

VI. Évfolyam 4. szám - 2011. december

**Bottyán Zsolt**

[bottyan.zsolt@uni-nke.hu](mailto:bottyan.zsolt@uni-nke.hu)

## IN-SITU LEVEGŐKÉMIAI ÉS LÉGKÖRFIZIKAI MÉRÉSEK A FAAM BAE-146-OS FEDÉLZETÉN: A SONATA PROJEKT – ELŐZETES EREDMÉNYEK

### *Absztrakt*

*A repülőgépes in-situ meteorológiai mérések rendkívül fontosak a levegőkémiai és felhőfizikai folyamatok vizsgálatához valamint ezek modellezéséhez egyaránt. Munkánkban a SONATA projekt keretében, 2011. augusztusában, a FAAM BAe-146-os kutató repülőgépeinek fedélzetén elvégzett légköri mérésekről számolunk be, melynek során a fontosabb üvegházhatású gázok, a nitrogén-oxidok, a szén-monoxid, a troposzférikus ózon koncentrációjának térbeli és időbeli alakulását vizsgáltuk, Olaszország és az Adriai-tenger felett. Bemutatjuk a repülőgépes mérésekre történő felkészülési folyamat elemeit, magát a repülőgépet, a konkrét repülési útvonalat és elvégezzük a repülési nap időjárási analizisét is. Tekintve, hogy a mért adatok kiértékelése jelenleg is folyamatban van, munkánkban bemutatjuk az eddig feldolgozott mérési eredményeket, a troposzférikus ózon és a nitrogén-dioxid koncentrációk térbeli és időbeli eloszlására vonatkozásában.*

*The airborne in-situ meteorological measurements are very important to examine and model the microphysical processes in the atmosphere. In our work we show the atmospheric airborne measurement of greenhouse gases, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and CO on the board of FAAM BAe-146 aircraft during SONATA project in August of 2011. We present the steps of the preflight procedures, the BAe-146 aircraft itself, the flight path and we give a meteorological overview for the day of flight. Since the measured data set are not yet processed completely we show some preliminary results in connection with spatial and temporal distribution of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> concentration over Italy and Adriatic Sea.*

**Kulcsszavak:** *repülőgép-fedélzeti mérés, repülési terv, ózon, SONATA projekt ~ aircraft airborne measurement, flight plan, ozone, SONATA project*

## ELŐZMÉNYEK

2011 tavaszán az EUFAR (European Facility for Airborne Research) hivatalos honlapján megjelent egy pályázat, melyben PhD hallgatók és egyetemi oktatók részére pályázati lehetőséget biztosítottak az olaszországi Pescara-ban megrendezésre kerülő, nyári repülőgépes levegőkémiai és légkörfizikai mérési kampányon történő részvételre.

Tekintve, hogy ebben az időszakban már kidolgozás alatt állt az Óbudai Egyetemmel közösen benyújtott TÁMOP pályázat (a pilóta nélküli repülőeszközök komplex repülmeteorológiai biztosításának kidolgozása c. alprogrammal), melynek egyik fontos eleme in-situ repülőgépes meteorológiai mérések tervezése, végrehajtása és a mért adatok feldolgozása. Ezért, oktatóként megpályáztam a SONATA (School ON Aircraft Techniques for the studies of Atmospheric chemistry) projektet, tapasztalatszerzés céljából.

A sikeres pályázatom után felkészültem a 2011. augusztus 17-28 közötti elméleti oktatásra és a gyakorlati repülési program végrehajtására. A projektben történő részvételt minden hallgató számára teljes egészében az EUFAR finanszírozta.

### ELMÉLETI KÉPZÉS A SONATA PROJEKT KERETÉN BELÜL

A kiutazást követő napon megkezdődött a különböző európai országokból érkezett résztvevők (meteorológusok, levegőkémikusok) elméleti felkészítése. Tekintve, hogy a projekt alapvetően repülőgép fedélzetén történő levegőkémiai mérések tervezéséről, végrehajtásáról szólt, az elméleti felkészítés a következő témákat érintette:

- Általános levegőkémiai (fotokémiai, kémiai) és légkörfizikai folyamatok áttekintése a légkörre vonatkozóan;
- Az éghajlatváltozás és a levegő kémiája;
- A troposzférikus ózon ( $O_3$ ), nitrogén-oxidok ( $NO_x$ ), szén-monoxid (CO) valamint az üvegházhatású gázok koncentrációjának méréséhez használt mérőműszerek elvi felépítése, használata és installációja;
- In-situ repülőgép-fedélzeti légköri mérések tervezése, gyakorlati végrehajtása, a végrehajtáshoz szükséges anyagi és eszközállomány beszerzésének pályázati lehetősége, rendszere;
- Pályázati lehetőség a FAAM (Facility for Airborne Atmospheric Measurements)-nál, korábbi mérési expedíciók végrehajtása, eredményei és tapasztalatai;
- A FAAM BAe-146-os repülőgépe, fedélzeti mérőberendezései, biztonsági előírások;
- A mért adatok utófeldolgozásához szükséges elméleti ismeretek és szoftverek.

A felkészítést a szakma elismert kutatói-oktatói végezték, akik a FAAM, University of Leeds, University of Aquila, Metropolitan University, Tokyo intézmények munkatársai és számos hasonló projektben vettek már részt.

### GYAKORLATI KÉPZÉS: FELKÉSZÜLÉS A REPÜLŐGÉP-FEDÉLZETI MÉRÉSRE

A résztvevők a kurzus második napjától kezdve, három csoportban – az elméleti előadásokkal párhuzamosan – dolgoztak a gyakorlatban végrehajtásra kerülő repülési program tervének kialakításán. Ez a rendkívül komplex feladat igen komoly és széleskörű ismereteket kívánt meg a csoportokban dolgozó résztvevőktől, hiszen egy teljes repülési tervet kellett kidolgozni a kurzus utolsó napjaira időzített, a FAAM BAe-146 fedélzetén elvégzendő mérési kampányra vonatkozóan. A tervezett repülési idő 3 óra volt, melynek során a kívánt repülési pályán, a megfelelő repülési manőverek végrehajtásával, az installált mérőberendezések

felhasználásával kellett a programot végrehajtani úgy, hogy közben percre pontosan meg volt határozva szinte minden fontos művelet. Mindeközben, a fedélzeti információs rendszeren keresztül nyomon kellett követni a mért adatokat és a berendezések működését is. A kívánt repülési/mérési terv kidolgozásához szükséges feladatok a következők voltak:

- Az elvégzendő mérési feladat jól definiált meghatározása, különös tekintettel a vizsgálandó gázok jelentős koncentrációban várható megjelenésére (pl. hajók kéményéből származó szennyezőanyag nyomkövetése és ennek összetevőinek, azok koncentrációinak mérése kis magasságban az Adriai-tenger felett, tengeri olajfűrőtornyok feletti metán koncentráció mérése, felhőben levő felhőelemek (cseppek) méret-eloszlásának meghatározása, stb.);
- Az adott napra vonatkozóan egy részletes meteorológiai helyzetjelentés (briefing) készítése (naponként frissítve, ahogy közeledett a repülési dátum) különös tekintettel a mérendő légköri gázok koncentrációjának és az egyéb állapotjelzők várható alakulására. Ennek repülésbiztonsági és méréstechnikai jelentősége egyaránt fontos.
- A földrajzi, légköri és légi-közlekedési helyzet figyelembe vételével, egy repülési útvonal kialakítás-optimalizálás, melynek során meghatározandó pontról-pontra a repülési sebesség, a repülési magasság, a mérési manőverek típusa (pl. határréteg alatt és felett történő lépcsős repülési mód, adott emelkedési sebességgel végrehajtott profil-mérési mód, stb.), a műszerek esetleges repülés közbeni kalibrációs pontjainak helyzete, a levegőből történő mintavételek helyei és időpontjai.

Az első tervezett repülési napunk előtt egy nappal a FAAM BAe-146-os repülőgépe megérkezett Pescara repülőterére, így ennek a napnak a délutánját a gép fedélzetén töltöttük, hogy megismerkedjünk a valóságban is az installált mérőműszerekkel és kaptunk egy gyakorlati oktatást a biztonsági tudnivalókról, a fedélzeti információs rendszer működéséről (HORACE) valamint a fedélzeti kommunikációs rendszer használatát (INTERCOM) is begyakoroltuk. Ez utóbbi használata rendkívül flexibilis működést tesz lehetővé a fedélzeten dolgozó pilóták, kutatók, műszer-specialisták és légi utaskísérők között (pl. előre nem várt veszélyes szituáció bekövetkezése esetén, a kutatási program azonnali módosítása valamilyen hirtelen megjelent légköri jelenség vizsgálata esetén, vagy éppen a műszerek által mért adatok repülés közben történő diszkutálása esetén stb.).

Ezután a BAe-146 pilótaival véglegesítettük a repülési tervet, amit ők hivatalosan eljuttattak a légi irányítás felé. Megbeszéltük részletesen a repülési útvonalat, manővereket, melyek tervezésében a nagy tapasztalattal rendelkező személyzet komoly segítséget nyújtott nekünk.

## **A FAAM BAE-146-OS (G-LUXE) LÉGKÖRI KUTATÓ REPÜLŐGÉPE**

A repülőgépes fedélzeti mérésekhez egy BAe-146-os, G-LUXE lajstromjelű – speciálisan légköri mérések végrehajtására átalakított – repülőgépet vettünk igénybe a SONATA projekt keretén belül (1. ábra).



**1. ábra.** A FAAM BAe-146-os légekőri kutató repölőgépe a pescarai repölőtéren  
(a szerző felvétele)

A repölőgép egy utasszállító példány átalakítása során nyerte el végső formáját, melynek során alapvetően a belseje változott meg. A repölőgép fedélzetén két sorban, szabvány méretű konténerekben kerültek elhelyezésre a mérőműszerek és a hozzájuk tartozó segédberendezések (szivattyúk, gáztartályok, csővezetékek, kábelek stb.) (2. ábra). Közöttük kerültek kialakításra a kutatók és technikusok munkaállomásai (3. A. ábra). A fedélzeti mérőberendezések közül a projektben az alábbiak voltak installálva a repölőgépen:

- Lézerrel indukált fluoreszcencia berendezés (LIF) a nitrogén-dioxid (NO<sub>2</sub>), peroxi-nitrátok (PNs), alkil-nitrátok (ANs), salétromsav (HNO<sub>3</sub>), koncentrációjának mérésére [1];
- Aeroszol tömeg-spektrométer (AMS) a légekőri aeroszol összetételének megállapításához [2];
- Üregrezonancia lecsengési spektroszkópia (CRDS) üvegházhatású gázok (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>) koncentrációjának vizsgálatához [3];
- Ózon (O<sub>3</sub>) fotométer a troposzferikus ózon koncentráció meghatározásához;
- Vákuumos UV rezonancia fluoreszcencia spektroszkópia a szén-monoxid (CO) koncentráció vizsgálatához [4];
- Passzív aeroszol spektrométer (PCAPS-100) aeroszol részecskék érzékelésére, méret szerinti eloszlásának meghatározására (3. B. ábra);
- Kondenzációs mag-számláló (CPC) műszer (3. B. ábra);[5]
- Vízcseppek keverési arányát mérő műszer (LWLCP) (3. B. ábra);[6]
- Az aeroszol részecskék fényszórásának vizsgálatára alkalmas nefelométer (TSI Nephelometer 3573) (3.C. ábra).



**2. ábra.** FAAM BAe-146-os léggöri kutató repülőgépeinek belseje, a repülés felkészülési fázisában  
(a szerző felvétele)



**3. ábra.** A. (bal felső kép): a mikrofizikai munkaállomás a BAe-146 fedélzetén B. (jobb felső kép): a mikrofizikai berendezéseket tartalmazó függesztett konténer; C. (bal alsó kép): a nefelométer berendezést tartalmazó konténer a fedélzetén; D. (jobb alsó kép): a repülés koordinátorának munkahelye  
(a szerző felvételei).

A FAAM BAe-146-os léggöri kutató-repülőgépeinek fontosabb adatai az I. táblázatban láthatóak. Fontos megemlíteni, hogy a repülőgép rendkívül pontos robotpilótával és navigációs rendszerrel van felszerelve, így akár hosszabb ideig is képes a tenger felett minimálisan 50 láb magasan is repülni. A repülőgép alkalmas a troposzféra teljes körű (horizontális és vertikális) levegőkémiai és meteorológiai szondázására, hiszen a



hatótávolsága 3700 km és a csúcsmagassága 35.000 láb. Egy üzemanyag-feltöltéssel, mintegy 5 órát képes a levegőben maradni.

Személyzet	3 fő
Tudományos kutatók száma a fedélzeten	18 fő
Hosszúság	31 m
Magasság	8,4 m
Fesztávolság	26 m
Hajtóművek	4 Honeywell LF507-1H gázturbina
Maximális repülési magasság	35.000 láb
Minimális repülési magasság	50 láb
Hatótávolság	3700 km
Repülési sebesség a projektek során	200 kts
Rakomány	4000 kg tudományos műszerek

1. táblázat. A FAAM BAe-146 repülőgép fontosabb műszaki adatai

## A SONATA PROJEKT REPÜLÉSI ÚTVONALA – BAE-146 FEDÉLZETI MÉRÉSEK

Az utolsó három napra és naponként egy csoportra tervezett repülést végül az utolsó napon, két csoportra bontva végeztük, mert az első tervezett repülési napon kormánymű hiba miatt a futópályáról fordultunk vissza a torony előtti állóhelyre.



4. ábra. A SONATA projekt keretében végrehajtott repülés útvonala 2011. augusztus 27-én és a repülés alatt felbocsátott ózon szonda helye, valamint trajektóriája és a főizobár-szintek

Az időközben megérkezett repülőmérnökök munkájának eredményeképpen, végül, a repülést 2011. augusztus 27-én hajtottuk végre, amely során az alábbi repülési útvonal mentén végeztük a méréseket (4. ábra). A repülési útvonal mentén szürke színnel a repülés aktuális magasságát ábrázoltuk, ahol a sárga nyilak a repülőgép mozgásának irányát jelzik a pályáiv mentén.

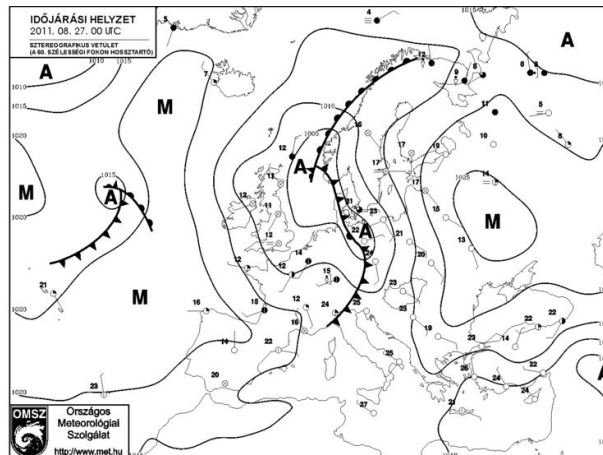
Idő1	Idő2	Esemény	Magasság (kft)	Rep. irány (fok)	Megjegyzés
100506		Video	0,15	166	Video rendszer indítása
100602		QNH	0,15	165	Magasságmérő beállítás 1008 hPa QNH
<b>101854</b>		<b>T/O</b>	<b>0,13</b>	<b>217</b>	<b>Felszállás Pescara-ból</b>
102055	102533	Profil 1	0,13----8,0	91	
102542	103711	Run 1	8,0	89	FL80
<b>102639</b>		<b>Kalibráció</b>	<b>8,0</b>	<b>87</b>	<b>Műszer kalibráció</b>
103712	104208	Profil 2	8,0----3,2	308	
104208	104525	Run 2	3,2	309	
<b>104259</b>		<b>Esemény</b>	<b>3,2</b>	<b>308</b>	<b>Hajók a területen</b>
104536	104611	Profil 3	3,1----2,9	310	
104612	104719	Run 4	2,9	312	
104725	104747	Profil 4	2,8----2,7	307	
104748	105014	Run 5	2,7	310	
<b>105046</b>		<b>Esemény</b>	<b>3,6</b>	<b>354</b>	<b>AMS Probléma; emelkedés 5000ft-ra</b>
105200	105534	Run 6	5,2	353	
105535	110234	Profil 5	5,2----0,56	332	
110235	111638	Run 7	0,56----0,57	315	
<b>110800</b>		<b>Esemény</b>	<b>0,55</b>	<b>324</b>	<b>Elrepülés hajó felett</b>
111827	112152	Profil 6	0,68----2,6	129	
112153	112631	Run 8	2,6	153	
112637	112731	Profil 7	2,6----3,2	153	
112736	112755	Run 9	3,2	152	
112755	113420	Profil 8	3,2----10,1	154	
113430	115143	Run 10	11,0	156	FL110
115348	121027	Run 11	13,0	180	FL130
<b>115528</b>		<b>Kalibráció</b>	<b>13,0</b>	<b>180</b>	<b>Műszer kalibráció</b>
<b>121000</b>		<b>Esemény</b>	<b>13,0</b>	<b>254</b>	<b>Meteo. szonda felbocsátása</b>
121350	122550	Run 12	16,0	64	FL160
122550	124037	Profil 9	16,0----0,18	68	
<b>124037</b>		<b>Leszállás</b>	<b>0,18</b>	<b>217</b>	<b>Leszállás Pescara-ban</b>

**2. táblázat.** A repülési útvonal fontosabb manőverei és eseményei (a fontosabb műveletek félkövér betűvel jelölve)

Ahogy az II. táblázatból kiolvasható, a kiindulási és érkezési repülőtér Pescara Airport (42° 25' 54N; 14° 10' 52E) volt és a tényleges repülési idő 10:18:54 UTC-től 12:40:37 UTC-ig tartott, ami 2:21:41 időtartamnak felelt meg. A repülési útvonal magassági adataiból jól látható, hogy a kelet felé történő felszállás után egy emelkedő profil-mérést végeztünk, majd a szárazfölddel közel párhuzamosan repülve, az Adriai-tenger felett egy süllyedő pályán végrehajtott több-lépcsős profilmérést hajtottunk végre. Ezután egy emelkedő profilmérés után alacsony magasságon repültünk a tenger felett, egészen megközelítve a Pó folyó torkolatát. Ezt követően ismét emelkedő profilmérést hajtottunk végre, majd a szárazföld belseje felé fordulva, állandó magasságon repültünk és két forduló után ismét a tenger felé érve, egy süllyedő profilmérés után leszálltunk. A 4. ábrán feltüntettük a repülés alatt felbocsátott ózon szonda három-dimenziós pályáját is a repülési útvonalhoz viszonyítva (jeleztük a főizobár-szinteket is). A szondát 12:10:00 UTC-kor bocsátották fel, hogy a fedélzeten mért ózon adatokat össze tudjuk hasonlítani a szonda által mért adatokkal (ebben az időpontban repültünk a szonda által is vizsgált régióban). A szonda felbocsátását a fedélzetről, műholdas telefonon keresztül koordináltuk a földi személyzettel.

## AZ IDŐJÁRÁSI HELYZET A PROJEKT REPÜLÉSI NAPJÁN

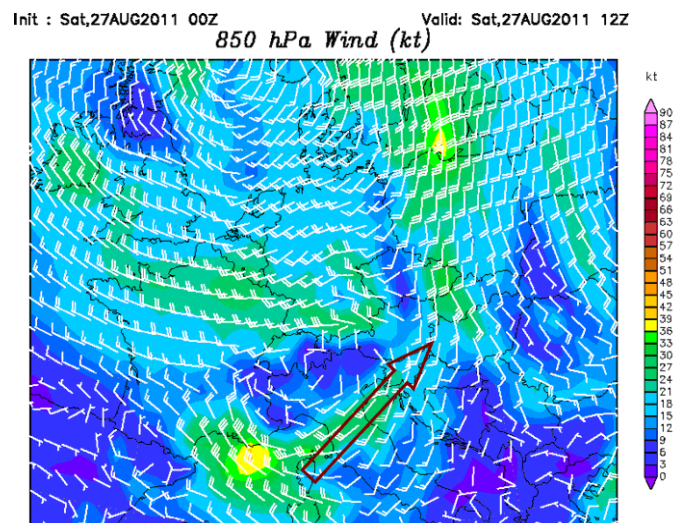
Az adott repülési napot (2011.08.27.) megelőzően, - már több napja - az Appenninek és a Földközi-tenger felett egy erős, nagy kiterjedésű magasnyomású légköri képződmény (anticiklon) helyezkedett el, mely az Északi-tenger feletti középponttal örvénylő ciklon K-i irányú mozgásának lassan teret engedve, fokozatosan EK-i irányban helyeződött át. A repülés napján középpontja már a Kelet-európai síkság felett volt (5. ábra).



**5. ábra.** Az európai időjárás-helyzet a SONATA projekt repülési napján, 2011. augusztus 27-én 00 UTC-kor

Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat

Ezzel egy időben, az említett ciklon hidegfrontja már az Alpok vonalában haladt és a meleg szektorban egy igen erős D-DNy-i, meleg száraz levegőt szállító áramlási mező alakult ki. Ennek eredményeképpen, Pescara repülőterén a kora délutáni órákban a hőmérséklet 40 °C felé emelkedett és 10 méteren 8-10 m/s sebességű „forró”, szinte sirokkó jellegű szél fújt. Az erőteljes pre-frontális áramlási rendszer az Appennini-félsziget felett jól látható az amerikai GFS globális időjárás-modell adataiból, Közép-Európa térségére készített, 850 hPa-os nyomási szintre és a repülés napjára (12:00 UTC) érvényes szél-előrejelzési térképén is (6. ábra).

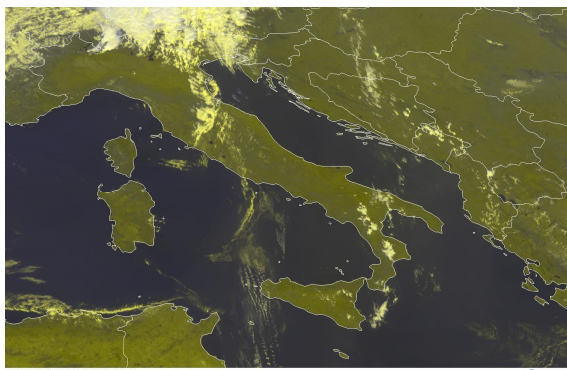


**6. ábra.** A repülési időpontra előrejelzett szélirány és szélsébség (csomó) Közép-Európa felett a 850 hPa nyomási szinten (GFS globális modell). A nyíl az erőteljes hidegfront előtti áramlási rendszert mutatja

Forrás: <http://www.wetterzentrale.de>



Az időjárási helyzetből fakadóan, felhőzet a repülési régióban szinte alig volt, hiszen a rendkívül száraz troposzférában még a kialakuló konvektív cellák felszálló ágaiban sem történt markáns kondenzáció. Csak Olaszország ÉK-i területe felett lehetett a hidegfronthoz tartozó felhőzetet (Cu Cong., Cb) valamint a tagolt orográfia miatt kialakult hullámfelhőket a repülőgép fedélzetéről észlelni (7. ábra).



**7. ábra.** A felhőzet eloszlása a Közép-Mediterráneum felett 2011. augusztus 27-én, 11.00 UTC-kor

Forrás: EUMETSAT, [www.eumetsat.int](http://www.eumetsat.int)

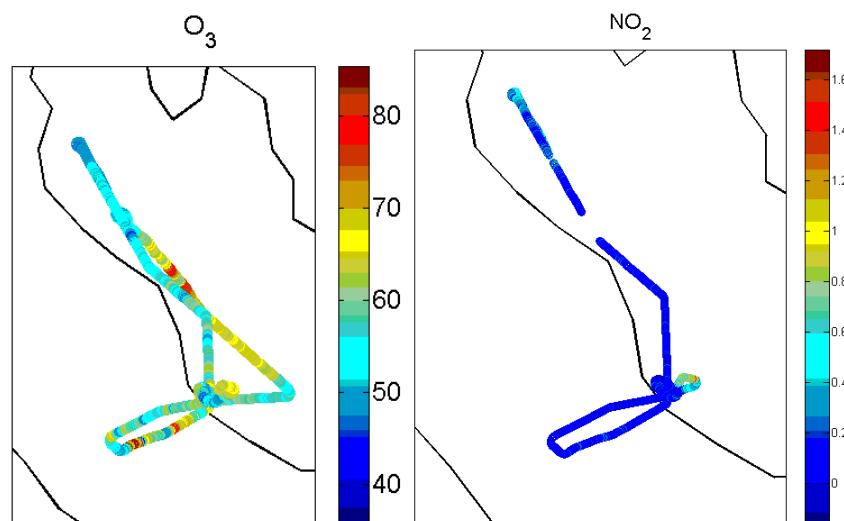
### **A REPÜLŐGÉP FEDÉLZETÉN MÉRT ADATOK ÉS ELEMZÉSÜK ELŐZETES EREDMÉNYEI**

A repülés során – több más légköri összetevővel együtt – a troposzférikus ózon és a nitrogén-dioxid koncentrációját is folyamatosan mértük. A NO<sub>2</sub> esetében az átlagos koncentráció értéke 0,08 ppb volt 0,55 ppb maximális érték mellett. Az O<sub>3</sub> esetében pedig 57,12 ppb átlagos és 73,61 maximális koncentrációt mértünk (III. táblázat). Meg kell jegyeznünk, hogy műszer-probléma miatt a NO<sub>2</sub> koncentráció-mérést a repülés kezdeti szakaszában nem tudtuk elvégezni, ezért csak a Pó torkolatvidékétől vannak NO<sub>2</sub>-re vonatkozó adataink.

<b>Gáz</b>	<b>Átlagos koncentráció (ppb)</b>	<b>Minimális koncentráció (ppb)</b>	<b>Maximális koncentráció (ppb)</b>
<b>NO<sub>2</sub></b>	0,08	0,01	0,55
<b>O<sub>3</sub></b>	57,12	42,73	73,61

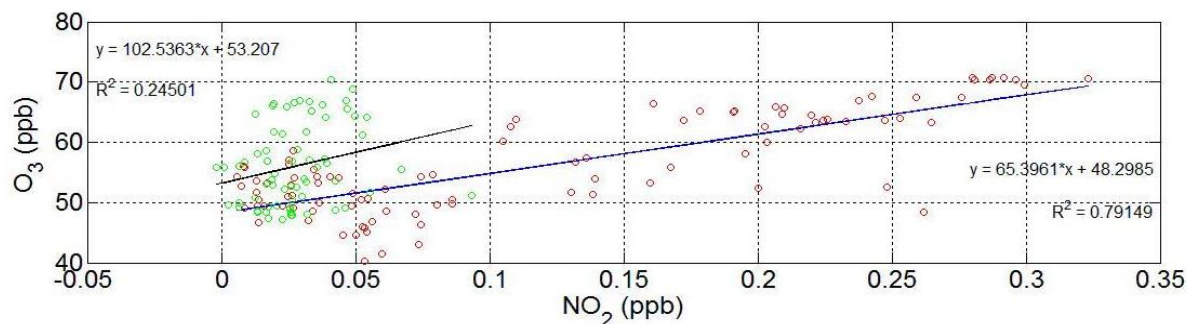
**3. táblázat.** A repülés során mért nitrogén-dioxid és ózon koncentrációk átlagai és szélső értékei

A mérés során tapasztalt koncentráció adatok a 8. ábrán láthatóak. Figyelembe véve az aktuális repülési útvonalat, megállapíthatjuk, hogy a magas NO<sub>2</sub> koncentrációkat az alacsony magasságok mellett (Pó völgy környéke és Pescara-hoz közel), míg az alacsony koncentrációkat a magasabb légrétegekben mértük, ami megegyezik az általunk várt eredményekkel. Az ózon esetében szintén az alacsony magasságú régiókban mértük a magasabb koncentrációt, ami a gáz keletkezési mechanizmusából fakadóan helytállóan mondható (8. ábra).



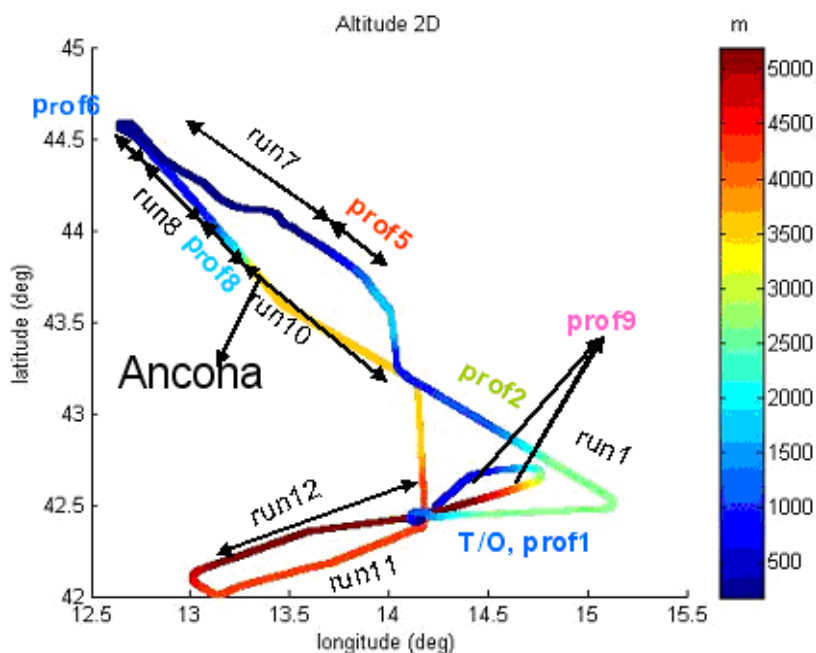
**8. ábra.** Az ózon (O<sub>3</sub>) és a nitrogén-dioxid (NO<sub>2</sub>) koncentrációjának alakulása a repülési útvonal mentén

A nitrogén-dioxid katalitikus szerepe a troposzférikus ózon-képződésben sokat tanulmányozott folyamat. Az NO<sub>2</sub> koncentrációjának növekedése fotokémiai reakciókon keresztül, a troposzférikus ózon koncentrációjának emelkedéséhez vezethet. Ennek a folyamatnak a dominanciája alapvetően a felszínhez közeli légrétegekben vehető észre. A repülési útvonal alacsonyabb (4200 méternél kisebb magasságú) mérési pontjain kapott koncentráció adatok pontdiagramon ábrázolva, jól mutatják ezt a működő mechanizmust (9. ábra). A NO<sub>2</sub> és O<sub>3</sub> koncentrációk között igen magas megmagyarázott variancia értékkel rendelkező lineáris kapcsolatot láthatunk, melynek statisztikai értelmezése alapján az ózon koncentrációjának alakulásáért - mintegy 80%-ban ( $R^2=0,79149$ ) - a nitrogén-dioxid mennyisége a felelős. A magasabb légrésekben a kapcsolat erőssége ugyan jelentősen csökken, de így is kaptunk egy gyengébb lineáris trendet ( $R^2=0,24501$ ).



**9. ábra.** Az ózon és a nitrogén-dioxid pontdiagramja. A zöld színű értékek a szárazföld feletti nagy magasságban (4200 méter felett) mért koncentráció adatokat, míg a pirosak az alacsonyabb magasságú értékeket jelölik

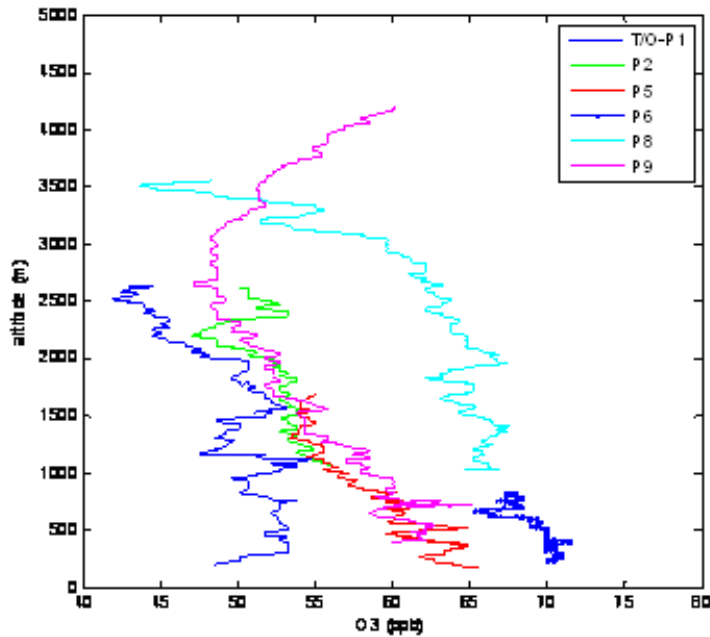
Természetesen rendkívül fontos a troposzférikus ózon magasság szerinti eloszlásának vizsgálata is. Éppen ezért – ahogyan a repülési terv kidolgozásánál említettük – a mérési útvonalba 9 ún. emelkedő/csökkenő profilmérést is végeztünk. A profilok térbeli (földrajzi szélesség, hosszúság és magasság szerinti) elhelyezkedését a 10 ábrán láthatjuk.



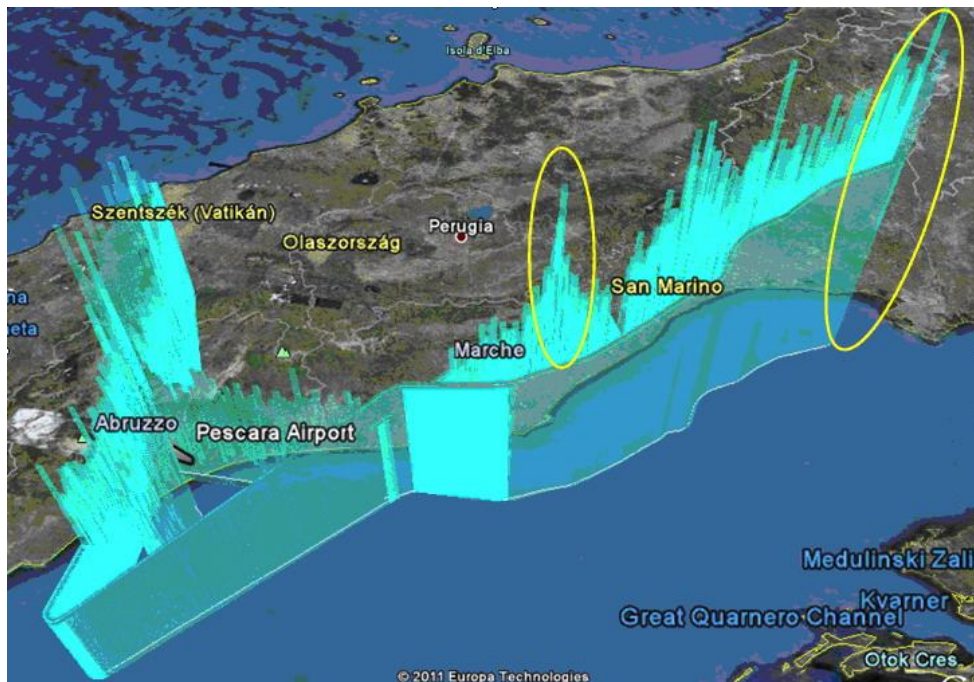
**10. ábra.** A repülési útvonal mentén végzett profil mérések térbeli eloszlása

Az elvégzett 9 profil mérés közül hatnak az eredményét mutatjuk be a 11. ábrán. Jól látható, hogy a planetáris határreteg felett az ózón koncentráció csökkenését tapasztaltuk, hiszen 800-1500 métertől a görbék a kisebb értékek felé hajlanak el. Ennek egyik oka, hogy a határreteg felett az átkeveredés kevésbé intenzív, így a felszín közelében képződő – gyakran antropogén eredetű nitrogén-dioxid - csak kisebb koncentrációban lehet jelen, ezért az ózón képződésében megfigyelhető katalitikus hatása is mérsékelt. Az ötödik (Ancona mellett) és a hatodik (Pó torkolathoz közel) profil estében jól észrevehető a magas koncentráció a felszín közelében (65 és 70 ppb) és a magassággal történő gyors csökkenés mértéke. Ugyanakkor mindkét esetben jelentős nagyrészt antropogén eredetű  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  produkció is valószínűsíthető, amit az időjárási viszonyok felerősíthettek az adott vizsgált területen (Pó völgyből érkező és az Ancona-ból származó szennyezőanyag-advekciónak) (11. ábra).

Rendkívül jól észrevehető a nitrogén-dioxid koncentrációjában történt kiugrás is, mely szintén a Pó folyó torkolatvidékéhez közel és Ancona város felett rendelkezik helyi maximummal (12. ábra). Különösen jelentős lokálisan az Ancona-nál mért  $\text{NO}_2$  koncentráció-növekedés, amit a DNy-ról (a szárazföld belseje felől) fújó erős szél advekciónak (transzportjának) is köszönhetünk. A Pó folyó torkolatának közelében, az  $\text{NO}_2$  koncentráció szintén az advektív hatásnak köszönhetően érte el a magas értékét, melynek során jelentős mennyiségű nitrogén-dioxid (és más antropogén szennyező anyag) szállítódott a Pó folyó völgyéből (szárazföld) a tenger fölé.



**11. ábra.** A repülési útvonalon mért ózon koncentráció profilok. A vízszintes tengelyen az O<sub>3</sub> koncentráció (ppb), a függőleges tengelyen a magasság (m) van skálázva. A színek az adott útvonalon mért adatokat jelentik



**12. ábra.** A NO<sub>2</sub> gáz koncentrációjának eloszlása a repülési útvonal mentén. Kiugróan magas értékek Ancona és a Pó folyó torkolatvidékén (a helyi maximumok sárga ellipszisben jelölve)

A hatalmas mennyiségű mérési adat feldolgozása folyamatos, jelen tanulmányban csak egy kezdeti töredékét ismertettük meg. Amennyiben újabb eredmények lesznek, azokat a megfelelő szakmai médiumokban közzé tesszük.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a SONATA kurzuson végrehajtott elméleti és gyakorlati oktatásról számoltunk be valamint ismertettük a FAAM BAe-146-os kutató repülőgépek karakterisztikáit, a fedélzeten elhelyezett műszereket. Képet alkottunk a repülési terv kidolgozásának folyamatáról is és a rendkívül sokoldalú felkészítés után, a FAAM BAe-146 kutató repülőgép fedélzetén végrehajtott levegőkémiai és légkörfizikai mérésről valamint a megkezdődött adatfeldolgozásról.

Az előzetes adatfeldolgozás keretében ismertettük a troposzféra alsó felében mért O<sub>3</sub> és NO<sub>2</sub> koncentrációk vizsgálatából származó eredményeket és rámutattunk néhány fontos összefüggésre ezek között.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki az EUFAR vezetésének, a FAAM kutatóinak és a ZMNE rektorának, hogy támogatásukkal hozzájárultak a SONATA kurzuson történő részvételemhez és jelen tanulmány elkészültéhez.

### Felhasznált irodalom

- [1] Sadanaga, Y., Yoshino, A., Kato, S., Kajii, Y., Measurements of OH reactivity and photochemical ozone production in the urban atmosphere, *Environmental Science and Technology*, 39, (2005) pp. 8847-8852.
- [2] Canagaratna et al: Chemical and microphysical characterization of ambient aerosols with the aerodyne aerosol mass spectrometer, *Mass Spectrometry Review*., 26, (2007) pp. 185-222.
- [3] Liu, A.W., Kassi, S., Perevalov V., I., Hub, S., M., Campargue A.: High sensitivity CW-cavity ring down spectroscopy of N<sub>2</sub>O near 1.5 μm. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 254, (2009) pp. 20-27.
- [4] Gerbig, C., Schmitgen, S., Kley, D., Volz-Thomas A.: An improved fast-response vacuum-UV resonance fluorescence CO instrument. *Journal of Geophysical Report*, 104., (1999) No D1, pp. 1699-1704.
- [5] Geresdi, I.: Felhőfizika. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs. 2004.
- [6] Strapp, J., W., Schemenauer, R., S.: Calibrations of Johnson-Williams liquid water content meters in a high-speed icing tunnel. *Journal of Applied Meteorology*, 21, (1982) pp. 98-108.