

A LÉGKÖR RÖVIDHULLÁMÚ SUGÁRZÁSÁTBOCSÁTÁSÁNAK HOSSZÚ TÁVÚ VÁLTOZÁSA BUDAPEST FELETT

Tóth Zoltán

légkörfizikus, főtanácsos,
Országos Meteorológiai Szolgálat Marczell György Főobszervatórium
toth.z@met.hu

Bevezetés

A földi légkör sugárzásátbocsátó képessége (más kifejezésekkel: áteresztése, átlátszósága, transzmissziója) kulcsfontosságú a légkör sugárzási energetikája szempontjából. Ha mértékét pontosan meghatározzuk, a Napot sugárforrásként használva a számításához, következtethetünk a légkörben lévő aeroszolok összmenyiségére is. Mivel a légkörben lévő vendéganyagok mennyisége helyről helyre és időben is elég gyorsan változhat, maga a sugárzásátbocsátás, illetve változásának ismerete egy adott mérőhelyre vonatkozóan is sok lényeges információval bír. Az, hogy a légkör átlátszósága hogyan változik egy adott helyen hosszabb időszak alatt, fontos lehet például a napenergia hasznosítása szempontjából is. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Marczell György Főobszervatóriumában (Budapest, Pestszentlőrinc) 1967 óta folynak nagy pontosságú légkörfizikai célú napsugárzásmérések, így megfelelően választott, a légkör sugárzásátbocsátását jól leíró, a mért mennyiségekből kiszámítha-

tó fizikai mennyiségek hosszú távú változásának vizsgálatával megállapíthatjuk a Budapest feletti légkör átlátszóságának különböző jellemzőit és az átlátszóság hosszú távú változásának mértékét. A sugárzásátbocsátás változásában az aeroszolok játsszák a leglényegesebb szerepet, hiszen ezek a leggyorsabban változó alkotók a légkörben. Extrém esetben néhány perc alatt jelentősen változhat a transzmisszió, például a szél által hirtelen az adott helyre fújt nagyobb tömegű por hatására. Mivel az aeroszolok döntően szórásuk által hatnak a sugárzásátvitelre, a légkörfizikai szemszögből rövidhullámnak tekintett (300 és 3000 nm közötti) tartományban mérhető sugárzási energiákkal kell dolgoznunk (mivel a szórás a rövidhullámú tartományban jelentős – ennek okára később kitérünk). A légkörön áthatoló napsugárzás túlnyomó hányada is ebbe a tartományba esik.

A tanulmányban bemutatjuk, hogyan választottuk ki a vizsgálatához használt, transzmissziót leíró fizikai mennyiségeket, röviden ismertetjük, milyen problémákkal kellett megküzdenünk, míg a számításokhoz szük-

séges mért adatokból előállítottuk a vizsgálatokhoz megfelelő adatbázist. Ismertetjük a légkör sugárzásátbocsátásának hosszú távú trendjét, majd néhány fontos megállapítást teszünk a majdnem negyven évet átfogó adatsor különböző aspektusokból történt vizsgálata alapján.

A sugárzásátvitelről általában

A sugárzásátvitel az elektromágneses sugárzásnak és annak a közegnek a kölcsönhatását jelenti, amelyben a sugárzás terjed. Először tekintsük át, hogyan is jön létre ez a kölcsönhatás.

Az elektromágneses sugárzás a világegyetem energiájának egyik legáltalánosabb megjelenési formája. A Naptól a Föld felszínére érkező sugárzásról már mindenki megtapasztalhatta, hogy különböző színekből áll – például a hármat-, vagy a vízcseppen megtörő napfény szivárványszíneiben gyönyörködve. A látható fényt – az elektromágneses sugárzásnak azt a hullámhossztartományát, amelyet szemünk képes érzékelni – a vízcsepp színeire bontja.

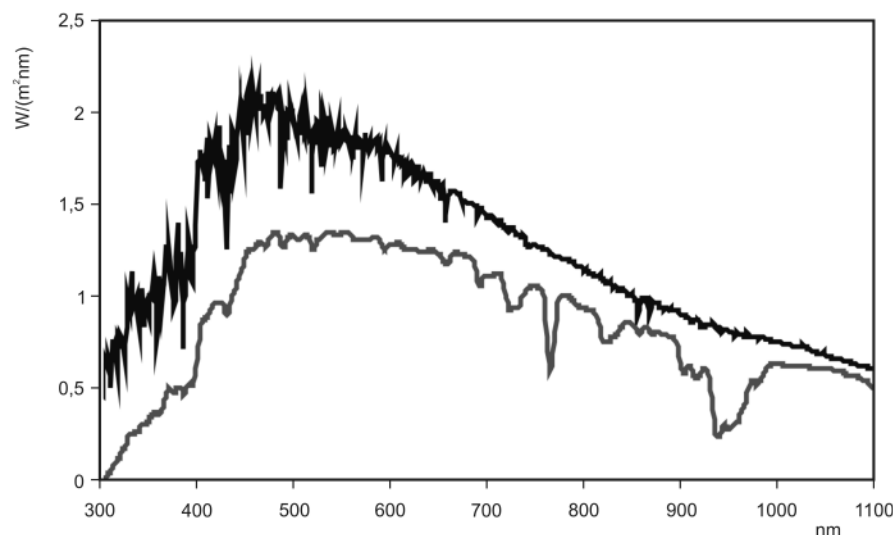
Az elektromágneses sugárzás valamilyen forrásból kiinduló elektromágneses energia periodikus hullámként történő terjedését jelenti. Hordozói a fotonok, amelyek tulajdonképpen egyes folyamatokban részecskeként is viselkedni tudó, parányi energiacsomagok. Az elektromágneses sugárzás által hordozott energia annál nagyobb, minél rövidebb a sugárzás hullámhossza.

Az elektromágneses sugárzást praktikus szempontból hullámhossz szerint különböző tartományokra osztják, ezek (a rövidebbtől a hosszabb hullámhosszokig haladva) a gamma-, a röntgen-, az ultrabolya, a látható, az infravörös és a rádiótartomány. A sugárforrás hőmérsékletétől függ, hogy az főként milyen

hullámhosszon sugároz. Minél magasabb a sugárzó test hőmérséklete, annál rövidebb hullámhosszon fog sugározni. A több ezer °C felszíni hőmérsékletű csillagok főleg a látható tartományban sugároznak, a 36–37 °C-os emberi test pedig főként a távoli-infravörösben (az infravörös hosszabb hullámhosszú részén).

A Nap fotoszférájában keletkező elektromágneses sugárzás a Nap és a Föld közötti térrészen való áthaladása során gyakorlatilag nem módosul (leszámítva intenzitásának a távolság négyzetével való szükségszerű csökkenését), mivel a bolygóközi tér anyaga nagyon ritka. Ekkora távolságon ez a ritka anyag nem gyengíti mérhetően a sugárzást, vagy módosítja hullámhosszeloszlását észlelhető mértékben. Amint azonban a sugárzás a Föld optikailag sűrű légkörébe jut, drasztikus változásokon megy keresztül. Ennek hatását láthatjuk az 1. ábrán, amely az OMSZ Marczell György Főobszervatóriumában folyó spektrális napsugárzásmérések során az egyik, felhőtlen, jó átlátszóságú időben felvett spektrumot, valamint a légkör „tetején” észlelhető spektrumot mutatja a 300 és 1100 nm-es hullámhosszok között. A vízszintes tengelyen a hullámhosszt láthatjuk, a függőleges tengelyen pedig a beérkező sugárzás erősségét. A sugárzás gyengülése jól megfigyelhető a két görbe összevetésével. Gondoljunk csak el: míg közelítőleg 150 millió km-es távolságon szinte semmi nem történik a sugárzással, addig mondjuk néhány száz km-en jelentős változásokat szenved. Ez azt is mutatja, milyen elképzelhetetlenül ritka a bolygóközi anyag.

Két fő folyamat van, amely a Föld légkörében módosítja a sugárzást: az abszorpció (elnyelés) és a szórás. Mindkettő egyrészt gyengíti a sugárzást, másrészt megváltoztatja hullámhossz szerinti eloszlását. A légköri



1. ábra • A napsugárzás spektrális eloszlása a légkörön kívül (felső görbe) és a földfelszínen (alsó görbe)

gázok eltérő mértékben és eltérő hullámhosszfüggéssel elnyelik az elektromágneses sugárzást, valamint szórják, azaz eltérítik eredeti haladási irányától. A szórás is hullámhosszfüggő folyamat: annál jelentősebb, minél rövidebb a szóró közegen áthaladó sugárzás hullámhossza. Továbbá minél nagyobbak a szóró részecskék, annál lassabban változik a szórás erőssége a hullámhosszal. Ez utóbbi azt jelenti, hogy míg például a látható tartományban mind az abszorpció, mind a szórás jelentős, addig az infravörösben a szórás már nem játszik jelentős szerepet (ellentétben az abszorpcióval, mivel a fontosabb légköri komponensek – vízgőz, szén-dioxid, ózon – jelentősen elnyelnek ebben a tartományban). A látható tartománynál rövidebb hullámhosszúságú ultravioleta tartományban viszont a szórás fokozott jelentőségű.

Mért napsugárzási mennyiségek

Légkörfizikai célú napsugárzásmérések esetén két fő cél van. Az egyik a földfelszíni sugárzá-

si egyenleg meghatározása, amely különböző lefelé és fölfelé haladó sugárzási áramok mérését kívánja meg. Külön határozzuk meg a rövidhullámú (kb. 300 és 3000 nm közötti) és a hosszúhullámú (3000 és 80 000 nm közötti) sugárzási egyenleget. Ez az ún. klasszikus sugárzásmérés. A másik az, ha nagyfelbontású spektrofotométerrel mérünk, és a légkör tetejére érkező napsugárzás spektruma (azaz a beérkező sugárzás – más szóval: irradiancia – értékei különböző hullámhosszakon) ismeretében a légköri alkotók különböző jellemzőit (például egy gáz össz mennyiségét) határozzuk meg.

Jelen munka szempontjából a következő rövidhullámú napsugárzási paraméterek fontosak: globálsugárzás, direkt sugárzás és diffúz sugárzás, illetőleg a spektrális direkt sugárzás. A globálsugárzás a teljes égbolttól beérkező irradianciát jelenti, a direkt sugárzás a napkorong térszögéből érkezőt, a diffúz sugárzás pedig a szórt sugárzást vagy égboltsugárzást, vagyis azt a komponenst, amely a légkörben

való szóródás után jut az érzékelőbe (vagy szemünkbe). Mivel vertikálisan lefelé és fölfelé haladó sugárzási áramokról van szó, így nyilvánvalóan horizontális felületre érvényes sugárzási teljesítményekről beszélünk. Ezért a globálsugárzás egyenlő lesz a direkt sugárzás horizontális síkra érkező komponense és a diffúz sugárzás összegével.

1995 óta kezdődött az obszervatóriumban a napsugárzás rövidhullámú tartományának mérése nagy (1 nm) spektrális felbontással. Ez lehetővé tette, hogy meghatározzunk minden egyes felvett spektrumból a napsugárzásnak kifejezetten az aeroszol általi gyengítésére jellemző fizikai mennyiséget, az ún. aeroszol optikai mélységet is.

Az aeroszorról röviden

Az aeroszol definíció szerint diszperz rendszer, amelyek diszpergáló közege gáz halmazállapotú (például levegő), a diszpergált részecskék pedig a kolloidális méretű (1–500 μm), finoman elosztott szilárd, vagy folyékony halmazállapotú részecskék. Az aeroszol számos megjelenési formája (például por, vulkáni por, korom, füst, erdőtüzek füstje, dohányfüst, felhő részecskék, homok, tengeri só, vírusok, baktériumok, pollen, emberi haj stb.) összetétele mellett méretében is jelentősen különböző. Aeroszoltermelő természetes folyamat a vulkáni tevékenység, a porviharok, a természetes tüzek mellett még a tengerek, óceánok hullámzása is, amely során vízpermet és tengeri sók jutnak a levegőbe, de az élővilág pusztája jelenléte, működése is aeroszol részecskék termelésével jár. Antropogén forrás a fosszilis tüzelőanyagok égetése, a nem természetes eredetű erdőégetés és az ipar működéséhez kapcsolódó kibocsátás. A teljes Földre kiátlagolva a légköri aeroszol mintegy tíz százalékáért az emberiség felelős. E tíz százalék

döntő többsége érthető módon az északi féltekén található.

Az aeroszol-részecskék koncentrációja a troposzférában a legnagyobb. Onnan átlagosan egy hét után kerülnek ki, főleg a csapadékkal való kimosódással. A sztratoszférában is vannak aeroszol részecskék. Ezeket általában erős vulkánkitörés juttatja olyan nagy magasságba. Csapadék ott már nem keletkezik, így ezek a részecskék akár több hónapig is a légkörben maradhatnak.

Fontos az aeroszol környezeti hatása is. A földi klímára hatása többirányú. Egyrészt egyfajta hűtő hatásuk van a felszínre érkező napsugárzás gyengítése miatt (például a Fülöp-szigeteki Pinatubo vulkán 1991-es kitörésének következtében globálisan közel fél fokkal csökkent a rákövetkező év átlaghőmérséklete). E hűtő hatás mértéke az aeroszol-részecskék méretétől és összetételétől is függ. Ezenkívül azonban egy közvetett hatással is számolnunk kell. Az aeroszol-részecskék ugyanis kondenzációs magvakként befolyásolják a felhőképződést. Minél több ilyen részecske van a felhőben, annál több részecskén oszlik meg a felhőben lévő vízmennyiség. Így a cseppek kisebbek lesznek, amelyek lassabban hullanak ki, ezért a levegő növekvő aeroszoltartalma végeredményben kevesebb csapadékot eredményezhet. Ha tehát a légköri aeroszol mennyisége megváltozik, a felhők megjelenési gyakorisága, vastagsága, albedója és a lehullott csapadék mennyisége is megváltozik. Ez hatással van a légköri sugárzási viszonyokra, mind az égbolt irányából, mind a földfelszín felől. Így tehát az aeroszol jelentős szerepet játszik a légkör energiaháztartásában. Emellett a korábban említettek következtében a lehullott csapadékvíz kémiai összetétele nagymértékben függ a levegő aeroszoltartalmától.

Kutatják az emberre gyakorolt hatását is, hiszen sok aeroszolt lélegzünk be nap mint nap. Az EU égisze alatt működő Joint Research Centre-ben (Ispra, Olaszország) például egy fontos új biofizikai kutatási téma a tüdő–aeroszol kölcsönhatás modellezése.

A vizsgálatához használt fizikai mennyiségek

A fentebb említett, rendelkezésre álló mért mennyiségek alapján kiválasztottuk, melyekkel jellemezhetjük legjobban a légkör átbecsátását. Előljáróban megemlítjük, hogy számos munka foglalkozott a globálsugárzás hosszú távú adatsorainak vizsgálatával (Stanhill – Cohen, 2001; Roderick – Farquhar, 2002; Ramanathan – Crutzen, 2003; Nagy, 2005), amelyek általában mutatnak trendet a globálsugárzásban. Maga a globálsugárzás azonban jellegénél fogva nem eléggé érzékeny mutató az átbecsátás jellemzésére. Általában azért hasznos, mert ez a legtöbb helyen mért napsugárzási paraméter, mivel a legegyszerűbb mérni (a direkt és a diffúz sugárzás méréséhez már napkövető berendezés kell, a nagy pontosságú nap-spektrofotométerek pedig állandó helyi szakmai felügyeletet igényelnek). Vizsgálatainkhoz mi érzékenyebb mennyiségeket választottunk. A kiválasztott fizikai mennyiségek: a Θ szórási paraméter, a szürke (széles sávú) optikai mélység és az aeroszol optikai mélység. Most röviden bemutatjuk ezeket a mennyiségeket.

Θ szórási paraméter

Ez a mennyiség a diffúz irradiancia globál irradianciához vett arányát jellemzi úgy, hogy a diffúz–globál arány normálva van a Rayleigh-atmoszférára számított diffúz–globál aránnyal. (A Rayleigh-atmoszféra az ideálisan tiszta – csak elméletben előforduló – légkört jelenti, ebben csak a légkör alapvető alkotóga-

zai vannak jelen.) Mivel a légköri sugárzás szórását döntő mértékben az aeroszol okozza, a szórási paraméter elég jó mutatónak tűnik az átlátszóság számára. A szórási paraméter definíciója a fentiek alapján:

$$\Theta = \frac{D/G}{D_R/G_R}$$

ahol D és G a horizontális felületen mért diffúz és globál irradiancia, D_R és G_R pedig a mérés időpontjára a Rayleigh-atmoszférára számolt diffúz és globál irradiancia.

Szürke (széles sávú) optikai mélység

Az optikai mélység a sugárzásátvitel egyik fontos alapmennyisége. Ha sugárzásmérésekre alapozva dolgozunk, az elektromágneses sugárzás gyengülését adott közegben leírhatjuk az általános sugárzásátvitel egyszerűsített formájával, a Beer–Bouguer–Lambert-törvénnyel. Ekkor dx vastagságú réteg esetén a λ hullámhosszúságú $I_{\lambda,0}$ belépő monokromatikus irradiancia a dx út megtétele utáni $-dI_{\lambda}$ csökkenése:

$$-dI_{\lambda} = \sigma_{\text{ext}} I_{\lambda,0} dx,$$

ahol a σ_{ext} extinkciós koefficiens csak a közeg anyagi minőségétől és a λ hullámhossztól függ (ha a közegben az abszorpciós koefficiens σ_{abs} és a szórási koefficiens σ_{s} , akkor $\sigma_{\text{ext}} = \sigma_{\text{abs}} + \sigma_{\text{s}}$). Az egyenlet megoldása:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda,0} e^{-\sigma_{\text{ext}} dx},$$

ahol I_{λ} az irradiancia d út megtétele után. Ebből az extinkciós koefficiens:

$$\sigma_{\text{ext}} = \frac{1}{d} \ln \frac{I_{\lambda,0}}{I_{\lambda}}$$

Ha a fentieket az atmoszférára alkalmazzuk, akkor az így meghatározott monokromatikus optikai mélység azt jellemzi, hogy a

λ hullámhosszúságú sugárzás milyen mértékben gyengül, ha a világúrból a z magasságú pontba jut, vagy a z magasságú pontból a világűrbe. Földfelszíni nap-spektrofotometriai méréseknél így nyilván praktikusán $z = 0$. Ezért az optikai mélységet úgy definiáljuk, hogy az extinkciós koefficiens a z magasságtól végtelenig integráljuk.

Ily módon minden λ hullámhosszra kiszámítható az adott komponens abszorpciója és szórása okozta gyengítés mértéke, amelyet az optikai mélységgel adunk meg (amely így a szórási és abszorpciós optikai mélység összege lesz). Adott gáz abszorpciós optikai mélysége az adott gáz légszlopban mérhető összmenyiségének és abszorpciós együtthatójának a szorzata. Ugyanígy számolandó a szórási optikai mélység. A különböző gázok és az aeroszol egészen eltérően abszorbeálnak és szórnak a különböző hullámhosszokon. Egy adott hullámhosszon úgy számítható ki a teljes optikai mélység, hogy összegezzük a különböző gázok adott hullámhosszon kiszámított abszorpciós optikai mélységeit és az aeroszol extinkciós (szórási + abszorpciós) optikai mélységeit.

A szürke (széles sávú) optikai mélységet úgy definiálhatjuk, hogy a monokromatikus optikai mélység definícióját kiterjesztjük egy szélesebb spektrumtartományra, amely praktikusán a direkt sugárzást mérő pirheliométer érzékenységi tartománya. A pirheliométer egy széles (300–3000 nm) spektrumtartományban érzékeny detektor, amely a napkorongból érkező direkt sugárzást méri termoelektromos úton. A mért érték az említett tartományon beérkező integrált irradiancia.

Aeroszol optikai mélység

A monokromatikus optikai mélység ismeretésekor már megismertedtünk az aeroszol

optikai mélységgel. Meghatározásához olyan hullámhosszokat kell használni, amelyekben nincs számottevő gázabszorpció, csak esetleg az ózoné, amelynek összmenyisége a helyi mérésekből pontosan ismert, és az ózon ebből meghatározott optikai mélysége így a számításkor figyelembe vehető. Természetesen más hullámhosszokra is meg lehet határozni az aeroszol optikai mélységeket az adott hullámhosszon abszorbeáló gázoknak a mérés időpontjára eső mennyiségének és abszorpciós koefficiensének ismeretében, azonban az így módon kapott értékek kevésbé pontosak és megbízhatóak. A standard hullámhosszok a következők (nm-ben): 368, 380, 412, 450, 500, 610, 675, 778, 862, 1024.

Korábban több mérési kampányban szimultán mérésekkel bizonyítottuk, hogy az aeroszol optikai mélység valóban igen jó kapcsolatban van az aeroszol mennyiség levegőmintavételes mérésekből meghatározott adataival (Alföldy et al., 2007).

Előfeldolgozások, „felhős adatok” kiszűrése

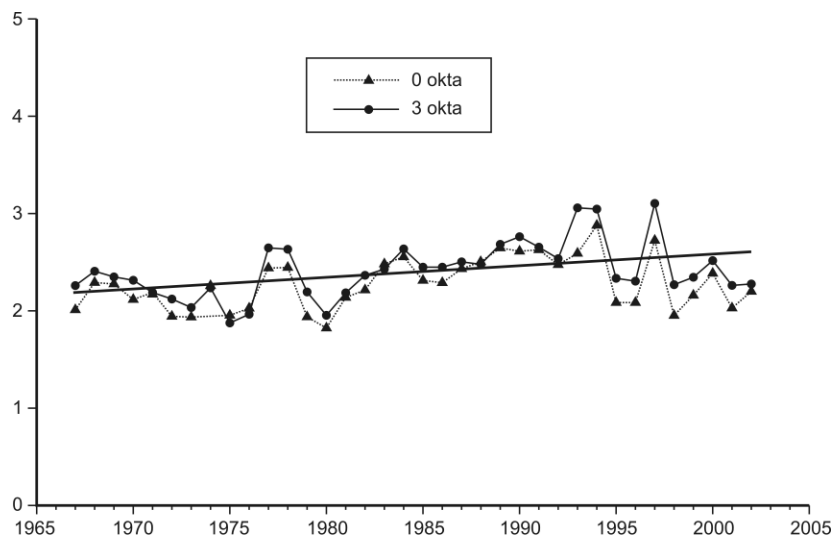
Az adatsorokon ún. előfeldolgozásokat kellett elvégeznünk, hogy a számításokhoz alkalmas adatsorokat kapjunk. Ezekre nem a mért adatok pontatlansága vagy nem elég jó minősége miatt volt szükség, hanem olyan körülmények között készült adatok kiszűrésére, amelyek a számításhoz nem használhatóak. Ezek közül csak az egyiket, a „felhős adatok” kiszűrését ismertetjük részletesebben, de meg kell említeni, hogy a horizont feletti nagyon kis napmagasságnál mért adatok is bizonytalanságot visznek a számításokba, így ezeket is ki kellett szűrni, ahol a még elfogadható minimális napmagasság kiválasztása okozta a gondot (ha magasra tesszük az alsó határt a bizonytalanság csökkentése érdekében, csökkentjük a felhasználható adatok számát).

A felhőzet kiszűrésére azért volt szükség, mert a felhőzet hatása eltorzítja a megfigyelni kívánt effektusokat, másrészt pedig mind a szürke, mind az aeroszol optikai mélység számításához a felhővel takart napkorong esetén mért direkt irradianciák esetén ismereni kellene az adott felhő optikai mélységét (sőt az adott felhő napkorongot takaró részének optikai mélységét, mivel ez változhat egy felhő esetében), de ezt nem ismerjük. Ezek miatt a „felhős adatokat” ki kellett szűrni. Ez a probléma csak a széles sávú adatokat érintette, mivel a spektrális méréseket eleve csak felhőtlen esetben végezzük. Ez nem volt egyszerű, mivel 1967-től 1994 elejéig órás, 1994 elejétől pedig tízperces átlagok álltak rendelkezésre az adatbázisban. A regisztrált felhőzetészlelések alapján persze ki lehet választani a megfelelő adatokat. A felhőzetészlelések oktában vannak megadva, ami azt mutatja, hogy az égbolt hány nyolcada volt takart felhővel, de hogy a jelenlévő felhőzet hol helyezkedett el az észlelés pillanatában, arról nincs

információ. Ezért először a 0 oktás adatokat választottuk ki, ám hamar kiderült, hogy így túl nagy az adatvesztés: nincs elegendő adat, és nem elég egyenletes az időbeli eloszlás sem a trendanalízis elvégzéséhez. Meg kellett kockáztatni tehát, hogy „felhős adatokat” is figyelembe veszünk. Megfelelő matematikai módszerekkel eldöntöttük, mi az a felső határ a felhőzetre, amely még nem okoz nagy hibát a számításokban, s erre a 3 okta adódott. Így a trendanalízist elvégeztük a 0 és a 3 oktás adatokra is, de mivel a 0 oktás szűrés esetén a minta elfogadhatósága éppen a határon mozog a nagyobb adathiány miatt, csak a 3 oktás szűréssel kapott adatsorra tekintjük a trendanalízist korrektnek.

A trendvizsgálat eredményei

Az alábbiakban bemutatjuk a szórás paraméter, a szürke optikai mélység és az aeroszol optikai mélység adatsoraira végzett számítások eredményeit. A vizsgált fizikai mennyiségek átlagos éves menetét is megkaptuk,



2. ábra • A Θ paraméter 0 oktás (szaggatott vonal) és 3 oktás (folytonos vonal) szűréssel kapott évi átlagainak időbeli menete (az egyenes a 3 oktás szűréssel kapott adatsor regressziós egyenese)

valamint a trendvizsgálatot elvégeztük nemcsak a teljes adatsorokra, hanem külön az egyes hónapokra is. A teljes adatsorra vonatkozó trendanalízishez meghatároztuk az éves átlagokat, és a vizsgálatot arra végeztük el (hogy kizárjuk az éves periodicitás hatását), az ábrákon is ezeket tüntettük fel. Az elemzés részletesebben megtalálható a szerző irodalomjegyzékben felsorolt cikkében (Tóth, 2008).

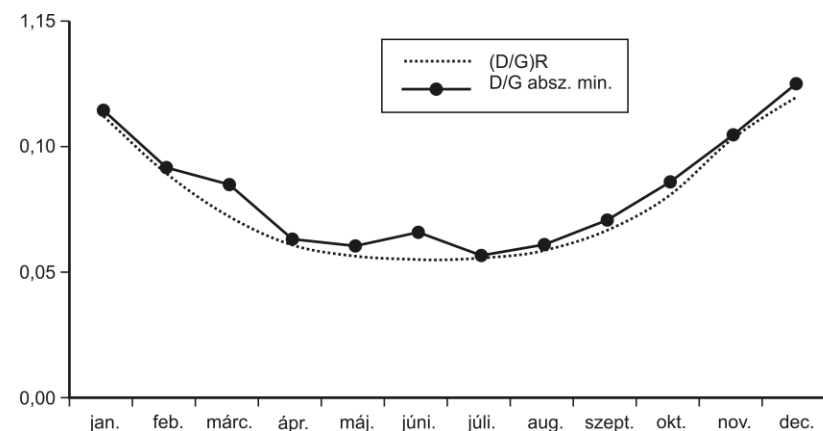
Θ szórás paraméter

Január kivételével minden hónapra növekvő trendet kaptunk. Az éves átlagok hosszú távú változását a 2. ábrán láthatjuk. Lineáris trendet feltételezve, a Budapest feletti légoszlop a vizsgált periódus elején 2,2-szer erősebben szórta a napsugárzást, mint a Rayleigh-atmoszféra. A szórás 20 %-kal volt nagyobb a periódus végén, mint az elején. Szintén látható az ábrából, hogy a szórás paraméter értéke az 1990-es évek közepéig emelkedett, majd attól kezdve csökkenni kezdett. Ennek valószínű oka az, hogy a szennyezőanyagok össz mennyisége csökkenni kezdett az 1990-es évek első felében/közepén.

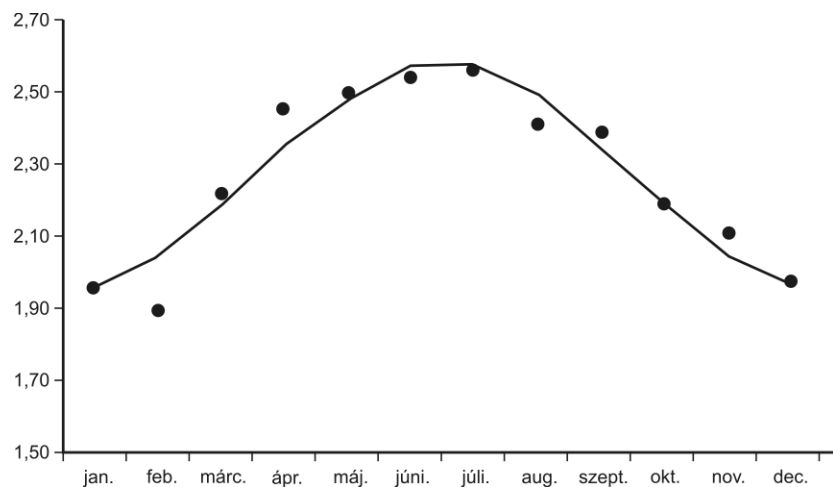
Érdekes volt megvizsgálni, mekkorák voltak a valaha előfordult legkisebb D/G-értékek, és összehasonlítani ezeket a Rayleigh-atmoszférára számított minimumértékekkel (amelyek tehát alsó korlátot adnak a valóságban előforduló abszolút minimumokra). A havi abszolút minimumokra készítettük el a feldolgozást. A 3. ábra mutatja a D/G-értékek havi abszolút minimumainak éves menetét (folytonos vonal), a szaggatott vonal pedig a Rayleigh-atmoszférára számított D/G-értékek (D_R/G_R) éves menetét mutatja. Az ábra üzenete, hogy a legkevésbé szennyezett esetekben a Budapest feletti légoszlop közel megegyezik a Rayleigh-atmoszférával. A 4. ábrán Θ éves menete látható. Megfigyelhető: a szórás paraméternek markáns évi menete van: értékei nyáron magasabbak, télen alacsonyabbak; vagyis a nyári légtömegek átlagosan több szóró részecskét tartalmaznak, mint a téli; nyáron több a szennyezőanyag a légkörben.

Szürke optikai mélység

A légkör átlagos optikai mélysége január és december kivételével minden hónapban



3. ábra • A szórás paraméter havi abszolút minimumainak és a Rayleigh-atmoszférára számított értékeinek évi menete

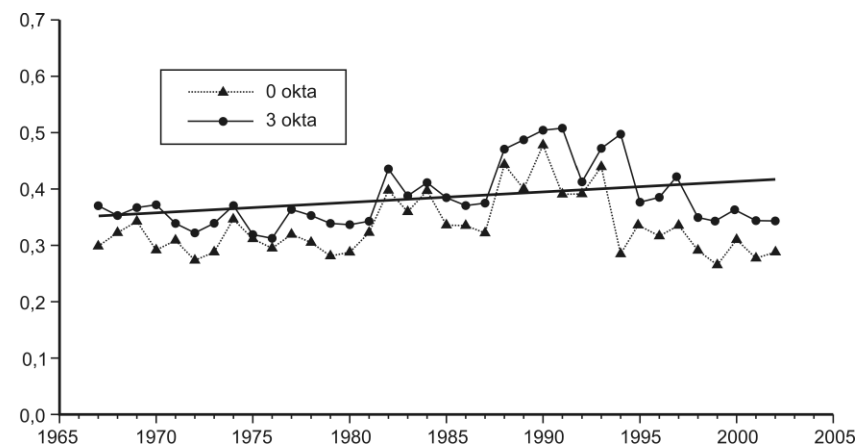


4. ábra • A szórási paraméter átlagos évi menete

növekedett. Érdeemes itt arra utalni, hogy a szórási paraméter esetében januárra szintén nagyon enyhe csökkenő trendet kaptunk. Úgy tűnik ebből, hogy januárban nem volt jellemző az amúgy tapasztalható szennyezésnövekedés. Az 5. ábrán mutatjuk be az éves átlagok hosszú távú változását. A kép hasonló, mint Θ esetében: az 1990-es évek közepéig növekvő trendet figyelhetünk meg, majd onnan kezdve enyhén csökken az optikai mélység értéke. Ezért kísérletképpen szakaszolt trendanalízist is elvégeztünk. December az egyetlen hónap, amelyre nem kaptunk növekvő trendet. Ugyanakkor számottevő növekedés tapasztalható más hónapokra, illetőleg az éves átlagokra. Utóbbiak esetén több mint 20 %-kal nagyobb az optikai mélység értéke a vizsgált periódus végén az elejére jellemző értékénél. 1995-től kezdve a szürke optikai mélység értékei csökkentek, azaz a légkör átlátszósága növekedett. Amint láthattuk, hasonló a helyzet a szórási paraméter esetén is, így a két eredmény egymást igazolja.

Ebben az esetben is meghatároztuk a jellemző éves menetet (6. ábra). Feltűnő, hogy

az éves menet nagyon hasonló a szórási paraméter éves menetére kapottéhoz: a légkör átlátszósága nagyobb télen, mint a nyári hónapokban. Ez valószínűleg az évszakokra jellemző különböző típusú légtömegekre, a nyáron gyakoribb anticiklonális, télen pedig gyakoribb ciklonális szinoptikus helyzetre, s ez által a szórást előidéző anyagok (aeroszol, por) évi menetére utal. Bár a 2. és 5. ábrák alapján nyilvánvaló, hogy a két fizikai mennyiség trendjének jellegzetességei nagyon hasonlóak, de jobban szemügyre véve az ábrákat, találhatunk egy fontos különbséget. Nevezetesen azt, hogy a 0 és 3 oktára meghatározott éves átlagok közti különbség nagyobb a szürke optikai mélység esetén, mint a szórási paraméter esetén. Ennek az a magyarázata, hogy az optikai mélység definíciójából következően jóval érzékenyebb a felhőzetre, mint a szórási paraméter. Így a 3 oktás szűrés következtében az adatsorban maradt „felhős esetek” nagyobb hibát okoznak az optikai mélység esetében a szórási paraméternél okozottnál képest. Nyilván – ahogyan erről korábban szó volt – ez a hiba

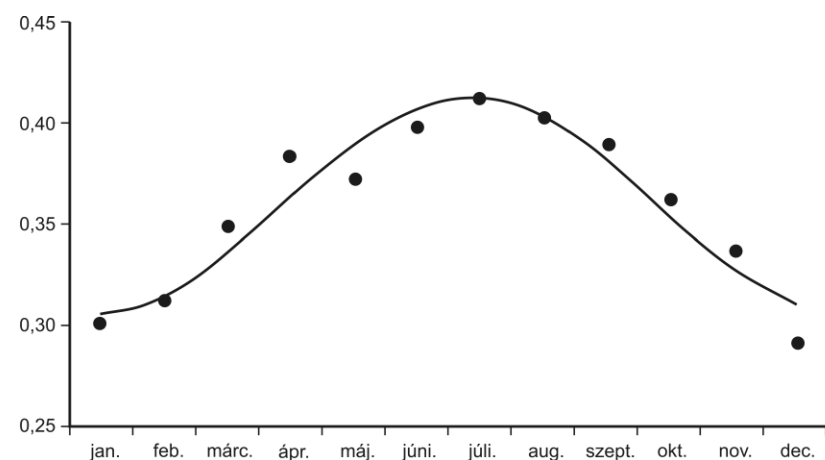


5. ábra • A szürke optikai mélység 0 oktás (szaggatott vonal) és 3 oktás (folytonos vonal) szűréssel kapott évi átlagainak időbeli menete (az egyenes a 3 oktás szűréssel kapott adatsor regressziós egyenese)

kicsi, hiszen 3 okta felhőzet esetén jó eséllyel nem takarja felhő a napkorongot, tehát a 3 oktás esetek jelentős része esetében a szürke optikai mélységérték korrekcióra, némely esetben azonban 3 oktás esetben a felhőzet éppen a napkorongon volt, ami némi hibát mégis okoz a végeredményben.

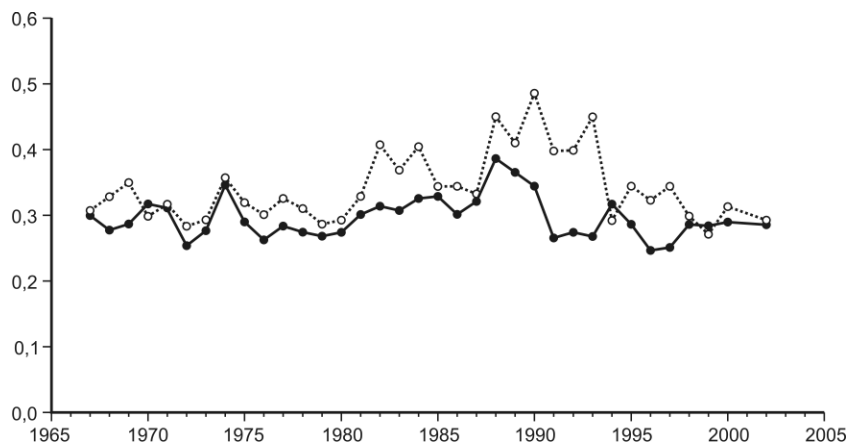
Aeroszol optikai mélység

Mivel az aeroszol optikai mélység adataira különböző technikai okokból nem volt elég homogén (nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű adat, és ezek időbeli eloszlása sem egyenletes) a trendanalízis elvégzéséhez



6. ábra • A szürke optikai mélység éves menete

homogenizálásra volt szükség. Ezt egy ún. *parametrizációval* végeztük, amelyben a szürke optikai mélységből számítottuk az aeroszol optikai mélységet a légoszlopnyi teljes vízgőztartalom figyelembe vételével. Így az aeroszol optikai mélység számított éves átlagai nem függetlenek teljesen a szürke optikai mélység éves átlagaitól, következésképpen a két optikai mélység trendje sem lesz független egymástól. A 7. ábra mutatja az aeroszol optikai mélység éves átlagainak változását. Összehasonlításképpen a szürke optikai mélység éves átlagait is feltüntettük az ábrán (aeroszol optikai mélység: folytonos vonal, szürke optikai mélység: szaggatott vonal). Megfigyelhetjük, hogy bár a két optikai mélység éves átlagának menete nagyon hasonló, a szürke optikai mélység esetén egyes időszakokban nagyobb fluktuációk tapasztalhatóak. Ennek oka leginkább a vízgőz-abszorpció, amelyet a szürke optikai mélység tartalmaz, ellentétben az aeroszol optikai mélységgel. Ezért nyilvánvalóan minél magasabb volt a teljes kihullható víz éves átlaga, annál nagyobb volt a különbség a két optikai mélység éves átlaga



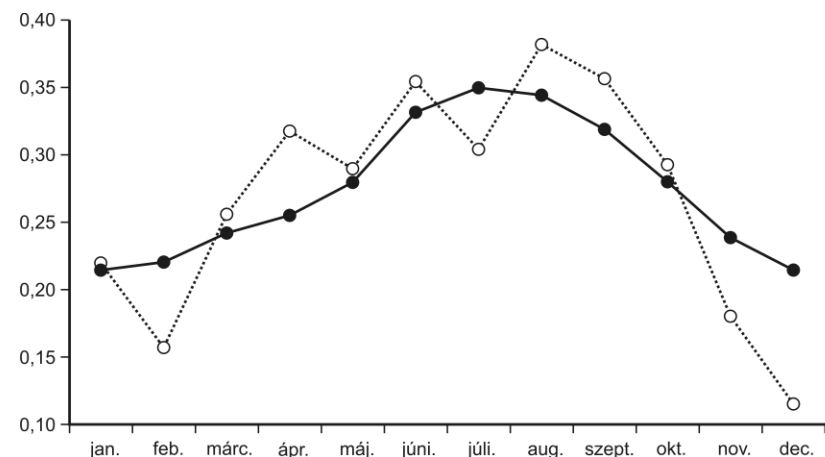
7. ábra • Az aeroszol (folytonos vonal) és a szürke optikai mélység (szaggatott vonal) éves átlagainak időbeli menete

között. Így ez nem hibát jelent a számításokban, hanem a kétféle optikai mélység definíciójának különbségéből adódik.

Tanulságos az aeroszol optikai mélység éves menetét mutató 8. ábra. A homogenizált (folytonos vonal) és kísérletképpen a homogenizálatlan, azaz a csak mérésekből származó adatsorból (szaggatott vonal) meghatározott menet között jelentős különbséget figyelhetünk meg, noha a két görbe fő jellemzői hasonlóak. Ez jól mutatja a homogenizálás fontosságát. Magának a görbének a lefutása nem meglepő: ugyanolyan éves menetet mutat, mint amelyet a másik két fizikai mennyiség esetében tapasztaltunk és elemeztünk.

A Rayleigh-atmoszféra és a realisztikus atmoszférák optikai mélység spektruma

Már utaltam arra, hogy a Rayleigh-atmoszféra az ideálisan tiszta légkört jelenti. A rendelkezésre álló tízéves (1996–2005) budapesti aeroszol optikai mélység-adatsor alapján megvizsgáltuk, hogy az OMSZ Marczell György Főobszervatóriumában milyen határok között mozgott a vizsgált időszakban a légkör



8. ábra • A homogenizálatlan (szaggatott vonal) és a homogenizált adatsorból (folytonos vonal) származó aeroszol optikai mélység évi menete

optikai mélysége a Rayleigh-atmoszférához képest. A Rayleigh-atmoszféra optikai mélységét csak a levegőelegy alapvető alkotói szórási optikai mélysége határozza meg. Az 1. táblázatban az látható, hogy a tíz év alatt Pestszentlőrincen hányszor volt nagyobb a légkör teljes optikai vastagsága a Rayleigh-atmoszféra optikai vastagságánál a legtisztább és a legszennyezettebb esetben azokon a hullámhosszokon, amelyekre az optikai mélység van értelme meghatározni. Ez az érték a

várakozásoknak megfelelően a hullámhosszal növekszik, és a legtisztább esetben 1,24 és 2,50 között változik, míg a legszennyezettebb esetben mért spektrumra 3,1 és 26,2 közötti értékek fordulnak elő. Ezek szerint például 368 nm-en majdnem háromszor vastagabb optikailag a légkör, mint a legtisztább esetben; ugyanakkor 862 nm-en kb. tízszer, ami azt jelenti, hogy azon a hullámhosszon, ahol szemünk a legérzékenyebb, majdnem hét légkört kellene egymásra pakolnunk Buda-

Hullámhossz (nm)	Legtisztább	Legszennyezettebb
368	1,24	3,10
380	1,20	3,36
412	1,29	4,18
450	1,29	5,19
500	1,22	6,64
610	1,47	10,92
675	1,46	14,07
778	2,00	20,18
862	2,50	26,23

1. táblázat • A tíz év alatt előfordult legtisztább és legszennyezettebb állapot és a Rayleigh-atmoszféra optikai mélységének aránya különböző hullámhosszokon

pesten a mérési időszakban előfordult legtisztább légkörből, hogy a legszennyezettebb légkörnek megfelelő átlátszóságú légkört kapjunk, azaz ennyi tiszta légkört jelent a legnagyobb szennyezés.

Megállapítások

Átfogó vizsgálatokat végeztünk a légkör széles sávú és spektrális napsugárzás átbocsátását tanulmányozandó az OMSZ pestszentlőrinci Marczell György Főobszervatóriuma hosszú távú (1967–2005 közötti) sugárzási adatsorának feldolgozásával. Az eredményeket a következőképpen összegeztük:

A bemutatott ábrák egyértelműen megerősítik egymást. Ennek alapján leszűrhetjük, hogy a Budapest feletti légszlop szennyezettsége az 1960-as évek közepétől az 1990-es évek közepéig növekedett, majd enyhén csökkenni kezdett. Ennek oka elsősorban a korábbi szennyező, korszerűtlen szocialista ipar számottevő részének rendszerváltás utáni leállítása, illetőleg a megmaradó rész korszerűsítése lehet. Ne feledkezzünk meg azonban a vulkáni tevékenységről sem. Jól ismert, hogy a legnagyobb vulkánkitörések jelentős mennyiségű vulkáni anyagot juttatnak a légkörbe, amely szétoszlik abban, és a kibocsátási hely-

től egészen nagy távolságokra is eljut. Így az 1980-as évek közepétől az 1990-es évek közepéig tartó időszakban az átlátszóság erősebb csökkenésében fontos szerepe van a mexikói El Chichón vulkán 1983-as és a Fülöp-szigeteki Pinatubo vulkán 1991-es kitörésének is.

A tapasztalat szerint a referenciaként legelterjedtebben használt 500 nm-es aeroszol optikai mélység jellemző átlagértéke 0,2 és 0,3 közötti. A 0,3 feletti értékek szennyezett, ipari, városi levegőtípusra utalnak, a 0,2-nél kisebbek vidéki, tiszta háttérlevegőre. Az adatsorból meghatároztuk az obszervatórium feletti légszlopra jellemző 500 nm-es értéket, amely 0,3-nak adódott. Az előbbiek szerint ez éppen az átlagosnak mondható értékek felső határának felel meg, ami jól mutatja az obszervatórium peremvárosi elhelyezkedését.

A legkevésbé szennyezett esetekben a valódi légkör tisztaságban megközelíti a Rayleigh-atmoszférát. Mint ahogy az elméletileg várható, az atmoszféra optikai vastagsága a legszennyezettebb esetben többszöröse a legkevésbé szennyezettnek.

Kulcsszavak: *légkörfizikai mérések, napsugárzás-átbocsátás, optikai mélység, szórási paraméter, trendanalízis*

Past 50 years. Science. 298, 1410–1411. http://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/RoderickFarquhar2002.pdf

Stanhill Gerald – Cohen Shabtai (2001): Global Dimming: A Review of the Evidence for a Widespread and Significant Reduction in Global Radiation with Discussion of Probable Causes and Possible Agricultural Consequences. Agricultural and Forest Meteorology. 107, 255–278.

Tóth Zoltán (2008): Long-term Variation of Atmospheric Shortwave Radiation Transmission above Budapest, Hungary. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Solar Radiation & Daylighting, SOLARIS 2008* (Hong Kong, China). 27–35.

NEMZET ÉS GLOBALIZÁCIÓ

Palánkai Tibor

emeritus professzor,
Budapesti Corvinus Egyetem

1. Globalizáció mint „nagy átalakulás” és integráció

A globalizáció korunk meghatározó történelmi folyamata. A globalizációval minőségi fordulat következik be az emberiség történetében. Kiinduló tételünk, hogy a globalizációt „nagy átalakulásnak” (Polányi Károly után) tekintjük, s tartalma nem más, mint *globális integráció*.

Mindig voltak nagy sorsfordító változások, amelyek hosszabb távon történelemnek új irányt adtak, és amelyeknek eredményeként a társadalmak minőségileg egészen mássá váltak. „Minden néhány száz évben a Nyugat történetében éles átalakulásra kerül sor. Nevezhetem ’víválasztónak’. Néhány rövid évtizeden belül a társadalom átszerveződik – világnézete, alapvető értékei, társadalmi és politikai szerkezetei, művészete és kulcsintézményei. Ötven évvel később új világot találunk. Az akkor született emberek nem tudják elképzelni azt a világot, amelyben nagyszüleik éltek, s amibe saját szüleik belezülettek. Mi most éppen egy ilyen átalakulást élünk át. A posztkapitalista társadalom születik.” (Drucker, 1994, 1.) A nem-, „nyugati” civilizációk korábbi történetéről ilyen szempontból kevesebb konkrét információ van.

A „nagy átalakulások” sajátja, hogy minőségi változásokat hoznak a társadalmi-gazdasági struktúra valamennyi szegmensében,

vagy ha úgy tetszik, a társadalmi formáció valamennyi összetevőjében, a techno-struktúrától az intézményeken keresztül az uralkodó eszmékig. „A XX. század utolsó szakaszát és a XXI. század első évtizedeit a jövő történeteszi valószínűleg az emberiség történelme olyan ritka és sok tekintetben precedens nélküli szakaszának fogják tekinteni, amelyre a globális fejlődés számos fontos területén végbemelő változások egybeesése volt a jellemző. E változások a világpolitikában s a nemzetközi hatalmi viszonyok rendszerében, bolygónk népesedési viszonyaiban, a tudományos és technikai fejlődésben, az intézményrendszerben, az emberiség és a természeti környezet viszonyában s a társadalmi viszonyok rendszerében, külön-külön is ’transzformációk’, amelyek az adott terület rendezőerőit, jellemző sajátosságait, globális és regionális következményeit radikálisan átalakították.” (Simai, 2007, 25.). A globalizáció a folyamatnak fő dimenziója, ezeket szervesen egybefogja, s jellegét is megadja. „A transzformációk között meghatározó fontosságú folyamat a globalizáció, mert a fejlődés valamennyi tényezőjét és területét befolyásolja.” (Simai, 2007, 47.) A kérdéssel számos iskola foglalkozik (transzformacionalisták, hiperglobalisták, alterglobalisták), de „bizonyos egyetértés van abban, hogy az emberi lét kulcsfontosságú szféráiban az átalakulások sorozata ment végbe, amit ha összeadunk, a 21. századi világpolitika számá-