

Felszínről mért és műholdadatokból származtatott ózonmennyiségek összehasonlítása

**Kocsis Zsófia, Tóth Zoltán, Gróbné Szenyán Ildikó,
Dr. Putsay Mária**

Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest

Az EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites – Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) felismerte a nyomgázok műholdas mérésének fontosságát, ezért hozta létre az Ózon és Levegőkémiai Munkacsoportot (Ozone and Atmospheric Chemistry Monitoring Satellite Application Facility, röviden Ózon SAF). Ez a Munkacsoport a MetOp poláris meteorológiai műholdak mérései alapján származtat, verifikál, archivál és rendelkezésre bocsát különböző nyomgázokra, aeroszolokra, felszíni UV sugárzásra vonatkozó adatokat. Munkánkhoz ezek közül a MetOp-A műholdon található GOME-2 műszer méréseiből származtatott légköri összózon és ózon profil adatokat használtuk fel. A méréseket két külön módszerrel, eltérő felbontásban végzik. Célunk, hogy a műholdadatokból kétféleképpen származtatott összózon értékeket egymással is és felszíni mérésekkel is összehasonlítsuk.

Bevezetés

Az északi félteke és az Antarktiszt felett a sztratoszférikus ózon mennyisége jelentős mértékben csökkent az utóbbi években, ennek következtében az ultraibolya (UV) sugárzás megnőtt. Az UV sugárzás erősödése megnöveli egyes betegségek kialakulásának valószínűségét a sugárzásnak kitettek körében: bőrrák, szembántalom, immunrendszer gyengülése, stb. Az UV sugárzásnak nem csak az emberekre vannak káros hatásai, hanem a növényzetre és az állatokra is.

Az ózon több hullámhossztartományban is elnyel, mellyel módosítja a légkörön áthaladó sugárzás erősségét. Ezért az ózonszámok a klímakutatás és a numerikus időjárás-előrejelző modellek számára is fontosak.

Az ózon mérésének két különböző módja van: in-situ (helyben történő) mérések (ózonszondás mérések), valamint távérzékeléssel történő (felszíni sugárzásmérővel vagy műholdról végzett) mérések. A felszíni vagy felszínről indított mérések pontszerű információt szolgáltatnak, ezek igen költségesek, ezért csak kevés helyen van-

nak ilyen mérések – Magyarországon például csak egy helyen mérnek összózon tartalmat, ózonszondázás pedig nincsen –, és azok is egyenlőtlenül helyezkednek el a Föld felszínén. Így az egész Földre kiterjedő teljes képet nem adnak, erre csak a műholdas mérések képesek. Az Antarktisz feletti ózonréteg vékonyodást is műholdas mérések segítségével vették észre.

A műholdakkal történő ózonmegfigyelés előnyei a hagyományos mérésekkel szemben a nagy területi lefedettség és az adatsorok homogenitása (ugyanazzal a műszerrel, kiértékelési algoritmussal történik a mérés a Föld különböző területein).

A felhasznált műholdadatok

Az összózon mennyiség a vertikális légoszlopban található ózongáz összmenyiségét jelenti. Az ózon profil pedig a vertikális légoszlopban az ózon gáz mennyiségének függőleges eloszlása. Ha az ózon profilt vertikálisan integráljuk (összegezzük), akkor az összózon mennyiséget kapjuk meg.

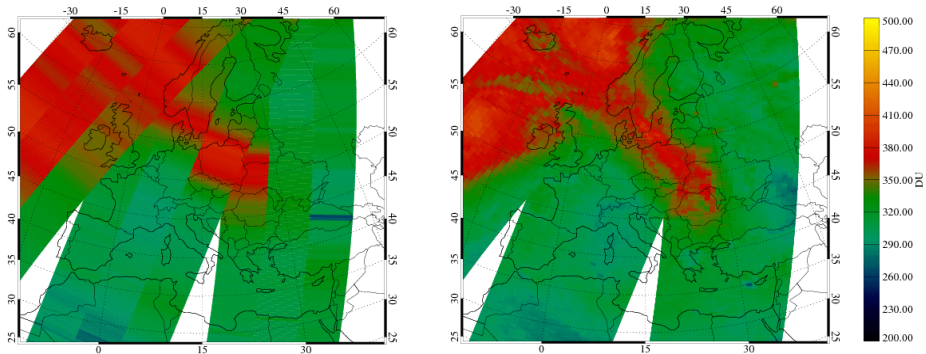
Az összózon produktumot Németországban, a DLR-ben (German Aerospace Center) készítik, melyhez egy klasszikus DOAS-AMF illesztési módszert használnak [3]. A produktum 24 ún. „forward” és 8 „backward” pixelből áll, melyek horizontális felbontása $40\text{ km} \times 80\text{ km}$ a „forward”, és $40\text{ km} \times 240\text{ km}$ a „backward” pixeleknél. Munkánkban csak a „forward” pixeleket használtuk.

Az ózon profil produktumot az Opera (Ozone Profile Retrieval Algorithm) algoritmus alapján Hollandiában, a KNMI-ben (Royal Netherlands Meteorological Institute) készítik. Ezzel az algoritmus-sal a műhold által, az ultraibolya-látható tartományban mért visszavert sugárzásból ózon profilt határoznak meg [2]. A produktum horizontális felbontása $40\text{ km} \times 640\text{ km}$.

Ahhoz, hogy a két produktumot össze tudjuk hasonlítani, az ózon profilból is készítettünk összózon produktumot (integrált ózon profil) úgy, hogy vertikálisan összegeztük az értékeket pixelenként. Az összózon és ózon profil fájlok nem ugyanolyan horizontális felbontásúak, az ózon profil pixelek nyolcszor olyan nagyok, mint az összózon pixelek. Úgy döntöttünk, hogy az összehasonlítás érdekében az összózon felbontását rontjuk le, hogy a két produktumnak megegyezzen a felbontása.

Az összehasonlításhoz használt statisztikai mérőszámok

Az integrált ózon profil és az összózon produktumok összehasonlításhoz az átlagos hiba (ME), abszolút átlagos hiba (MAE) és a négyzetes átlagos hiba (RMS) értékeket számoltuk ki.



1. ábra: Példa az integrált ózon profilra (bal) és az összózon produktumra (jobbra).

Az alábbi formulákban P_i az integrált ózon profilt, M_i pedig a rontott felbontású összózont jelöli (mindkettő Dobson-egységben):

$$ME = \frac{1}{N} \sum_i (P_i - M_i)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_i |P_i - M_i|$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (P_i - M_i)^2}$$

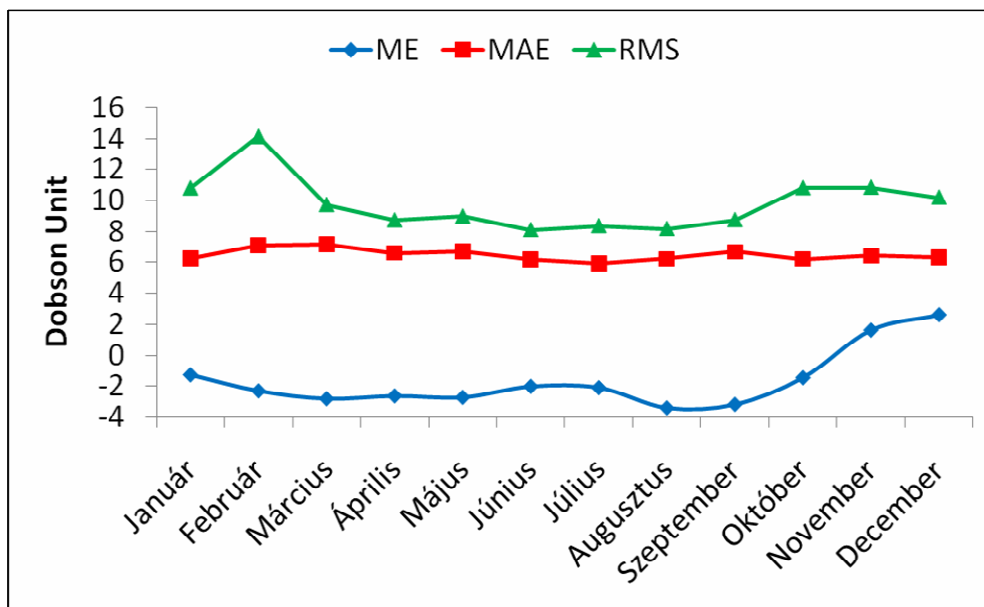
Az integrált ózon profil és a rontott felbontású összózon összehasonlítása

Az összehasonlítást 2009-re a teljes földgömbre vonatkozóan végeztük el. Az egész évre vonatkozó eredmények az 1. táblázatban láthatóak. Azt találtuk, hogy az integrált ózon profil kisebb értéket ad, mint a rontott felbontású összózon. Az ME körülbelül $-1,6$ Dobson-egység (DU), szórása kb. $9,8$ DU. (Egy Dobson-egység azt jelenti, hogy adott légoszlopban $0,01$ mm vastagságú rétegnek megfelelő kén-dioxid található. A függőleges légoszlopban levő összes kén-dioxid gázt standard hőmérsékletre és nyomásra hozva ennyi század mm magas oszlopot kapnánk.)

	ME	MAE	RMS	Integrált ózon profil átlag	Rontott felbontású összózon átlag	Adatok száma
2009	-1,61	6,43	9,83	289,76	291,61	6318038

1. táblázat: Statisztikák az egész évre vonatkozóan

A különböző mutatókat minden hónapra külön is kiszámoltuk. Novemberben és decemberben az integrált ózon profil értékei nagyobbak, mint a rontott felbontású összózon értékei, az év többi részében ez fordítva van (2. ábra).



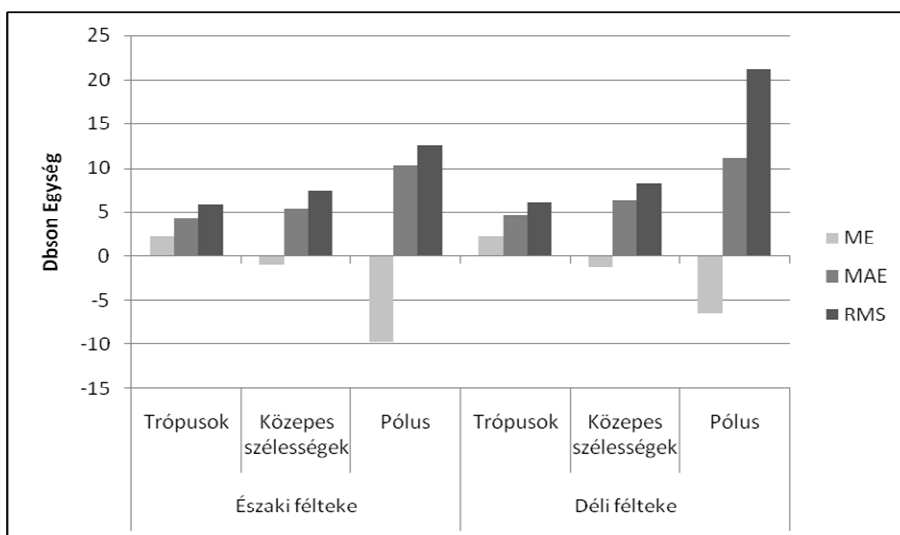
2. ábra: Havi bontású statisztikák 2009-re

Az abszolút átlagos hiba a hónapok változásával nem mutat számottevő eltérést, az RMS október és február között kicsit nagyobb, mint az év többi részében, maximuma februárban van. A különböző átlagértékek és a felhasznált adatok száma a 2. táblázatban látható.

	Január	Február	Március	Április	Május	Június	Július	Augusztus	Szeptember	Október	November	December
Integrált ózon profil átlag	279,93	289,05	306,80	317,21	314,30	304,52	293,52	289,94	284,93	279,67	277,92	286,39
Rontott felbontású összózon átlag	281,21	291,36	309,63	319,85	317,04	306,53	295,64	293,36	288,13	281,15	276,33	283,79
Adatok száma	50 5638	47 4418	52 1872	52 3502	54 4927	53 2346	55 1013	55 4404	44 7547	56 1678	53 6637	56 4056

2. táblázat: Az átlagértékek és a felhasznált adatok száma a havi statisztikákhoz

A 3. ábrán a különböző területekre vonatkozó statisztikai mérőszámok szerepelnek. A trópusokon az integrált ózon profil nagyobb értékeket ad, mint a rontott felbontású összózon, míg a közepes szélességeken és a pólusoknál ez fordítottan jelentkezik. A trópusról a pólusok irányába a statisztikai mutatók értéke nő, kivétel az átlagos hiba, mely a közepes szélességeknél volt a legkisebb. Az északi és déli féltekék között nem látható jelentős különbség a pólusokat leszámítva. Az átlagos hiba az északi pólus felett nagyobb, míg a MAE és RMS értékek a déli pólus felett nagyobbak.



3. ábra: Statisztikák a különböző területekre

A különböző átlagértékek és a felhasznált adatok száma a 3. táblázatban látható.

	Északi félteke			Déli félteke		
	Trópusok	Közepes szélességek	Pólus	Trópusok	Közepes szélességek	Pólus
Integrált ózon profil átlag	259,61	322,17	343,35	255,73	295,41	256,91
Rontott felbontású összózon átlag	257,35	323,07	353,02	253,45	296,71	263,34
Adatok száma	874793	1556325	721765	873945	1438051	496999

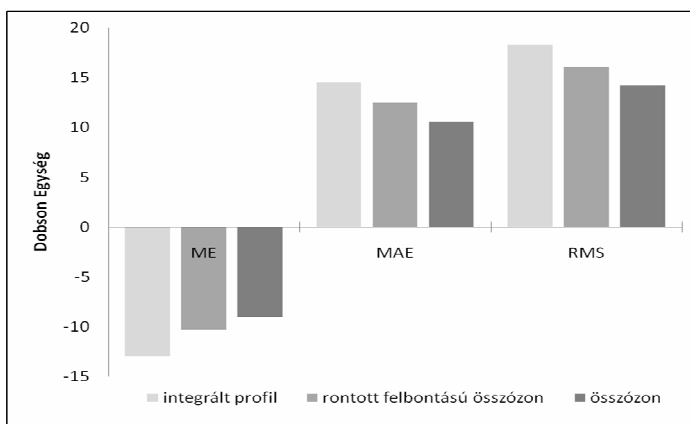
3. táblázat: Az átlag értékek és a felhasznált adatok száma a különböző területekre

Az űrből és a felszínről mért ózonnemnyiségek összehasonlítása

Mindkét ózon produktumot (integrált ózon profil és rontott felbontású összózon) összehasonlítottuk a budapesti felszíni mérésekkel. Ezek a felszíni mérések egy Brewer MKIII dupla monokromatikus spektrofotométerrel (No. 152) történtek az Országos Meteorológiai Szolgálat Marcell György Főobszervatóriumában. A gyártó ajánlái alapján a műszert két évenként az „utazó világ referencia” spektrofotométerhez kalibrálják. Annak érdekében, hogy a műszer a legpontosabb maradhasson, napi és havi szinten is különféle teszteket végeznek el a műszerrel. A méréseket (és a teszteket is) a Nap meghatározott zenitszöge mellett végzik, így az ózon értékeket körülbelül minden tizenötödik percben kapunk.

A felszíni mérést összehasonlítottuk a műholdadatokból származtatott ózonprofilból számolt összózon tartalommal (integrált ózon profil), a rontott felbontású összózon mennyiségekkel, valamint az eredeti felbontású összózon tartalommal is.

Az összehasonlításhoz kiválogattuk azokat a pixeleket, ahol Budapest található. A felszíni mérések közül azokat használtuk, melyek időben legközelebb voltak a MetOp-A átvonuláshoz. Amennyiben az időkülönbség az átvonulás és a felszíni mérés között több volt, mint 5 perc, akkor az előző és következő mérésből interpolált adatot használtuk fel. Így összesen 282 adatpárt kaptunk, melyekből a statisztikai mérőszámokat számoltuk.



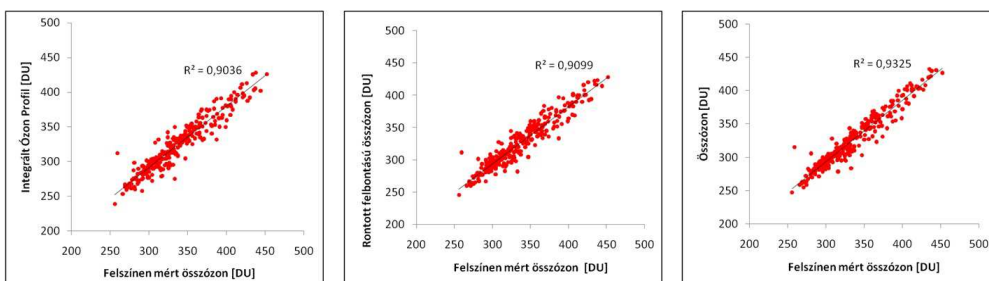
4. ábra: Összehasonlítás a budapesti felszíni mérésekkel

Az eredmények azt mutatják, hogy a műholdas mérések kissé alulbecslik a felszíni méréseket. Az összózon produktum áll legközelebb a spektrofotométer méréseihez, legtávolabb pedig az integrált profil (4. ábra). A műholdas produktumok közti különbség kisebb, mint a műholdas mérések és a felszíni mérések közötti különbség.

	Integrált ózon profil	Rontott felbontású összózon	Összózon	Mérés
Átlag	323,14	325,90	327,39	336,15
Adatok száma	282	282	282	282

4. táblázat: Az átlagértékek és a felhasznált adatok száma

Az 5. ábrán jól látszik, hogy a műholdas becslések kissé alulbecslik a felszíni méréseket. Az alulbecslés mértéke függ a mért ózon mennyiségétől: minél több ózont mérnek a műszerek, annál inkább alulbecslik a műholdas mérések a felszíni méréseket. A korrelációs együttható mindhárom esetben 0,9 felett van, legkisebb az integrált ózon profil esetén, legnagyobb az eredeti felbontású összózonnál.



5. ábra: A felszínen mért a műhold által mért ózonmennyiségek közti összefüggések

Összefoglalás

Vertikálisan integráltuk az ózon profil produktumot, így kaptunk egy becslést a légoszlopban található ózonmennyiségről. Ezt hasonlítottuk az O3MSAF munkacsoport összózón produktumával a 2009-es évre vonatkozóan. Azt találtuk, hogy integrált ózon profil kisebb értékeket ad, mint az összózón produktum az időszak nagy részében, kivéve a novemberi és decemberi hónapokat. Az összehasonlítást elvégeztük különféle (trópusok, közepes szélességek, pólusok) térségekre bontva is. Az integrált ózon profil a trópusok felett nagyobb értékeket ad, mint az összózón. A közepes szélességek és a pólusok felett az összózón értékei nagyobbak, mint az integrált ózon profilé. Az északi és déli féltekék között jelentős különbségeket a pólusok kivételével nem láttunk.

Az ózon produktumokat a budapesti Brewer spektrofotométer méréseivel is összevetettük. A műholdas mérések jól közelítik a felszíni méréseket, 2–4%-os alábecslést tapasztaltunk. Azt találtuk,

hogy az alábecslés mértéke a mért ózon mennyiségétől függ: minél több a mért ózon mennyisége, annál inkább alulbecsülnek a műholdas mérések. A felszíni és műholdas mérések közti különbség nagyobb, mint a két műholdas produktum közötti eltérés. A kétféle produktum közti eltérés az előállításuk során használt algoritmusok miatt van.

Köszönetnyilvánítás

Ez a munka az *URKUT_10-1-2011-0018* számú pályázat keretein belül valósult meg. Ezúton köszönjük az EUMETSAT O3MSAF munkacsoportnak, hogy rendelkezésünkre bocsátották a felhasznált adatokat.

Irodalomjegyzék

- [1] Loyola R.D., Zimmer W., Kiemle S., Valks P., Ruppert T. (2009): Product User Manual for GOME Total Columns of Ozone, Minor Trace Gases, and Cloud Properties. Available on-line on the O3MSAF home page: <http://o3saf.fmi.fi/>
- [2] Tuinder O. (2009): Product User Manual for the Near Real Time and Offline Ozone Profile. Available on-line on the O3MSAF home page: <http://o3saf.fmi.fi/>
- [3] Valks P., Loyola D., Hao N., Rix M., Slijkhuis S. (2009): Algorithm Theoretical Basis Document for GOME-2 Total Column Products of Ozone, NO₂, SO₂, BrO, H₂O, tropospheric NO₂ and Cloud Properties. Available on-line on the O3MSAF home page: <http://o3saf.fmi.fi/>