

Az OMSZ honlapján naponta közzéteszünk egy ózon térképet, amely a légkör ózontartalmának eloszlását mutatja Európa területén. A függőleges légoszlopban található ózon mennyisége (összózon) látható a térképen, melyeket műholdadatokból származtatnak külföldi meteorológiai intézetekben. Az OMSZ munkatársai az aktuális értékeket jelenítik meg.

Verifikációt is végeztünk, hogy képet kapjunk a műholdadatokból származtatott ózon értékek megbízhatóságáról: felszínről történő ózon mérésekkel hasonlítottuk össze a műholdas ózon mérést. Műholdról két külön módszerrel származtatnak ózon mennyiséget. A kétféle eredményeket egymással és a felszíni mérésekkel is összehasonlítottuk. A verifikáció eredményét az alábbi ismertető tartalmazza.

A megjelenítési eljárás kidolgozását és a verifikáció elvégzését az **URKUT_10-1-2011-0018** számú pályázat támogatta.

A műholdadatokból származtatott légköri ózon mennyiségének verifikációja

Kocsis Zsófia, Tóth Zoltán, Gróbné Szenyán Ildikó és dr. Putsay Mária
Országos Meteorológiai Szolgálat

Bevezetés

Az északi hemiszféra és az Antarktisz felett a sztratoszférikus ózon mennyisége jelentős mértékben csökkent az utóbbi években, ennek következtében az ultraibolya 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 nagyságát. Ezért az ózommérések a klímakutatás és a numerikus időjárás előrejelző modellek számára is fontosak.

Az ózon mérésének két különböző módja van: 'in-situ' (helyben történő) mérések (ózenszondás 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 történnek ilyen mérések (Magyarországon például csak egy helyen mérnek összózon tartalmat, ózenszondázás pedig nincs) 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).

Felhasznált műholdadatok

Az EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites – Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) is 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 nevű poláris meteorológiai műhold 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.

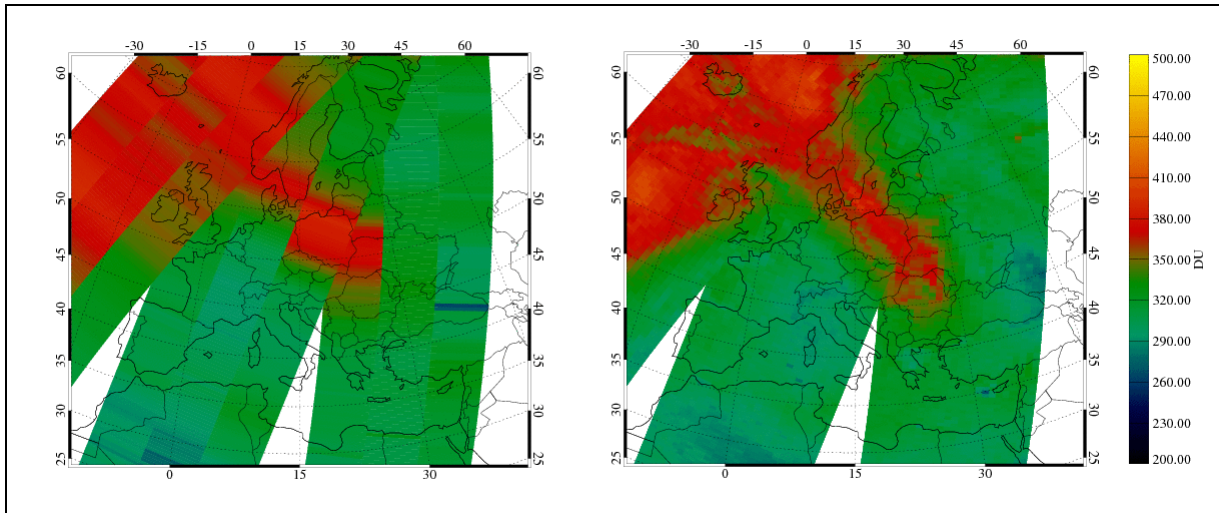
Az összózon mennyiség a vertikális légoszlopban található ózongáz össz mennyiségét jelenti. Az ózon profil pedig a vertikális légoszlopban az ózon gáz mennyiségének függőleges eloszlása. Ha az ózon profilt vertikálisan integráljuk (összegezzük), akkor az összózon mennyiséget kapjuk meg.

Az Ózon SAF munkacsoport összózon mennyiséget és ózon profilt is számol – származtat a GOME-2 műszer méréseiből. Ezt két külön módszerrel, eltérő felbontásban végzik. Célunk, hogy a műholdadatokból kétféleképpen származtatott összózon értékeket egymással is és felszíni mérésekkel is összehasonlítsuk.

Az összózon produktumot a DLR-ben (German Aerospace Center) készítik, melyhez egy klasszikus DOAS-AMF illesztési módszert használnak. Az algoritmus két fő részből áll, a DOAS legkisebb négyzetes illesztést, egy megfelelő faktor (Air Mass Factor) számítása követi, amivel meghatározható vertikális oszlop sűrűség (Valks et al., 2009). A 'produktum' (műholdadatokból számolt mennyiség) 24 ún. 'forward' és 8 'backward' pixelből áll, melyek horizontális felbontása 40 km x 80 km a 'forward' és 40 km x 240 km a 'backward' pixeleknél. Munkánkban csak a 'forward' pixeleket használtuk.

Az ózon profil produktumot az Opera (Ozone Profile Retrieval Algorithm) algoritmus alapján a KNMI-ben (Royal Netherlands Meteorological Institute) készítik. Ezzel az algoritmussal a műhold által, az ultraibolya-látható tartományban mért visszavert sugárzásból ózon profilt határoznak meg. A módszerben a sugárzás átviteli törvényeket használják, hogy a légköri paramétereiből radiancia értékeket hozzanak létre (Tuinder, 2009). A produktum horizontális felbontása 40 km x 640 km.

Ahhoz, hogy a két produktumot össze tudjuk hasonlítani az ózon profilból is összózon produktumot (integrált ózon profilt) készítettünk 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.



1. ábra: Példa az integrált ózon profilra (bal) és az összózon produktumra (jobb); jól látható a két produktum horizontális felbontásában a különbség

Összehasonlításhoz használt statisztikai mérőszámok

Az integrált ózon profil és az összózon produktumok összehasonlítását egy év adataival végeztük el. Először az egész 2009-es évre hasonlítottuk össze a produktumokat, majd havonta. Az egész földgömbre származtatott adatokat hasonlítottuk össze, majd külön-külön az egyes földrajzi övezetekre is elvégeztük az összehasonlítást.

Az összehasonlításhoz az átlagos hiba (ME), abszolút átlagos hiba (MAE) és a négyzetes átlagos hibákat (RMS) számoltuk ki, az alábbi egyenletek alapján. Az alábbi formulákban P_i az integrált ózon profilt, M_i pedig a rontott felbontású összózont jelöli (mindkettő Dobson egységben):

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

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

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

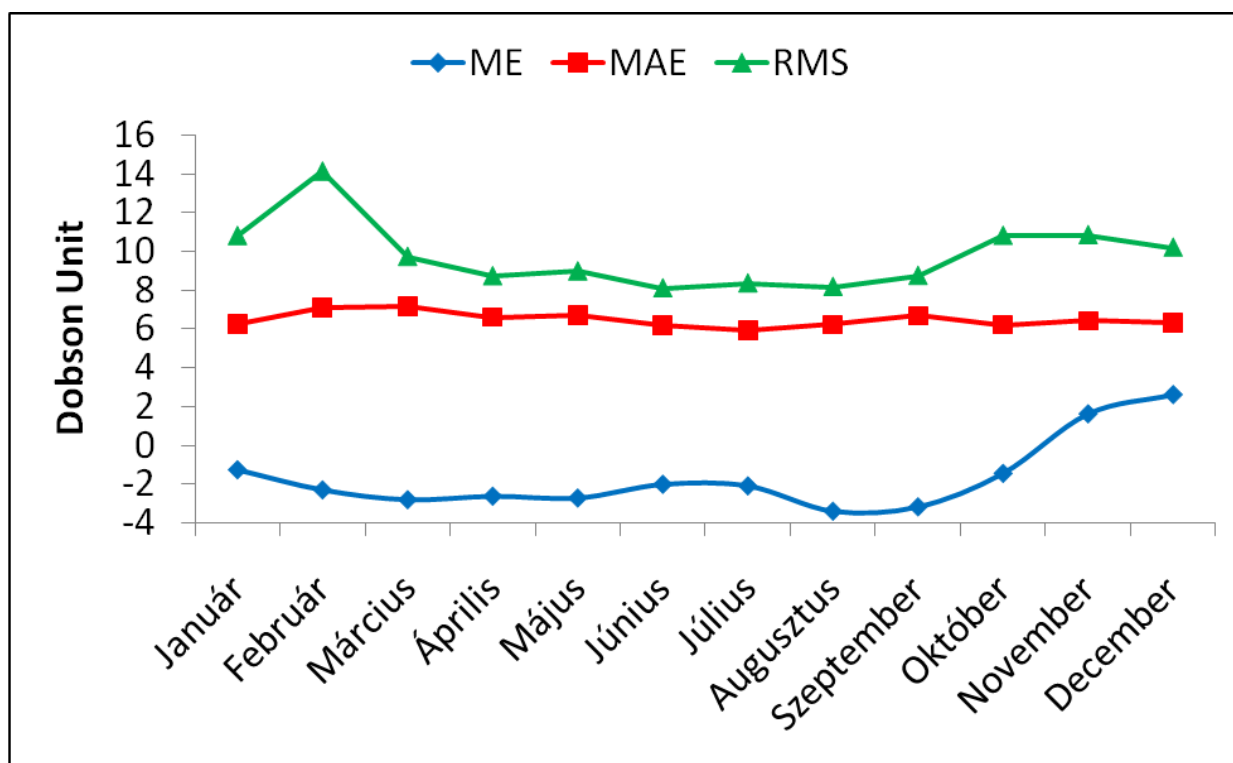
Az integrált ózon profil és a rontott felbontású összózon összehasonlítása

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 értékeket ad, mint a rontott felbontású összózon. Az ME körülbelül -1,6 Dobson Egység (DU), szórása kb. 9,8 DU. (Egy Dobson egység (DU) azt jelenti, hogy adott légszlopban 0,01 mm vastagságú rétegnek megfelelő ózon található. A függőleges légszlopban levő összes ózon 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 2009-re és a teljes földgömbre; ME az átlagos hiba, MAE az átlagos abszolút hiba, RMS a négyzetes átlagos hiba

A 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). 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 átlag értékek és a felhasznált adatok száma a 2. táblázatban láthatóak.

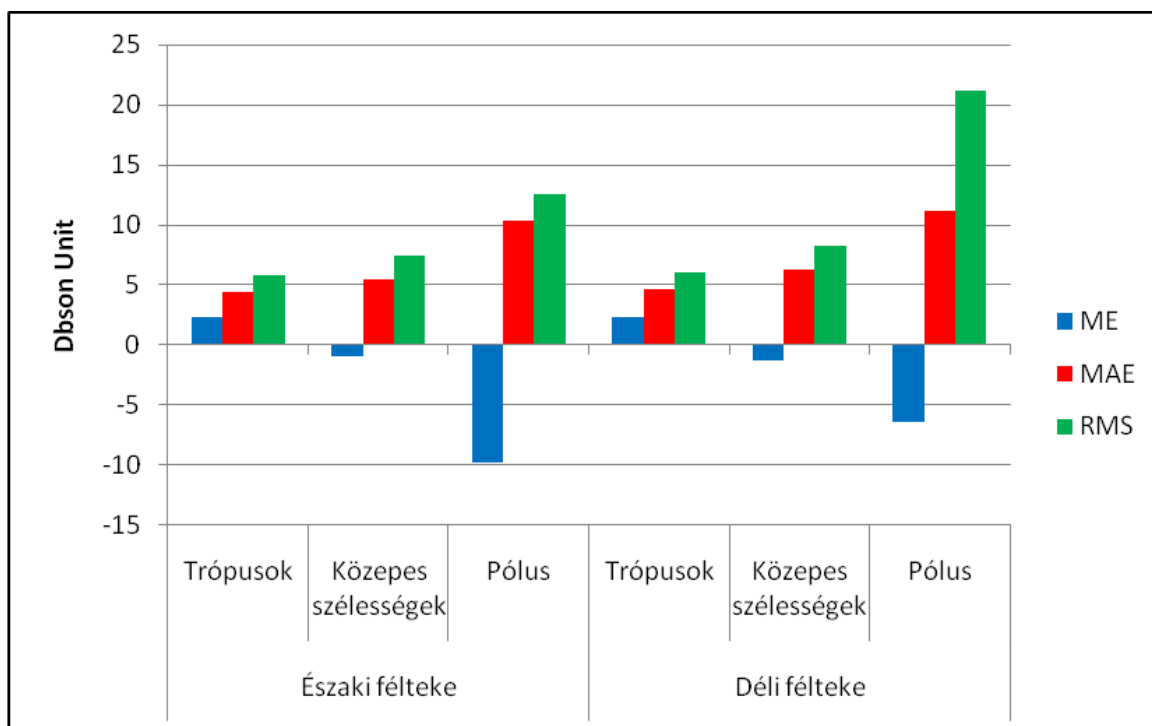


2. ábra: Havi bontású statisztikák 2009-re; ME az átlagos hiba, MAE az átlagos abszolút hiba, RMS a négyzetes átlagos hiba

	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	505638	474418	521872	523502	544927	532346	551013	554404	447547	561678	536637	564056

2. táblázat: Az átlag értékek 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 rontott felbontású összózon, míg a közepes szélességeken és a pólusoknál ez fordítottan jelentkezik. A trópusoktól a pólusok irányába az átlagos hiba nő, míg a MAE és RMS értékek csökkennek. 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. A különböző átlag értékek és a felhasznált adatok száma a 3. táblázatban láthatóak.



3. ábra: Statisztikák a különböző területekre;
ME az átlagos hiba, MAE az átlagos abszolút hiba, RMS a négyzetes átlagos hiba

	Északi féltéke			Déli féltéke		
	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

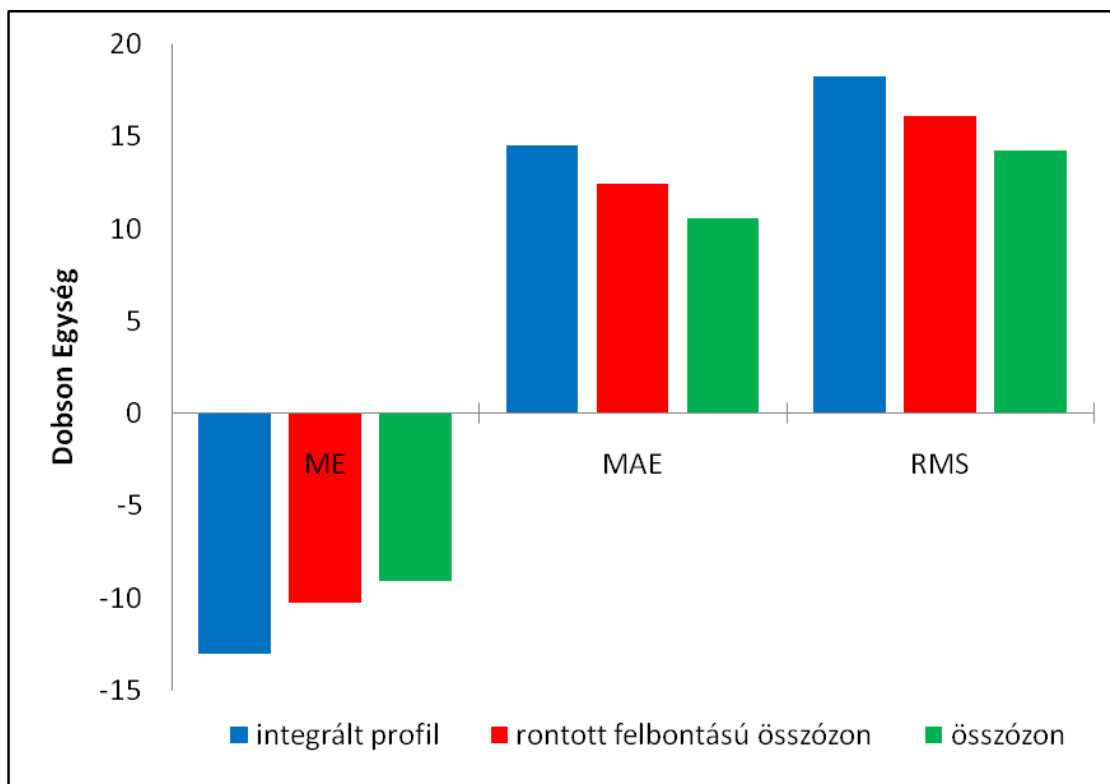
Az úrból és a felszínről mért ózon mennyiségek összehasonlítása

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 ajánlásai alapján a műszert két évenként az 'utazó világ referencia' spektrofotométerhez kalibrálják. Annak érdekében, hogy a műszer a legpontosabb maradjon, napi és havi szinten is különféle teszteket végeznek el a műszerrel. A méréseket (és a teszteket is) a Nap meghatározott zenitszöge mellett végzi el a műszer, így az ózon értékeket körülbelül minden 15-dik percben kapunk.

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

Az összehasonlításhoz kiválogattuk a műholdas mérések azon pixelét, 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 mint 5 perc volt, akkor az előző és következő mérésből interpolált adatot használtuk fel. Így összesen 282 adat-negyest kaptunk, melyekből a statisztikai mérőszámokat számoltuk.

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.

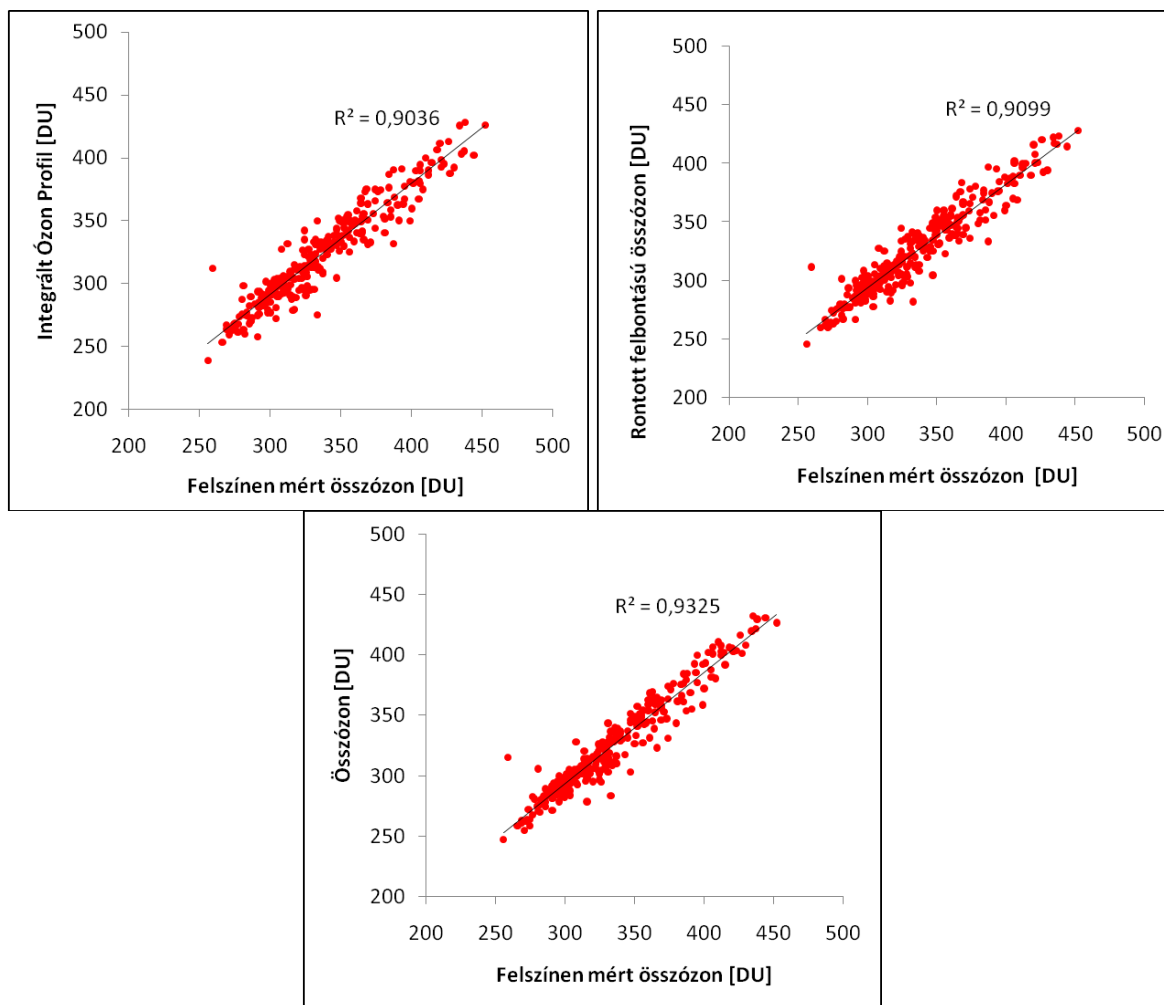


4. ábra: Összehasonlítás a budapesti felszíni mérésekkel; ME az átlagos hiba, MAE az átlagos abszolút hiba, RMS a négyzetes átlagos hiba; a műholdadatokból származtatott ózommennyiségekből vontuk ki a felszínen mért mennyiségeket

	Integrált ózon profil	Rontott felbontású összózón	Eredeti felbontású összózón	Összehasonlított esetek száma
Átlag	323,14	325,90	327,39	336,15
Adatok száma	282	282	282	282

4. táblázat: Az átlag értékek 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 összózónnál.



5. ábra: A felszínen mért és a műholdadatokból származtatott ózommennyiségek közti összefüggések.

Összefoglalás

Vertikálisan integráltuk az ózon profil produktumot, így kaptunk egy becslést a légoszlopban található ózommennyiségről. Ezt hasonlítottuk az O3MSAF munkacsoport összózon produktumával a 2009-es évre vonatkozóan. Azt találtuk, hogy integrált ózon profil kisebb értékeket ad, mint az összózon 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 összózon. A közepes szélességek és a pólusok felett az összózon értékei nagyobbak, mint az integrált ózon profilé. Az északi és déli hemiszférák 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, csupán 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 két-féle 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

- *Loyola, R. D., Zimmer, W., Kiemle, S. and 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/>*
- *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/>*
- *Valks, P., Loyola, D., Hao, N., Rix, M. and 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/>*