

# OTKA

## K83909 záró jelentés

### „A levegő integrált vízgőztartalmának meghatározása GNSS adatokból” c. kutatási pályázatról

Az elmúlt években hazánkban – elsősorban geodéziai és mezőgazdasági felhasználási céllal – kialakult az aktív GNSS hálózat (<http://www.gnssnet.hu>). Az állomások adatait helymeghatározási célból napi szinten a Földmérési és Távérzékelési Intézet Kozmikus Geodéziai Observatóriuma (FÖMI/KGO) dolgozza fel. Jelen pályázat előzményeként Rózsa és társai (2009) kimutatták, hogy ezen aktív GNSS hálózat adatait felhasználva heves zivatarok kialakulása és átvonulása is nyomon követhető.

A kutatási pályázat alapvető célkitűzése volt, hogy a pályázók megvalósítsák a levegő integrált vízgőztartalma meghatározásának alapjait az aktív GNSS hálózat méréseinek felhasználásával és alapkutatásokat végezzenek az eljárás továbbfejlesztése érdekében.

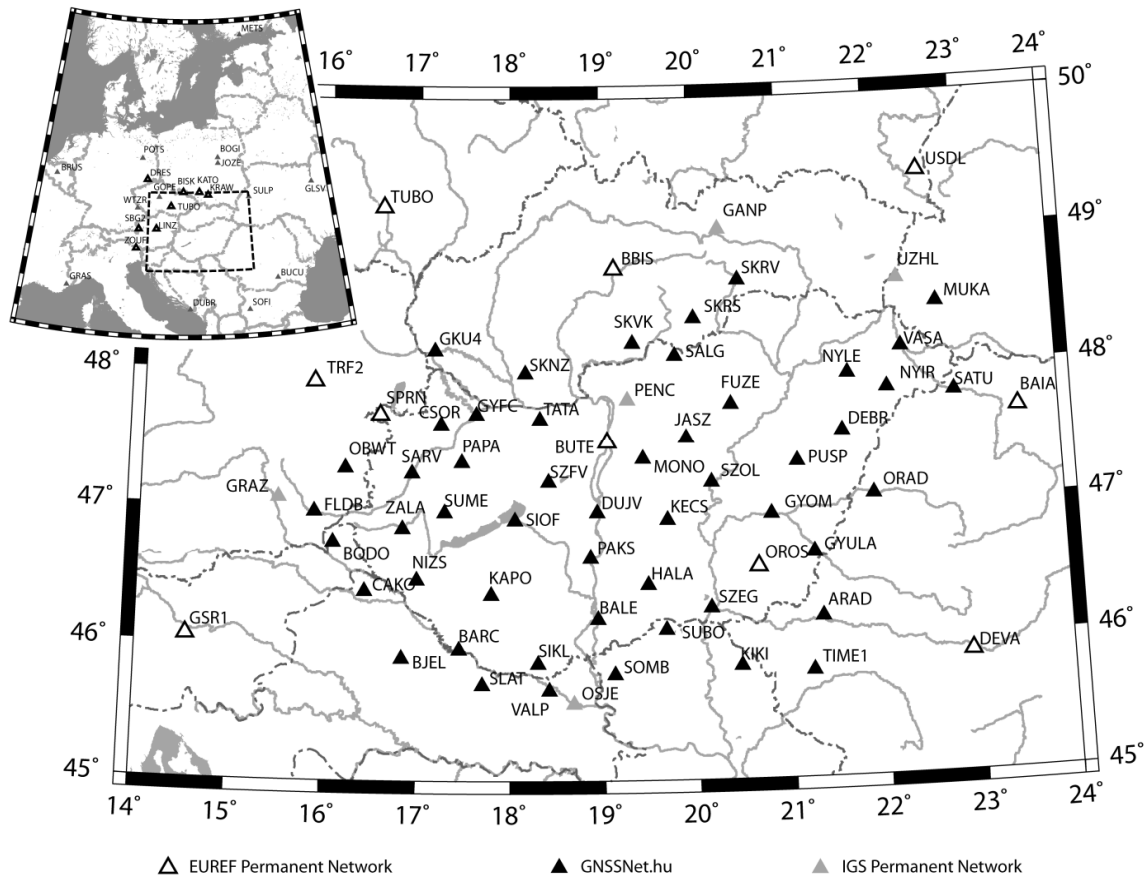
A kutatási pályázatban elért főbb eredményeket a következő fejezetekben összegeztük.

#### 1. A közel valószerű meteorológiai célú GNSS feldolgozórendszer kifejlesztése

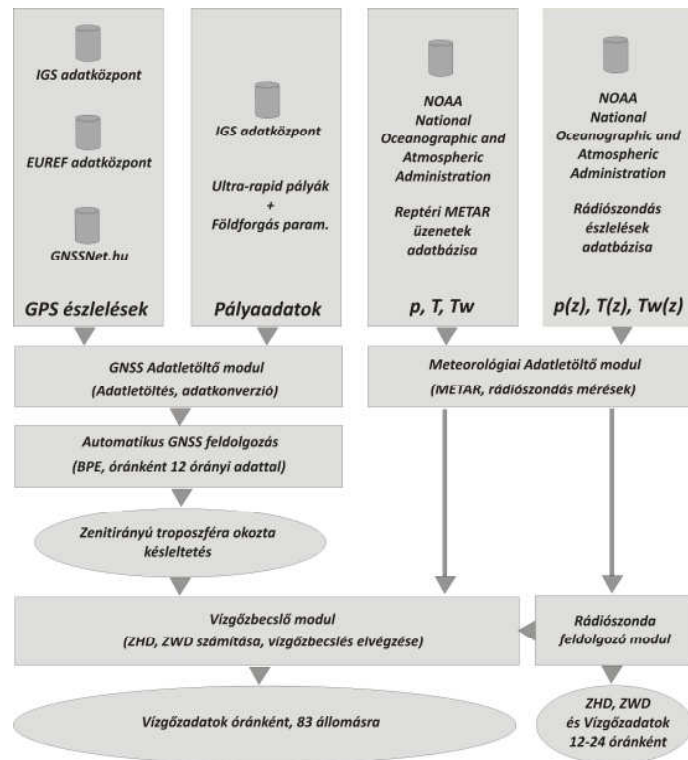
A projekt első szakaszában a legfontosabb feladatunk a közel valószerű meteorológiai célú GNSS feldolgozórendszer kifejlesztése volt. Mivel esetünkben rendelkezésre álltak az aktív GNSS hálózat pontos ismert koordinátákkal rendelkező állomásai, így a GNSS észlelési egyenletekbe az ismert koordinátákat behelyettesítve lehetőségünk nyílik a troposféra okozta jelkésleltetés becslésére. A jelkésleltetés mértékét általában két részre oszthatjuk. A késleltetés mintegy 90%-ért a hidrosztatikai egyensúlyban lévő légtömegek felelnek (hidrosztatikus késleltetés), míg a fennmaradó 10%-ot a légköri vízpáratartalom okozza (nedves késleltetés). Előbbit a földfelszíni légnyomás ismeretében kellő pontossággal becsülhetjük. Mivel a zenitirányú nedves troposferikus késleltetés jó korrelációt mutat az integrált vízgőztartalommal, így a GNSS adatok feldolgozásával fontos információt nyerhetünk a légköri vízgőztartalom mértékéről és eloszlásáról. Nagy előnye a módszernek, hogy már meglévő infrastruktúrára alapoz, így országosan mintegy 60 km-enként előállítható az integrált vízgőztartalom értéke (1. ábra).

A meteorológiai célú felhasználás során különösen fontos kíváncsi, hogy a vízgőzbecsléseket maximálisan 105 perccel az észlelés után elérhetővé kell tenni. Ezt a kívánalmat úgy tudjuk teljesíteni, ha az adatgyűjtés, adatkonvertálás, elő-, és tényleges feldolgozás valamint az eredmények publikálásának a folyamatait teljes mértékben automatizáljuk. A GNSS mérések automatikus feldolgozásához a Bernese tudományos igényű feldolgozó szoftver 5.0-s verziójának automatikus feldolgozó motorját (Bernese Processing Engine – BPE) használtuk fel. A teljes feldolgozórendszer sematikus ábrája a 2. ábrán látható.

Az ábrán látható, hogy első lépésben letöltésre kerülnek a GNSS mérések, majd a Nemzetközi GNSS Szolgálat (IGS) szerveréről letöltjük a szükséges pályák, illetve Földforgás paraméter fájlokat. Az optimális troposferikus késleltetés meghatározásához – állomásonként összefűzzük az elmúlt 12 óra méréseit egy-egy fájlba, majd elvégezzük a GNSS mérések feldolgozását a Bernese szoftver segítségével.



1. ábra. A felhasznált GNSS állomások területi eloszlása Magyarországon és környezetében 2010. évi állapot. 2010 óta újabb állomásokat helyeztek üzembe Tapolcán és Miskolcon, míg a sümegi állomást megszüntették.



2. ábra. Az automatikus feldolgozórendszer elemei

Az így kapott zenitirányú troposzférikus késleltetésből a felszínközeli légnyomás alapján számított hidrosztatikus késleltetést levonva kapjuk meg a „nedves” összetevő értékét, amelyet a felszínközeli hőmérséklet alapján átskálázhatunk integrált vízgőztartalom értékévé.

A számításokhoz szükséges meteorológiai paramétereket (légnyomás, hőmérséklet) az ELTE Meteorológia Tanszék numerikus modelljeiből nyerjük. A DBCRAS (Direct Broadcast CIMSS Regional Assimilation System), az amerikai Wisconsin-Madison Egyetem [SSEC](#) (Space Science and Engineering Center) kutatói által 1996 óta fejlesztett korlátos tartományú pseudo-nem-hidrosztatikus numerikus időjárás előrejelző CRAS (CIMSS Regional Assimilation System) modell MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) adatok asszimilálására létrehozott változata. Ennek megfelelően a DBCRAS modell az előrejelzési mezők létrehozásához az ELTE vevőállomása által vett MODIS adatokat is felhasználja, javítva ezzel a produktumok pontosságán. A napi kétszeri futású modell a meteorológiai mezők előrejelzését 48 km × 48 km horizontális felbontású rácson (melynek földrajzi kiterjedése kb. 10.000 km × 6.500 km), 38 vertikális szinten, 3 órás időlépcsővel 72 órás távlatra készíti 00 UTC és 12 UTC időpontokban.

A modell futásait követően az előrejelzési mezőkből négy meteorológiai változó értékeit határozzák meg az ELTE-n térbeli interpolálással 94 európai GPS állomás földrajzi helyére. Ezen mennyiségek a teljes kihullható vízgőz, a léghőmérséklet (2m-es magasságban), a felszíni légnyomás és a tengerszinti légnyomás. A 72 órás távlatra vonatkozó 3 órás időlépcsőjű előrejelzést az igényeknek megfelelően órás felbontásúvá finomítottuk időbeli interpolálással. Az így létrehozott 94 állomásra vonatkozó meteorológiai adatokat 2011 októbere óta napi rendszerességgel folyamatosan továbbítják a BME adatközpontjába.

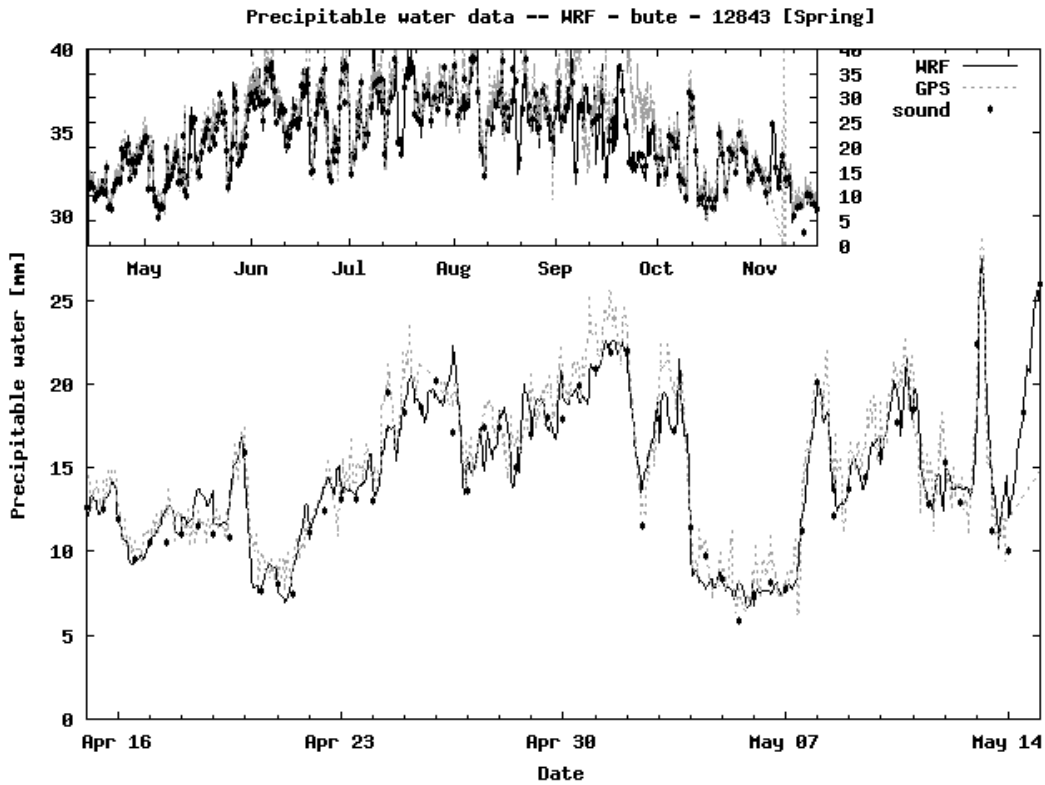
A GNSS és a meteorológiai numerikus előrejelző modellek adatainak fúziójával előállítható az integrált vízgőztartalom órás időbeli felbontással 94, döntően Közép-európai GNSS állomásra.

**A kapcsolódó eredményeinket főként a következő cikkekben publikáltuk:** *Rózsa – Tuchband (2011), Rózsa et al. (2012), Rózsa (2012), Rózsa-Kenyeres (2014), Rózsa et al. (2014), Rózsa et al. (2015)*.

## 2. GNSS alapú integrált vízgőztartalom becslések validálása

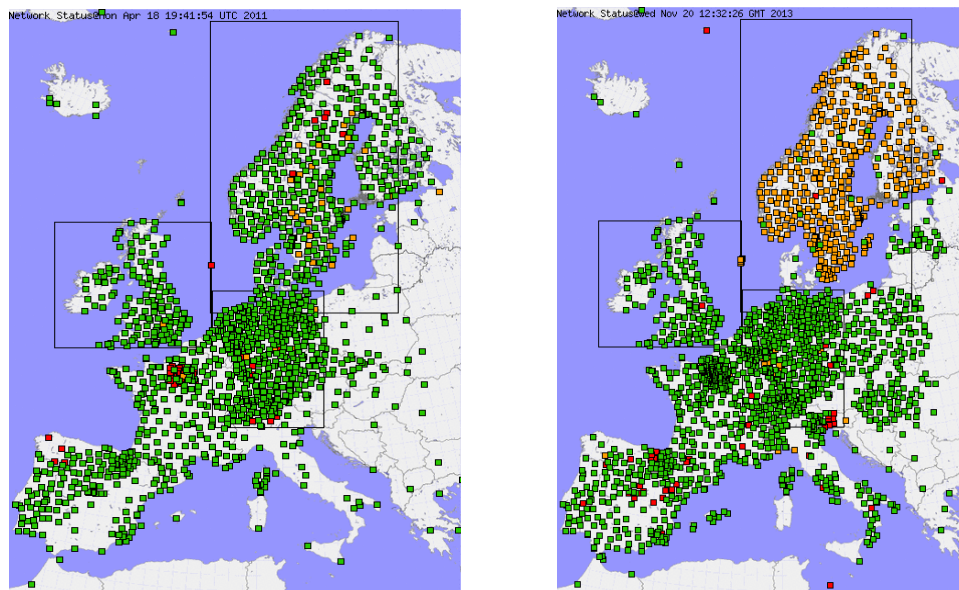
A közel valós idejű GNSS adatfeldolgozó rendszer fejlesztését követően sor került az integrált vízgőztartalom meghatározások validálására is.

Az ELTE Meteorológiai Tanszékén közel egy évtizede folynak napi rendszerességgel numerikus modellfuttatások a Kárpát-medence térségére 10 km-es rácsfelbontással. Jelenleg a WRF (Weather Research and Forecast) modell V3.2.1-es verziója fut, s szolgáltat naponta két alkalommal 48 illetve 96 órás előrejelzéseket. A modelladatok oktatási, kutatási és K+F célokat szolgálnak. Az OTKA támogatás hozzájárult a számítástechnikai háttér fejlesztéséhez, és a kvázi-operatív modellfuttatásokhoz. A modell-produktumok között szerepelnek szél- és napenergia termelési prognózisok (*Bán, 2016; Gyöngyösi et al., 2016*), repülésmeteorológiai és határreteg előrejelzések (*Bottyán et al., 2015*), illetve új fejlesztésként, a közép-európai földfelszíni GNSS állomáshálózat pontjaira számított kihullható víztartalom adatsorok és térképes mezők. A mérési pontokra előrejelzett légköri adatok (hőmérséklet és nedvesség profilok), a GNSS jelek feldolgozását, míg a számított kihullható víztartalom adatok modelleredményekkel történő összevetését szolgálják. Előállítottuk a kihullható víztartalom adatsorokat a térség rádiószondás méréseinek (00 és 12 UTC) felhasználásával is (*Rózsa et al., 2012*). A rádiószonda mérések feldolgozásához egy saját fejlesztésű szoftvert állítottunk elő.



3. ábra. GNSS alapú kihullható csapadékmennyiség validálása numerikus modellel (WRF) és rádiószondával (sound).

Az eredmények azt mutatták, hogy a GNSS alapú integrált vízgőztartalom megközelítőleg  $\pm 1\text{kg/m}^2$  szórással egyezik meg a rádiószonda profilokból számított értékekkel. A pozitív validálási eredményeket követően adatainkat 2013. novemberétől elérhetővé tettük az EUMETNET E-GVAP programjában (4. ábra), így megnyílt a lehetőség a hazai GNSS mérések meteorológiai célú felhasználása előtt.



4. ábra. Az EUMETNET E-GVAP (Ground-based Water Vapour Programme) állomáshálózata 2011-ben (balra) és 2013-ban (jobbra)

**A kapcsolódó eredményeinket főként a következő cikkekben publikáltuk:** *Rózsa et al. (2012), Bottyán et al. (2015), Bán (2016), Gyöngyösi et al. (2016)*

### **3. Az integrált vízgőztartalom becsléséhez felhasznált modellek továbbfejlesztése**

A közel valósídejű feldolgozórendszer kifejlesztését követően több szempontból kezdtük el vizsgálni azokat a matematikai modelleket, amelyeket felhasználunk a GNSS adatok segítségével végzett légköri vízgőztartalom meghatározások során. Az eredményeinket az alábbi alfejezetekben tárgyaljuk.

#### **3.1. A troposféramodellek vizsgálata rádiószondás adatok alapján**

A rádiószondás mérések lehetővé tették, hogy különféle vizsgálatokat végezzünk a GNSS helymeghatározásban felhasznált troposféra modellek értékelésére. Ennek keretében megvizsgáltuk a Hopfield, a Black és a Saastamoinen féle hidrosztatikus késleltetéseket leíró modellek illeszkedését a rádiószondás adatokhoz. Az eredmények szerint a Saastamoinen modell 1-2 mm-es középhibával adja vissza a rádiószondás mérésekből számított értékeket, ami csupán 0,2mm-es középhibát okoz a kihullható csapadékmennyiség becslésében. Azonosítottuk a jelenleg felhasznált matematikai modellek hiányosságait, és megállapítottuk, hogy a GNSS alapú kihullható vízgőztartalom becslések rádiószondás mérésekhez történő illesztése során tapasztalt szabályos eltérés oka kettős: egyrészt az GNSS állomások koordinátáinak szezonális változásai okoznak egy ilyen szabályos hibát, másrészt a nedves késleltetés és a kihullható vízgőztartalom arányossági tényezőjének meghatározása során is tapasztalhatunk szabályos jellegű eltéréseket. Az első problémát kiküszöböltük a feldolgozórendszer módosításával, amely szerint mindig az elmúlt heti koordinátamegoldásokat használjuk fel az állomások koordinátáinak rögzítésére. Az arányossági tényező tekintetében a helyi rádiószondás mérések felhasználásával levezettünk egy új összefüggést.

A troposféra modellek aktuális meteorológiai paraméterekhez történő illesztése érdekében egy szoftvert fejlesztettünk ki, amellyel a Hopfield modell paraméterei rádiószondás profilok alapján illeszteni tudjuk. Emellett kifejlesztettünk egy numerikus integrálást, illetve sugárkövetést alkalmazó eljárást, amelyekkel numerikus előrejelző modellek légnyomás, páratartalom, hőmérséklet és geopotenciál mezőiből tetszőleges irányú műholdra meg tudjuk határozni a troposféra késleltető hatását. Utóbbi eljárás segítségével nem csak a zenit irányú késleltetéseket tudjuk vizsgálni, hanem a műhold-irányú késleltetéseket is, ezáltal a GNSS helymeghatározásban alkalmazott leképezési függvények is vizsgálhatóvá válnak.

Vizsgálataink eredményeképpen részt vehettünk az ESA-TROPSY (Assessment techniques of tropospheric effect for local augmentation systems) c. projektben, amely során a vizsgálatainkat kiterjeszthettük a korábbiakban említett modellek mellett az RTCA által ajánlott és az ESA által fejlesztett modellekre is.

A troposféramodellek vizsgálata során megállapítást nyert, hogy a GNSS mérések feldolgozása során – a közel valósídejű felhasználás esetén – a Saastamoinen modellt a Niell-leképezési függvénnyel vagy a GMF leképezési függvénnyel célszerű használni, mivel ezek nagyobb pontosságot biztosítanak, mint a Hopfield modell. Numerikus időjáráselőrejelző modelldatok rendelkezésre állása esetén pedig a sugárkövetési eljárás alkalmazásával lehetőségünk nyílik a VMF (Vienna Mapping Function) leképezési függvény alkalmazására is.

### 3.2. Validálás vízgőz radiométer adatokkal

A szegedi magaslégkör-kutató állomás (12982) radiométer adatait is felhasználtuk a troposzféra modellek minősítésére. E célból a rádiószonda feldolgozó algoritmushoz hasonló radiométer feldolgozó algoritmust fejlesztettünk ki. Így a radiométer adatokból numerikus integrálással előállíthattuk a troposzféra zenit irányú késleltetését.

Emellett kísérletet tettünk radiométer adatokból történő vízgőzprofilok meghatározására is (Dálya, 2015). E kutatáshoz kapcsolódott az egydimenziós határreteg modell fejlesztés, a nappali konvektív PHR (planetáris határreteg) szerkezetének modellezése (Bordás és Weidinger, 2015).

### 3.3. A rádiószonda profilokból meghatározott troposzferikus késleltetés és integrált vízgőztartalom számításához használt modellek pontosítása

A rádiószonda adatokból előállított troposzferikus késleltetés számítása során a további nehézségekkel kellett megküzdenünk. Egyrészt a rádiószondák a légkör állapotától, a ballon töltöttségétől függően különböző magasságokig érnek el, ami jelentősen befolyásolja a profilból levezetett paraméterek pontosságát. Különösen igaz ez a légoszlop teljes tömegétől függő hidrosztatikus késleltetés meghatározására. Annak érdekében, hogy ezt a pontosságot befolyásoló tényezőt becsülni tudjuk, rádiószondás mérések alapján levezettük a legkisebb nyomáshoz tartozó észleléstől függő 'elhanyagolási hiba' mértékét.

Másrészt a GNSS mérésekből származó integrált vízgőztartalom meghatározások validálásához szükségünk lenne a rádiószonda profilokból nyert referenciaértékek mellett azok középhibáira is. Erre nem találtunk megfelelő szakirodalmi adatot, csupán a WMO (World Meteorological Organization) által közzétett összehasonlító kampányok eredményei szolgálhattak támpontul a középhibákra vonatkozóan. Ezért megalkottuk a rádiószonda profilokból levezetett késleltetések és integrált vízgőztartalom értékek középhibájának meghatározására szolgáló matematikai eljárásokat, amelyeket a hibaterjedés törvényének következetes alkalmazásával vezettünk le.

Az eljárás segítségével vizsgálható volt a rádiószonda profilokból levezetett integrált vízgőztartalom középhibájának szezonális változása is, így a validálás során lehetőségünk nyílik a meghatározott értékek hipotézisvizsgálatokkal történő minősítésére is.

Az általunk kifejlesztett eljárással kapott eredmények jó összhangot mutattak a WMO által közzétett összehasonlító kampányokból kapott eredményekkel.

### 3.4. A hidrosztatikus késleltetés meghatározására szolgáló modellek pontosítása

Közép-európai rádiószondás profilok felhasználásával levezettünk egy kifejezetten erre a térségre érvényes modellt a hidrosztatikus késleltetések meghatározására. A levezetett modell mintegy 40%-os javulást eredményezett a szabályos hiba tekintetében.

### 3.5. A nedves késleltetés és az integrált vízgőztartalom közötti skálatényező meghatározásának pontosítása

A számítások utolsó lépésében a GNSS mérések feldolgozásából előállított nedves késleltetéseket egy skálatényező segítségével konvertálhatjuk integrált vízgőztartalommal. Ennek érdekében közép-európai rádiószonda észlelések alapján levezettük a skálatényező meghatározására szolgáló összefüggések paramétereit, amelyek segítségével a felszínközeli (2m) hőmérséklet függvényében a skálatényező nagy pontossággal előállítható. Kimutattuk, hogy a szakirodalomban széles körben használt Bevis-féle modell, amely a felszínközeli hőmérsékletből egy lineáris regressziós összefüggéssel a troposzféra átlagos hőmérsékletét becsli, majd annak ismeretében a



skálatényezőt egy zárt képlettel számítja, nagyobb szabályos hibával terhelt, mint a kevésbé elterjedt Emdarson-Derks modell.

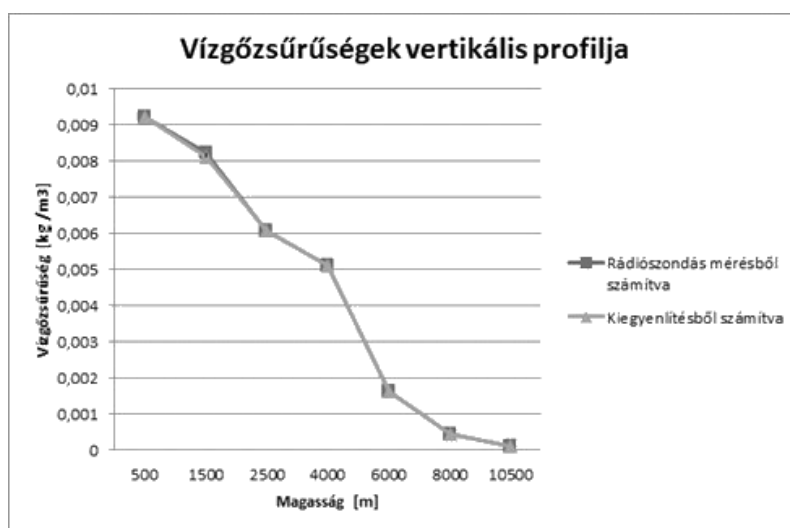
Az általunk levezetett modellek adták vizsgálataink szerint Közép-Európa területére a legpontosabb GNSS alapú integrált vízgőztartalom meghatározást a többi modellhez viszonyítva.

**A kapcsolódó eredményeinket főként a következő cikkekben publikáltuk:** *Tuchband és Rózsa (2012), Rózsa et al. (2012), Rózsa (2014a), Rózsa (2014b), Gorbuz et al. (2015), Bordás és Weidinger (2015).*

#### 4. Térbeli vízgőzmodellek előállítása GNSS tomográfiával

A hagyományos GNSS feldolgozóprogramok a troposféra okozta késleltetést oly módon modellezik, hogy a zenitirányú késleltetést egy ún. leképezési függvénnyel számítják át a műhold irányára. Mivel ez a leképezési függvény általában csak a műhold magassági szögétől függ, ezért e módszer időjárási frontok esetén nem veszi figyelembe az antenna körüli vízpára eloszlásának anizotróp jellegét.

A műhold irányú troposferikus késleltetés pontos meghatározása lehetővé teheti a troposzférában található vízgőz térbeli eloszlásának meghatározását is tomografikus úton. Ezen elgondolás megvalósíthatóságának vizsgálata érdekében kifejlesztettünk egy eljárást, amely figyelembe veszi a mérések feldolgozása során maradék ellentmondásként jelentkező anizotrópia hatását is, majd a műhold-vevő irányokban észlelt késleltetésekből négydimenziós vízgőzmodellt állít elő (térbeli eloszlás + idő). Az eljárást kampány mérésekkel és az aktív GNSS hálózat adatainak felhasználásával teszteltük. Az 5. ábrán a GNSS adatok tomografikus feldolgozásával kapott vertikális vízgőzprofil alakját látjuk egy szegedi rádiószonda profillal történő összehasonlítás során. Az ábrán jól látható a nagyfokú egyezés, ami a két adatsort jellemzi.



**5. ábra** Rádiószondával mért és GNSS adatokból becsült vízgőzprofilok összehasonlítása Szegeden  
**Az eredményeinket a következő cikkekben publikáltuk:** *Horváth et al. (2014).*

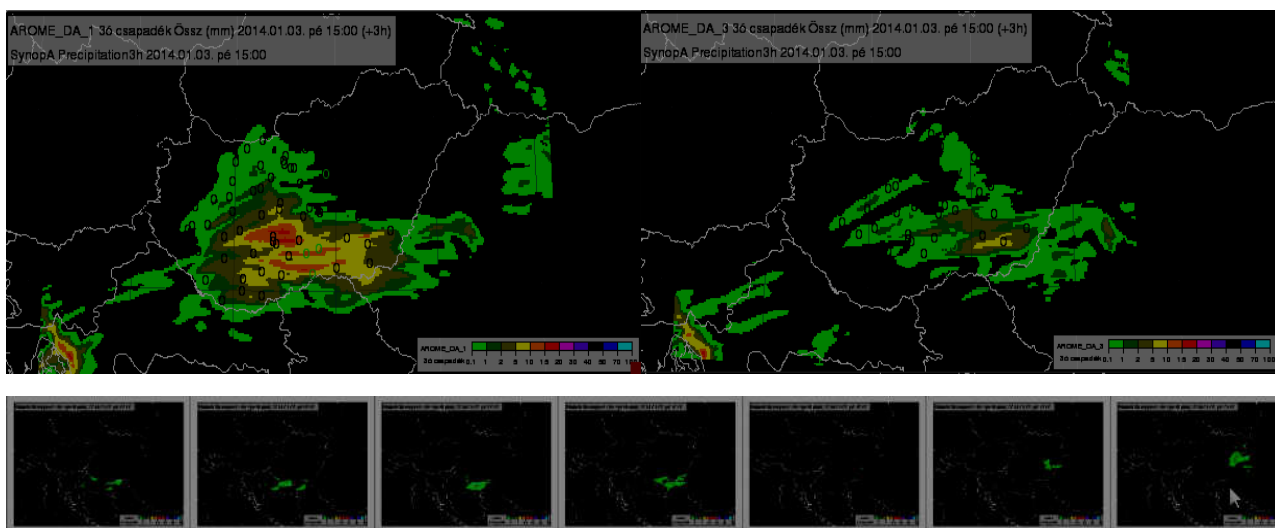
#### 5. A troposzféráról GNSS mérésekből nyert információk asszimilálása numerikus előrejelző modellekbe

A kutatási tervben egy későbbi kutatás lehetséges témájaként említettük meg annak a lehetőségét, hogy a GNSS mérésekből levezetett integrált vízgőztartalom értékeket fel lehetne

használni a meteorológiában alkalmazott numerikus előrejelző modellek pontosítására.

Egy nemzetközi projekt ösztönző hatására ezen a téren is értünk el eredményeket. Köszönhetően annak, hogy az automatikus GNSS feldolgozórendszer folyamatosan küldi az eredményeinket az EUMETNET-EGVAP adatszerverére, elkezdődhetek az első tesztek az adatok numerikus modellekben történő asszimilálására. Az OMSZ munkatársai az első teszteken egy 2014. januári modellfuttatás során vizsgálták a GNSS mérésekből származó troposferikus késleltetés értékek asszimilálásának a hatását. Ezen a napon az operatív numerikus előrejelző modellek országos kiterjedésű csapadékot jeleztek előre, de a tényleges csapadék csak az országhatár mentén érintett kisebb területeket.

A 6. ábrán látható, hogy a GNSS adatok integrálásával az előrejelzett csapadékmező ugyan nem tűnt el, de területe jelentősen csökkent. Az eredmények részletesebb elemzéséből azt láttuk, hogy a GNSS mérések jellemzően a rövid távú (néhány órás) meteorológiai előrejelzéseket tudják pontosítani a csapadék vonatkozásában (6. ábra). Így fontos szerepük lehet a heves viharok előrejelzésében, a katasztrófhelyzetek időben történő felismerésében és az azokról szóló riasztások megfelelő időben történő kiadásában.



**6. ábra.** Csapadékmező előrejelzésének eredménye GNSS adatok nélkül (balra), GNSS adatokkal (jobbra) és a tényleges csapadékmező radarészlelésekből (lent)

**A kapcsolódó eredményeinket főként a következő előadásokban tettük közzé:** *Mile (2014)*, *Rózsa-Mile (2014)*

## 6. Kutatási infrastruktúra fejlesztése

A kutatási feladataink hosszú távú fenntartása érdekében – a projekt pénzügyi keretéből elért megtakarítások engedélyezett átcsoportosításával – az OMSZ szegedi légkörfizikai obszervatóriumában üzembe helyeztünk egy permanens GNSS állomást. Az állomás az észleléseit valós időben továbbítja a BME adatszerverére, ahol a feldolgozás is megtörténik.

A beruházással egy hazánkban egyedülálló kutatási infrastruktúra jött létre, hiszen az obszervatóriumban egy helyszínen (kollokáltan) áll rendelkezésünkre rádiószonda állomás, mikrohullámú vízgőz radiométer, permanens GNSS állomás. A kutatási infrastruktúra lehetővé teszi, hogy a kifejlesztett modellezési eljárásokat hosszabb távon is ellenőrizni tudjuk, és ezeket az eredményeket a későbbi fejlesztések során figyelembe vehessük.



## 7. A projekt hatása a kutatócsoport nemzetközi és hazai kapcsolataira

A projekt témája a pályázat beadásának időpontjában – és még ma is – újszerű, nemzetközi érdeklődésre tart számot. Az OTKA finanszírozásnak köszönhetően megvalósíthattuk a hazai GNSS állomások meteorológiai célú feldolgozását. Ezen eredményünk tette lehetővé, hogy csatlakozzunk a COST-ES1206 (GNSS a heves időjárási frontok monitorozásában és az éghajlatkutatásokban, 2013-2017) programhoz, amelyben a következő évben is tovább folytathatjuk a GNSS mérésekből levezetett integrált vízgőztartalom meteorológiai hasznosíthatóságának a vizsgálatát.

A GNSS mérések feldolgozásához szükségesek nagy pontosságú felszíni mérések is. Ezt szolgálta többek között a hazai (BME, DE, ELTE, NKE, OMSZ, SZTE) és nemzetközi (University of the Balearic Islands, Palma de Mallorca, University of Applied Sciences Ostwestfalen-Lippe, Germany) együttműködésben végzett határréteg mérési program Szegeden 2013-ban és 2015-ben. A felszíni energia-háztartási és turbulencia mérések, illetve határréteg szondázások (rádiószonda, SODAR, kvadrokopter, UAV, kötött ballon) mellett pilótánélküli repülőre szerelt GNSS műszer segítségével végeztünk tesztméréseket a szegedi repülőtér térségében a talajnedvesség inhomogenitásának becslérére. Eredményeinket munkaértekezleteken konferencia előadásokon és referált folyóiratcikkekben mutattuk be (Istenes et al., 2013; Weidinger et al., 2014; Bottyán et al., 2015; Cuxart et al., 2016). Terveink között szerepel a talajnedvesség hosszútávú mérése rögzített GNSS vevőberendezés adatainak a felhasználásával, s azok összehasonlítása mikrometeorológiai mérésekkel: ily módon egy új talajnedvességi mérő módszer hazai meghonosítása.

Fontos feladatnak tartjuk egyetemi hallgatók és PhD-s diákok, doktorjelöltek bevonását a kutatásba, ami szakdolgozatokban, diákköri dolgozatokban, konferencia előadásokban nyilvánul meg. A kutatási program támogatta az ELTE Meteorológus Diákkör évi konferenciáit (2012-2015) és a konferenciához kapcsolódó összefoglaló megjelentetését. Beszámoltunk a kutatási témáról az ELTE Meteorológus Diákkör Nyári Iskoláin (2012, 2014) és az ELTE Meteorológiai Tanszék alapításának 70. évfordulójához kapcsolódó rendezvényen. Emellett a BME-n több TDK dolgozat témája kapcsolódott a projekthez, új PhD témakiírások születtek. Részben az elért eredményekre épült Tuchband Tamás sikeresen megvédett PhD dolgozata.

## 8. A projekt eredményeinek közzétételek

### Tudományos publikációk

- Bordás, Á., Weidinger, T., 2015: Combined closure single-column atmospheric boundary layer model. *Időjárás* 119(3), 379-398. *Atmospheric Science Q3* (2015). (MTMT, Az OTKA köszönetnyilvánítás szerepel.)
- Bottyán, Z., Gyöngyösi, A. Z., Wantuch, F., Tuba, Z., Kurunczi, R., Kardos, P., Istenes, Z., Weidinger, T., Hadobács, K., Szabó, Z., Balczó, M., Varga, Á., Bíróné Kircsi, A., Horváth, Gy., 2015: Measuring and Modeling of Hazardous Weather Phenomena to Aviation Using the Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System (HUMAS). *Időjárás* 119(3), 307-335. *Atmospheric Science Q3* (2015). (MTMT, Az OTKA köszönetnyilvánítás szerepel.)
- Cuxart, J., Tatrai, D., Weidinger, T., Kircsi, A., Józsa, J., Kiss, M., 2016: Infrasonnd as a Detector of Local and Remote Turbulence. *Boundary-Layer Meteorology Paper First online*. 9 p. *Atmospheric Science Q1* (2015). (MTMT, Az OTKA köszönetnyilvánítás szerepel.)
- Gurbuz G, Mekik Ç, Deniz İ, Rozsa Sz (2014): Radyosonda ve GNSS ile Elde Edilen Yoğuşabilir Su Buharı Miktarlarının Karşılaştırılması (Comparing PW values obtained from Radiosonde and GNSS), In: 7. Ulusal Mühendislik Ölçimleri Sempozyumu. Konferencia helye, ideje: Corum, Törökország, 2014.10.15-2014.10.17. Paper Gurbuz et. 5 p.
- Gyöngyösi A. Z., André K., Horányi A., Mile M., Szépszó G., Tasnádi P., Weidinger T., 2013: Numerikus meteorológiai modellfuttatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén. *Léggör* 57(4) 177-183. Link(ek): [Egyéb URL Folyóiratcikk/Szakcikk/Tudományos](#) [2539472]. (MTMT, Az

OTKA köszönetnyilvánítás szerepel.)

- Horváth T, Viengdavanh R, Rózsa Sz (2014): Négydimenziós vízgőzmodellek előállítására GNSS tomográfiával, GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XVII:(1) pp. 69-78. (2014)
- Rózsa Sz, Tuchband T. (2011): A GNSS észlelések szerepe a légköri kihullható vízmennyiség meghatározásában (In: Lovas Antal (szerk.), Építőmérnöki Kar a Kutatóegyetemért. 118p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2011.11.25 Budapest: BME Építőmérnöki Kar, 2011. pp. 7-12.)
- Rózsa Sz, Weidinger T, Gyöngyösi A Z, Kenyeres A. (2012): The role of GNSS infrastructure in the monitoring of atmospheric water vapor, IDŐJÁRÁS / QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE 116:(1) pp. 1-20.
- Rózsa Sz. (2012): Estimation of integrated water vapour from GPS observations using local models in Hungary (International Association of Geodesy Symposia; 136., pp. 817-824)
- Rózsa Sz, Kenyeres A. (2014): Az aktív GNSS hálózat meteorológiai alkalmazása, GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA LXVI:(3-4) pp. 7-11.
- Rózsa Sz. (2014a): Modelling Tropospheric Delays Using the Global Surface Meteorological Parameter Model: GPT2, PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING 58:(4) pp. 301-308. (2014)
- Rózsa Sz, Kenyeres A, Weidinger T, Gyöngyösi A. Z. (2014): Near real-time estimation of integrated water vapour from GNSS observations in Hungary, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY SYMPOSIA 139: pp. 31-39.
- Rózsa Sz. (2014b): Uncertainty Considerations for the Comparison of Water Vapour Derived from Radiosondes and GNSS, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY SYMPOSIA 139: pp. 65-78.
- Rózsa, Sz., Gyöngyösi, A. Z., Kenyeres, A., Weidinger, T., 2015: Hungarian Contribution to the research on remote sensing the atmosphere using GNSS - IAG Commission Geomatikai Közlemények XVIII:(1) 41-42. Folyóiratcikk/Összefoglaló cikk/Tudományos [2921983]. (MTMT)
- Tuchband T, Rózsa Sz (2012): Modelling tropospheric zenith delays using regression models based on surface meteorology data, (In: International Association of Geodesy Symposia; 136., pp. 789-794)

### *Tudományos előadások*

- Gyöngyösi A. Z., Weidinger T., Bánfalvi K., 2016: Légköri megújuló-energia modell-előrejelzések. 6 oldal. IV. Környezet és Energia Konferencia & II. Energia a Mindennapokban Verseny. (Megjelenés alatt a konferencia kötetben.) <http://www.unideb.hu/portal/hu/node/17913> (Nem szerepel az MTMT-ben, Az OTKA köszönetnyilvánításban szerepel.)
- Horváth Gy., Putsay M., Sebők I., Németh P., Nagy Z., Rózsa Sz., 2014: A meteorológiai megfigyelérendszer szerepe az időjárási veszélyjelzésben. 40. Meteorológiai Tudományos Napok (2014. november 20–21), MTA Nagyterem.
- Isteneš, Z., Bottyán, Zs., Gyöngyösi, A. Z., Weidinger, T., Balczó M., Szabó, Z., 2013: Development of a Hungarian Meteorological UAV system: on board sensors, flight planning and the results of the first test flights. First Conference of the International Society for Atmospheric Research using Remotely-piloted Aircraft, (In collaboration with COST Action ES0802) Palma, from 18 to 20 February 2013 ISARRA 2013. <http://www.uibcongres.org/congresos/ponencia.en.html?cc=267&mes=1&ordpon=14> (Nem szerepel az MTMT-ben)
- Kenyeres A., Rózsa Sz., 2014: A hazai aktív GNSS hálózat és meteorológiai szerepe. Az MTA MTB Légkördinamikai és Szinoptikus Meteorológiai Albizottság előadó ülése 2014. november 6, Budapest, OMSZ.
- Mile M., 2014: Az AROME modell és a GNSS ZTD adatasszimiláció az OMSZ-nál. Az MTA MTB Légkördinamikai és Szinoptikus Meteorológiai Albizottság előadó ülése 2014. november 6,

Budapest, OMSZ.

- Rózsa, Sz., Gyöngyösi, A. Z., Bartholy, J., Kern, A., Weidinger, T., Decsi, A., Kenyeres, A. Dombai, F., Adam, J., 2013: Regional scale monitoring of atmospheric water vapor content with GNSS infrastructure and numerical model predictions. EGU General Assembly 2013, held 7-12 April, 2013 in Vienna, Austria, id. EGU2013-1277404/2013. [Copernicus, 2013EGUGA..1512774R.](#) (Nem szerepel az MTT-ben)
- Rózsa, Sz. Adam, J., Juni, I., Tuchband, T., Kenyeres, A., Weidinger, T., Bartholy, J., Gyöngyösi, A. Z., 2015: Remote sensing of the atmospheric water vapour using GNSS observations. GEWEX workshop on the climate system of the Pannonian basin. 9 - 11 November 2015; Faculty of Agriculture, University of Osijek [http://meteo.hr/PANNEX\\_2015/index.php?id=programme](http://meteo.hr/PANNEX_2015/index.php?id=programme). (Nem szerepel az MTT-ben)
- Rózsa, Sz., Mile, M., 2014: Estimation of IWV from GPS observations and the first result of the assimilation in NWP models. Pannonian Atmospheric Boundary Layer Experiment Szeged (IOP 2013. 11. 25–30). PABLS13 Workshop Budapest 3-4 April 2014.
- Weidinger, T., Cuxart, J., Gyöngyösi, A. Z., Wrenger, B., Istenes, Z., Bottyán, Z., Simó, G., Tatrai, D., Jericevic, A., Matjacic, B., Kiss, M., Jozsa, J., 2014: An experimental and numerical study of the ABL structure in the Pannonian plain (PABLS13). In: 21st Symposium on Boundary Layers and Turbulence. Konferencia helye, ideje: Leeds, Egyesült Királyság, 2014.06.09-2014.06.13. Egyéb konferenciaközlemény/Tudományos [2712837] ([MTMT, poszter előadás](#))
- Weidinger T., 2014: Main goals, participants, instrumentation, dataset. The extended measuring period of PABLS13 (20 November – 11. December 2013). Pannonian Atmospheric Boundary Layer Experiment Szeged (IOP 2013. 11. 25–30). PABLS13 Workshop Budapest 3-4 April 2014. (Nem szerepel az MTT-ben)
- Weidinger T., Bottyán Zs., Gyöngyösi A. Z., Istenes Z., Szabó Z., Balczó M., Varga , Á., Bíróné Kircsi A., Horváth Gy., Tátrai D., Bozóki Z., Józsa J., Kiss M., Bordás Á., Wantuch F., Simó, G. D., Cuxart, J. R., Wrenger, B., 2014: A pilótanélküli repülőeszközök szerepe a határreteg kutatásban – nemzetközi mérési expedíció Szegeden. Repüléstudományi Munkaértekezlet, előadás. (MTMT-ben nem szerepel, az előadáson szerepelt az OTKA LOGO.) [http://www.repulestudomany.hu/UAV/UAV\\_Workshop\\_2014/WS\\_WT.pdf](http://www.repulestudomany.hu/UAV/UAV_Workshop_2014/WS_WT.pdf) (Nem szerepel az MTT-ben)
- Weidinger T., Ács F., André K., Balogh M., Bordás Á., Breuer H. Décsei A. Grosz B., Gyöngyösi A. Z., Gyuró Gy., Kolozsi-Komjáthy E., Kugler Sz., Horányi A., Lagzi I., Laza B., Leelőssy Á., Mészáros R., Pinto, J., Tasnádi P., 2012: Skálafüggő időjárási és szennyezőanyag-terjedési folyamatok modellezése. Az ELTE Természettudományi Kar és a Társadalomtudományi Kar együttműködése: „Nagy rendszerek a természettudományokban és számítógépes szimulációjuk” „Európai Léptékkal a Tudásért, ELTE” – kutatóegyetemi projekt 1. számú alprojekt „Projektzáró Konferencia” Konferenciakiadvány 2012. június 29-30. Dobogókő 35-37 [http://kp.elte.hu/news/kiadvany\\_A5\\_vegleges.pdf](http://kp.elte.hu/news/kiadvany_A5_vegleges.pdf) (Nem szerepel az MTMT-ben)

#### Ismeretterjesztő publikációk

Rózsa Sz, Weidinger T, Gyöngyösi A Z. (2011): A GPS, mint meteorológiai mérőeszköz, ÉLET ÉS TUDOMÁNY 66:(51-52) pp. 1644-1645.

#### Egyéb kiadványok az OTKA hivatkozás feltüntetésével

Az ELTE Meteorológus TDK két évente megrendezésre kerülő diákköri iskolaihoz kapcsolódó kiadványok, továbbá az éves Meteorológus Kari TDK Konferenciához tartozó összefoglalók, amelyek részben az OTKA program támogatásával készültek.

A TDK konferenciák és diákköri iskolák során bemutatásra került – mint választható diákköri téma

– az OTKA kutatás, illetve a hozzá köthető mérési munka és numerikus modellfejlesztés.  
<http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet.html>

Weidinger T., 2015: Liftbeszéd - régi-új eszköz a tudományos bemutatkozáshoz, az érdeklődés felkeltéséhez. Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 26. (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A., szerkesztők), Aktuális kutatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén. Jubileumi kötet - 70 éves az ELTE Meteorológiai Tanszéke, ISBN 978-963-284-358-2 (online), 7-14. (Nem szerepel az MTMT-ben, Az OTKA köszönetnyilvánítás szerepel.)

Weidinger T., 2014: A hallgatók részvétele a kutatómunkában itthon és külföldön. Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 25. (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. Leelőssy Á., Sábitz J., szerkesztők): Léggöri folyamatok előrejelzésének módszerei és alkalmazásai. Az ELTE Meteorológus TDK Nyári Iskolája. 2014. augusztus 26-28. Szigliget. Az előadások összefoglalói. ISBN 978-963-284-543-2 (online), 9-21. (Nem szerepel az MTMT-ben, Az OTKA köszönetnyilvánítás szerepel.)

Weidinger T., 2012: A TÁMOP program szerepe az ELTE Meteorológiai Tanszék oktatási és kutatási tevékenységében. Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 24. (Pongrácz R., Mészáros R., Dobor L. Kelemen F., szerkesztők): Meteorológiai kutatások és oktatás hazai felsőoktatási intézményekben. Az ELTE Meteorológus TDK Nyári Iskolája. 2012. augusztus 27-29. Bogács. Az előadások összefoglalói.

Egyetemi Meteorológiai Füzetek (különszámok 2012-2015) A Meteorológus TDK évi kari konferenciája. Az előadások összefoglalói. Szerkesztette: Weidinger Tamás és Breuer Hajnalka.(Nem szerepel az MTMT-ben, Az OTKA köszönetnyilvánításban szerepel.)