható koncentrációeloszlásról is képet nyerhetünk. A könyv harmadik nagy egysége a nyomanyagok légköri

kihullásának folyamatait tárgyalja. A nyomgázok és aeroszol részecskék száraz és nedves ülepedésének elméleti bemutatása mellett ismét számos mérési, megfigyelési eredményt találhatunk a világ különböző tájairól. Az aeroszol részecskék felhőben történő kimosódásáról szóló alfejezet a felhőfizika alapvető jellemzőivel is megismerteti az olvasókat, ami szintén az első, ebben a témában közölt, magyar nyelvű szakkönyvben megjelent tudományos összefoglalónak tekinthető. A fejezetben a csapadékkémiai mérőhálózatok felépítéséről, monitoring programjáról, valamint a levegőkörnyezeti megfigyelésekben játszott szerepéről is olvashatunk. Mészáros könyvének utolsó fejezete a légkör összetétele és a klímaváltozások közötti kapcsolatot vizsgálja. Bemutatja a múlt klímaváltozásait és a Föld-légkör rendszer sugárzási mérlegét. Részleteiben vizsgálja a sztratoszféra kémiai összetételének változásait, valamint a troposzférikus aeroszol részecskék, illetve a szén-dioxid hatását a légkör sugárzási mérlegére, továbbá röviden ismerteti a várható klíma modellezésében alkalmazható módszertani elemeket. A könyv összefoglaló része egy máig érvényes útmutatással zárul a jövő kutatói számára: „A légkörrel foglalkozó kutatókra pedig az a feladat vár, hogy a légkör összetételét, fizikai és kémiai folyamatait a jövőben még pontosabban megismerjék, és ismereteiket szabatos matematikai modellekbe foglalják. Csak így lesz lehetséges az ember és a levegőkörnyezet kölcsönhatásainak mélyebb, oksági feltárása.”

A könyv megjelenése óta eltelt közel négy évtizedben természetesen megszámlálhatatlanul sok új megfigyelési, mérési és modellezési eredmény született a levegőkémia tudományágában. Szakkönyvek hosszú sora áll rendelkezésünkre a könyvtárakban, örvendetesen gyarapodott a szakfolyóiratok száma.

Az alapvető levegőkémiai összefüggések és kölcsönhatások, valamint a légköri összetevők biogeokémiai körforgalomban játszott szerepének megismerésében Mészáros Ernő iskola-teremtő könyve azonban mind a mai napig hasznos segítséget nyújt a téma iránt érdeklődő természettudományi és műszaki szakemberek, valamint az egyetemi oktatók, hallgatók számára. A könyv sikerét kiválóan jelzi, hogy négy évvel később – természetesen a közben eltelt időszak újabb tudományos eredményeivel aktualizálva és kiegészítve – az Elsevier Publishers gondozásában angol nyelven is megjelent (Mészáros, 1981), ami az első, magyar meteorológus által alkotott, külföldön kiadott levegőkémiai tárgyú munka.

Mészáros Ernő következő, angol nyelvű könyvében (Mészáros, 1993) az emberi tevékenység hatására a légkör összetételében bekövetkező globális és regionális változásokat, illetve ezek környezeti következményeit vizsgálja. A könyv szerkezeti felépítése, gondolati és tartalmi íve újszerű: nem a megszokott módon, légköri anyagcsoportok szerint, hanem a biogeokémiai ciklus egymást követő részei mentén haladva mutatja be a levegőkörnyezeti problémákat. A bevezető fejezetben a geológiai múltban bekövetkezett eseményeket, változásokat ismerteti. Ezután a nyomanyagok természetes és emberi eredetű kibocsátási folyamatait, illetve légköri koncentrációjuk jelenkori változékonyságát tárgyalja. A fejezet végén táblázatos formában a legfontosabb nyomanyagok természetes és antropogén globális forrásereőségeinek összehasonlításait is megtalálhatjuk. A következő fejezetben Mészáros a nyomanyagok légköri kémiai átalakulásairól ír, megismertette az olvasót a légkörben lejátszódó homogén és a heterogén kémiai átalakulások legfontosabb jellemzőivel. A troposzféra kémiája mellett a

sztratoszferikus ózonlyuk kialakulásának feltételeit, valamint a magaslégköri szulfátréteg keletkezésének légkördinamikai és kémiai folyamatait is megérthetjük. A negyedik fejezet a nyomgázok és az aeroszol részecskék száraz és nedves kihullási folyamataival foglalkozik, majd az ötödik fejezetben a szerző a szén-dioxid, a metán, a szén-monoxid, a nitrogén-, valamint a kénvegyületek légköri ciklusát értékeli az átlagos tartózkodási idők, az anyagáramok, valamint az egyes nyomanyagok légköri össz mennyiségének bemutatásával. A könyv hatodik fejezete *Az antropogén tevékenység környezeti következményei: a légkör jövője* címet viseli. Mészáros lényegre törő leírást ad többek között a fotokémiai szmog, az ózonlyuk, a környezeti savasodás, a toxikus ülepedés, valamint az arktiszi légszennyeződés kialakulásának és fennmaradásának komplex problémaköréről. Befejező gondolatait a fenntartható fejlődés fogalma köré fűzi, és felhívja a figyelmet a globális környezeti megfigyelő rendszerek, valamint az ezekre épülő, a döntéshozókat is támogató ni képes kutatási programok fontosságára.

Mészáros Ernő *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry* című könyvének megírásával (Mészáros, 1999) „...rövid és koherens bemutatásra törekszik a légköri és környezeti hatásokat szabályozó aeroszol részecskék kémiai összetételéről.” A légköri aeroszol részecskék fizikai és kémiai tulajdonságaira, légköri viselkedésére vonatkozóan mindezidáig ez a legátfogóbb és legrészletesebb, magyar levegőkémikus által jegyzett munka. Az első két fejezetben a részecskék fizikai tulajdonságait és az alkalmazott mintavételi és mérési eljárásokat mutatja be, közöttük a rohamosan fejlődő távérzékelési, műholdas technikákat is. Az ezt követő három fejezetben az aeroszol részecskék fizikai

és kémiai keletkezési folyamatairól ír részletesen, majd a hatodik, hetedik és nyolcadik fejezetben a részecskék kémiai összetételével kapcsolatos legfrissebb tudományos ismereteinket foglalja össze. Külön fejezetekben tárgyalja a szerves, vízben oldódó frakciót, a légköri toxikus fémeket tartalmazó részecskéket, valamint az elemi szenet, illetve a szerves szénvegyületeket. A következő fejezet a felhőképződési folyamatok leírásának szenteli, majd ezt követően a légkör optikai tulajdonságaival, a részecskék közvetlen és közvetett éghajlati hatásaival, illetve a sztratoszférában található aeroszol környezeti hatásaival foglalkozik. Mészáros reményei szerint összefoglaló munkája a kutatók, szakemberek és egyetemi hallgatók széles körében válik hasznosíthatóvá.

Szintén a légköri aeroszol részecskék tanulmányozásához kapcsolódik a Götz Gusztáv, Mészáros Ernő és Vali Gábor által írt angol nyelvű könyv, amely az *Atmospheric Particles and Nuclei* címet viseli (Götz et al., 1999). A szerzők célja az volt, hogy egyetlen kötetben összefoglalva mutassák be a légköri aeroszol részecskék és magvak fizikai és kémiai tulajdonságait, továbbá koherens módon leírják ezek szerepét a felhő- és csapadék-képződésben, valamint az éghajlat szabályozásában. A felhőképződésben résztvevő magvak viselkedésének ismertetése mellett külön fejezetben olvashatunk a jégmagvak homogén és heterogén nukleációs folyamatairól, illetve a természetes és antropogén eredetű részecskéknek a légköri sugárzásátvitelre, valamint az éghajlatra gyakorolt hatásairól. A szerzők a kötet végén részletes függelékben mutatják be a nukleáció termodinamikai és kinetikai alapösszefüggéseit, a felhőcseppek növekedési folyamatait, és a sugárzásátvitel számítását.

Légkörfizika

A légkörfizika vagy fizikai meteorológia értelemszerűen a légkörben végbemenő fizikai folyamatokkal foglalkozik. Ezek közül kiemelkedik az áramlási viszonyokkal foglalkozó kutatások együttese, amely dinamikus meteorológia címen külön részterületet, a dinamikus meteorológiát (lásd fent) alkotja. Ennek megfelelően, a nap- és fűldsugárzás, valamint a légkör kölcsönhatásán túlmenően, a légkörfizika alapvető célja a levegőben végbemenő termodinamikai (például fázisváltások), radioaktív és elektromos jelenségek nyomon követése.

A légkörfizika területén Aujeszky László munkája, *A légkör fizikája* tekinthető az első, magyar nyelven írt átfogó munkának (Aujeszky, 1957). A dinamikus meteorológia az ötvenes évek közepén még nem képviselt önálló szakirányt, így Aujeszky kötetében a légköri mozgásokra, áramlásokra vonatkozó ismereteket is részletesen megtalálhatjuk. A könyv egy háromkötetes sorozat, az *Általános Geofizika* harmadik részeként jelent meg. A szerző szándékai szerint „ebben a kötetben a Föld legkülső anyagtartományának, a légkörnek a fizikáját mutatjuk be. Ez a tudomány szak a meteorológia nevet viseli, és sokféle ágazó, ma már nagyon terjedelmes ismeretanyagot ölel fel. Ennek egy része kézikönyvekben már le van fektetve, azonban a légkör jelenségeinek az egész Föld fizikája szempontjából való méltatása eddig még hiányzott a világirodalomból.” A könyv első két fejezete a légkör általános fenomenológiai képét és a légköri tartományok, rétegek részletes fizikáját mutatja be. Egy rövid alfejezet erejéig a sztratoszferikus ózonkeletkezés folyamatát is tárgyalja. Aujeszky a harmadik fejezetben a legfontosabb légköri folyamatokról és a hid-

roszférára, valamint a litoszférára kifejtett hatásaikról értekezik. A kötet befejező, negyedik fejezete a földtörténet folyamán bekövetkezett légköri jelenségeket mutatja be. Aujeszky a könyv végén felsorolt fontosabb irodalmi források között a magyar szerzők közül Berényi Dénes, Berkes Zoltán, Béll Béla, Bodolai István és Dési Frigyes munkáit említi meg, valamint számos külföldi kutató munkáira hivatkozik.

„Aujeszky munkája azonban egyrészt speciális szempontok szerint íródott (a légkör kölcsönhatása a többi földi szférával), másrészt az azóta eltelt idő alatt a légkörre vonatkozó fizikai ismereteink jelentősen kibővültek.” Bencze Pál, Major György és Mészáros Ernő *Fizikai meteorológia* címmel megjelent könyvük (Bencze et al., 1982) előszavában többek között ezzel indokolják összefoglaló művük megírásának szükségességét. Az első két fejezetben a légkört alkotó gázok fizikai tulajdonságaival és a meteorológiai sugárzástani alapjaival ismerkedhetünk meg. Utóbbi szerzője Major György akadémikus. A következő két fejezetben a légköri elektromosság és a légköri ionoszféra magnetohidrodinamikájának fizikai alapjait ismerteti Bencze Pál. Az ötödik fejezet a légkör természetes és antropogén eredetű radioaktivitását tárgyalja: ebben a témakörben ez tekinthető az első önálló, magyar meteorológus által jegyzett ilyen témájú könyvfejezetnek. Az 1986-ban Csernobilban, illetve 2011-ben Fukusimában bekövetkezett nukleáris balesetek, majd légköri radioaktív szennyezés után ez a szakterület megkülönböztetett jelentőséggel bír. A könyv zárófejezete a felhőképződéshez vezető, illetve a felhőkben zajló mikrofizikai folyamatokat ismerteti. Bencze, Major és Mészáros kötetüket többek között a meteorológusképzésben felhasználható egyetemi

tankönyvnek is szánták, így például a „műszertechnikai kérdések, vagy a még vitatható problémák tárgyalásától” tartózkodtak.

Levegőkörnyezet

Dolgozatunk előző részében a levegőkémia és a légkörfizika tudományágának fejlődését követhettük nyomon. Ehhez szorosan kapcsolódnak a levegőkörnyezettel, a természeti környezet egyik fontos összetevőjével kapcsolatos alkalmazott kutatások. A vizsgálatok tárgya ebben az esetben a különböző antropogén forrásokból a légkörbe kerülő szennyezőanyagok koncentrációeloszlásának, valamint ülepedésük mértékének vizsgálata. A számítások nemcsak a jelenlegi, aktuális helyzetre vonatkozhatnak, hanem becslések készülhetnek egy későbbiekben megépítendő szennyezőforrás várhatóan bekövetkező levegőkörnyezeti hatásaival kapcsolatosan is. A számítások eredményeit a különböző időtartagú – 60 perces, 24 órás és éves – hatályos levegőminőségi határértékek tükrében értékelik, így az emberi egészség szempontjából is fontos információt szolgáltatnak közvetlenül a lakosság, illetve a környezeti ügyekben döntésképes hatóság számára is. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál jelentős hagyományokkal rendelkezik ez az interdiszciplináris tudományág: a meteorológusok mellett környezetvédelmi mérnökök és környezetegészségügyi szakemberek vesznek részt a fejlesztésekben és az alkalmazásokban.

Várkonyi Tibor szerkesztésében jelent meg a *Levegőszennyeződés* című kötet, melynek légkörfizikai és levegőkémiai alapfogalmait leíró részét Mészáros Ernő, a légszennyeződés-meteorológiai fejezetét pedig Popovics Mária és Iványi Zsuzsa írták (Várkonyi, 1977). Ebben a komplex témakörben ez a munka tekinthető az első átfogó magyar nyelvű kiad-

ványnak. A bevezető fogalmi magyarázatok után Várkonyi áttekintést ad a levegőszennyeződés forrásairól, valamint a levegőkörnyezet állapotának hazai helyzetéről. Ezután az élővilágra, az egészségre és az anyagi javakra gyakorolt lehetséges hatásokat mutatja be. A fent említett meteorológiai fejezetben találjuk a diffúzióklimatológiára és a légszennyeződés-meteorológia néhány tevékenységi területére vonatkozó leírásokat. Ezután a levegő szennyezettségének méréséről, az adatok ellenőrzési módszereiről olvashatunk, majd a bef jező részben a levegőtisztaság-védelem gazdasági, jogi, oktatási és ismeretterjesztési összefüggéseit is megismerhetjük. A számítógépes diffúziós és terjedési modellek a 70-es években még nem voltak széles körben hozzáférhetőek, ezért Várkonyi táblázatos formában közöl egyszerű, de jól használható segédanyagokat a levegőminőség tervezéséhez.

A levegőminőség tervezéséhez kapcsolódó eljárások, numerikus módszerek száma jelentősen gyarapodott egyidejűleg az informatika és a számítástechnika viharos fejlődésével. A gyakorlati alkalmazások során a szakemberek rengeteg tapasztalatot szereztek, amelyek természetesen visszacsatolódtak az eljárások továbbfejlesztési, pontosítási munkáihoz. Szepesi Dezső részletes gyűjteményben foglalta össze a tudományág aktuális állását, illetve a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott számítási eljárásokat (Szepesi, 1989). Említést érdemelnek a könyv megírásának előkészületei: a Meteorológiai Világszervezet (WMO) 1981-ben a tagországai számára egy kérdőívet állított össze, amelyben az országaikban alkalmazott levegőminőségi modellek tartalmi és technikai leírása, valamint alkalmazási köre felől érdeklődtek. A kérdőívet Szepesi Dezső szerkesztette, aki akkor a WMO Éghajlati Bizottsága által felkért légszennyezési szakér-

tó volt. A beérkezett nagyszámú válasz alapján készült el a könyvben bemutatott részletes feldolgozás. A könyv megírásának kettős célja volt: az egyik, hogy összehasonlíthassák a különböző országokban a levegőminőség értékelése, tervezése során alkalmazott algoritmusokat, számítási módszereket, a másik pedig, hogy technikai és módszertani segítséget nyújtsanak azon országok számára, ahol korábban ilyen eljárásokat még nem alkalmaztak. A levegőminőség szabályozása céljából fejlesztett számítógépes modellek harmonizálása mind a mai napig a szakterület egyik kiemelt feladata, hiszen folyamatosan fejlődnek az alkalmazott elméleti módszerek, illetve gyorsan bővülnek a modellek validálásához, ellenőrzéséhez felhasználható felszíni és távérzékelési mérési adatsorok. Szepesi munkája ebben a tekintetben is úttörő kezdeményezésnek tekinthető.

Általános művek

A meteorológia tudományának alapvető és általános jellemzőit, összefüggéseit és jelentőségét bemutató munkák közül kiemelkedik Czelnai Rudolf akadémikus munkája.

A *Bevezetés a meteorológiába* címet viselő mű három kötetben jelent meg. Az első kötet alcíme: *Légekörtani alapismeretek*. Czelnai ebben a munkájában (Czelnai, 1979) a légköri folyamatok fizikai hátterének megvilágítását tűzte ki célul. Ennek megfelelően szándékai szerint a „...légkör kialakulásáról, összetételéről, rétegződéséről, a reá ható külső erőkről, a benne érvényesülő termodinamikai törvényszerűségekről, továbbá a benne lezajló csapadékfizikai-, légköri villamossági-, légköri optikai- és légköri akusztikai folyamatokról ad összefoglaló leírást.”

A sorozat második kötete (Czelnai et al., 1982) a *Mozgó légkör és az óceán* alcímet vise-

li, amelynek megírásában társszerzőként Götz Gusztáv (*Az éghajlat dinamikája*) és Iványi Zsuzsanna (*Légköri transzport folyamatok*) vettek részt. A könyv bevezetőjében előrevetíti, hogy „...előtérbe kerül egy fontos vonás, amely a meteorológia és a fizikai oceanográfia területeire különösen jellemző. Arról van szó, hogy ún. bonyolult hidrodinamikai rendszereket (légkört és óceánt) kell vizsgálnunk és leírnunk, és ezekben a leírásokban nem az egyes [...] részfolyamatok a lényegesek, hanem ezek egymásra hatása, együttes működése. Ez igen nehéz feladatot vet fel, mert a nem-lineáris kölcsönhatások – nem kidolgozott – elméletének határvonalán kell mozognunk.” A könyv az alapfogalmak leírása után az általános légkörzés jellemzőinek – frontálzónák, ciklonok, passzátszelek, monszunok, konvektív mozgásrendszerek stb. – korszerű bemutatásával foglalkozik. Ezután egy rövidebb fejezetben megismerhetjük a fizikai oceanográfia megszületésének és kibontakozásának körülményeit, valamint az általános vízkörzés állandó áramlatainak jellemzőit. A következő részben a légköri transzportfolyamatok alapvető tulajdonságairól olvashatunk. Megismerkedhetünk az egyik alkalmazott meteorológiai szakterület, a szennyezőanyag-transzport meghatározó elemeivel. Majd a munka a kis- és nagytávolságú szennyező folyamatok meteorológiai vonatkozásaival foglalkozik. Végül a légszennyező anyagok transzportját leíró modellek alapjait, és a légszennyeződés-meteorológia alkalmazásait írja le. Az ötödik fejezet az éghajlat dinamikájával ismerteti meg az olvasót. Az alapfogalmak és az éghajlati rendszer elemeinek ismertetése után az éghajlati rendszer megfigyelt változékonysága, majd az emberi tevékenység és az éghajlat közötti kapcsolat bemutatása kerül sorra. A fejezet utolsó ré-

szében egy napjainkban egyre fontosabbá váló területről, az éghajlat várható alakulásának modellezési lehetőségeiről, ennek tudományos alapjairól, a modellek hierarchiájáról ír Götz Gusztáv.

A sorozat harmadik kötete *A meteorológia eszközei és módszerei* címmel látott napvilágot (Czelnai, 1980). Első fejezetében a meteorológiai alrendszer és szolgáltató rendszerek (meteorológiai megfigyelés, távközlés, adatfeldolgozás és szolgáltatás) felépítéséről, működési rendjéről, nemzetközi összehangolásáról szerezhetünk ismereteket. A második fejezetben a közvetlen és a távérzékelési megfigyelési módszerek, eszközök bemutatása, osztályozása található. A könyv harmadik és negyedik fejezete az időjárás előrejelzésének alapjaival, majd az éghajlat leírásának módszereivel foglalkozik. A befejező fejezetben a különböző skálájú irányított légköri kísérletekről, éghajlat- és időjárásmódosító beavatkozások – jégeső-elhárítás, csapadéknövelés, trópusi ciklonok módosítása, ködösztatás, fagyvédelem, mikroklíma-módosítás – lehetséges módszereiről, illetve ezek korlátaikról olvashatunk. Czelnai háromkötetes műve a hazai meteorológusképzés szakirodalmi támogatása mellett a földtudományok egyéb területeit művelő, légkörtudományi ismere-

tekre vágó szakemberek és egyetemi hallgatók számára is jól hasznosítható, a meteorológia tudományát és különböző szolgáltatóit összefüggéseiben bemutató ismereteket biztosít.

Jelen munkánkban a XX. század második felének legfontosabb meteorológiai tárgyú tudományos köteteit igyekeztünk bemutatni, a címben jelzett szakosodás szerinti csoportosításban. Néhány kivételtől eltekintve, a szerzők az 1950-es, 1960-as években végzett meteorológusok. Az időszak valóban egy népes meteorológus-generáció munkáját öleli föl, és zárja le. A történet természetesen a XXI. században is folytatódik, amikor a fentiekben hivatkozott tudósok könyvei mellett az újabb generációk képviselőinek munkái is megjelennek.

Köszönetemet fejezem ki *Mészáros Ernőnek*, az MTA rendes tagjának a kézirat elkészítésében nyújtott sokoldalú segítségéért, valamint *Puskás Mártának*, az OMSZ könyvtárosának a felhasznált könyvekhez biztosított hozzáféréseért.

Kulcsszavak: *meteorológiatörténet, dinamikus meteorológia, levegőkémia, légkörfizika*

IRODALOM

- Aujeszky László (1957): *A légkör fizikája*. Akadémiai, Budapest
- Bencze Pál – Major Gy. – Mészáros E. (1982): *Fizikai meteorológia*. Akadémiai, Budapest
- Czelnai Rudolf (1979): Bevezetés a meteorológiába I. Légkörtani alapismeretek. Tankönyv-kiadó, Bp.
- Czelnai Rudolf (1980): *Bevezetés a meteorológiába III. A meteorológia eszközei és módszerei*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest
- Czelnai Rudolf – Götz G. – Iványi Zs. (1982): *Bevezetés a meteorológiába II. A mozgó légkör és az óceán*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest

- Dési Frigyes – Rákóczi Ferenc (1970): *A légkör dinamikája*. Tankönyvkiadó, Budapest
- Götz Gusztáv (2001): *Káosz és prognosztika*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest
- Götz Gusztáv – Rákóczi Ferenc (1981): *A dinamikus meteorológia alapjai*. Tankönyvkiadó, Budapest
- Götz Gusztáv – Mészáros E. – Vali G. (1991): *Atmospheric Particles and Nuclei*. Akadémiai, Budapest
- Hille Alfréd (1955): *Repülési meteorológia*. Akadémiai, Budapest
- Mészáros Ernő (1977): *A levegőkémia alapjai*. Akadémiai, Budapest
- Mészáros Ernő (1981): *Atmospheric Chemistry: Funda-*

- mental Aspects*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam
- Mészáros Ernő (1993): *Global and Regional Changes in Atmospheric Composition*. Lewis Publishers, Boca Raton–Ann Arbor–London–Tokyo • <http://books.google.hu/books?id=KormWr3Ck9MC&printsec=frontcover&hl=hu#v=onepage&q&f=false>
- Mészáros Ernő (1999): *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai, Budapest
- Mészáros Ernő (2013): Meteorológia a XIX. század közepén. A nagy előd: Berde Áron. *Magyar Tudomány*. 174, 702–712. • <http://www.matud.iif.hu/2013/06/09.htm>
- Mészáros Ernő (2014a): Meteorológia a XIX. század második felében. A magyar szaknyelv kialakulása. *Magyar Tudomány*. 175, 337–344. • <http://www.matud.iif.hu/2014/03/10.htm>
- Mészáros Ernő (2014b): Meteorológia a XX. század első felében: tallózás a hazai szakirodalomban. *Magyar Tudomány*. 175, 679–691. • <http://www.matud.iif.hu/2014/06/08.htm>
- Szepesi Dezső (1989): *Compendium of Regulatory Air Quality Simulation Models*. Akadémiai, Budapest
- Várkonyi Tibor (szerk.) (1977): *Levegőtisztaságvédelem*. Műszaki, Budapest

