



DÉVÉNYI DEZSŐ

EMLÉKKÖTET

Dévényi Dezső (1948-2009)
Meteorológus kollégánk emlékére

DÉVÉNYI DEZSŐ EMLÉKKÖTET

*Dévényi Dezső (1948-2009)
meteorológus kollegánk emlékére*



Magánkiadás, 2014
Készült az OMSZ és az MMT támogatásával
Szerkesztette: Horányi András, Remete Éva
Lektorálta: Szépszó Gabriella

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ.....	7
DÉVÉNYI DEZSŐ (1948 – 2009): RÖVID ÉLETRAJZ.....	9
DÉVÉNYI DEZSŐ: PUBLIKÁCIÓK.....	11
MEGHÍVÓ A DÉVÉNYI DEZSŐ EMLÉKÜLÉSRE	19
METEOROLÓGIAI ADATASSZIMILÁCIÓ: KEZDETEK – LEV GANGYIN ÉS DÉVÉNYI DEZSŐ (CZELNAI RUDOLF).....	21
NÉHÁNY GONDOLAT AZ EURÓPAI KÖZÉPTÁVÚ IDŐJÁRÁS ELŐREJELZŐ KÖZPONT ADATASSZIMILÁCIÓS RENDSZERÉNEK TÖRTÉNETÉRŐL (RADNÓTI GÁBOR).....	41
ENSEMBLE-ALAPÚ ADATASSZIMILÁCIÓS MÓDSZEREK (SZUNYOGH ISTVÁN)	45
THE HISTORY OF HOURLY “RAPID UPDATING” NUMERICAL WEATHER PREDICTION IN THE USA AND ITS TIES WITH HUNGARY (STANLEY G. BENJAMIN, JOHN M. BROWN, STEPHEN S. WEYGANDT)	47
MŰHOLDMETEOROLÓGIA ÉS NUMERIKUS PROGNOSSZTIKA: KORAI HAZAI VIZSGÁLATOK (IHÁSZ ISTVÁN).....	55
AZ OPERATÍV NUMERIKUS MODELLEZÉS KEZDETI ÉVEI MAGYARORSZÁGON: A SVÉD MODELL ALKALMAZÁSA (IHÁSZ ISTVÁN)....	63
OPERATÍV NUMERIKUS MODELLEK AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLTATNÁL: A SVÉD MODELLTŐL AZ AROME MODELLIG (HORÁNYI ANDRÁS).....	71
DÉVÉNYI DEZSŐ, A TANÁR (TASNÁDI PÉTER).....	83

ELŐSZÓ

Dévényi Dezső kollegánk, tanítómesterünk és barátunk 2009 őszén váratlanul távozott el a körünkől. Még a mai napig is hihetetlen azzal szembesülni, hogy nincsen már köztünk, habár igazából itt van, hisz sokat gondolunk rá és azokra a szakmai kérdésekre, amelyeket az Ő iránymutatása alapján ismertünk meg először.

Dezső halála után 2010. június 21-én egy emlékülést szerveztünk, amelyen szakmai előadásokkal igyekeztünk tisztelni Dezső munkássága előtt. A Major György által levezetett ülésen sorrendben Czelnai Rudolf, Radnóti Gábor, Szunyogh István, Stan Benjamin, Ihász István, Horányi András és Tasnádi Péter tartott előadásokat. Az előadóülés során fogalmazódott meg az a gondolat, hogy milyen jó lenne az ott elhangzott előadásokból egy kötetet összeállítani, ezzel is emlékezve Dezsőre. Ezt az elképzelést azóta se feledtük, de csak most tudtuk ezt megvalósítani a jelen kötet megjelenítésével (külön köszönet Jeff Pedigo-nak a kötet költségeinek támogatásáért).

Dezső emlékét azonban nemcsak az előadóüléssel, illetve az emlékkötettel szeretnénk megőrizni. 2011-ben létrehoztuk a Dévényi Dezső Numerikus Prognosztikai Emlékéremet, amelyet két évente szándékozunk egy arra érdemes fiatal, numerikus prognosztikával foglalkozó szakembernek odaítélni (az első díjat 2011-ben Havasi Ágnes vehette át, a másodikat Pieczka Ildikó).

Azzal kezdtem, hogy Dezső emlékét megőrizzük, amiben persze segítenek az ülések, az emlékkötet, illetve az emlékérem is, de a lényeg mégiscsak az, hogy gyakran gondolunk rá és nem hagyjuk, hogy emléke elhalványodjon.



Horányi András

2013. április 28.

DÉVÉNYI DEZSŐ (1948 – 2009) RÖVID ÉLETRAJZ

◉ SZÜLETÉSI IDŐ ÉS HELY

1948. június 4., Keszthely

◉ ISKOLAI VÉGZETTSÉG

1973 matematika-fizika tanári és meteorológus oklevél (MSc), Eötvös Loránd Tudományegyetem

1991 Magyar Tudományos Akadémia kandidátusa (disszertáció címe: „Műholdas adatok alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analízisében”) /1996-ban PhD minősítésként elfogadva az ELTE-n/

1996 doktori habilitációs (Dr. habil) vizsga, Eötvös Loránd Tudományegyetem

◉ ÉRDEKLŐDÉSI KÖRÖK

numerikus prognosztika, műholdmeteorológia, sztochasztikus és dinamikus módszerek kidolgozása légköri modellek számára, matematikai statisztika, adatasszimiláció

◉ MUNKAHELYEK, BEOSZTÁSOK

1976–1979	Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), kutató, Numerikus Előrejelző Osztály
1979–1984	OMSZ, tudományos titkár
1984–1985	OMSZ, osztályvezető, Hidrológiai Osztály
1985–1988	OMSZ, osztályvezető, Numerikus Előrejelzési Csoport
1988–1991	OMSZ, osztályvezető, Hosszútávú Előrejelzési Osztály, majd Időjárási Osztály
1991–1993	NOAA Forecast System Laboratory (FSL), kutató
1994–1995	OMSZ, elnökhelyettes
1995–1998	NOAA Forecast System Laboratory (a University of Colorado alkalmazásában), kutató
1999–2004	professzor, Eötvös Loránd Tudományegyetem
2000–2009	NOAA Forecast System Laboratory (a University of Colorado alkalmazásában), kutató

◉ HOSSZABB TANULMÁNYUTAK

1975. március – 1976. március	Leningrád („Meteorológiai mezők sztochasztikus szimulációja Monte Carlo módszerrel”)
1985. május 16. – 1985. június 16.	Phenjan („WMO ¹ szakértő a KNDP ² meteorológiai szolgálatnál”)

1 WMO: World Meteorological Organization

2 KNDP: Koreai Népi Demokratikus Köztársaság

DÉVÉNYI DEZSŐ PUBLIKÁCIÓK

◉ KÖNYVEK

Dévényi, D. (társszerkesztő) et al., 1982: Manual on Utilization of Satellite Data in Weather Analysis and Forecasting (in Russian). Hidrometeoizdat, Leningrád, 299pp.

Dévényi D. et al., 1986: Meteorológia. Értelmező Szótár. Akadémiai Kiadó, Budapest, 696 oldal.

Dévényi D. és Gulyás O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest, 443 oldal.

◉ REFERÁLT CIKKEK

Pagowski, M., G. A. Grell, S. A. McKeen, S. E. Peckham, and D. Devenyi, 2010: Three-dimensional variational data assimilation of ozone and fine particulate matter observations. Some results using the Weather Research and Forecasting – Chemistry model and Gridpoint Statistical Interpolation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 136, 2013–2024.

Borbas, E. E., W. P. Menzel, E. Weisz, and D. Devenyi, 2008: Deriving Atmospheric Temperature of the Tropopause Region-Upper Troposphere by Combining Information from GPS Radio Occultation Refractivity and High-Spectral-Resolution Infrared Radiance Measurements. *J. Appl. Meteor.*, 47, 2300–2310, 10.1175/2008JAMC1687.1.

Pagowski, M., G. A. Grell, D. Devenyi, S. E. Peckham, S. A. McKeen, W. Gong, L. Delle Monache, J. N. Henry, J. McQueen, and P. Lee, 2006: Application of linear regression to improve the skill of ensemble-based deterministic ozone forecasts. *Atmospheric Environment*, 40, 3240–3250. IF=2,63.

Pagowski, M., G. A. Grell, S. A. McKeen, D. Devenyi, J. M. Wilczak, V. Bouchet, W. Gong, J. McHenry, S. Peckham, J. McQueen, R. Moffet, and Y. Tang, 2005: A simple method to improve ensemble-based ozone forecasts. *Geophys. Res. Letters*, 32, 10.1029/2004GL022305. IF=2,49.

Benjamin, S. G., D. Devenyi, S. S. Weygandt, K. J. Brundage, J. M. Brown, G. A. Grell, D. Kim, B. E. Schwartz, T. G. Smirnova, and T. L. Smith, 2004: An hourly assimilation/forecast cycle: The RUC. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 495–518. IF=1,86.

- Devenyi, D., and S. G. Benjamin, 2003: A 3-dimensional atmospheric variational assimilation technique in a hybrid isentropic-sigma coordinate. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 82, 245–257. IF=0,82.
- Grell, G. A., and D. Devenyi, 2002: A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 14, 10.1029/2002/GL015311. IF=2,15.
- Szunyogh I., Gy. Gyarmati, and D. Devenyi, 2002: Using observed data for testing the statistical consistency of initial ensemble perturbation. *Időjárás*, 105–106, 293–303.
- Kadar, B., I. Szunyogh, and D. Devenyi, 1998: On the origin of model errors. Part I: Effects of the temporal discretization for Hamiltonian systems. *Időjárás*, 102, 19–42.
- Devenyi, D., and T. W. Schlatter, 1994: Statistical properties of three-hour prediction "errors" from the Mesoscale Analysis and Prediction System. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 1263–1280. IF≈1,7.
- Benjamin, S. G., T. L. Smith, P. A. Miller, D. Kim, T. W. Schlatter, D. Devenyi, J.-M. Carriere, and R. Bleck, 1993: Recent developments in the MAPS isentropic-sigma data assimilation system. *Időjárás*, 97, 121–139.
- Devenyi, D., I. Ihasz, G. Radnoti, and Gy. Sipos, 1992: An objective analysis technique for the common analysis of satellite and conventional information. *Adv. Space Res.*, 12, 295–298. IF≈0,4.
- Devenyi, D., and G. Radnoti, 1989: New measure for characterising observation networks. *Időjárás*, 93, 333–339.
- Dévényi, D. és Zemplényiné Tárkányi, Zs., 1989: Légköri erőforrások és értékelésük elméleti alapjai. *Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos Kiadványai*, LXIV. kötet, Budapest, 50pp.
- Devenyi, D., 1987: Satellite information in the objective analysis of meteorological fields. *Adv. Space Res.*, 7, 357–362. IF≈0,4.
- Ambrózy, P., Dévényi, D. és Tárkányi, Zs, 1984: Alégköri erőforrások értékelésének problémái. In: *Alégköri erőforrások hasznosítása az energiagazdálkodásban Magyarországon. Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos Kiadványai*, LVII. kötet, Budapest, 9–19.
- Dévényi D. és Sallai M., 1984: Műholdas információk alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analizisében. I. Műholdas információ hatása az optimális interpoláció elméleti hibájára. *Időjárás*, 88, 92–100.
- Dévényi D. és Mersich I., 1983: Véges differencia módszerek összehasonlítása egyszerű hidrodinamikai modell alkalmazásával. *Időjárás*, 87, 284–293.

Lugina, K. M., and D. Devenyi, 1978: Three-dimensional statistical structure of the pressure field by taking anisotropy into consideration. *Időjárás*, 82, 121–129.

Devenyi, D., K. M. Lugina, and B. B. Ugay, 1977: Three-dimensional anisotropic statistical structure of the pressure field (in Russian). *Trudy GGO*, vyp. 397, 59–69.

• KONFERENCIA CIKKEK ÉS MÁS PUBLIKÁCIÓK

Benjamin, S., S. Weygandt, J. M. Brown, T. Smirnova, D. Devenyi, K. Brundage, G. Grell, S. Peckham, W. R. Moninger, T. W. Schlatter, T. L. Smith, and G. Manikin, 2008: Implementation of the radar-enhanced RUC. 13th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, New Orleans, LA, Amer. Meteor. Soc.

Benjamin, S. G., S. Weygandt, J. M. Brown, T. Smirnova, D. Devenyi, K. Brundage, G. Grell, S. Peckham, T. L. Smith, T. Schlatter, and G. Manikin, 2007: From the radar-enhanced RUC to the WRF-based Rapid Refresh. 22nd Weather Analysis and Forecasting Conf., Park City, Utah, Amer. Meteor. Soc.

Devenyi, D., S. S. Weygandt, T. W. Schlatter, S. G. Benjamin, and M. Hu, 2007: Hourly data assimilation with the Gridpoint Statistical Interpolation for the Rapid Refresh. 18th Conf. on Numerical Weather Prediction, Park City, Utah, Amer. Meteor. Soc.

Purser, R. J., M. S. F. V. Pondeva, D. F. Parrish, and D. Devenyi, 2007: Covariance modeling in grid-point analysis. Proceedings of the ECMWF Workshop on Flow-dependent aspects of data assimilation, 11–26.

Benjamin, S. B., D. Devenyi, T. Smirnova, S. Weygandt, J. M. Brown, S. Peckham, K. Brundage, T. L. Smith, G. Grell, and T. Schlatter, 2006: From the 13-km RUC to the Rapid Refresh. 12th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology (ARAM), Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc.

Moninger, W. R., S. G. Benjamin, D. Devenyi, B. D. Jamison, B. E. Schwartz, and T. L. Smith, 2006: AMDAR optimization studies at the Global Systems Division. 12th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology (ARAM), Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, 2.4a.

Moninger, W. R., S. G. Benjamin, D. Devenyi, B. D. Jamison, B. E. Schwartz, T. L. Smith, and E. Szoke, 2006: AMDAR optimization studies at the Global Systems Division. 10th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS), Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, 6.11a.

Weygandt, S. S., S.G. Benjamin, D. Devenyi, J. M. Brown, and P. Minnis, 2006: Cloud and hydrometeor analysis using metar, radar, and satellite data within the RUC/Rapid Refresh Model. 12th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology (ARAM), Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, 5.3.

Devenyi, D., S. G. Benjamin, J. M. Middlecoff, T. W. Schlatter, and S. S. Weygandt, 2005: Gridpoint statistical interpolation for Rapid Refresh. *17th Conf. on Numerical Weather Prediction*, Washington, D.C., Amer. Meteor. Soc., CD-ROM.

Benjamin, S., R. Bleck, J. Brown, K. Brundage, D. Devenyi, G. Grell, D. Kim, G. Manikin, B. Schwartz, T. Smirnova, T. Smith, and S. Weygandt, 2004: Mesoscale weather prediction with the RUC hybrid isentropic-sigma coordinate model and data assimilation system. *Symposium on 50th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction*, College Park, MD, Amer. Meteor. Soc., 1–33.

Benjamin, S. G., T. Smirnova, K. Brundage, S. Weygandt, T. L. Smith, B. E. Schwartz, D. Devenyi, J. M. Brown, G. Grell, and D. Kim, 2004: A 13-km RUC and beyond: Recent developments and future plans. *11th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Hyannis, MA, Amer. Meteor. Soc., Vol. CD-ROM, J1.6.

Benjamin, S. G., S. Weygandt, D. Devenyi, J. M. Brown, T. L. Smith, and T. Smirnova, 2004: Improved moisture and PBL initialization in the RUC using METAR data. *11th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Hyannis, MA, Amer. Meteor. Soc., Vol. CD-ROM, 17.3.

Benjamin, S. G., T. G. Smirnova, K. Brundage, S. S. Weygandt, G. A. Grell, J. M. Brown, D. Devenyi, B. E. Schwartz, and T. L. Smith, 2004: Application of the Rapid Update Cycle at 10-13 km – Initial testing. *20th Conf. on Weather Analysis and Forecasting*, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., Vol. CD-ROM, 25.3.

Devenyi, D., S. G. Benjamin, and S. S. Weygandt, 2004: The RUC 3DVAR: Operational performance and recent improvements. *16th Conf. on Numerical Weather Prediction*, Seattle, WA, Vol. CD-ROM, P1.20.

Weygandt, S. S., T. Schlatter, S. Koch, S. Benjamin, A. Marroquin, J. Smart, M. Hardesty, B. Rye, A. Belmonte, G. Feingold, D. Barker, Q. Zhang, and D. Devenyi, 2004: Potential forecast impacts from space-based lidar winds: Results from a regional observing system simulation experiment. *8th Symp. on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land surface (IOAS-AOLS)*, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, 6.4.

Benjamin, S. G., D. Devenyi, S. S. Weygandt, and G. S. Manikin, 2003: The RUC 3D variational analysis (and postprocessing modifications). *NOAA Technical Memorandum OAR FSL-29*, Forecast Systems Laboratory, Boulder, CO, 18pp.

Benjamin, S. G., J. M. Brown, K. J. Brundage, D. Devenyi, G. A. Grell, D. Kim, B. E. Schwartz, T. G. Smirnova, T. L. Smith, S. Weygandt, and G. S. Manikin, 2002: RUC20 - The 20-km version of the Rapid Update Cycle. *NOAA Technical Memorandum OAR FSL-28*, 32pp.

Benjamin, S. G., J. M. Brown, D. Devenyi, G. A. Grell, D. Kim, T. L. Smith, T. G. Smirnova, B. E. Schwartz, S. Weygandt, K. J. Brundage, and G. S. Manikin, 2002: The 20-km Rapid Update Cycle – Overview and implications for aviation applications. *10th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Portland, OR, Amer. Meteor. Soc.

Benjamin, S. G., S. S. Weygandt, B. E. Schwartz, T. L. Smith, T. G. Smirnova, D. Kim, G. A. Grell, D. Devenyi, K. J. Brundage, and J. M. Brown, 2002: The 20-km RUC in operations. Preprints, *19th Conf. on Numerical Weather Prediction*, San Antonio, Texas, 379–382.

Devenyi, D., S. G. Benjamin, and S. S. Weygandt, 2002: A new version of RUC 3DVAR. Preprints, 19th Conf. on Numerical Weather Prediction, San Antonio, Texas, 343–345.

Benjamin, S. G., G. A. Grell, S. S. Weygandt, T. L. Smith, T. G. Smirnova, B. E. Schwartz, D. Kim, D. Devenyi, K. J. Brundage, J. M. Brown, and G. S. Manikin, 2001: The 20-km version of the RUC. Preprints, 14th Conf. on Numerical Weather Prediction, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., J75-J79.

Devenyi, D., S. G. Benjamin, and S. S. Weygandt, 2001: 3DVAR analysis in the Rapid Update Cycle. Preprints, 14th Conf. on Numerical Weather Prediction, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., J103-J107.

Grell, G. A., and D. Devenyi, 2001: Parameterized convection with ensemble closure/feedback assumptions. Preprints, 9th Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., 12–16.

Kim, D., and D. Devenyi, 2001: One dimensional variational assimilation experiments combining GOES sounder and imager raw radiance data. Preprints, 11th Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography, Madison, WI, Amer. Meteor. Soc., 277–278.

Benjamin, S. G., G. A. Grell, J. M. Brown, K. J. Brundage, D. Devenyi, D. Kim, B. Schwartz, T. G. Smirnova, T. L. Smith, and S. S. Weygandt, 2000: The 20-km version of the Rapid Update Cycle. Preprints, 9th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Orlando, FL, Amer. Meteor. Soc., 421–423.

Devenyi, D., and S. G. Benjamin, 1998: Application of a three-dimensional variational analysis in RUC-2. Preprints, 12th Conference on Numerical Weather Prediction, 11–16 January, Phoenix, Arizona, Amer. Meteor. Soc., 37–40.

Benjamin, S. G., J. M. Brown, K. J. Brundage, D. Devenyi, D. Kim, B. E. Schwartz, T. G. Smirnova, T. L. Smith, and A. Marroquin, 1997: Improvements in aviation forecasts from the 40-km RUC. Preprints, 7th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Long Beach, Amer. Meteor. Soc., 1–7 February, 115–119.

Benjamin, S. G., J. M. Brown, K. J. Brundage, D. Devenyi, D. Kim, B. E. Schwartz, T. G. Smirnova, and T. L. Smith, 1997: MAPS/RUC - An Hourly Data Assimilation and Forecast System in Isentropic/Hybrid Coordinates. IAMAS Conference, Melbourne, Australia, 47–49.

Devenyi, D., 1996: A 3-dimensional variational analysis for MAPS/RUC. Preprints, 11th Conference on Numerical Weather Prediction, August 19–23, Norfolk, Virginia, Amer. Meteor. Soc., 110–112.

Benjamin, S. G., J. M. Brown, K. J. Brundage, D. Devenyi, B. E. Schwartz, T. G. Smirnova, T. L. Smith, and Feng-Ju Wang, 1996: The 40-km 40-level version of MAPS/RUC. Preprints, 11th Conference on Numerical Weather Prediction, August 19–23, Norfolk, Virginia, Amer. Meteor. Soc., 161–163.

Cram, J. M., S. C. Albers, and D. Devenyi, 1996: Application of a two-dimensional variational scheme to a meso-beta-scale wind analysis. Preprints, 15th Conference on Weather Analysis and Forecasting, August 19–23, Norfolk, Virginia, Amer. Meteor. Soc., 227–230.

Kim, D., T. W. Schlatter, and D. Devenyi, 1994: A new mesoscale objective analysis with Bessel basis functions. Preprints, 10th Conference on Numerical Weather Prediction, July 17–23, Portland, Oregon, Amer. Meteor. Soc., 151–153.

Devenyi, D., A. Horanyi, I. Ihasz, and G. Radnoti, 1992: Stability properties of the optimum interpolation method. EWGLAM Newsletter, 21, 166–172.

Devenyi, D., A. Horanyi, I. Ihasz, and G. Radnoti, 1991: Robust optimal interpolation of meteorological fields. Abstracts, IAMAP, IUGG XX. General Assembly, 11–24 August, Vienna, Austria, 159.

Devenyi, D., A. Horanyi, I. Ihasz, and G. Radnoti, 1991: Study of orographic effects on atmospheric processes by the use of a LAM. Proceedings, International Conference on Mountain Meteorology, Climatology and Aerology of the Lower Layers of Troposphere, 26–30 August, Stara Lesna, Czechoslovakia, 211–214.

Dévényi D. és Ihasz I., 1990: Az előrejelzési tevékenység adatháttere. Egyetemi Meteorológiai Füzetek (Szerkesztette: Matyasovszky I., Weidinger T. és Gyuró Gy.), 32–33.

Devenyi, D., I. Ihasz, G. Radnoti, and Gy. Sipos, 1990: Application of robust filtration and spline interpolation for the objective analysis of meteorological fields. EWGLAM Newsletter, 19, 162–168.

Devenyi, D., I. Ihasz, G. Radnoti, and Gy. Sipos, 1990: Analysis of information in satellite radiation data. Preprints, Satellite Meteorological Symposium, 19–20 April, Visegrád, Hungary, 86–96.

Devenyi, D., I. Ihasz, G. Radnoti, and Gy. Sipos, 1990: Methods for objective analysis of traditional and satellite information. Theoretical aspects. Preprints, Satellite Meteorological Symposium, 19–20 April, Visegrád, Hungary, 37–50.

Devenyi, D., 1989: The effect of correlated measuring errors on the result of optimum interpolation (in Hungarian). Research Reports, Hungarian Meteorological Service, 35–40.

Devenyi, D., and G. Radnoti, 1989: Dynamical systems in meteorology. Preprints, Symposium on Simulation of Systems, 6–8 June, Podolanky, Czechoslovakia, 103–106.

Devenyi, D., I. Ihasz, G. Radnoti, and Gy. Sipos, 1989: Application of spline-functions for dry and wet isentropic objective analysis of meteorological fields. Abstracts, IAMAP, IUGG XIX. General Assembly, 1–4 August, Reading, UK, Vol. I., 172.

Devenyi, D., I. Ihasz, G. Radnoti, and Gy. Sipos, 1989: Initialization of a high-resolution numerical prognostic model of surface winds, using satellite data. Abstracts, IAMAP, IUGG XIX. General Assembly, 1–4 August, Reading, UK, Vol. II., 141.

Devenyi, D., I. Ihasz, and Gy. Sipos, 1988: Common objective analysis of satellite and traditional meteorological information. Preprints, Symposium on Utilization of Satellite Measurements in Modelling and Prediction of Atmospheric Phenomena, Prague, Czechoslovakia, 174–179.

Devenyi, D., and Gy. Sipos, 1988: Development of retrieval of atmospheric temperature profiles in Hungary. Preprints, Symposium on Utilization of Satellite Measurements in Modelling and Prediction of Atmospheric Phenomena, Prague, Czechoslovakia, 56–63.

Devenyi, D., and G. Radnoti, 1988: A one-level high-resolution hydrodynamical model of surface winds. Preprints, Symposium on Utilization of Satellite Measurements in Modelling and Prediction of Atmospheric Phenomena, Prague, Czechoslovakia, 260–266.

Devenyi, D., 1987: Die numerischen prognostischen Forschungen in Ungarn (in German). Abstracts, Austrian-Hungarian Symposium on Weather Forecasting, 20–22 May, Siófok, Hungary, 2–4.

Dévényi D., 1987: A dinamikus sztochasztikus előrejelzés matematikai alapjai. Konferenciakötet (Statisztikus Módszerek a Meteorológiában című konferencia, Síkfőkút, szeptember 17–19.), kiadó: MMT–OMSZ–KLTE, 7–10.

Ambrozy, P., D. Devenyi, and Zs. Tarkanyi, 1986: Grundsatzliche Fragen der Bewertung der atmosphärischen Ressourcen (in German). In: Die Meteorologie im Dienste der Volkswirtschaft und des Umweltschutzes. Akademie Verlag, Berlin, 5–11.

Ambrozy, P., D. Devenyi, and Zs. Tarkanyi, 1983: Theoretical problems of evaluation of atmospheric resources (in Hungarian). Energiagazdálkodás, 8, 340–344.

Ambrozy, P., D. Devenyi, and Zs. Tarkanyi, 1983: Some basic problems of evaluation of atmospheric resources (in Hungarian). Épületgépészet, 3, 114–117.

Dévényi D., 1983: Operatív meteorológiai információk automatikus ellenőrzésének módszerei. Meteorológiai Tanulmányok, 45, 28pp.

Devenyi, D., 1983: A method for vertical quality check of satellite information (in Russian). Preprints, Symposium on Methods of objective analysis and forecasting of meteorological fields using satellite information, Prague, Czechoslovakia, 216–225.

Skoda, M., and D. Devenyi, 1983: Mixing ratio computation using SATEM data (in Russian). Preprints, Symposium on forecasting of meteorological fields using satellite information, Prague, Czechoslovakia, 226–239.

Dévényi, D., 1974: Mértékelmélet. Meteorológiai Tanulmányok, 1, 69.

MEGHÍVÓ A DÉVÉNYI DEZSŐ EMLÉKÜLSRE

A Magyar Tudományos Akadémia Meteorológiai Tudományos Bizottság Léggördinamikai Munkabizottsága tisztelettel meghívja a

Dévényi Dezső (1948–2009) emlékére szervezett szakmai előadósülésre

A rendezvény ideje: ◦ 2010. június 21., 9 óra
Helyszíne: ◦ Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, Kitaibel Pál u. 1., földszinti díszterem
Levezető elnök: ◦ Major György

◦ AZ EMLÉKÜLÉS PROGRAMJA

http://mtb.met.hu/rendezvenyek/Devenyi_Dezso_emlekules/index.php

9 ⁰⁰	<i>Megnyitó</i>
9 ⁰⁵ –9 ³⁰	Czelnai Rudolf: Az adatasszimilációs probléma vizsgálatának kezdetei: Dévényi Dezső kapcsolódása L.S. Gandin iskolájához
9 ³⁰ –9 ⁵⁵	Radnóti Gábor: Az ECMWF adatasszimilációs rendszere
9 ⁵⁵ –10 ²⁰	Szunyogh István Ensemble adatasszimiláció
10 ²⁰ –10 ⁴⁵	Stan Benjamin: Rapid Update Cycle and Rapid Refresh at NOAA (angolul)
10 ⁴⁵ –11 ¹⁰	Ihász István: Műholdmeteorológia és numerikus prognosztika: korai hazai vizsgálatok
11 ¹⁰ –11 ³⁰	<i>Szünet</i>
11 ³⁰ –11 ⁵⁵	Ihász István: Az operatív numerikus modellezés kezdeti évei Magyarországon: a svéd modell alkalmazása
11 ⁵⁵ –12 ²⁰	Horányi András: Operatív numerikus modellek az OMSZ-ban: a svéd modelltől az AROME modellig
12 ²⁰ –12 ⁴⁵	Tasnádi Péter: Dévényi Dezső oktatási tevékenysége
12 ⁴⁵	<i>Zárszó</i>

METEOROLÓGIAI ADATASSZIMILÁCIÓ: KEZDETEK – LEV GANGYIN ÉS DÉVÉNYI DEZSŐ

Czelnai Rudolf

*„...a fizikát megsemmisítő kétség fertőzte meg, terjednek a statisztikai módszerek”
(Oswald Spengler)*

Nem nagyon régen, az interneten szörfölve váratlanul Dévényi Dezső neve ötlött a szemembe. A cikk arról szólt, hogy Bengál, Orissa, Bihar és Assam tartományokban (Indiában), a monszun érkezését megelőző hónapokban, nagyjából áprilistól júniusig, gyakoriak a nagy konvektív zivatarok. Ezek előrejelzésére pilot projekteket hajtottak végre az Anthes–Kuo, Betts–Miller, Grell–Devenyi és Kain–Fitsch sémákkal, és azt találták, hogy a legjobb eredményeket Georg A. Grell és Dezső Devenyi módszere szolgáltatta, melyet ezek a szerzők 2002-ben publikáltak a Geophysical Research Letters-ben.

Nem ez volt az első és egyetlen eset, hogy Dezsővel kapcsolatban efféle hírre akadtam, és persze az ilyesmi mindig örömet okozott. E sikerekről azért is örömmel értesültem, mert szakmai érdeklődésünk és szemléletünk közel állt, és pályafutásunkban olykor ugyanazok a személyek és eszmék játszották a döntő szerepet. A legutóbbi időig rendszeresen leveleztünk, de ritkán találkoztunk. (Utoljára váratlan elhunytá előtt pár héttel, 2009. október 12-én, Budapesten jöttünk össze. Akkor folytatott beszélgetésünkre alább még visszatérek).

De először azt mondom el, hogy 1995-ben volt egy lehetőségem arra, hogy meglátogassam őt Boulderben. (Ez privát kiruccanás volt New Yorkból, ahol a Rockefeller Egyetem meghívásának tettem eleget.) Dezső szervezett a számomra egy szakmai programot és egy kisebb értekezletet, melyen képet kaptam a munkájáról. Nagy örömmel láttam, hogy jól megtalálta a helyét Boulderben, és olyan munkát végezhetett, melyben igazán nagyszerűen kifejtette a képességeit.

Tíz nap után Denveren és Atlantán keresztül hazaindultam. Mikor a repülőgép az angliai partok közelébe ért, a magasból egy hatalmas óceánjárót pillantottam meg, mely ugyancsak az angol partok felé tartott. Körülötte apró hajócskák cikáztak. A

jelenetet nézve ezt mondtam magamnak: íme, ez a nagy hajó, ez Dezső, aki nem cikázik, mint sokan mások, és nem könnyen indul meg, de ha beállt egy pályára, akkor azon rajta van, és megy. Ezt a képet őrzöm róla azóta is. Dezső nem kapkodott, nem könnyen állt rá egy témára, de amibe belefogott, azt komolyan vette.

◉ AZ ELŐZMÉNYEK ELŐZMÉNYEI (1950–1963)

Ebben az írásban nem próbálom méltatni Dévényi Dezső teljes életművét, csak azt az időszakot, és azt is csak egyetlen szempontból, melyben Dezső kapcsolatba került az adatasszimiláció problémájával. Ennek a folyamatnak tanúja voltam, és közvetítő szerepet is játszottam Lev Gangyin és Dévényi Dezső között.

Dezső saját szavait idézve: „a meteorológiai adatasszimiláció célja a különböző időpontokban beérkezett és különböző időpontokra, különböző térbeli pontokra, valamint különböző meteorológiai állapotathározókra vonatkozó adatokból a lehető legpontosabb és kiegyensúlyozott kezdeti feltételek biztosítása”. Az itt következő történet arról szól, hogy Dezső hogyan vált azok egyikévé, akik ezen a téren – világszinten – maradandót alkottak.

Mielőtt erre rátérnék, pár szót ejtenék a mottóként kitett Spengler idézet kapcsán arról, hogy hazai szakmai köreinkben hosszú ideig félreértésből fakadó viták folytak azon, hogy mi a statisztikai módszerek helye a meteorológiai előrejelzésben. Voltak, akik attól tartottak, hogy ha kiejtjük a „véletlen” vagy a „sztochasztikus” szót, akkor ezzel „megsemmisítő kétség” fertőzi meg a meteorológia tudományát. Pedig csak arról van szó, hogy ha egy dinamikus elméletre alapozott időjárás-előrejelző modellt alkalmazni akarunk a gyakorlatban is, akkor szembe kell néznünk a valósággal: azzal, hogy kevés számú, térben és időben diszkrét megfigyelés alapján kell előállítanunk a kiindulási mezőt, és ráadásul ezek a megfigyelések nem is hibátlanok. Ezt a mintavételi problémát kezelni kell, és ez egyáltalán nem könnyű művelet, sőt bizonyos esetben több számítógép időt igényelhet, mint maga az előrejelzés³.

Tehát a lényeg az, hogy statisztikai módszerekre (vagy ha úgy tetszik, a sztochasztikus függvények elméletének alkalmazására) van szükség ahhoz, hogy hidat verjünk elmélet és gyakorlat között. Nem kell ehhez a káoszelméletre, vagy más egyébre hivatkozni, ez egyszerű gyakorlati kérdés.

³ Voltak idők, amikor az adatasszimiláció tette ki az előrejelzések számítógépidő-igényének nagyobb részét (Gangyin, 1963). Később a parametrizációs módszerek fokozódó alkalmazásával a kép kiegyenlítettebbé vált.

Arra a másik kérdésre, hogy 1960 táján a meteorológiai mezők statisztikai szerkezetével miért is kezdtünk foglalkozni, biztosan meglepő lesz a válasz. Az 1960-as évek hazai viszonyait ma már elképzelni is nehéz, és ezért ami akkor történt, alig fog hihetőnek tűnni. Az egész úgy kezdődött, hogy Dési Frigyes, intézetünk igazgatója, hívatott és elmondta, hogy felettes hatóságaink spórolni akarnak, és szerintük nem szükséges annyi meteorológiai állomást fenntartani, amennyit mi akkoriban fenntartottunk. Hozzátette, hogy elsősorban az ún. „társadalmi észlelők” által kiszolgált állomások számát akarják radikálisan csökkenteni.

Értetlenkedve azt kérdeztem, hogy mit lehet rajtuk megspórolni, hisz ezek az emberek csak jelentéktelen tiszteletdíjat kapnak. Dési Frigyes ekkor elárulta, hogy talán arról van szó, hogy a társadalmi észlelők között van néhány pap, és ezek szúrják odafönt valakinek a szemét. A beszélgetésünk jó hosszúra nyúlt, és ennek során végül azt javasoltam neki, hogy tereljük a témát tudományos síkra. Ő az ötletet elfogadta, és utasított, hogy nézzek utána, mit lehet tenni.

Nem szaporítom a szót, az akciónk eredményes volt. A tudományos érvek előtt a feletteseink meghátráltak, és az állomáshálózatot meg tudtuk védeni. Másrésről ez az operáció az én számomra még külön nyereséggel is járt, mert ettől kezdve foglalkozhattam azzal a témával, mely engem eleve nagyon is érdekelt. Ez az érdeklődés 1950 őszen született meg bennem, elsőéves egyetemi hallgató koromban, Dr. Száva-Kováts József akkori tanszékvezető professzorunk első előadásán, az ELTE TTK keretében 1950-ben meginduló meteorológusképzés kezdetén.

Száva-Kováts az előadás előtt kifüggesztett három nagy szinoptikus térképet. Elmondta, mik ezek a térképek, majd biztatott minket, nézzük meg jól: mindhárom térkép ugyanarra az időpontra vonatkozik, ugyanazok a kiinduló adatok, de az analízist (az aktuális időjárási helyzet áttekintését) három különböző szinoptikus készítette, egymástól függetlenül. A három analízis persze nem is hasonlított egymásra.

Világos volt, hogy a rendelkezésre álló megfigyelési adatok alapján nem lehetett egyértelmű analízist készíteni. Miután a térképeket megnéztük, professzorunk feltette a kérdést: *„Mit gondolnak önök, leendő ifjú meteorológusok, lehet-e fontosabb feladata a világ meteorológusainak, mint az, hogy olyan megfigyelő rendszert teremtsenek, amely ezt az állapotot megszünteti végre?”* Aztán ehhez még futólag hozzátette: *„Jószorivel ma még azt sem tudjuk, hogy milyen sűrű állomáshálózat és mennyi megfigyelési adat kellene ahhoz, hogy egyértelmű analíziseket lehessen készíteni.”*

Száva-Kováts József professzor idézett szavai számomra mindent eldöntöttek. Azonnal le is jegyeztem a naplómba szó szerint azt, amit mondott. Még azt is leírtam, hogy egy amerikai kutató, H. A. Panofsky (1949) „Objective Weather Map Analysis” c. cikkére⁴ hivatkozott. Másnap meg is kerestem ezt a cikket a Tanszék könyvtárában, és miután (nem könnyen) sikerült elolvasnom, feljegyeztem magamnak, hogy ezzel a témával szeretnék foglalkozni! – Ebből máris láthatjuk itt, hogy sorsunkat gyakran a véletlenek alakítják. Ha Száva-Kováts József 1950-ben nem arról beszélt volna, amiről beszélt, és ha 1960 táján a politikusaink nem kötöttek volna bele a szegény állástalan papokba, akkor Dévényi Dezső életútja is egészen másként alakult volna.

Az igazgatónktól kapott feladathoz úgy kezdtem hozzá, hogy megpróbáltam kideríteni, hogy mi van erről a témáról a szakirodalomban. Jó pár napi munka után került a kezembe O. A. Drozdov és A. A. Shepelevszkij (1946) egyik cikke, mely a sztochasztikus mezőkben végrehajtott interpolációkról szólt. Hamar megtaláltam az utalást Kolmogorov homogén és izotróp turbulencia elméletére (Kolmogorov, 1941). Ezekről a témákról semmit se tudtam, de elhatároztam, hogy bepótolom a hiányt.

Gondolom, nem tűnik normális dolognak, hogy autodidakta módon próbáltam szert tenni ezekre az ismeretekre. De akkoriban különös időket éltünk, és ilyen időkből fel se tűnik, ha az embernek nincs realitás-érzéke. Ráadásul az akkori hazai egyetemi meteorológusképzésből hiányzott a matematikai statisztika. Ezen a téren a világhoz képest teljesen el voltunk maradva. Így fel se fogtam, hogy amire vállalkoztam, az a turbulencia-problémához hasonlóan az egyik legbonyolultabb matematikai témakör. Szerencsére azonban akkoriban könnyű volt találni nagy tudású és segítőkész embereket, akikről tanácsokat kérhettem. (Tipikus volt, hogy az okos emberek mindenre ráértek, mert nekik nem jutott tennivaló.)

Mivel akkoriban a műszaki osztályon, operatív munkakörben dolgoztam, kutatómunkát a munkahelyemen nem nagyon végezhettem. Ezért az ELTE Meteorológiai Tanszékén Rákóczi Ferivel összebeszéltünk, hogy ott hozunk létre egy kis kutatócsoportot. Dési Frigyes, a tanszék vezetője, ezt az ötletet melegen támogatta. Így kezdtünk el a hálózat témával foglalkozni. Hamarosan kiderült, hogy az első lépés a meteorológiai mezők statisztikai szerkezetét leíró főbb jellemzők (szerkezeti és autokorrelációs függvények) kiszámítása lenne. Ez kegyetlen munka volt. Egy-egy meteorológiai elem (hőmérséklet, légnyomás, csapadék) szerkezeti karakterisztikáinak kiszámítása, manuálisan végezve, 5-6 hónapba telt. Ezért eléggé lassan haladtunk.

4 Panofsky itt használta először az „objektív analízis” kifejezést.

A munkánkra ösztönzőleg hatott, hogy épp akkoriban jelent meg a WMO Technical Note No. 30 (1959), mely a WMO Szinoptikus Meteorológiai Bizottsága (CSM⁵) által 1953-ban létrehozott, megfigyelőhálózatokkal foglalkozó munkacsoport jelentését tartalmazta. Ebben azt a problémát járták körül, hogy a megfigyelőhálózatok konfigurációja és sűrűsége hogyan érinti az analízisek pontosságát. Két dolog nagyon érdekes: az egyik az, hogy e Technical Note megjelenése a munkacsoport létrejöttéhez képest több évet késelt. A másik az, hogy a jelentéshez tizenegy melléklet kapcsolódik. A munkacsoport illusztris tagjai (J. Bessemoulin, elnök – H. M. DeJong – W. J. A. Kuipers – O. Lönnqvist – A. Megenine – R. Pône – P. D. Thompson – J. D. Torrance) nyilván rájöttek, hogy nem tudnak konszenzusra jutni. Ezért külön-külön leírták, amit gondoltak. DeJong professzor kifakadva ezt mondta: „sok okos ember okossága néha úgy adódik össze, mint a vektorok, vagyis az eredő akár nulla is lehet”.

A munkacsoportot 1962-ben feloszlatták. Egyesek azt gondolták, hogy Lt. Colonel Philip Duncan Thompson⁶ (a munkacsoport utolsó elnöke) csak azért volt elégedetlen a munkacsoport munkájával, mert az nem volt képes olyan költség/haszon elemzést asztalra tenni, melyből kitűnt volna, hogy a hálózatok sűrítésének melyek a racionális határai. Azonban abból a cikkből, melyet Thompson egy évvel később „Esszé a hálózati probléma technikai és gazdasági aspektusairól” címmel tett közzé a WMO Bulletin 1963. évi januári számában, kiderült, hogy ő egészében véve is elégedetlen volt a munkacsoport teljesítményével, és az egész korábbi közelítést rossznak tartotta.

Mikor ezt a cikket elolvastam, világossá vált a számomra, hogy egy olyan problémakörrel állunk szemben, melyre a világ meteorológus szakmai közössége nem fordított elegendő figyelmet és energiát. Vagyis észrevettem, hogy ezzel a témakörrel érdemes lehet foglalkozni. Ezt a gondolatot a következő évek eseményei nagymértékben igazolták.

Egy megjegyzés erejéig visszatérve P. D. Thompsonra még leírom, hogy véleményem szerint ő volt az első, aki a megfigyelési probléma vizsgálata terén az analitikai közelítéssel szemben numerikus modellkísérleteket szorgalmazott. Észrevette, hogy a számítógépek sebessége akkor már kezdte lehetővé tenni nagyszámú ellenőrzött numerikus kísérlet végrehajtását. Ezek a kísérletek történhettek pl. szimulált hálózatokkal.

5 Commission for Synoptic Meteorology

6 P. D. Thompson alezredes nem volt akárki. 1946-ban őt jelölték ki, hogy az U.S. Air Force részéről tudományos adminisztrátorként vegyen részt Neumann János princetoni numerikus időjárás-előrejelző projektjében. Később a National Center for Atmospheric Research (NCAR, Boulder) társigazgatója lett. 1958-ban ő vette át J. Bessemoulintól a CBS hálózati munkacsoport elnöki tisztét.

Szó szerint ezt írta: „Ezek a kísérletek nem csak azt mutatják majd meg, hogy az analízis pontossága hogyan függ az állomások számától és elhelyezkedésétől, valamint a megfigyelések időbeli gyakoriságától és varianciájától, hanem közvetlenül megmutatják azt is, hogy az előbbi feltételek milyen hatást gyakorolnak az előrejelzések beválására.”

P. D. Thompson elsők között ismerte fel a megfigyelési rendszer kísérletek fontosságát, és nagy szerepe volt abban, hogy a következő években a WMO „Observation System Experiments” néven több nagy hálózat-szimulációs programot szervezett. Még azt is hozzátennem, hogy ezek a kísérletek impliciten már tartalmazták az ensemble előrejelzések gondolatát is.

Személyes elmondásából tudom, hogy Thompson a Nobel-díjas Paul Dirac előadásait is látogatta. Tapasztaltam is, hogy ebből sokat profitált. Miként Joe Smagorinsky is profitált abból, hogy Neumann János tanítványa volt, s aztán fiatal tanerőként matematikai statisztikát adott elő meteorológus hallgatóknak. (Ezzel szembeállítva ismétlem, hogy az 1950-ben megindított meteorológiai oktatás tantervéből nálunk hosszú ideig hiányzott a matematikai statisztika és valószínűségszámítás. Ezt a nagy gyengeséget kellett felszámolnunk.)

◉ **KAPCSOLATFELVÉTELŰNK LEV GANGYINNAL (1964)**

1963-ban bekerültem abba a huszonkét fiatal hazai meteorológusból álló csoportba, melynek tagjai egy-egy éves WMO ösztöndíjat kaptak külföldi tanulmányok végzésére. Igazgatónk azt kötötte ki, hogy a kapott egy évből fél évet mindenképpen valamelyik szovjet kutatóintézetben kell töltenünk. A másik fél éves tanulmány helyének megválasztásába volt némi beleszólásunk. Én pl. Japánt választottam, hogy Eichi Suzukival dolgozhassak, aki akkor a klímastatisztika egyik kulcsembere volt. Igazgatónk ezt jó gondolatnak tartotta. (Később kiderült, hogy én lettem az első európai meteorológus, aki Japánba ment posztgraduális WMO tanulmányútra.) Azt se bántam, hogy fél évet egy szovjet intézetben kellett tölteni, mert addigra már pontosan tudtam, hogy a leningrádi Geofizikai Főobszervatóriumban (GGO⁷) Lev Gangyin professzor mellett akarok dolgozni. Rátaláltam több folyóiratcikkre, melyeket ő írt, és tudtam, hogy tőle tanulhatom a legtöbbet.

Lev Szemenovics Gangyin (1921–1997) széles horizontú ember volt, aki nem csak azt látta, amit éppen nézett, hanem azt is, hogy az a bizonyos dolog hol helyezkedett el a többi dolgokhoz képest. Ez emelte őt a kortársai fölé. Észrevette, hogy létezik az aktuális meteorológiai feladatoknak egy egész családja, mely feladatok esetében hasonló matematikai módszereket kell majd alkalmazni, mint a hálózat-problém esetében. Ilyen a diszkrét pontokban végzett megfigyelések térbeli és időbeli interpolációjának hibabecslése, a diszkrét pontokban végzett megfigyelések területi kiterjesztése, a gépi adatkontroll, vagyis az adatok automatikus minőségellenőrzése, és egészen általános értelemben az adatasszimiláció, vagyis az előrejelző modellek kiindulási adatmezejének előállítása. Ezért úgy gondolta, hogy e feladatok módszertani megalapozása érdekében érdemes munkát fektetni a sztochasztikus folyamatok és mezők elméletének tanulmányozásába.

A felsorolt feladatok megoldásának első lépése és előfeltétele (!), hogy meg kell határozni a különféle meteorológiai paraméterek mezőinek statisztikai szerkezetét⁸. Lev Gangyin becslése szerint egy-egy szerkezeti függvénygörbe meghatározásához 30-50 ezer elemből álló minta volt szükséges. Úgy találta, hogy ez a számítás (manuális technikát feltételezve), 4-5 havi munkát igényelt. (Ez a becslés egybeesett a mi saját tapasztalatainkkal.)

Lev Gangyin nagyon alaposan foglalkozott azzal a kérdéssel is, hogy a számításokhoz felhasznált adatmintának ki kellett elégítenie a homogén és izotróp turbulencia feltételeit. Ugyanis a szerkezeti függvények számításánál nehézséget okoz, hogy a szóban forgó empirikus függvények értékei nem csak a térbeli távolságtól függenek, hanem függhetnek attól is, hogy a mező mely részét vizsgáljuk (inhomogenitási probléma), illetve attól, hogy a pontok, melyek között az interpolációt végrehajtjuk, egymáshoz képest milyen irányban helyezkednek el (izotrópia problémája). Ez a két probléma elvileg gyakorlatiatlanná tehetné a szóban forgó paraméterek kiszámítását, mivel ezek a feltételek a meteorológiai mezők esetében teljesen szigorúan szinte sosem teljesültek. Ezért vezette be A.N. Kolmogorov a „homogén és izotróp” turbulencia elméletén keresztül azt a megoldást, mely lehetőséget ad a szóban forgó függvények közelítő meghatározására, és ezért pl. Drozdov és Shepelevszkij (1946) a Kolmogorov által kidolgozott „lokális homogén és izotróp turbulencia” elméletét vette alapul. (Történetesen én először éppen ezekre a munkákra figyeltem fel.)

8 A meteorológiai mezők statisztikai szerkezetén a Lev Gangyinhoz kapcsolódó iskola terminológiája szerint azt értettük, hogy miként változik a mező térbeli pontjai között – a térbeli távolság függvényében – az egyes meteorológiai paraméterek interpolációjának statisztikai hibája. Erre a célra az egyes meteorológiai mezőkre vonatkozóan ún. „korrelációs”, illetve „szerkezeti” függvényeket kellett kiszámítani.

A leningrádi Geofizikai Főobszervatóriumba (vagyis a GGO-ba) 1964. január végén érkeztem és Lev Gangyinnal először január 30-án találkoztam. Éppen akkor kapta meg a kiadótól „Objektivnűj Analiz Meteorologicseszkih Polej” c. könyvét (1963), és rögtön adott egyet nekem. Megtudtam, hogy én kaptam tőle az első dedikált példányt. Ezt a könyvet azóta is nagy becsben tartom.

Rövid tárgyalás után megállapodtunk abban, hogy sietve átírjuk a magammal vitt légnyomásadatokat gépi adatfeldolgozásra alkalmas formába, aztán az egészet felvesszük „perfolentára”⁹, s utána a GGO Ural-1 (vagy 2?) típusú számítógépén korrelációs- és szerkezeti függvényeket fogunk kiszámolni. Ez így is történt. Egy olyan számítást, mely odahaza – manuálisan – öt hónapba telt, most 5 nap alatt végeztünk el. A programot gépi kódban kellett megírni. A számítógép 10 méter hosszú zöld vasszekrény volt, melyben rádiócsövek serege vibrált, és a teremben akkora hőség volt, hogy szívesen fürdőnadrágra vetkőztem volna. – Aztán a következő két hónapban még sok időt töltöttünk Lev Gangyinnal, és munkatársával, R. L. Kagannal e hőséget árasztó és hangosan zúgó félelmetes gép mellett.

Az első hónapban alig váltottunk szót. Talán bosszantotta, hogy a nyakára küldtek egy zöldfülűt. De később feloldódott köztünk a viszony, sőt többször meghívott a lakásukra is¹⁰. Ilyenkor vele, és Nagyezsdával, a feleségével jókat beszélgettünk. Nagy zenebarátok voltak. A nappali szobájukban másfél méter átmérőjű lenyűgöző kristálycsillár lógott, mely megfelelt volna egy színház nagytermében is. (Talán nem tudták másra költeni a pénzüket?) Akkoriban semmi jelét nem vettem észre, hogy valami baja lenne a felsőbb körökkel. Persze a bajok csak később kezdődtek. (Erre még visszatérek.)

◉ **KÖZÖS KUTATÁSOK (1965–1976)**

Miután 1964-ben felvettük a kapcsolatot Lev Gangyin kutatócsoportjával, a következő években szorosabb kutatási együttműködést hoztunk létre. Ebben mi magyarok voltunk a kezdeményezők. A közös vállalkozás eredményeként elkészült egy átfogó monográfia a meteorológiai mezők statisztikai szerkezetéről (Czelnai et al., 1976), mely összesen 104 magaslégköri, és 169 földfelszíni meteorológiai mezőre vonatkozó vizsgálat eredményeinek kritikai összefoglalását tartalmazza. Magát a

9 Vagyis lyukszalagra, ami akkor náluk egyszerű 36 mm-es filmszalagot jelentett!

10 Akkoriban a Szovjetunióban a külföldi kollégákkal nem nagyon hoztak létre baráti kapcsolatokat. Engem pl. csak Sz. P. Hromov professzor hívott meg néhány alkalommal, és Lev Gangyin.

kutatási együttműködést mi magyarok koordináltuk, a monográfiát pedig Lev Gangyinnal és a bolgár V. I. Zaharievvel hármasban szerkesztettük.

Az anyag egyes fejezeteit összesen 12 szerző dolgozta ki (L. S. Gangyin, R. L. Kagan, K. M. Lugina, Major Gy., S. M. Olevszkaja, K. Orendi, A. I. Poliscsuk, Rákóczi F., Szakácsné Farkas A., V. P. Tarakanova, és V. I. Zahariev és Jómagam). A GGO munkatársainak hozzájárulását ehhez a munkához nyugodtan lehet akár gigászinak is nevezni. Nekik köszönhetően egy igazán rendkívüli kiadvány jött létre, mely három részből áll. Az első részben (33–75. oldal) R. L. Kagan adott kitűnő összefoglalást a szerkezeti karakterisztikák kiszámításának elvi alapjairól és algoritmusairól.

A második rész (77–196. oldal) Lev Gangyin bevezetésével a magasléggöri mezők statisztikai szerkezetére vonatkozó számítások eredményeit összegezi. Ennek az anyagnak az egyik érdekessége, hogy műholdas megfigyelésekre vonatkozó vizsgálatokat is tartalmaz. Minden fejezethez külön irodalmi jegyzék tartozik, továbbá egy-egy táblázat, mely áttekintést ad minden – adott elemre vonatkozó – korábbi vizsgálatról.

A harmadik rész (197–358. oldal) összeállítását én koordináltam. Ez a rész a földfelszíni megfigyelésekre vonatkozóan 169 (főleg orosz, de ezek mellett néhány magyar) vizsgálat eredményeiről ad kritikai összegezést. Ehhez a részhez is készültek áttekintő táblázatok. Ezek fejlécén a következő adatok szerepelnek: szerző, meteorológiai elem, a megfigyelés típusa, technikája, év, körzet, megfigyelési pontok száma, évszak, eredmények közzéadási formája, a számítások megszorító feltételei, és egy megjegyzés rovat.

◉ **MILYEN ÉRTELEMBEN BESZÉLHETÜNK “GANGYIN ISKOLÁRÓL”?**

A kérdés azt is magában foglalja, hogy Lev Gangyin hagyatékának mi a helye a meteorológiai és klimatológiai statisztikában. Ennek megítélésére alkalmat adott a Second International Meeting on Statistical Climatology¹¹, mely Lisszabon mellett, Sintra-Estorilban zajlott le 1983. szeptember 26–30. között. A szponzorok között volt az American Statistical Association (ASA), a Bernoulli Society for Mathematical Statistics and Probability, és a WMO. Több mint 100 előadás hangzott el, 30-nál

¹¹ A konferencia az International Meetings on Statistical Climatology (IMSC) keretében történt. Allan Murphy kért meg, hogy vegyek részt a konferencia szervezésében és lebonyolításában.

több ország matematikusai részéről. (Az Országos Meteorológiai Szolgálatról hárman jöttek: Bartholy Judit, Faragó Tibor és Kaba Magdolna.) Világosan látni lehetett, hogy a résztvevők többsége tudott Gangyin elméletéről, és azt nagyjából azonos szintre helyezték a geostatisztika alapító atyjának is nevezett Georges Matheron által „kriging”-nek elnevezett geostatisztikai eljárással, melyet a nyugati világban jobban ismertek. (A „kriging” módszert G. Matheron a Dél-Afrikai gyémántbányászattal kapcsolatos kutatások céljára dolgozta ki. Ezzel a módszerrel végzett valószínűségi becsléseket arra vonatkozóan, hogy az egyes lelőhelyek közötti területek egyes pontjain mekkora a valószínűsége újabb lelőhelyek feltárásának. Ezt a módszert a nyugati országok statisztikusai általában ismerték, míg a Gangyin féle „optimális interpoláció” módszeréről csak akkor kezdtek beszélni, amikor L. Sz. Gangyin munkái ott is ismertebbé váltak. A két módszer az általánosságok szintjén hasonlónak mondható. Gangyin módszere azonban a meteorológusok számára sokkal fontosabb, mert kifejezetten a meteorológiai feladatra szolgál.)

Az volt a nézetek summája, hogy a Gangyin-féle optimális interpoláció a módszerek fejlődésének egy fontos lépcsője volt, és újdonságát az jelentette, hogy együttesen adott helyet a megfigyelési adatoknak, továbbá a modell-előrejelzések révén kapott háttér információknak. A Bayes-becslés viszont, illetve annak inverz feladatok megoldására szolgáló változatai ehhez képest átfogóbb fogalmi rendszert és módszertani keretet kínáltak a meteorológiai adatasszimiláció feladatainak megoldására. Miként Dévényi Dezső a Gulyás Ottó emlékkötetben (1998) kifejtette, Gangyin objektív analízis elméletéhez képest a Bayes-becslés teóriája jelentette a további fejlesztés útját.

Tehát – visszatérve a kiinduló kérdésre – „Gangyin iskoláról” az adatasszimilációs módszerek fejlesztésének egy nagyon fontos fázisával kapcsolatban beszélhetünk. Annak idején több mint 100 diplomamunkázó tanuló és több mint 20 doktoranduszt vezetett (köztük Dévényi Dezsőt is), és ma szerte a világon megtalálhatjuk a tanítványait. A könyve, mely 1963-ban jelent meg, iskolateremtő mű volt.

Amikor egy új elmélet és új kutatási irány születik, mindig fellép bizonyos fokú elméleti, módszertani és terminológiai zavar. A dolgok csak úgy tudnak rendeződni, ha megjelenik egy átfogó szakkönyv, amelyet mindenki kiinduló pontnak tekinthet, és amelyre mindenki hivatkozhat, ha nem akarja alfától omegáig újra leírni az egészet. L. Sz. Gangyin könyve ilyen integráló munka volt, mely szükségletet elégített ki, és megteremtette azt az alapot, amelyre támaszkodva sokan, sokfelé elkezdhettek komolyan dolgozni.

Lev Gangyin említett könyve a GGO-ban 1958-tól végzett idevágó kutatások eredményeit összegezte. Teljes áttekintést adott az ún. objektív analízis téma akkori állásáról. Mivel a művet a meteorológusok széles körének szánta, ezért minden matematikai levezetést részletesen megadott. A 117 hivatkozás mindazokra kiterjedt, akik a téma megalapozásában részt vettek.

Talán nem tiszteletlenség, ha leírom, hogy Lev Gangyin mind fizikai megjelenésében, mind gesztusaiban is nagyon érdekes ember volt, aki ha bárhol megjelent, azonnal felhívta magára a figyelmet. Élvezet volt vele beszélni. Amikor vitatkozott, síelő tartásban, erősen berogyasztott térdekkel, mereven állt a partnerével szemben, két könyökét az oldalához szorította és mutatóujjait, mint aki csípőből tüzel, a partnerre irányította. A síelő tartás ellenére nem rugózott, és nem gesztikulált, egész teste merev volt (nem tudom, hogy ezt hogyan bírta). Csak rendkívül kifejező arca élt, és mozgott, szemöldökét felhúzta, és szinte szuggerálta azt, akihez beszélt. Ez a testtartás óriási koncentrációra utalt. Viták során a humor eszközeit is használta, és igazán meg tudta nevetetni az embert, hogy utána, mint a bajvívó, lecsapjon rá a következtetéseivel.

A bevezetőben már említettem, hogy Dévényi Dezső 2009 őszén Budapesten járt, és október 12-én kétszer is találkoztunk. A beszélgetéseink témái között felmerült a fentebb említett monográfia kérdése is. Dezső azt mondta, hogy ha angolul adtuk volna ki, akkor nagyon sokan hivatkoztak volna rá. Amiben persze igaza lehetett. Nem kezdtem vele vitatkozni, és azt magyarázni, hogy ez akkoriban nem volt könnyű téma. Azt se árultam el neki, hogy éppen ezzel kapcsolatban még egy különleges problémánk is adódott. Szerintem Dezső már el is felejtette azokat az időket, és nem lett volna kedélyes a régi bajokon rágódni. Ezért nem magyarázkodtam.

Most viszont leírom, hogy ami a monográfiával történt, az egy nagy vereség volt a számunkra. Hosszú ideig nem volt tudomásunk arról, hogy Lev Gangyin az 1970-es évek közepe táján „persona non grata” lett a hazájában (később az ilyeneket „refusenyiknek”¹² nevezték). A fia ugyanis kérelmet adott be, hogy ki akar vándorolni Izraelbe. Mi éppen akkor, amikor ez történt, bevettük Lev Gangyint az Időjárás szerkesztő bizottságába. A magas politika szintjén ez éles reakciót váltott ki: hivatalomban telefonhívást kaptam a szovjet nagykövetségről, melyben figyelmeztettek, hogy előzőleg engedélyt kellett volna kérnünk. Nem nagyon értettem a dolgot. Udvariisan végighallgattam, amit mondtak, de erről senkinek se szóltam. Bízom abban, hogy csak apró formai problémáról van szó, és ha baj kerekedne, a szovjet Hidrometeorológiai Szolgálat vezetői

12 A „refusenyik” kifejezés az angol „refuse” (elutasít, megtagad) szóból származik. Az akkori szovjet engedetlenségi mozgalom érintettjei nevezték így magukat.

mellénk fognak állni. Ez így is történt.

A monográfia ügyén azonban nem lehetett segíteni. A benne foglalt tanulmányok többségét eleve oroszul írták, orosz szerzők. Ők vállalták a magyar szerzők oroszra fordított cikkeinek nyelvi lektorálását. Az NDK¹³ meteorológiai szolgálata vállalta a német nyelvű összefoglalók lektorálását, és mi vállaltuk a (nagyon szerény minőségű) nyomdai kivitelezést. Egy igényes angol nyelvű kiadás sok pénzbe került volna, ami magában véve nem volt döntő akadály. Az volt a baj, hogy egy költséges kiadványt nem lehetett „fű alatt” kiadni. Végig kellett volna járni a kiadás engedélyezésének teljes útját. Ennek részeként elkerülhetetlenül kérni kellett volna az összes érintett szovjet szerző felhasználási engedélyét. Ami hivatalos levelezést jelentett volna. Ezzel kapcsolatban előzőleg nem hivatalos formában puhatolóztam, és akkor figyelmeztettek, hogy ebben az ügyben ne írjak hivatalos levelet, mert akkor ez olyan fórumokon megy át, ahol biztosan el fog akadni, és aztán kérdezősködni fognak.

◉ LEV GANGYIN ÉS DÉVÉNYI DEZSŐ

Dezső az egyetemet 1973-ban végezte el, majd az Országos Meteorológiai Szolgálat tudományos segédmunkatársa lett. Képességeit hamar felismertük, és szorgalmazásomra 1975 márciusától már meg is kapta a lehetőséget arra, hogy Lev Gangyin mellett a GGO-ban dolgozzon. Az volt a baj, hogy Lev Gangyin helyzete éppen azokban az években vált egyre bizonytalanabbá, és mi erről nem is tudtunk. Ám Dezső számára mégis óriási nyereség volt, hogy legalább egy ideig Gangyin irányítása alatt tudott dolgozni. Ez később Amerikában is jó ajánlólevélnek bizonyult a számára. Mégis úgy érzem, hogy a körülmények szerencsétlen alakulása folytán sokkal kevesebbet kapott Lev Gangyintól, mint amennyit kaphatott volna, ha Lev életében nem következik be az a törés, ami sajnos bekövetkezett.

Lev Gangyinhoz igazi mély barátság fűzött. Az 1970-es években kétszer is meglátogatott Budapesten, és mi több ízben mentünk a GGO által szervezett matematikai statisztikai konferenciákra Gulyás Ottóval, Rákóczi Ferivel, az ELTE Meteorológiai Tanszékének vezetőjével, Faragó Tiborral, és másokkal, előadásokat tartani. Amíg M. I. Budiko volt a GGO igazgatója, mindent meg tudtunk velük beszélni, és amit megbeszéltünk, az el volt intézve.

13 Német Demokratikus Köztársaság

Azonban Lev Gangyin 1981-ben elvesztette a GGO-ban betöltött kutatói állását. Erről csak 1983 szeptemberében Cintra-Estorilban értesültem, mégpedig furcsa módon. A „Második Statisztikus Klimatológiai Találkozón” vettem részt, és éppen átvettem az elnöklést, mikor odajött a pulpitushoz egy fiatalember, aki nem mutatkozott be, csak mormolt valamit, és átadta Lev bizalmas levelét, továbbá néhány legutóbbi cikkének különlenyomatát¹⁴.

A következő hírt Dezsőtől kaptam, aki 1985 júniusában Genfen keresztül jött vissza egy Észak Koreában teljesített WMO szakértői kiküldetéséből, és együtt vacsoráztunk. Ő mondta el, hogy Lev arra készül, hogy kivándorol Amerikába. (Érdekes, hogy néha a hírek milyen utakon jutnak el A-tól B-ig.)

Végül a peresztrojka korai hullámában, 1987 decemberében Lev átkerült Amerikába. Az UCAR¹⁵ Visiting Scientist Programjának a keretében a National Centers for Environmental Prediction (NCEP) ajánlott fel neki egy „senior scientist” állást. A magyarokkal, többek közt Kálnay Eugéniával, hamar megtalálta a kapcsolatot. A barátait levélben értesítette sorsának fordulásáról. (Így Genfben én is a leveléből tudtam meg, hogy ez a probléma végre rendeződött.) Dezső, amikor Boulderba ment, természetesen ugyancsak kapcsolatba lépett vele.

◉ ZÁRSZÓ

Írásomban csak arra tértem ki, hogy mik voltak az előzményei annak, hogy Dévényi Dezső kapcsolatba került Lev Gangyinnal, és az adatasszimiláció témájával kezdett foglalkozni. Így Dezső azon munkáiról sem írtam, melyeket idehaza – más témakörökben – végzett, mielőtt Boulderban kezdett volna dolgozni. Ezekről, valamint Dezső Boulderban folytatott tevékenységéről mások adnak majd áttekintést.

Dévényi Dezső elvesztésével a hazai meteorológus iskola egyik legkiemelkedőbb és legsikeresebb kutatóját veszítettük el, aki a legmagasabb nemzetközi mércével mérve is magasra emelte a hazai meteorológus iskola hírnevét. Ezért a hazai meteorológus közösség megtisztelő kötelessége, hogy Dévényi Dezsőnek méltó módon emléket állítson.

14 Az illető így oldotta meg, hogy ne tehessek fel neki kérdést, és ne kelljen bemutatkoznia.

15 University Corporation for Atmospheric Research

◉ IRODALOM

- Ahuja, P. R., 1960: Planning of a precipitation network for water resources development in India. (In: Hydrologic Networks and Methods.) Flood Control Series, No. 15.
- Bagrov, N. A., 1959: Analiticeszkoje predstavlénijje poszledovatyelnosztej meteorologicseszkih polej posredsztvom jesztesztvennüh ortogonalnaja szosztavljjajuscsh. Trudi CIP., vip. 74.
- Bayley, G. V., and J. M. Hammersley, 1946: The „effective” number of independent observations in an autocorrelated time series. Suppl. J. Roy. Stat. Soc., Vol. 8, No. 2.
- Berggren, R., 1957: On the accuracy of 500 MB analysis with special reference to numerical forecasting. Tellus, 9, No. 3.
- Bessemoulin, J., 1959: Contribution a l'etude des réseux météorologiques. WMO Technical Note, No. 30, Annex 9.
- Birkhoff, G. D., 1931: Proof of the Ergodic Theorem. Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A., No. 17.
- Csapligina, A. Sz., 1960: Sztatiscicseszka sztruktura polej meteorologicseszkih elementov v atmoszfere i extrapolacija polja geopotenciala v prosztranzstve. Trudi CIP, Tom, 106.
- Czelnai R., F. Dési, and F. Rákóczi, 1963: On the principles determining the density of the network of meteorological stations. Időjárás, 67, 1.
 „, 1963: On the determination of the rational density of the temperature measuring network. Időjárás, 67, 3.
 „, 1963: On determining the rational density of precipitation measuring networks. Időjárás, 67, 5.
 „, 1966: On the Statistical Structure of Meteorological Fields. Gerlands Beiträge zur Geophysik, 75(2), 129–153.
- Czelnai R., L. S. Gangyin, W. I. Zachariev, 1976: Statistische Struktur der Meteorologischen Felder. OMSZ Hiv. Kiadv., XLI. kötet, Budapest, 365pp.
- Czelnai R. 1998: Gulyás Ottó találkozása a meteorológiával. Gulyás Ottó emlékkötet, OMSZ, Budapest, p. 11.
- DeJong, H. M., 1959: Numerical analysis according to the interpolation method of Eliassen. WMO Technical Note, No. 30, Annex 3.
- Dévényi, D., K. M. Lugina, and B. B. Ugay, 1977: Three-dimensional anisotropic statistical structure of the pressure field. Trudy GGO, vip. 397.
- Dévényi, D., and K. M. Lugina, 1978: Three-dimensional statistical structure of the pressure field by taking anisotropy into consideration. Időjárás, 82.
- Dévényi D. és Sallai M., 1984: Műholdas információk alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analizisében. I. Műholdas információ hatása az optimális interpoláció elméleti hibájára. Időjárás, 88, 92–100.

- Devenyi, D., 1987: Satellite information in the objective analysis of meteorological fields. *Adv. Space Res.*, 7.
- Dévényi D. és Gulyás O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest, 443pp.
- Devenyi, D., and G. Radnoti, 1989: New measure for characterizing observation networks. *Időjárás*, 93.
- Dévényi D. és Zemplényiné Tárkányi Zs., 1989: Légköri erőforrások és értékelésük elméleti alapjai. Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos Kiadványai, LXIV. kötet, 50pp.
- Devenyi, D., I. Ihasz, G. Radnoti, and Gy. Sipos, 1992: An objective analysis technique for the common analysis of satellite and conventional information. *Adv. Space Res.*, 12.
- Devenyi, D., and T. W. Schlatter, 1994: Statistical properties of three-hour prediction "errors" from the Mesoscale Analysis and Prediction System. *Mon. Wea. Rev.*, 122.
- Dévényi D., 1998: Bayes becslés a meteorológiai adatasszimilációban. Gulyás Ottó emlékkötet, OMSZ, Budapest, p. 11.
- Drozdov, O. A., 1936: Metod posztrojenija szetyi meteorologicseszkih sztancij ravnyinnoj mesztnosztyi. *Trudi GGO*, vip. 12 (3).
- Drozdov, O. A., A. A. Shepelevszkij, 1946: Teorija interpolacii v sztohaszticseszkom polje meteorologicseszkih elementov i jejo primenyénije k vaproszham meteorologicseszkih kart i racionalizacii szetyi. *Trudi NIU GUGMSZ*, szerija 1, vip. 13.
- Drozdov, O. A., 1961: O principah racionalizacii szetyi meteorologicseszkih sztancij. *Trudi GGO*, vip. 123.
- Eliassen, A., 1954: Provisional report on calculation of spatial covariance and autocorrelation of the pressure field. Institute for Weather and Climate Res., Norwegian Acad. of Science and Letters, Report, No. 5.
- Gangyin, L. Sz., 1957: O linejnoj interpolacii meteorologicseszkih elementov v dvuh izmerenyijah. *Trudi GGO*, vip. 71.
- Gangyin, L. Sz., E. I. Bagrova, 1959: O sztrukture polja vüszot poverhnosztyi 500 MB. *Trudi GGO*, vip. 99.
- Gangyin, L. Sz., V. P. Boltentkov, 1960: O posztrojénijija kart c pomoscsu elektronnoj vücsiszlityelnoj masinü. *Trudi GGO*, vip. 114.
- Gangyin, L. Sz., 1960: Ob optimalnoj interpolacii i extrapolacii meteorologicseszkih polej. *Trudi GGO*, vip. 114.
- Gangyin, L. Sz., 1961: O principah racionalnovo razmescénijija szetyi meteorologicseszkih sztancij. *Trudi GGO*, vip. 111.

- Gangyin, L. Sz., T. I. Kuznyecova, 1961: O sztruktüre polej davlénijija i vetra v szrednej troposzfere pri raznüh formah cirkulacii. Trudi GGO, vip. 121.
- Gangyin, L. Sz., R. L. Kagan, 1962: O tocsnosztyi opregyelénijija szrednej viszotü sznyezsnovo pakrova po diszkretnüm dannüm. Trudi GGO, vip. 130.
- Gangyin, L. Sz., R. L. Kagan, 1963: K tocsnosztyi opregyelennaja szrednej velicsinü po diszkretnüm dannüm. Trudi GGO, vip. 112.
- Gangyin, L. Sz., 1963: Trebovanyija k aerologicseszkim dannüm szo sztoronü csizlennüh metodov analiza i prognoza. Trudi vszeszozuznovo naucsново meteorologicseszko szovescsanyija. TOM. IX. Leningrad.
- Gangyin, L. Sz., 1963: Objektivnünj analiz meteorologicseszkih polej. (287 o.) Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Gangyin, L. Sz., R. L. Kagan, 1976: Sztatisticeszkie metodü interpolacii meteorologicseszkih dannüh. Gidrometeoizdat, Leningrad, 359pp.
- Hajósy F., 1959: Az éghajlatkutató állomások elhelyezésének szempontjai. OMI hiv. kiadv., XXII. kötet, beszámoló.
- Hatori, H., 1963: Some expansion theorems for stochastic processes. Kodai Math. Sem. Rep., Vol. 15, No. 3.
- Hincsin, A. J., 1934: Korrelationstheorie der stationären stochastischen Prozesse. Math. Ann., 109.
- Hinkelmann, K., 1951: Der Mechanismus des Meteorologischen Lärmes. Tellus, 2, No. 3.
- Hrgian, A. H., 1938: V kakoj merje dopusztima interpolacii temperaturü ha klimaticeszkoj karte? Meteorologija i Hidrologija, No. 7.
- Jaglom, A. M., 1952: Vvegyénijije v teoriju sztacionarüh szlucsajnüh funkcij. Uszp. Mat. Nauk., 7, No. 5 (51), 3–168.
- Jaglom, A. M., 1963: Sztatisticeszkie metodü extrapolacii meteorol. polej. Trudi Vseszozuznovo naucsново meteorologicseszko szovescsanyija. TOM II. Dinamicseszka Meteorologija.
- Jugyin, M. I., 1950: Nyekatorüje vaproszi teorii meteorologicseszkih polej. Trudi GGO, vip. 19 (81).
- Jugyin, M. I., 1952: Prilozsenijije sztatisticeszkoj teorii turbulentnosztyi k uproszcennuju upravlényii dinamiki atmosferü. Trudi GGO, vip. 33 (95).
- Jugyin, M. I., 1960: O vüborje opornoj szetyi punktov v celjah csizlennovo prognoza meteorologicseszkih polej. Trudi GGO, vip. 114.
- Jugyin, M. I., 1961: Nyekatorüje zakonomernosztyi szstrukturü polja geopotenciala. Trudi GGO, vip. 121.

- Jugyin, M. I., 1963: Prosztranzstvennaja sztruktura meteorologicseszkih polej i jejo ucspot v csiszlenno prognoze. Trudi Vseszojuznovo naucsnovo meteorologicseszko szovescsanyija. TOM II. Dinamicszszkaja Meteorologija.
- Kagan, R. L., 1962: O tocsnosztyi eksztrapoljacii viszotü sznyezsnovo pakrova vo vremeni. Trudi GGO, vip. 130.
- Kármán, T., 1937: The fundamentals of the statistical theory of turbulence. J. Aeronaut. Sci., No. 4.
- Kármán, T., 1948: Progress in the statistical theory of turbulence. Proc. Nat. Acad. Sci., USA, 34, No. 11.
- Kohler, M. A., 1958: Design of Hydrological Networks. WMO Technical Note, No. 25.
- Kolmogorov, A. N., 1933: Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Ergebnisse der Math., Bd. 2, Nr. 3.
- Kolmogorov, A. N., 1941: Sztacionarnüe poszledovatyelnosztyi v Gilbertovszkom prosztranzstve. Bull. MGU, 2, 6.
- Kolmogorov, A. N., 1941: Interpolíroványije i eksztrapolíroványije sztacionarnüh szlucsajnúh poszledovátyelnosztyej. Izv. AN SzSzsZr, szer. Matemat. TOM 5.
- Kolmogorov, A. N., 1941: Lokalnaja sztruktura turbulentnosztyi v nyeszsimajemoj vjazkoj zsidkosztyi pri ocseny bolsih csiszlah Reinoldsza. DAN SzSzsZr. Tom 30, No. 4.
- Kuipers, W. J. A., 1959: Density of Networks. WMO Technical Note, No. 30, Annex 7.
- Langbein, W. B., 1946: Error in the computation of mean areal precipitation. US Geological Survey.
- Langbein, W. B., 1960: Hydrologic data networks and methods of extrapolating or extending available hydrologic data. (In Hydrologic Networks and Methods.) Flood Control Series, No. 15.
- Lönquist, O., 1959: Results of the estimation of the analysis error from a series of test charts. WMO Technical Note No. 30, Annex 6.
- Lugina, K. M., Gy. Major, 1976: Strahlung (Statistische Struktur der meteorologischen Felder). OMSZ Hiv. Kiadv., XLI. kötet, Budapest.
- Megenine, A. M., 1959: Considérations concernant la densité du réseau de base. WMO Technical Note, No. 30, Annex 11.
- Meleshko, V. P., I. P. Guszeva, 1964: Raszcsot nyekatorih sztatizticseszkih harakterisztik gyla polej temperaturi i vlaznyosztyi. Trudi GGO, vip.
- Miyakawa, H., 1959: Sampling theorem of stationary stochastic variables in multi dimensional space. J. Inst. Elec. Comm. Engrs. of Japan, No 42.

- Neumann, J., 1932: Proof of the Quasi-Ergodic Hypothesis. Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A., 18.
- Neumann, J., 1963: Collected works. (Posthumus edition) Recent theories of turbulence. Pergamon Press, 437–472.
- Obuhov, A. M., 1941: O raszpregyelénii energii v szpektre turbulentno potoka. Izv. AN SzSzsZR, szer. geogr. i geofiz., No. 4–5.
- Obuhov, A. M., 1954: Sztatiszticeszkoje opisanyije nyeprerüvnih polej. Trudi Geofiz. Instituta AN SzSzsZR, No. 24.
- Obuhov, A. M., 1960: O sztatiszticeszki ortogonalnüh razlozényijah empiriceszkih funkcij. Izv. AN SzSzsZR, szer. geofiz., No. 3.
- Ogura, Y., 1952: Relation between the length of time under analysis and the statistical quantities of the atmospheric turbulence. J. Met. Soc. Japan, 30, No.3.
- Petersen, D. P., and D. Middleton, 1963: On representative observations. Tellus, 15, No. 4.
- Panofsky, H. A., 1949: Objective weather map analysis. J. of Met., No. 6.
- Poliscsuk, A. I., R. Czelnai, 1976: Niederschlag (Statistische Struktur der meteorologischen Felder.) OMSZ Hiv. Kiadv. XLI. kötet, Budapest.
- Pône, R., 1959: Estimation de l’erreur d’analyse pour un réseau triangulaire de six stations par la méthode d’Eliassen. WMO Tech. Note, No. 30, Annex 2.
- Rákóczi R., A. Szakácsné F., K. Orendi, 1976: Temperatur (Statistische Struktur der meteorologischen Felder.) OMSZ Hiv. Kiadv. XLI. kötet, Budapest.
- Riesz, F., 1945: Sur la théorie ergodique. Comm. Math. Helvetici, 17.
- Sasaki, Y., 1958: An objective analysis based on the variational method. Journal of the Met. Soc. Japan, 36, No. 3.
- Suzuki, E., 1958: Weather Forecast and Entropy in Information Theory. Papers in Met. And Geophys., Vol. IX., No. 2.
- Szunyogh I., Gy. Gyarmati, and D. Devenyi, (2002): Using observed data for testing the statistical consistency of initial ensemble perturbation. Időjárás, 105, 293–303.
- Taylor, G. J., 1937: Statistical theory of turbulence. Proc. Roy. Soc. (A)
- Thompson, P. D., 1956: Optimum smoothing of two-dimensional fields. Tellus, 8, No. 3.
- Thompson, P. D., 1957: Uncertainty of initial state as a factor in the predictability of the large scale atmospheric pattern. Tellus, 9.

Thompson, P. D., 1959: The effect of network density on the analysis error. WMO Tech. Note, No. 30, Annex 1.

Thompson, P. D., 1959: The effect of initial analysis error on the quality of weather forecasts. WMO Tech. Note, No. 30, Annex 8.

Thompson, P. D., 1963: An essay on the technical and economic aspects of the network problem. WMO Bulletin, Vol. XII., No. 1.

Torrance, J. D., 1959: Latitude and instrumental error as limiting factors in the spacing of meteorological stations. WMO Tech. Note, No. 30, Annex 10.

Uberoi, M. S., and L. S. G. Kovásznyay, 1953: On mapping and measurement of random fields. Quart. Appl. Math., 10, No. 4.

Wiener, N., 1949: Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series. New York.

WMO, 1959: Technical Regulations. 2nd edition. WMO, No. 49.

WMO, 1961: Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices. 2nd edition. WMO, No. 8.

WMO, 1959: Rapport préliminaire du Groupe de travail des réseaux de la Commission de météorologie synoptique. Technical Note, No. 30.

NÉHÁNY GONDOLAT AZ EURÓPAI KÖZÉPTÁVÚ IDŐJÁRÁS ELŐREJELZŐ KÖZPONT (ECMWF) ADATASSZIMILÁCIÓS RENDSZERÉNEK TÖRTÉNETÉRŐL

Radnóti Gábor

Az ECMWF¹⁶ az elmúlt közel négy évtizedben világszinten is vezető szerepre tett szert a numerikus időjárás előrejelzés területén. Ezt minden kétséget kizáróan alátámasztják az operatív globális modellek teljesítményét összehasonlító verifikációk. Az ECMWF sikerében döntő szerepe van annak a korszerű adatasszimilációs rendszernek, amelyről néhány gondolatot szeretnék megosztani az olvasóval Dévényi Dezső kollegánk és barátunk emlékére. Ezen gondolatok többsége eredetileg az ECMWF Newsletter 115. számában E. Andersson és J.-N. Thépaut (2007) tollából jelent meg az ECMWF operatív 4D-Var rendszerének bevezetése 10-edik évfordulója alkalmából. A témaválasztást mi sem indokolja jobban, mint az, hogy Dévényi Dezső egész szakmai pályafutását a numerikus időjárás előrejelzésének, és azon belül az adatasszimilációnak szentelte. Pályafutásának kezdetén azzal a Lev Gangyinnal dolgozott együtt, aki a kezdetben az ECMWF-ben is alkalmazott optimális interpolációs módszer fő elméleti megalapozójaként vált világhírűvé (ld. Czelnai Rudolf írását a kötetben). Pályafutásának utolsó állomásaként pedig a NOAA/ERL¹⁷ RUC (Rapid Update Cycle) modelljének 3-dimenziós variációs asszimilációs rendszerét (3D-Var) fejlesztette (ld. Stan Benjamin írását a kötetben), amely sok tekintetben szintén közel áll az ECMWF mai adatasszimilációs rendszeréhez.

A variációs adatasszimiláció 3 és 4 dimenziós változata (3D-Var illetve 4D-Var) terjedt el az időjárás numerikus előrejelzésében. Ezek a módszerek a térben és időben szabálytalanul eloszló megfigyelések és a modell állapot apriori becslése (háttérmező) segítségével adnak egy új becslést (analízist) a modell pillanatnyi állapotára. A becslés statisztikai interpoláció útján történik térben, illetve a 4D-Var esetén térben és időben. A variációs technika elnevezés arra utal, hogy az analízis állapot egy veszteségfüggvény minimalizálása során áll elő, ahol valójában a veszteségfüggvény egy statisztikai értelemben vett kompromisszumot fogalmaz meg a háttér információ és a friss megfigyelések között. A modell állapot és a megfigyelések

16 ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

17 NOAA/ERL: National Oceanic and Atmospheric Administration / Environmental Research Laboratories

összehasonlítása a 3D-Var esetén is történhet az időbeliség figyelembevételével, de csak a 4D-Var képes a modell dinamikáját és fizikáját konzisztens módon beépíteni az asszimiláció folyamatába (a modell tangens-lineáris és adjungált változatának¹⁸ alkalmazásával), és a modell állapot időben elszórt megfigyelések általi frissítését (az analízis inkrementumot, azaz a frissített és a kiindulási kezdeti állapot eltérését) egzakt módon az analízis időpontjára vonatkoztatni.

Az ECMWF jelenlegi előrejelző modellje az IFS (Integrated Forecasting System), amelynek fejlesztése a 80-as évek második felében kezdődött el. Ennek az új modellnek a kifejlesztését épp az a felismerés hívta életre, hogy csak egy merőben új adatasszimilációs rendszer képes a rohamos ütemben növekvő mennyiségű megfigyelési adat és számítógépes kapacitás nyújtotta potenciális lehetőségek kiaknázására. Így megkezdődött a világ első operatív célú variációs adatasszimilációs rendszerének kifejlesztése. A variációs asszimilációs rendszer a korábban operatív optimális interpolációs rendszert volt hivatott leváltani, és ennek két fő oka volt. Egyrészt a nagy számításigénnyel járó mátrix-invertálások elkerülésére az optimális interpoláció során megoldandó matematikai probléma térbeli dimenziószámát csökkenteni kell, a növekvő mennyiségű megfigyelési adatok miatt az optimális interpolációt viszont térben egyre jobban kellett lokalizálni, ami megkérdőjelezte a nagyskálájú analízisek „optimális” voltát. Másrészt a műholdas megfigyelésekből előállított függőleges profilok használata messze alulmúlta a várakozásokat, és a variációs módszerek természetes módon kínáltak lehetőséget a műholdas adatok direkt asszimilációjára (az optimális interpoláció ugyanis csak lineáris megfigyelési operátor¹⁹ esetében ad jó becslést, ez azonban a műholdas megfigyelések esetében nem teljesül). Ez utóbbinak felismerését mi sem bizonyítja jobban, mint az ECMWF Tudományos Tanácsadó Testületének (SAC) korabeli megjegyzése: „a 3D-Var a direkt és adjungált sugárzásátviteli modell alkalmazásán keresztül egy természetes és vonzó eszköz a műholdas radianciák közvetlen felhasználására”. További előny lehet, hogy a 4D-Var-hoz szükséges tangens lineáris és adjungált modell kifejlesztése hasznosul az előrejelezhetőségi kutatásokban is.

Az IFS modell fejlesztésének megkezdésétől számítva közel 10 év telt el, amíg a 3D-Var, majd nem sokkal később a 4D-Var rendszer operatívvá vált 1997-ben. Kezdetben szinte elképzelhetetlennek tűnt, hogy valaha is lesz olyan teljesítményű számítógép, amely a 4D-Var problémáját képes megoldani. A rohamos ütemű számítógépes kapacitás növekedés önmagában

18 A tangens-lineáris modell az analízishez adott kis perturbáció lineáris fejlődését írja le egy olyan $(t_0; t_1)$ időintervallumon, melyen a lineáris időbeli fejlődés jó közelítéssel teljesül. Az adjungált modell megadja, hogy a t_1 időpontbeli állapot gradiensehez milyen gradiens (érzékenység) tartozik a t_0 időpontban. A tangens-lineáris és az adjungált modellek fejlesztése általában a teljes nemlineáris modell fejlesztésével párhuzamosan történik.

19 A mérési pontok és a modell rácspontjai nem esnek egybe, a megfigyelési operátor a rácsponti előrejelzéseket a szabálytalanul elhelyezkedő megfigyelések terébe transzformálja.

nem is lett volna elegendő erre. A fejlesztések során merült föl az inkrementális megközelítés lehetősége, azaz a teljes nemlineáris modell helyett az adiabatikus, vagy később egyszerűsített fizikát tartalmazó modell tangens lineáris és adjungált változatát használni a teljes nemlineáris modell körüli linearizálással, és mindezek egyre nagyobb felbontással történő iterálásával. A 4D-Var operatív bevezetése óta eltelt időben is folyamatos az adatasszimilációs rendszer fejlesztése. Csak hogy a legfontosabb lépésekből említsek néhányat a teljesség igénye nélkül:

- Egy korszerű megfigyelési adatbázis került kifejlesztésre.
- Újabb megfigyelési típusok kerülnek felhasználásra (a legutóbbi időkben például radar kompozitokból származó csapadék adatok, felhős területekről származó műholdas radianciák).
- A háttérhibák modellezése számos új fejlesztést tartalmaz (wavelet reprezentáció, nemlineáris balansz, stb.; Fisher and Andersson, 2001).
- A legutóbbi időszakból külön érdemes megjegyezni a gyenge kényszer 4D-Var fejlesztéseket, melyek figyelembe veszik a modell hibákat a 4D-Var során, és így lehetővé teszik egyre hosszabb 4D-Var időablakok használatát (a jelenlegi 12 órás ablakot hamarosan 24 órás ablak fogja fölváltani; Fisher et al., 2011).
- Ugyancsak meg kell említeni a hibrid ensemble/4D-Var (azaz az ensemble adatasszimilációs) fejlesztéseket, melyek eredményeként létrejött az ensemble 4D-Var (Isaksen et al., 2010), így lehetővé téve a 4D-Var-on belül az áramlásfüggő háttérhiba kovarianciák²⁰ használatát.
- Végül meg kell említeni az ezidőtájt induló OOPS (Object Oriented Prediction System) projektet, amelyet szintén az adatasszimilációs igények hívtak életre, és amelynek célja a modell objektum orientált keretbe helyezése. Ezen keret lehetőséget kíván biztosítani arra, hogy az adatasszimilációban tipikusan jelen lévő adat típusok (pl. megfigyelési vektor, modell állapot, kontroll vektor) és operátorok (tangens lineáris, adjungált, nem lineáris modell operátor, vagy éppen a megfigyelési operátor) rugalmas módon legyenek felhasználhatóak.

Az adatasszimiláció ma is az ECMWF egyik legfontosabb fejlesztési területe, és meg szeretném említeni, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálattól két magyar szakember is itt dolgozik az ECMWF adatasszimilációs részlegében. Jelen írás szerzője különböző meteorológiai mérések hatásait tanulmányozta éveken át (Radnóti et al., 2012), Horányi András pedig a közelmúltban csatlakozott az ECMWF-hez, és egy új műholdas megfigyelési típus (Aeolus²¹) várható szerepét vizsgálja.

20 A háttérhiba kovariancia mátrix a háttérmező megbízhatóságát számszerűsíti a veszteségfüggvényben. A háttérmező megbízhatósága függ az időjárási helyzettől, ennek az adatasszimiláció során való reális figyelembevételét szolgálja az ensemble adatasszimiláció.

21 Az Aeolus egy tervezett európai műhold, amelynek feladata a légkör alsó 30 km-es rétegében a szél irányának és sebességének mérése egy

Dévényi Dezső mindig nagy figyelemmel kísérte az ECMWF-nél folyó adatasszimilációs fejleményeket. Élete utolsó hivatalos szakmai útján az ECMWF adatasszimilációs részlegénél járt, ahol mint régi barátot fogadtuk.

◉ IRODALOM

Andersson, E., and J.-N. Thépaut, 2008: ECMWF's 4D-Var data assimilation system – the genesis and ten years in operations. ECMWF Newsletter, 115, 8–12.

Fisher, M., and E. Andersson, 2001: Developments in 4D-Var and Kalman filtering. ECMWF Technical Memorandum, 347, 36pp.

Fisher, M., Y. Tremolet, H. Auvinen, D. Tan, and P. Poli, 2011: Weak-constraint and long window 4DVAR. ECMWF Technical Memorandum, 655, 47pp.

Isaksen, L. M. Bonavita, R. Buizza, M. Fisher, J. Haseler, M. Leutbecher, and L. Raynaud, 2010: Ensemble of data assimilation at ECMWF. ECMWF Technical Memorandum, 636, 45pp.

Radnóti, G., P. Bauer, A. McNally, and A. Horányi, 2012: ECMWF study to quantify the interaction between terrestrial and space-based observing systems on Numerical Weather Prediction skill. ECMWF Technical Memorandum, 679, 98pp.

ENSEMBLE-ALAPÚ ADATASSZIMILÁCIÓS MÓDSZEREK

Szunyogh István

Dévényi Dezső kutatásainak legfontosabb területe, különösen munkásságának utolsó két évtizedében, a légköri adatasszimilációs módszerek fejlesztése volt. Dezső Magyarországon elsőként, de nemzetközi összehasonlításban is az elsők között ismerte fel az 1980-as években, hogy az adatasszimilációs módszerek fejlesztése lesz a légkörtudomány egyik legfontosabb és legdinamikusabban fejlődő témaköre az elkövetkező évtizedekben. Míg Dezső elsősorban a variációs módszerek (ld. Radnóti Gábor írását a kötetben) fejlesztésén dolgozott, nagy érdeklődéssel követte az ensemble-alapú sémák területén az ezredforduló óta bekövetkező rohamos fejlődést is. Abban a szerencsés helyzetben lehettem, hogy e fejlődés minden mozzanatát megbeszélhettem Dezsővel rendszeres heti telefonbeszélgetéseink során, melyek közül a legutolsót néhány nappal a halála előtt folytattam vele.

Előadásomban az ensemble-alapú adatasszimilációs sémák fejlődését és legfontosabb tulajdonságait tekintettem át. Többek között rámutattam arra, hogy a variációs és az ensemble-alapú sémák gyakori éles elkülönítése és szembeállításuk nem indokolt, mivel a sémák mindkét csoportja ugyanazt az általános statisztikus optimalizációs problémát oldja meg, s a variációs és az ensemble-alapú sémák elemei tetszés szerint keverhetők.

A fentebb említett statisztikus optimalizációs probléma megoldása egy célfüggvény minimumhelyének a megtalálását jelenti: a légkör azon fázistérbeli trajektóriáját keressük, amely a legpontosabban illeszkedik a légkör állapotának összes múltbeli és jelenlegi megfigyeléséhez, figyelembe véve a megfigyelések hibáinak statisztikus tulajdonságait. A fázistérbeli trajektóriák kiszámítását egy légköri numerikus előrejelző modellel végezzük el (ezt hívjuk háttérmezőnek). Egy adatasszimilációs algoritmusnak két gyakorlati problémát kell megoldania: (1) biztosítani kell egy számítási módszert az állapotok becslésében fellépő bizonytalanságok becslésére és azok időbeli fejlődésének a leírására; (2) biztosítani kell egy hatékony számítási módszert a minimumhely megtalálásához.

A variációs algoritmusok közvetlenül a célfüggvény minimumhelyét keresik. A becslésekben fellépő bizonytalanságok leírására ezek a sémák hagyományosan az előrejelző modell linearizált alakját használták és nem képesek a háttérmező bizonytalanságai esetében azok áramlástól való függésének közvetlen meghatározására. Az ensemble-alapú sémák a modell trajektóriák egy együttesét (ensemble-t) használják a bizonytalanságok időbeli fejlődésének a leírására. A célfüggvény minimumhelyének megtalálására ezek a sémák hagyományosan szekvenciális²² (Kálmán-szűrő) módszereket használtak. Azonban semmilyen elvi akadálya nincs annak, hogy a bizonytalanság időbeli fejlődését egy ensemble segítségével írjuk le és a minimumhelyet egy variációs módszer segítségével határozzuk meg. Az ilyen algoritmusokat általában hibrid sémáknak hívják és a vezető előrejelző központok vagy máris alkalmazzák őket, vagy a közeljövőben tervezik a bevezetésüket (ld. Radnóti Gábor írását). Végezetül fontos megjegyezni, hogy a napjainkban a gyakorlatban alkalmazott variációs adatasszimilációs rendszerek egy szekvenciális algoritmuson alapulnak, amely csupán a jelen és esetleg a közelmúlt megfigyeléseit asszimilálja egy variációs algoritmussal a Kálmán-szűrő vonatkozó egyenlete²³ helyett. Ebben az értelemben a szekvenciális és a variációs operatív sémák megkülönböztetése sem teljesen indokolt elméleti szempontból.

22 A szekvenciális algoritmusok a megfigyeléseket egyenként, egymás után asszimilálják és adott rácspontban mindaddig változhat az analízis, amíg az utolsó olyan megfigyelés is asszimilálásra kerül, ami a rácspontra hatással bír.

23 A variációs módszerek minden analízis-időpont esetében általában egy 12- vagy 24-órás időablakban asszimilálják a megfigyeléseket, s az ennél korábbi megfigyelések az aktuális háttérmezőn keresztül hatnak az analízisre. A Kálmán-szűrő egyenlete: $x_n^a = x_n^b + \mathbf{K}_n (y_n - \mathbf{H}_n x_n^b)$, ahol x_n^a és x_n^b az aktuális (n-edik) időponthoz tartozó analízis és háttérmező vektora, y_n az aktuális időpontban vett megfigyelések vektora, \mathbf{H}_n az aktuális időponthoz tartozó megfigyelési operátor és \mathbf{K}_n az aktuális időponthoz tartozó ún. Kálmán súlymátrix, mely leírja a háttérhiba kovariancia mátrix időbeli fejlődését.

THE HISTORY OF HOURLY “RAPID UPDATING” NUMERICAL WEATHER PREDICTION IN THE USA AND ITS TIES WITH HUNGARY

Stanley G. Benjamin, John M. Brown, Stephen S. Weygandt

◦ INTRODUCTION

An effort to develop “rapid update” numerical weather prediction (NWP) cycling at NOAA in the United States, updating on a 1-3h frequency, began in the mid 1980s as a response to an initiative to improve aviation weather forecasts. The idea of updating NWP forecasts at frequencies less than 12h (rawinsonde launch frequency) was novel at that time, but became possible as high-frequency tropospheric observations from commercial aircraft and wind profilers began to become available over the US. Out of that modest beginning came the NOAA Rapid Update Cycle (RUC), an hourly updated assimilation-model system run as the highest-frequency component of the operational suite of models at the NOAA National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

Similar to Hungary (as described by András Horányi in this volume), the RUC development group at NOAA Research in Boulder, Colorado, USA was successful only with strong collaboration with outside scientists and groups to help develop and adopt critical model and assimilation components to the RUC. And critical to this melding process was the addition of outstanding scientists from outside the US into the RUC group, and prominent among them was Dezső Dévényi. Dezső worked within the RUC development group for much of the two decades spanning from 1991–2009, providing the foundation of theoretical and practical knowledge and core software development for development of the data assimilation component of RUC and its successor, the Rapid Refresh (RAP).

The purpose for hourly updating is to provide high-frequency 3-dimensional (hereafter 3-d) mesoscale analyses and more accurate short-range forecasts, benefiting from assimilation of all available observations into a single, physically consistent 3-d grid. While the initial focus for the RUC was on aviation forecasts (described further below), other applications for hourly

updating NWP became very apparent, including severe weather forecasting, hydrology, energy load forecasting, and very recently, renewable energy power generation. In all of these applications, the goal was improved very short-range (+3–12h) forecasts via assimilation of the most recent high-frequency observations.

◦ ORIGIN OF HOURLY RAPID UPDATING AND HISTORY OF THE RUC NWP SYSTEM

During 1984–1986, the US Federal Aviation Administration convened a group of scientific experts, the Aviation Weather Forecasting Task Force, to assess aviation weather products and services provided to the aviation community by the US National Weather Service (NWS, including model forecasts provided by part of what is now known as NCEP). Among the key recommendations of this task force was to collect automated aircraft reports (then just becoming available), and to increase the frequency of analyses and forecasts using these high-frequency observational data.

A key assumption, not proven at all in the 1980s, was that these high-frequency observations would be dense enough to allow, with well-designed data assimilation, to adequately resolve 3-d forecast error and allow improvement in NWP forecast skill.

The resulting NWP development effort, starting in the late 1980s, was to design and implement such a high-frequency assimilation–modeling system commensurate with available computing resources to improve NWS/NCEP model forecasts in what became known as the Rapid Update Cycle. The geographical area covered by the RUC is depicted in Fig. 1, along with that of successors to the RUC [Rapid Refresh (replaced the RUC at NCEP on 1 May 2012), High-Resolution Rapid Refresh].

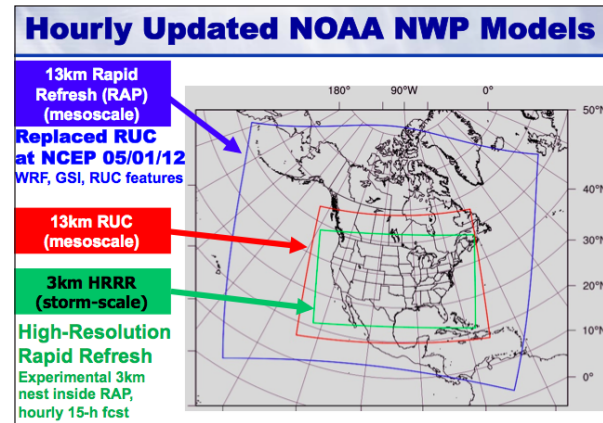


Figure 1 The hourly updated NOAA numerical prediction models as of spring 2013, including the Rapid Update Cycle (RUC, operational model through April 2012, 13-km horizontal resolution), the Rapid Refresh (RAP, replaced the RUC in May 2012, covering a much wider geographical domain including all of North America, also 13-km), and the High-Resolution Rapid Refresh (HRRR, an experimental 3-km model, also updated hourly, initialized by 13-km initial conditions from the RAP, which was assimilating radar reflectivity data directly).

The history of the development of the RUC and its implementations at NCEP are summarized in Table 1. The first implementation of the RUC occurred in 1994 at a 60-km horizontal resolution and with a 3-h update cycle with simple physical parameterizations (only subsaturation removal). In 1998, a more sophisticated model component was introduced into the RUC, with mixed-phase bulk cloud physics and other state-of-the-art parameterizations (Benjamin et al., 2004a), and horizontal resolution was lowered to 40 km. During subsequent years up to the present, horizontal resolution was enhanced in each of 2 separate steps down to 13-km resolution, and the sophistication of the RUC forecast model was increased further (Benjamin et al., 2004a; 2010). The RUC was unique as the only operational NWP system using an isentropic-hybrid vertical coordinate, although the more recent RAP uses the more commonly used sigma coordinate

Date	Event
1994	First operational implementation of RUC, 60-km resolution, 3-h cycle (Benjamin et al., 1991)
1998	40-km resolution, 1-h cycle, cloud physics, land-surface model, added new isentropic-sigma model (Bleck and Benjamin, 1993)
2002	20-km resolution, GOES cloud data assimilation, 3-d hydrometeor fields modified
2003	Change to 3D-Var analysis from previous "optimal interpolation" (Devenyi and Benjamin, 2003)
2005	13-km resolution, new observation types (METAR cloud, GPS ²⁴ -precipitable water), new cloud physics (Benjamin et al., 2010)
2008	Radar reflectivity assimilation added, modified Grell–Devenyi convective scheme (Grell and Devenyi, 2002)
2012	WRF/GSI ²⁵ -based Rapid Refresh replaced the RUC on 1 May 2012 at NCEP as NOAA's operational hourly updated model.

Table 1 History of the US NOAA Rapid Update Cycle model at NCEP. Key updates identified over the period of 1994–2012.

The data assimilation used in the RUC evolved from using an optimal interpolation technique (Benjamin et al., 1993) to a 3-d variational (3D-Var) assimilation technique (Devenyi and Benjamin, 2003). Dezső Dévényi led the development of the RUC 3D-Var, the first such application of variational analysis to a generalized vertical coordinate applied as an isentropic-sigma hybrid system. The development of the RUC 3D-Var was critical to allow the RUC assimilation-model system to stay relatively

²⁴ Global Positioning System

²⁵ WRF: Weather Research and Forecasting modeling system, GSI: Gridpoint Statistical Interpolation data assimilation system

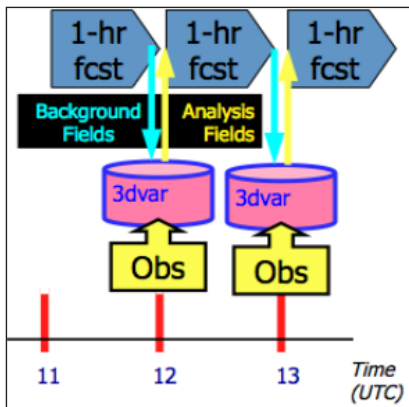


Figure 2 1-h update cycle used in RUC (and RAP), with hourly observations assimilated via 3-d variational analysis to correct, as best possible, the prior information in the previous 1-h forecast from the RUC model (or RAP-WRF model for the Rapid Refresh).

“state-of-the-art” during the 2000s. Dezsó collaborated with NCEP colleagues (David Parrish, Wan-Shu Wu, James Purser) along with Boulder colleagues to achieve this milestone development.

The 3D-Var hourly assimilation uses 1-h forecasts as a background, as shown in Fig. 2. It successfully produced improved accuracy with decreasing lead-time down to 1 h, as shown in Fig. 9 in Benjamin et al. 2004b (a NOAA-award-winning publication with Dezsó Dévényi as second author). (See also Fig. 3 in this paper for the same successful result for the Rapid Refresh.) The success of the RUC with 3D-Var assimilation was largely due to extensive work to provide reasonable background error covariances in the isentropic system (Devényi and Benjamin, 2003; early work in this area by Devényi and Schlatter, 1994).

The development of the RUC model continued during this decade, including addition of the Grell-Devényi (2002) ensemble-closure-based convection parameterization (see Benjamin et al., 2004a for more details).

◉ THE RAPID REFRESH ERA AS A RUC REPLACEMENT

Starting in 2006, an effort began in NOAA to prepare a next-generation hourly updated NWP system to replace the RUC, a new system that is now known as the Rapid Refresh (RAP). The RAP uses community-supported software for data assimilation (the Gridpoint Statistical Interpolation system, developed primarily at NCEP) and for the forecast model [the WRF model, developed by a large community including NOAA ESRL and led by the National Center for Atmospheric Research (NCAR)]. For both the GSI and WRF components of the Rapid Refresh, the RUC development group has made substantial contributions and enhancements. Dezsó Dévényi led application of the GSI assimilation to the hourly updating application of the Rapid Refresh. Since GSI had not yet been introduced to the Linux computing environment at that time, a substantial, “fejféjás” inducing effort

was required by Dezső and software-engineer and data-assimilation colleagues to render GSI usable in the NOAA research Linux supercomputing environment. Previously, GSI had been applied only in IBM computing environments. After this effort in using GSI for the Rapid Refresh began, Dezső and NOAA Research colleagues, most notably Ming Hu and Stephen Weygandt, achieved considerable success in adding RUC-specific features to GSI for improved assimilation of surface observations and cloud/hydrometeor observations from METARs and satellite.

The Rapid Refresh succeeded the RUC with implementation at NCEP on 1 May 2012. In extensive testing, the RAP showed improved forecasts over the RUC from 3-h to 12-h durations and for all variables and all levels. Moreover, the RAP was able to produce the "signature" result needed to demonstrate successful hourly updating: improved forecasts at shorter lead time, as shown in Fig. 3.

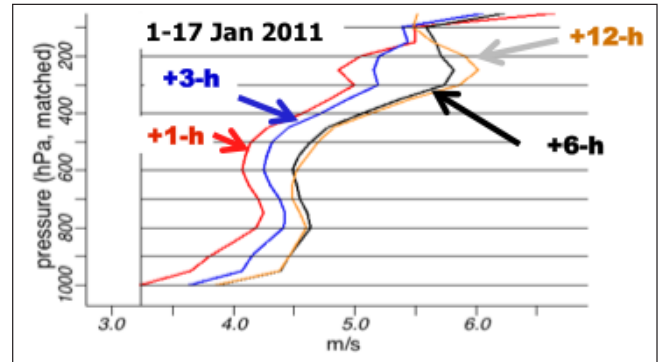


Figure 3 Wind vector root mean squared forecast error from Rapid Refresh forecasts at different (1h, 3h, 6h, 12h) forecast durations valid at the same time.

A technique for assimilation of radar reflectivity developed for the RUC has also been implemented within the Rapid Refresh, with modifications to both the assimilation (RUC-3D-Var, GSI) and model (RUC model, WRF) components. The key to this technique is forcing of latent heating via 3-d reflectivity observations within the forward full-physics application of diabatic digital filter initialization (DFI). The result of this application within the Rapid Refresh is shown in Fig. 4.

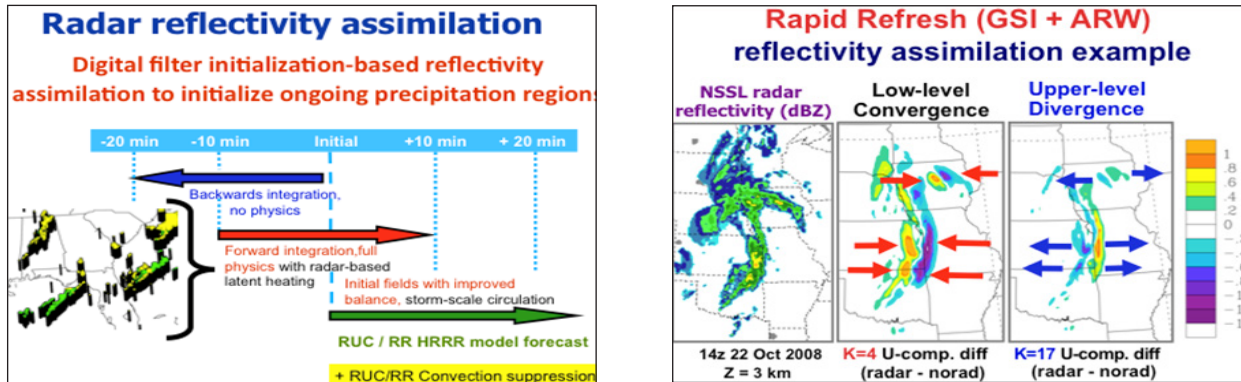


Figure 4 Radar reflectivity assimilation for the RUC and Rapid Refresh. Latent heating is specified from radar and lightning data within the digital filter initialization (on left), and the impact of this technique on upper- and lower-level (u-component) wind fields for a sample case is shown (on right). Thus, a relatively consistent 3-d divergent field is induced that is consistent with reflectivity and especially for convective storms.

Modifications were also made to GSI (for the Rapid Refresh) to reduce surface 2-m temperature observations using elevation differences between station sites and model terrain data. With these changes, the observation-background differences (innovations) were substantially reduced (Fig. 5), as shown by the reduction in red dots indicating large innovations, resulting in more effective data assimilation. This incorporation into GSI was achieved by Dezsó Dévényi with assistance from Ming Hu.

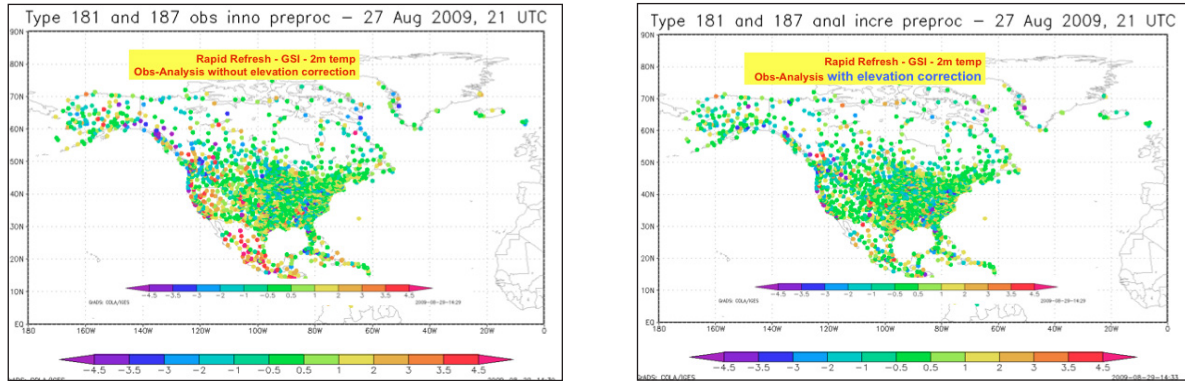


Figure 5 Observation–analysis differences from the Rapid Refresh GSI for 2m temperatures before (on left) and after (on right) an elevation correction.

◉ RECENT DEVELOPMENTS IN HOURLY-UPDATED NWP IN NOAA

To provide yet better short-range guidance for convective storms, NOAA has developed an experimental High-Resolution Rapid Refresh (HRRR), a 3-km model (also using a version of WRF-ARW) run hourly and initialized by the 13-km RUC until April 2011 and subsequently, by the 13-km Rapid Refresh run at NOAA/ESRL. The HRRR (see Fig. 1) has been developed to further improve forecasts for air traffic management and other aviation applications, severe weather guidance (especially severe thunderstorms), and renewable and load energy applications. An experimental real-time version of the HRRR is now being run by NOAA Research and is already being used experimentally for all of these applications.

The success of the HRRR has clearly been made possible by effective data assimilation through use of variational and other techniques developed by the NOAA Research hourly-updated model development team working with other NOAA colleagues especially at NCEP. Major upgrades have been made to the HRRR (and experimental RAP running at NOAA Research) in April 2012 and April 2013, including incorporation of hybrid ensemble-variational data assimilation for the 13-km RAP and 3-km variational assimilation directly in the HRRR. Plans for the future include 3-km ensemble assimilation and ensembles with at

least 6 members of the hourly updated RAP and HRRR models, as computing resources allow.

Dezső Dévényi was an essential member of the development group for the RUC and Rapid Refresh, and his contributions to the success of these NOAA efforts were extensive and critical. His scientific expertise in both advanced theoretical ideas and in practical development and advice was invaluable and foundational to our group over the last 2 decades. Our group and we as individuals are extremely grateful to have had Dezső as a colleague, for the ties with Hungary that he fostered, and for his friendship.

◉ REFERENCES

Benjamin, S. G., K. A. Brewster, R. L. Brummer, B. F. Jewett, T. W. Schlatter, T. L. Smith, and P. A. Stamus, 1991: An isentropic three-hourly data assimilation system using ACARS aircraft observations. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 888–906.

Benjamin, S. G., T. L. Smith, P. A. Miller, D. Kim, T. W. Schlatter, D. Dévényi, J. M. Carriere, and R. Bleck, 1993: Recent developments in the MAPS isentropic-sigma data assimilation system. *Időjárás*, **97**, 121–139.

Benjamin, S. G., G. A. Grell, J. M. Brown, T. G. Smirnova, and R. Bleck, 2004a: Mesoscale weather prediction with the RUC hybrid isentropic-terrain-following coordinate model. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 473–494.

Benjamin, S. G., D. Dévényi, S. S. Weygandt, K. J. Brundage, J. M. Brown, G. A. Grell, D. Kim, B. E. Schwartz, T. G. Smirnova, T. L. Smith, and G. S. Manikin, 2004b: An hourly assimilation/forecast cycle: The RUC. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 495–518.

Benjamin, S. G., B. D. Jamison, W. R. Moninger, S. R. Sahm, B. Schwartz, T. W. Schlatter, 2010: Relative short-range forecast impact from aircraft, profiler, radiosonde, VAD, GPS-PW, METAR, and mesonet observations via the RUC hourly assimilation cycle. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 1319–1343.

Bleck, R., and S. G. Benjamin, 1993: Regional weather prediction with a model combining terrain-following and isentropic coordinates. Part I: Model description. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1770–1785.

Dévényi, D., and T. W. Schlatter, 1994: Statistical properties of three-hour prediction "errors" derived from the Mesoscale Analysis and Prediction System. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 263–280.

Dévényi, D., and S. G. Benjamin, 2003: A variational assimilation technique in a hybrid isentropic-sigma coordinate. *Meteor. Atmos. Phys.*, **82**, 245–257.
Grell, G. A., and D. Dévényi, 2002: A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 38-1-4.

MŰHOLDMETEOROLÓGIA ÉS NUMERIKUS PROGNOZTIKA: KORAI HAZAI VIZSGÁLATOK

Ihász István

◦ BEVEZETÉS

Az 1960-as évektől kezdődően az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) műholdas megfigyelésekre épülő intenzív kutató és fejlesztő munka bontakozott ki (Tánczer, 1988). Dévényi Dezső figyelme az 1980-as évek elejétől egyre jelentősebb mértékben fordult a műholdas információk modern vizsgálati módszereinek irányába. Dévényi Dezső témavezetésével több szakdolgozat is született ebben a témakörben (Sallai, 1983; Pártai, 1984; Csiszár, 1988). 1986-tól Dévényi Dezső az OMSZ Központi Előrejelző Intézet Távérzékelési Főosztály Numerikus Módszerfejlesztő Osztályának vezetőjeként koordinálta a műholdas jellegű kutatásokat.

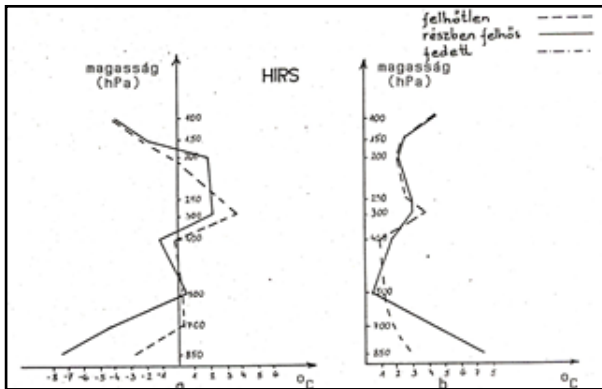
A műholdas vizsgálatok mellett Dévényi Dezső vezetésével több cikk (Dévényi and Sipos, 1988; Dévényi et al., 1990) illetve szakdolgozat (Török, 1985; Horányi, 1989) született a meteorológiai mezők objektív analízise tárgyában. Kutatásait „*A műholdas eredetű adatok alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analízisében*” című kandidátusi értekezésben (Dévényi, 1991) összegezte. Az erre irányuló kutatási tevékenységek jelentőségét az is adja, hogy a mai napig aktuálisak.

A következőkben döntően a kandidátusi értekezés alapján röviden áttekintjük a műholdas információk objektív analízisben való alkalmazhatósága tárgyában végzett kutatásait.

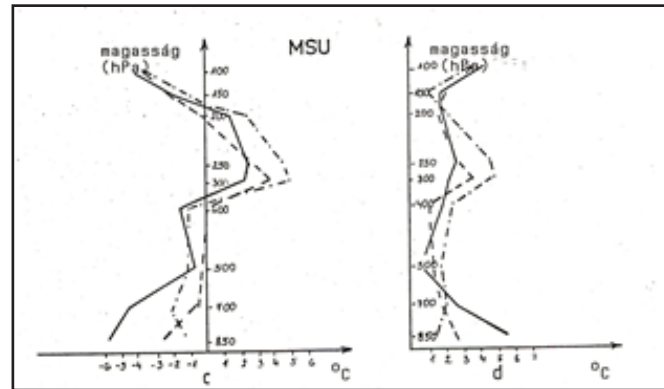
◦ ELŐZMÉNYEK

Az 1980-as években az OMSZ-ban fokozatosan megteremtődtek a kvázipoláris műholdak nagyfelbontású vertikális szondázási

adatainak meteorológiai célú felhasználásának feltételei. Eleinte még csak a Globális Távközlési Rendszerből (GTS²⁶-ből) elérhető vertikális műholdas hőmérséklet és szélesség profilt tartalmazó SATEM és SATOB²⁷ táviratok adataira alapozott vizsgálatok történétek (Dévényi and Sallai, 1984; Dévényi and Sipos, 1988; Dévényi et al., 1990), majd a '90-es évektől a digitális műhold vétel beindulása után már a NOAA műholdcsalád újabb és újabb generációs produktumaira alapozottan is. A hazai műholdmeteorológiai kutatásokban Dévényi és Sipos (1988) munkássága előtt műholdas radiancia mérésekből származtatott hőmérsékleti vertikális profil vizsgálatok nem voltak. A műholdas radiancia mérések illetve a mérésekből származtatott vertikális profilok jellemző tulajdonsága, hogy horizontálisan és vertikálisan korreláltak. Dévényi és Sipos (1988) vizsgálataikban a borult, részben felhős és derült területekről származó méréseket és profilokat egymástól elkülönítetten vizsgálták. Az ATOVS²⁸/HIRS és az ATOVS/MSU adatokra alapozott úttörő vizsgálatainak eredményét az 1. és 2. ábrák mutatják.



1. ábra Az átlagos hiba (bal oldal) és a négyzetes hiba (jobb oldal) eloszlása a felhőzet függvényében a High-resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS) /ATOVS/ adatokból származtatott hőmérsékletre.



2. ábra Az átlagos hiba (bal oldal) és a négyzetes hiba (jobb oldal) eloszlása a felhőzet függvényében a Microwave Sounding Unit (MSU) /ATOVS/ adatokból származtatott hőmérsékletre.

26 GTS: Global Telecommunication System

27 SATOB: Satellite Observations

28 ATOVS: Advanced Television and Infrared Observation Satellite Operational Vertical Sounder

◦ A MŰHOLDAS EREDETŰ ADATOK ALKALMAZÁSA A METEOROLÓGIAI MEZŐK OBJEKTÍV ANALÍZISÉBEN

Dévényi Dezső kandidátusi értekezésének fő célja a műholdas mérések hibaszervezetét teljesebben figyelembe vevő új objektív analízis módszer kidolgozása. A dolgozatban négy fő pontban összegzi a kitűzött feladathoz kapcsolódó ismereteket, illetve eredményeket.

Az első fejezetben a műholdas eredetű adatok természetét mutatja be. Kiemeli, hogy a hibák nagy szórásúak, vertikálisan illetve horizontálisan korreláltak. A hibák statisztikai szerkezete nem izotróp, emellett a hibáknak szisztematikus jellege is van.

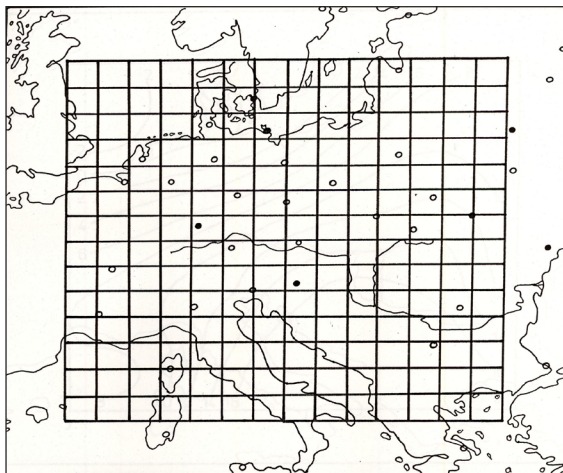
A második fejezetben az adatasszimilációs módszerek értékelését tűzi ki célul. A Gandin-féle optimális interpoláció (Gandin, 1963) részletes bemutatása után az adatasszimiláció négy új módszerét ismerteti: nudging²⁹, optimális nemlineáris objektív analízis, Kálmán-szűrő és az adjungált egyenletek módszerét. E legutóbbi témában a Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központjában (ECMWF-ben) folytak intenzív kutatások illetve fejlesztések. Dévényi Dezső széleskörű és teljesen naprakész szakirodalmi ismereteit jellemzi az alábbi rövid idézet a dolgozatból: *„Az adjungált egyenletek alkalmazásával kapcsolatos kísérletek jelenleg az ún. shallow-water egyenletekkel leírt dinamikánál tartanak (Courtier and Talagrand, 1990). Az ECMWF-ben kidolgozás alatt áll egy háromdimenziós variációs objektív analízis módszer, amelyben az első közelítést a hagyományos megfigyelésekre végzett optimális interpolációval lehet előállítani (Pailleux, 1989!). Az új eljárást csak az újabb szuperszámítógép installálása után fogják az operatív gyakorlatba bevezetni.”* Az ECMWF-ben az új szuperszámítógép 1995-ös installálását követően 1996. január 26-án került sor a 3D-Var technika néven népszerűvé váló, forradalmi változást hozó, új adatasszimilációs módszer operatív bevezetésére (Woods, 2006).

Az értekezés harmadik fejezete Dévényi Dezső újszerű koncepciója alapján megvalósult „Robusztus szűrés és spline interpoláció alkalmazása műholdas és hagyományos adatok együttes objektív analízisére” címet kapta. A biharmonikus spline interpolációt eredetileg bonyolult tengerfelszín domborzati viszonyok esetében alkalmazták a meteorológiai mezők térbeli interpolációjára. Dévényi Dezső ötlete és javaslata alapján egy FORTRAN³⁰ nyelvű program került kifejlesztésre, melyet az OMSZ-ban számos meteorológiai célra sikerrel alkalmaztak (Dévényi et al., 1988). A robusztus szűrő OMSZ-beli kifejlesztése

29 A nudging adatasszimiláció során a modell-trajektóriát a megfigyelésekhez „kényszerítjük” egy a prognosztikai egyenletekbe bevezetett relaxációs tag segítségével.

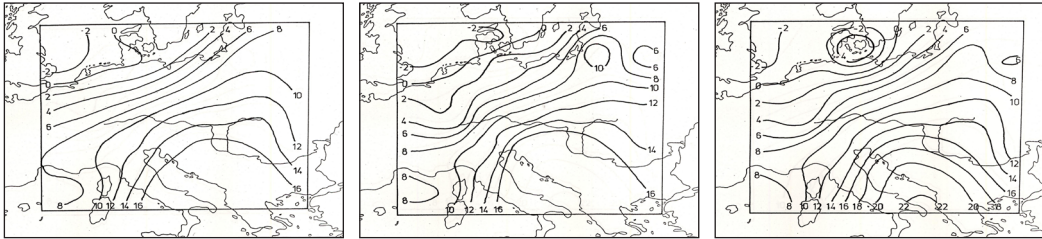
30 FORTRAN: The IBM Mathematical Formula Translating System, az IBM által kifejlesztett magasszintű programnyelv

és alkalmazása szintén Dévényi Dezső koncepciója alapján valósult meg (Dévényi et al., 1990). Dévényi Dezső munkássága előtt a robosztus szűrés elmélete és gyakorlata nem volt ismert a hazai meteorológiai szakirodalomban. A módszerrel Dévényi Dezső kandidátusi dolgozatának 2. függeléke ad komplett áttekintést. „Mivel [a matematikai statisztikai gyakorlatban] a legkisebb négyzetek módszere az összes torzítatlan becslés között csak akkor optimális, ha a hibák normális eloszlásúak, ezért a linearitás becslésére csak akkor szabad szorítkozni, ha a hibák garantáltan normális eloszlásúak. Azonban – centrális határeloszlás tételre hivatkozó általános tévhitel szemben – a normalitási modell sohasem pontos és már az ettől való kis eltérések hatására is katasztrofálisan romlik a legkisebb négyzetes becslés hatékonysága. Ezért egy sor gyakorlati alkalmazás esetén érdemesebb olyan módszereket alkalmazni, amelyek csupán »majdnem« optimálisak a normális esetben, viszont teljesen elfogadható eredményt szolgáltatnak ennek a modellnek valamilyen környezetében. Ezek az ún. robosztus becslések.”



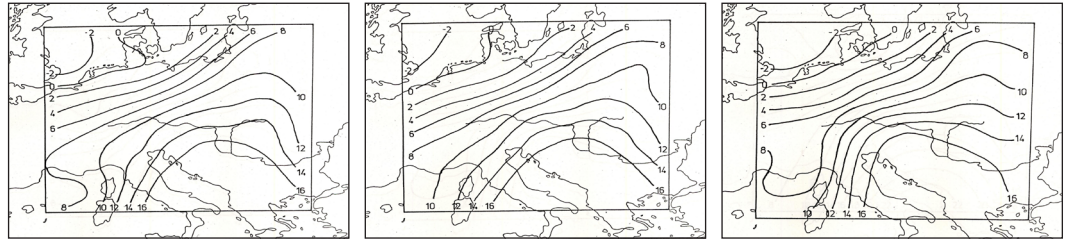
3. ábra A vizsgálatban szereplő rácshálózat és rádiószondás állomások (körökkel).

Az értekezés negyedik fejezetében az újonnan kidolgozott objektív analízis módszer alkalmazhatóságát esettanulmányokon demonstrálja. Műholdas adatok híján a rádiószondás mérésekkel kapcsolatban végez vizsgálatokat, ahol a zaj nélküli mérési adatokkal történt objektív analízisek mellett a műholdas mérésekre jellemző véletlenszerűen elhelyezett, különböző típusú zajjal terhelt mérések analízisét is elvégzi, és vizsgálja a robosztus szűrő hatékonyságát. A vizsgált tartományt, rácshálózatot és a felhasznált rádiószondás állomásokat a 3. ábra mutatja. Az eredményekből illusztrációként tekintsünk egy bemutatott esettanulmányt, amely során a 850 hPa-os szint hőmérsékleti mezejét a zaj nélküli és kétféle mesterséges zajjal perturbált mérési adatokból biharmonikus spline interpolációval állítja elő (4. ábra). Ezt követően – első lépésként – mind a háromféle módon (kétféle mesterséges zajjal perturbált + zaj nélküli esetekben) előállított mezőn alkalmazza a robosztus szűrőt, s második lépésként következik a biharmonikus spline interpoláció. Az eredményeken jól látszik, hogy a robosztus szűrő hatékonyan javítja az analízist (5. ábra).



4. ábra A torzított és a kétféle módon zajjal terhelt 850 hPa-os hőmérsékleti mező biharmonikus spline interpolációja.

5. ábra A torzított és a kétféle módon zajjal terhelt 850 hPa-os hőmérsékleti mező biharmonikus spline interpolációja a robusztus szűrő alkalmazása után.



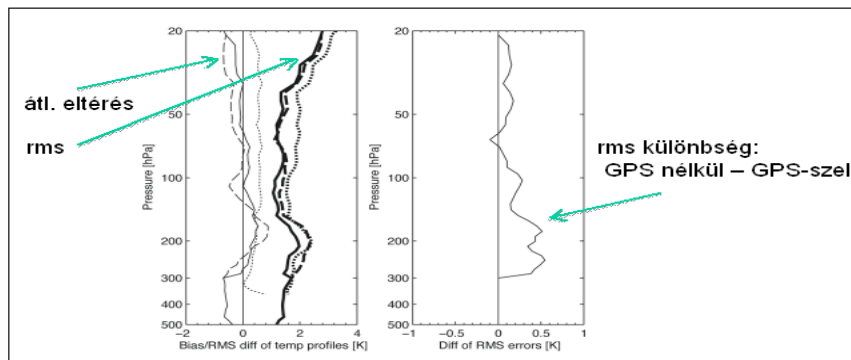
◉ GPS ÉS MŰHOLDAS SZONDÁZÁSI ADATOK EGYÜTTES ALKALMAZÁSA

A korai hazai műholdas vizsgálatok témakörébe ugyan nem tartozik, de itt említjük meg, hogy Dévényi Dezső a műholdas információk meteorológiai adatasszimilációs rendszerekben történő alkalmazhatóságát 1991 és 2009 között a NOAA/FSL-ben is folytatta, több szerzőtárral együtt számos publikációja született. Álljon itt egy rövid összefoglaló a GPS és műholdas szondázási információkkal kapcsolatos közös vizsgálatokról Borbás Évától, aki az egyetemen Dezső tanítványa, majd pedig Borbás Éva PhD dolgozatához kapcsolódó mintegy félévtizedes munka idején, doktorandusz hallgatója volt (Borbás, 2000).

A Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS) és a kvázipoláris műholdak rendszere egymástól független, teljesen eltérő elveken alapul, de a légkörről egymást kiegészítő információt nyújt: a műholdas szondázók az alsó troposzféráról, a GPS

rádióokkultációs (RO) mérések pedig a felső troposzféráról és a sztratoszféráról nyújtanak nagyon pontos információt. Ezen tulajdonságuk főként térbeli felbontásuk eltérő természetéből adódik: míg a GPS RO mérések nagyon jó (200 m) vertikális, de gyengébb (200 km) horizontális felbontásúak, addig a passzív műholdas szondázási adatok nagyon jó (5-15 km) horizontális, de gyengébb (1-2 km) vertikális felbontásúak.

Borbás Éva és Dévényi Dezső közös munkájában (Borbás et al., 2008) a GPS RO és az Advanced Infrared Sounders (AIRS) adatok Bayes-becsléssel történő kombinációját vizsgálta, és a kombinált származtatott hőmérsékleti profilokat rádiószondás mérésekkel verifikálta (6. ábra). A GPS RO adatok – kiegészítő információ tartalmukkal – mintegy 0,5 K-nel javítják a műholdas hőmérsékleti profilokat a tropopauza térségében. Az eredmény gyakorlati jelentősége: a numerikus előrejelzési modellek nagyobb pozitív hatást várhatnak a két rendszer együttes asszimilálásával, mintha a két rendszert külön asszimilálnánk.



6. ábra Hőmérsékleti profilok verifikációja rádiószondás mérésekkel (bal): átlagos eltérés és négyzetes hiba (rms), ahol a hőmérsékleti profilok csak AIRS (szaggatott vonal), csak GPS/RO (pontok) és a kettő kombinációjából (egyenes vonal) lettek származtatva. Négyzetes eltérés különbség, mely mutatja a GPS/RO adatok hatását a műholdas szondázásra (jobb).

Végezetül álljon itt a rövid idézet Borbás Évától, valószínűleg ennél tömörebben és teljesebben nem tudnánk kifejezni Dévényi Dezső munkatársaihoz való viszonyát: „Dezső az egyetlen a tanárom, PhD témavezetőm és élete végéig a mentorom volt. Bármikor, bármilyen kérdéssel fordulhattam Hozzá, tudtam, hogy számíthatok Rá, mert a távolságot legyőzve, időt és energiát nem sajnálva, azonnal válaszolni fog. Rendkívüli szakmai tudással, józan fejjel, emberséggel állt minden tudományos és nem tudományos, gyakran apróságoknak tűnő kérdésemhez, kérésemhez. Rengeteget köszönhetek Neki. Mindig tudtam, és sajnos már teljes bizonyossággal tudom, hogy soha nem fogom tudni megköszönni és viszonzni azt a sok segítséget, amit kaptam Tőle. Tisztelettel, hálával és szeretettel emlékezem Rá.”

◉ ÖSSZEFOGLALÁS

Dévényi Dezső az 1980-as évek második felében sokirányú tevékenysége mellett intenzív munkával úttörő tevékenységet folytatott a műholdas információk numerikus előrejelzési modellekben történő alkalmazása érdekében. A kutatásokba, fejlesztésekbe számos jó képességű fiatal munkatársat sikerült bevonnia, akik a későbbiekben nemzetközi mércével mérve is jól helyt tudtak állni. Dévényi Dezső munkája során kiválóan tudta ötvözni pedagógiai képességeit, széleskörű szakmai ismereteit, s humánus vezetői karakterét.

◉ IRODALOM

Borbás É., 2000: Meteorológiai adatok új forrása: Globális Helymeghatározó Rendszer. Budapest ELTE TTK PhD dolgozat.

Borbás, É. E., W. P. Menzel, E., Weisz, and D. Dévényi, 2008: Deriving atmospheric temperature of the tropopause region-upper troposphere by combining information from GPS radio occultation refractivity and high-spectral-resolution infrared radiance measurements. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 2300–2310.

Courtier, P., and O. Talagrand, 1990: Variational assimilation of meteorological observations with the direct and adjoint shallow-water equations. *Tellus A*, 42, 531–549.

Csiszár I., 1988: Vertikális hőmérsékleti profilok származtatása műholdas radiancia adatok felhasználásával. ELTE TTK diplomamunka.

Dévényi D. és Sallai M., 1984: Műholdas információk alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analizisében. I. Műholdas információ hatása az optimális interpoláció elméleti hibájára. *Időjárás*, 88, 92–100.

Dévényi, D., and Gy. Sipos, 1988: Development of retrieval of atmospheric temperature profiles in Hungary. Preprints, Symposium on Utilization of Satellite Measurements in Modelling and Prediction of Atmospheric Phenomena, Prague, Czechoslovakia, 56–63.

Dévényi, D., I. Ihász, and Gy. Sipos, 1988: Common objective analysis of satellite and traditional meteorological information. In symposium on utilization of satellite measurements in modelling and prediction of atmospheric phenomena. Praha, 174–179.

Dévényi, D., I. Ihász, G. Radnóti, and Gy. Sipos, 1990: Analysis of information in satellite radiation data. Satellite Meteorological Symposium, 19–20 April, 1990, Visegrád, Hungary, 86–96.

- Dévényi D., 1991: A műholdas eredetű adatok alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analizésében. ELTE TTK kandidátusi értekezés, Budapest.
- Gandin, L. Sz., 1963: Objektivnij analiz meteorologicseszkich polej. Gidrometeoizdat, Leningrád.
- Horányi A., 1989: Meteorológiai mezők izentróp objektív analizise spline interpoláció alkalmazásával. ELTE TTK diplomamunka.
- Pailleux, J., 1989: Design of a variational analysis: Organization and main scientific points. Computation of the distance to the observations. ECMWF Technical Memorandum, 150, 24pp.
- Pártai L., 1984: SATEM táviratok ellenőrzése az optimális összehasonlítás módszerével. ELTE TTK diplomamunka.
- Sallai M., 1983: A műholdas információk felhasználási lehetőségeinek vizsgálata a meteorológiai mezők objektív analizésében. ELTE TTK diplomamunka.
- Tánczer T., 1988: Műholdmeteorológia Akadémiai Kiadó, Budapest, 272pp.
- Török L., 1985: Meteorológiai mezők objektív analizise az optimális interpoláció módszerével. ELTE TTK diplomamunka.
- Woods, A. 2006: Medium-Range Weather Prediction: The European Approach. Springer, 270pp.

AZ OPERATÍV NUMERIKUS MODELLEZÉS KEZDETI ÉVEI MAGYARORSZÁGON: A SVÉD MODELL ALKALMAZÁSA

Ihász István

◦ BEVEZETÉS

Az 1980-as évek második felében az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) megfogalmazódott az igény hazai futtatású numerikus időjárás előrejelzési modell adaptálására és operatív futtatására. A fenti cél megvalósítását négy tényező együttes megléte tette lehetővé.

Czelnai Rudolf, az OMSZ akkori elnökének kezdeményezésére 1978-ban az Eötvös Loránd Tudományegyetemen létrejött az önálló ötéves meteorológus képzés, amely felváltotta a korábbi kétéves földtudományi alapképzésre épülő hároméves meteorológus képzési formát. A képzés keretében jelentős matematikai és fizikai előképzés után komoly hangsúlyt kapott a dinamikus meteorológia és a numerikus előrejelzés, ez utóbbiban Dévényi Dezső és Práger Tamás úttörő és kiemelkedő szerepet vállalt.

1986-ban Dévényi Dezső vezetésével az OMSZ Központi Előrejelző Intézetében (KEI; 1. ábra) a Távérzékelési Főosztályon belül új szervezeti egységként Numerikus Módszerfejlesztési Csoport, majd Osztály alakult, alapító tagok: Ihász István, Radnóti Gábor, Sípos Győző és Tóthné Meszlényi Ágota fiatal meteorológusokként és Nagy Szabolcsné technikusként.



1. ábra Az OMSZ Központi Előrejelző Intézete (fent) és a BASF számítógép (lent).

Pestlőrincen (a mai Pestszentlőrincen), a KEI szomszédságában 1986-ban felépült – a KEI-től szervezetenként független – OMSZ Számítóközpont, melyben a nagyszámítógépet a BASF³¹ 7/61-es számítógép (1. ábra) jelentette, mely megteremtette a potenciális infrastrukturális hátteret egy numerikus modell hazai adaptálásához és futtatásához.

1988 végén a Svéd Hidrometeorológiai Szolgálattal (SMHI³²) együttműködve Dévényi Dezső norrköpingi hivatalos szakmai útjáról a svéd modell programrendszer FORTRAN kódját és teszt adatokat tartalmazó mágnesszalaggal térhetett haza.

◉ A SVÉD MODELL ADAPTÁLÁSA

A svéd modell a *Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központja* (ECMWF) korábbi rácspont modelljének korlátozott tartományú változata volt. A modell ún. felszínkövető szigma koordináta-rendszerben³³ dolgozott, a vertikális szintek száma 12 (2.a ábra), a horizontális felbontás pedig 0,9*0,9 fok ún. elforgatott rácshálózaton³⁴ (2.b ábra).

Ebben az időben az ECMWF modell (T106L16³⁵) 16 szintet tartalmazott, s a horizontális felbontás mintegy feleakkora (kb. 200 km) volt, mint a svéd modellben. Megjegyezzük, hogy Magyarország az akkori „keleti blokk” országaként nem juthatott hozzá az ECMWF előrejelzésekhez, s így az OMSZ-ban akkoriban elérhető legfinomabb felbontású és legteljesebb modell előrejelzés a naponta kétszer +36 óráig készülő 2,5*2,5 fokos horizontális és 6 órás időbeli felbontású angol (UKMO³⁶) modell volt.

A svéd modellben az adatasszimiláció részeként a SYNOP, TEMP, SATEM, SATOB megfigyelési információ az optimális interpoláció módszerével a tengersizinti légnyomásra és a főizobár szinteken a meteorológiai mezőkre került alkalmazásra

31 BASF: Badische Anilin- und Soda Fabrik

32 SMHI: Swedish Meteorological and Hydrological Institute

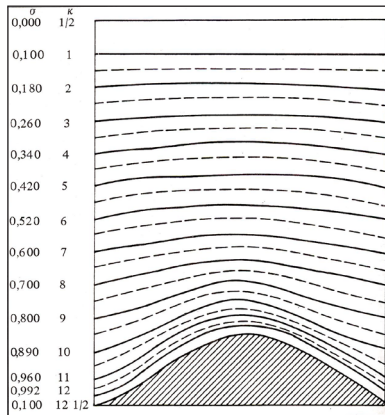
33 A felszínkövető szigma koordináta-rendszer alsó modellszintjei követik a domborzat alakját, felső modellszintjeit pedig az aktuális és a felszíni légnyomás hányadosa jelöli ki.

34 A rácshálózat elforgatásakor az Egyenlítőt a célterület fölé helyezik, és minden rácspontra végrehajtanak egy forgatási koordináta-transzformációt. Az elforgatást elsősorban a skandináv országok rácsponti modelljeiben alkalmazzák, mivel közel egységes felbontást biztosít a tartomány felett, s a pólus távolba helyezésével elkerüli a sarkok közelében fellépő felbontás-növekedést.

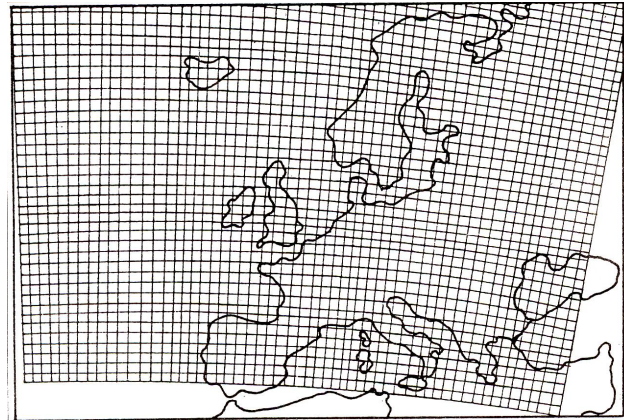
35 T106L16: a spektrális modellek felbontását jelöli, melyben az L16 a 16 vertikális szintre utal, a T106 pedig a spektrális modellben a 106. hullám-számnál történő háromszög-alakú (trianguláris) csonkításra.

36 UKMO: United Kingdom Met Office

a modell rácshálózatán. A főizobár szintekről a modell szigma szintjeire történt interpolációt a nemlineáris normál módus inicializáció (NNMI) követte, amire az interpolációból eredő zajok – tipikusan az előrejelzést az időtáv kezdetén eltorzító nagyfrekvenciás gravitációs hullámok – kiszűrése miatt volt szükség. A modell +48 óráig történt integrálása után a szigma rendszerből a nyomási koordináta rendszerbe történt transzformációt követően, az utófeldolgozási eljárások során állt elő az előrejelző szakemberek számára használható információk sokasága.



a)



b)

2. ábra A modell a) vertikális és b) horizontális felbontása.

Az adaptáció során – Dévényi Dezső irányításával – számos technikai jellegű problémát kellett megoldanunk, többek között a megfigyelési adatok formai és tartalmi ellenőrzését végrehajtó programcsomag kifejlesztését, vagy a modell outputok standard WMO GRID távirat formátummá alakítását végző program kifejlesztését. Az adaptáció sikerét jelentős mértékben elősegítette Per Kållberg 1989. decemberi egyhetes szakmai látogatása az OMSZ-ban. A modell operatív futtatásának jelentős akadályozó tényezője volt, hogy a WMO Globális Távközlési Rendszeréből (GTS) nem állt rendelkezésre a korlátos tartományú

modell számára peremfeltételeket biztosító megfelelő előrejelzés (Ihász, 1992). Így a mintegy nyolc évre kiterjedő operatív időszak első részében, 1991 nyarától a 48 órás előrejelzési időtartam során időben állandó peremfeltételeket voltunk kénytelenek alkalmazni.

• A SVÉD MODELL OPERATÍV IDŐSZAKA

1991. július 1-étől a hétmindennapján a 00 UTC-s időpontból +48 óráig terjedő előrejelzés futott. A modell horizontális és vertikális rács hálózata a 2. ábra mutatja. A hajnali és hétvégi időszakban az operátor teendőket az első időszakban meteorológusokból álló négyfős csoport végezte, később lehetőség nyílt a feladat átadására a BASF számítógép operátorainak. A modell futtatás időbeli ütemezését az 1. táblázat tartalmazza.

Időpont	Feladat
4 ⁰⁰	TEMP, SYNOP adatgyűjtés a KEI PC hálózatában
4 ¹⁰	Objektív analízis, $p \rightarrow \sigma$ szigma transzformáció, inicializáció
4 ⁴⁰	A prognosztikai modell futtatása
7 ⁵⁰	Szigma $\rightarrow p$ transzformáció
8 ³⁰	Adatátvitel a PC hálózatba, grafikus megjelenítés
8 ⁴⁵	A hajnali teendők vége

1. táblázat A svéd modellel kapcsolatos operatív teendők a hajnali és kora reggeli órákban.

Az OMSZ-ban megindult technikai modernizáció részeként 1992-ben installálásra került az első HP710³⁷ típusú „kolibri” nevű munkaállomás. Az informatikai fejlődés sebességét jól jellemzi, hogy amíg a 48 órás modellintegrálás a BASF 7/61 gépen 3 óra 10 percre tartott, addig a HP710 munkaállomáson ez mindössze 13 percet igényelt.

1991–92-ben Ihász István témavezetésével két V. éves meteorológus hallgató a modell előrejelzés javítását jelentős mértékben elősegítő fejlesztő munkát végzett. Borbás Éva (1992, 1993) Gandin és Collins (1990) új módszerét alkalmazva a TEMP táviratok operatív hidrosztatikai minőségellenőrzését megalapozó tevékenységet folytatott. Az 1990-es évek elején a rádiószondás TEMP táviratok a legtöbb európai állomáson manuálisan voltak kódolva, így gyakran számos hibát tartalmaztak. A hidrosztatikai ellenőrzés során a TEMP táviratok főzobárszinti magasság és hőmérséklet adatai hidrosztatikai összefüggés alapján kerültek együttes ellenőrzésre két illetve három szomszédos főzobárszint felhasználásával. Kovács László (1992) munkája révén pedig a GTS-ben rendelkezésre álló washingtoni modell előrejelzések alapján időben változó peremfeltételek előállítása is lehetővé vált.

A modell operatív futtatásához kapcsolódott az európai SYNOP és TEMP megfigyelési adatok és a keletkező modell outputok archiválása, valamint az objektív verifikációt végző programrendszer kifejlesztése és operatív alkalmazása. A svéd modell 1998-ig, az ALADIN modell első operatív célú hazai installálásig operatíván futott, azaz mintegy hét évig állt az előrejelző munkatársak rendelkezésére.

◉ **MAGYARORSZÁG ECMWF TAGSÁGÁNAK KEZDEMÉNYEZÉSE**

Dévényi Dezső kezdeményezésére Mersich Iván, az OMSZ új elnöke beiktatását követő hatodik napon Magyarország ECMWF tagságát kezdeményező levelet küldött a központba (Woods, 2006). Hosszabb folyamat után 1994 nyarán Magyarország – a kelet-közép európai országok közül elsőként – társult tagként csatlakozott az ECMWF-hez (Kaba, 1995).

Az OMSZ-ba a technikai feltételek megteremtése után 1995. január végén érkezett az első operatív determinisztikus ECMWF előrejelzés. Az ECMWF előrejelzések operatív fogadása és feldolgozása lehetővé tette, hogy a svéd modell is ECMWF peremfeltételekkel fusson. David Burridge, az ECMWF akkori igazgatója 1995. áprilisi OMSZ-beli hivatalos útján elégedetten látta mind az ECMWF előrejelzések, mind a már ECMWF peremfeltételeket használó svéd modell intenzív használatát. Az eseményeket Boulderből Dévényi Dezső is érdeklődéssel követte, aki 1995. január 15. óta már a NOAA/FSL-ben dolgozott. Hosszú folyamat eredményeként végezetül az ECMWF társult tagországok teljes jogú taggá válásának lehetőséget biztosító új alapító okirat 2010. június 6-án lépett hatályba. Magyarország teljes jogú tagfelvételi kérelmének benyújtását a **1492/2011. (XII. 27.) Korm. Határozat** tette lehetővé: „Magyarország Kormánya és a Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központja

(ECMWF) között Magyarországnak az ECMWF Egyezményhez való csatlakozásáról és az azzal kapcsolatos feltételekről szóló megállapodás szövegének végleges megállapítására adott felhatalmazásról”.

◉ A SVÉD MODELLHEZ KÖTŐDŐ EGYÉB ALKALMAZÁSOK

A svéd modell hazai adaptációs időszakában – 1990 októberében – Dévényi Dezső részvételével (Dévényi et al., 1990) első alkalommal lehetővé vált az európai korlátos tartományú modellezési tevékenységeket összefogó szervezet, a European Working Group on Limited Area Modelling (EWGLAM) munkájába való bekapcsolódásunk. A szervezet rendezvényeinek mind a mai napig aktív résztvevője az OMSZ. Dévényi Dezső 1995-ig terjedő OMSZ-hoz kapcsolódó hivatalos kötődésének időszakában kiemelt feladatának tekintette a fiatal munkatársak részvételét a EWGLAM vonatkozású munkákban (Dévényi et al., 1991; Dévényi et al., 1992a; Dévényi et al., 1992b; Dévényi et al., 1994).

1991 tavasztól az OMSZ aktív résztvevője a francia kezdeményezésre Toulouse-ban folyó ALADIN modellfejlesztésnek (ld. Horányi András írását a kötetben). Az ALADIN modellben alkalmazott új inicializációs eljárás, a digitális filter inicializáció Radnóti Gábor fejlesztő tevékenysége révén a svéd modell hazai adaptált változatában is operatív alkalmazásra került 1993-tól.

A GTS-ből nem állt rendelkezésünkre felhőzeti előrejelzés, így hazai fejlesztésként a svéd modellben használt felhőzet parametrizációs eljárást használtuk az UKMO relatív nedvesség előrejelzések felhasználásával. Az előrejelzett felhőzeti mezők a TV Híradó időjárás jelentésében a nagyközönség jobb tájékoztatását is elősegítették.

Dévényi Dezső kezdeményezésére és témavezetésével Borbás Éva PhD dolgozatában (2000) az akkor vadonatújnak számító és ígéretesnek tűnő Globális Helymeghatározó Rendszer (GPS) adataiból származtatott becsült vízgőz tartalom svéd modellen belüli alkalmazhatóságát vizsgálta. A néhány tucatnyi európai GPS állomás adatainak felhasználásával mintegy 20-25 %-os javulást ért el az alsó troposzféra nedvességi viszonyainak analízise és előrejelzése területén.

◉ ÖSSZEFOGLALÁS

Dévényi Dezső úttörő tevékenységének köszönhetően két évtizeddel ezelőtt Magyarország régióbeli versenytársait jelentősen megelőzve az operatív korlátos tartományú modellező országok közösségébe lépett. Szintén ezen tevékenységhez kapcsolódik Magyarország ECMWF társult taggá válása, mely így mintegy 8-10 évvel korábban következhetett be szomszédaink csatlakozásához képest.

◉ IRODALOM

Borbás É., 1992: Az adatok átfogó hidrosztatikus ellenőrzése a hazai számszerű előrejelzési modellhez. Budapest, ELTE TTK diplomamunka.

Borbás, É., 1993: Comprehensive hydrostatic quality control of radiosonde height and temperature data. *Időjárás*, 97, 219–238.

Borbás É., 2000: Meteorológiai adatok új forrása: Globális Helymeghatározó Rendszer. Budapest ELTE TTK PhD dolgozat.

Dévényi, D., A. Horányi, I. Ihász, and G. Radnóti, 1990: Recent limited area modelling activities in Hungary. *LAM Newsletter*, 19, 82–85.

Dévényi, D., A. Horányi, I. Ihász, and G. Radnóti, 1991: Study of orographic effects on atmospheric processes by the use of a LAM. *Proceedings of the international conference: Mountainous meteorology, climatology and aerology of the lower layers of troposphere*, 211–214.

Dévényi, D., A. Horányi, I. Ihász, and G. Radnóti, 1992a: Stability properties of the optimum interpolation method. *LAM Newsletter*, 21, 166–172.

Dévényi, D., A. Horányi, I. Ihász, and G. Radnóti, 1992b: Recent limited area modelling activities in Hungary. *LAM Newsletter*, 21, 47–50.

Dévényi, D., A. Horányi, I. Ihász, and G. Radnóti, 1994: Recent limited area modelling activities in Hungary. *LAM Newsletter*, 23, 49–51.

Gandin, L. S., and W. G. Collins, 1990: Comprehensive hydrostatic quality control at the National Meteorological Center. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 2752–276.

Ihász I., 1992: Hogyan működik az első operatív hazai numerikus előrejelző modell? *Léggör*, 37, 1–2, 12–16.

Kaba M., 1995: Csatlakozásunk a Középtávú Időjárási Előrejelzések Európai Központjához. *Léggör*, 40, 2, p. 34.

Kovács L., 1992: Peremfeltételek előállítás a hazai rövidtávú numerikus időjárás-előrejelzési modell számára. Budapest, ELTE TTK diplomamunka.

Woods, A., 2006: *Medium-Range Weather Prediction: The European Approach*. Springer, 270pp.

OPERATÍV NUMERIKUS MODELLEK AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLATNÁL: A SVÉD MODELTŐL AZ AROME MODELIG

Horányi András

◦ BEVEZETÉS

Dévényi Dezsőt nyugodt szívvel nevezhetjük a hazai, gyakorlati numerikus prognosztika „atyjának”, mert nemcsak felismerte a számszerű előrejelző modellek jelentőségét, de meggyőzte az OMSZ vezetését arról, hogy a gyakorlatban is rá kell lépni arra az útra, amely a numerikus modellek hazai adaptálását, fejlesztését, futtatását és operatív alkalmazását eredményezi. Dezső azt is világosan látta, hogy a szűkös hazai erőforrások miatt önmagunk képtelenek vagyunk arra, hogy saját erőből elsajátítsuk mindazokat az elméleti és gyakorlati ismereteket, amelyek elengedhetetlenek a numerikus modellek fejlesztéséhez és futtatásához, ezért kapcsolódási pontokat keresett a nyugat-európai meteorológiai szolgálatok korlátos tartományú modelleket fejlesztő numerikus prognosztikai részlegeivel. A nemzetközi kapcsolatok kiépítésének ideális hátteret teremtett a EWGLAM (European Working Group on Limited Area Modelling) informális együttműködés, ami 1979-ben vette kezdetét, s amelyben legelőször csak Európa nyugati oldaláról származó szakemberek vettek részt, s fokozatosan terjesztették ki Európa teljes területére (és ez egy ma is jól működő nemzetközi eszmecsere a korlátos tartományú modelleket fejlesztő és futtató szakemberek számára).

A EWGLAM csoporton belül Dezső a Svéd Meteorológiai és Hidrológiai Intézettel épített ki mélyebb kétoldalú kapcsolatokat és ez alapján kértük el és kaptuk meg az eredetileg az ECMWF modellből származó, később Svédországra adaptált „svéd” numerikus előrejelző modellt. A modell adaptációját és operatív üzembe állítását részletesen taglalja Ihász István cikke ugyanebben a kötetben, azaz erre most újra nem térünk ki, hanem elsősorban a „svéd” modell utáni időszakkal foglalkozunk. Mindazonáltal úgy gondoljuk, hogy nem szabad említés nélkül hagyni azt a tényt, hogy a svéd modell hazai operatív üzembe állítása egyrésztől lehetőséget teremtett, másrésztől pedig szilárd és nyugodt hátteret biztosított a numerikus prognosztikával foglalkozó (akkor még) maroknyi társaságnak arra, hogy megismerjék és megtanulják a numerikus prognosztikai technológiát

és megalapozzák a numerikus előrejelzés későbbi magyarországi fejlődését. A „francia kapcsolat” 1990 végén kezdett kibontakozni azzal, hogy a Francia Meteorológiai Szolgálat (Météo France) együttműködést javasolt a közép-kelet európai meteorológiai szolgálatok számára, megalapozva a később ALADIN³⁸ néven megismert együttműködést. Az alábbiakban ettől a hőskortól az alkalmazott operatív numerikus előrejelző modellváltozatok segítségével igyekszünk nyomon követni a numerikus prognosztika hazai fejlődését egészen napjainkig, amikor megtörtént az első hazai (hivatalos) nem-hidrosztatikus modell, az AROME³⁹ teljes operatív bevezetése.

◉ “TÖRTÉNELMI” ELŐZMÉNYEK

Az 1990. november 27-ei keltezésű levelében a Météo France igazgatója azzal fordult több, közép-kelet európai meteorológiai szolgálathoz, hogy működjenek együtt a korlátos tartományú numerikus modellezés terén, nevezetesen a francia ARPEGE⁴⁰ globális modell korlátos tartományú változatának kifejlesztésében. A projektet három fázisban javasolták megvalósítani:

1. Megvalósíthatósági tanulmány, mely során néhány közép-kelet európai szakember a francia kollegákkal közösen megvitatják, hogy a javasolt projekt mennyiben realizálható a gyakorlatban és milyen feltételekkel érhetőek el a kitűzött célok, azaz a tervezett korlátos tartományú modell kifejlesztése.
2. A fejlesztő munka megkezdése és végrehajtása, amelyet a Météo France toulouse-i központjában valósítanak meg az erre kijelölt szakemberek. Ezt az időszakot 1-3 év terjedelműre tervezték úgy, hogy néhány kutató ideje nagy részét a toulouse-i fejlesztéssel töltené (a projekt folytonosságát biztosítandó) kiegészülve azokkal a szakemberekkel, akik munkaidejük mintegy harmadát töltenék Franciaországban a kiegészítő fejlesztési feladatok végrehajtására.
3. Az együttműködés utolsó fázisa a „hazatelepítési fázis” lenne, amely során az elsajátított ismeretek és a kifejlesztett numerikus modell révén a modell operatív alkalmazásra kerülne a résztvevő országok szolgálatainál.

38 ALADIN: Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational, azaz korlátos tartományú modell dinamikai adaptációval

39 AROME: Application of Research to Operations at Mesoscale, az ALADIN modell-család legújabb, nem-hidrosztatikus változata

40 ARPEGE: Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle, francia globális modell

A francia levél azt is jelezte, hogy a fenti projekt várhatóan a francia állam támogatását is élvezné azzal, hogy a toulouse-i tanulmányutak tartózkodási költségeit támogatná. A fenti javaslatot az Országos Meteorológiai Szolgálat pozitívan fogadta, ami teljesen logikusnak tűnik, hisz akkoriban egyrészt nagy lehetőséget jelentett egy francia tanulmányút, másrészt pedig lehetőség adódott a svéd modellen nevelkedett numerikus előrejelző szakemberek további képzésére és a svéd modell utáni operatív modell-generáció megalapozására. Az OMSZ együttműködéssel kapcsolatos költségei az utazásra és az így „kieső” munkaerő helyettesítésére korlátozódtak.

Talán érdemes és érdekes megemlíteni, hogy a fentebb már említett „francia lehetőség” miatt (talán ma már egy kicsit furcsának tűnően is) némi belső harc alakult ki a Szolgálatnál annak eldöntésére, hogy kik azok a szakemberek és legfőképpen melyik az a szakterület, amely a legadekvátabb az együttműködés megvalósítására. Így merülhettek fel klímakutatással foglalkozó kollegák is a numerikus előrejelző szakemberek mellett. Mindazonáltal az OMSZ elnökének (Mersich Iván) döntése értelmében a franciák által első fázisként említett megvalósíthatósági tanulmány elkészítésére az OMSZ Dévényi Dezsőt jelölte ki. Erre a munkára 1991 márciusában Párizsban került sor, ahol Dezső társai Radmila Bubnova Csehszlovákiából és Vladimir Ivanovici Romániából voltak.

Ez az egyhónapos tanulmány azt a következtetést vonta le, hogy nincsen akadálya annak, hogy a fejlesztőmunka elkezdődjön Toulouse-ban 1991 őszén (ugyanis időközben a francia decentralizáció jegyében a Météo France előrejelző és fejlesztőközpontja Párizsból Toulouse-ba tette át a székhelyét). Az OMSZ döntése ekkor úgy szólt, hogy a munkában Horányi András, Radnóti Gábor, illetve Práger Tamás vegyen részt (tartalékként Szalai Sándort megjelölve). A toulouse-i fejlesztés magyar részről tehát így vette kezdetét 1991. szeptember elejétől Horányi András részvételével, akihez egy hónappal később Radnóti Gábor csatlakozott. A kezdeti években többek között Ihász István, majd Bonta Imre, Jenki Szilvia, Bartha Imre is részt vett a modellel kapcsolatos kezdeti fejlesztési és kiértékelési munkálatokban (az azóta Toulouse-ban járt és ott az ALADIN projekt keretében dolgozó kollegák felsorolására már kísérletet teszünk, nehogy véletlenül kihagyjak valakit a listából).

A modell-fejlesztés kezdeti stádiumának eredményeképpen közel egy évnyi közös erőfeszítéssel sikerült az ALADIN modell prototípusát (0. ciklus változatát) kifejleszteni. Az első modellváltozat alapján a következő célkitűzés az volt, hogy indítsuk el a modell operatív alkalmazását, azaz fejlesszük ki az ehhez szükséges kiegészítő eljárásokat és érjük el az operatív modellfutatáshoz elengedhetetlen nagy végrehajtási megbízhatósági szintet. A Météo France támogatásával 1994. május 31-ére az ALADIN modell első változata kvázi-operatív bevezetésre került a francia szolgálat számítógépén.

Az eredményeket műholdas átvitel segítségével térképes formában kapták meg a projektben résztvevő tagországok. A projekt következő mérföldköve az volt, amikor 1995 végére kifejlesztése került a modell „munkaállomás” változata, ami a gyakorlatban nem jelentett mást, mint hogy a modell ezután már alkalmazható volt a franciától eltérő számítógépes platformokon is (azaz megoldott a kód portabilitása, amely addig komoly akadályt jelentett a franciák által már a meghívólevélben említett hazai telepítés megvalósításában).

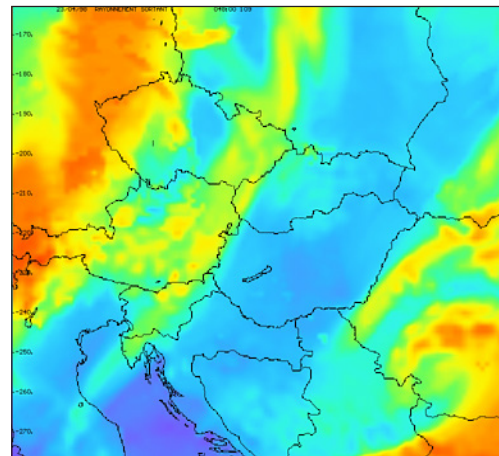
Az első igazi operatív ALADIN változat 1996. július 1-étől működött szintén Toulouse-ban, a korábbiakhoz képest azzal a különbséggel, hogy ez most már egy ténylegesen operatív, teljes megbízhatóságú modellfuttatás volt, amely a Météo France és a közben kialakuló LACE (Limited Area Modelling for Central Europe, www.rlace.eu) együttműködés közötti szerződésen alapult. Itt már tehát nem beszélhetünk kizárólagosan a franciák szívésségéről, hisz a szerződésben a szolgáltatásért a LACE projekt pénzügyi ellenszolgáltatást is nyújtott amellet, hogy az operatív rendszer kialakítását és fejlesztését a LACE által fizetett szakemberek végezték el. A toulouse-i hőskor lezárásaként 1998 júliusától az operatív futtatás átkerült Prágába, a cseh szolgálat által megvásárolt szuperszámítógépre a fentebb már említett LACE projekt pénzügyi támogatásával. A fenti fejlemények és fejlesztések lehetővé tették azt, hogy érdemben megvizsgáljuk az ALADIN modell magyarországi alkalmazásának lehetőségeit és belevágjunk a hazai adaptációba, illetve a későbbi operatív futtatásba.

◉ AZ ALADIN MODELL FEJLŐDÉSÉNEK LEGFONTOSABB ÁLLOMÁSAI A MAGYARORSZÁGI OPERATÍV MODELLYÁLTÓZATOK TÜKRÉBEN

Az alábbiakban arra vállalkozunk, hogy áttekintsük az ALADIN modell (Horányi et al., 1996; Horányi et al., 2006) magyarországi futtatásának legfontosabb állomásait bemutatva az aktuális operatív modell változatokat, amelyek jól tükrözik a modellrendszer időközben végrehajtott fejlesztéseit. A korábban már említett ALADIN munkaállomás változat teremtette meg annak a lehetőségét, hogy a modellt Toulouse-on kívül is alkalmazhassuk (először Szlovéniában telepítették sikeresen az ALADIN modellt és alkalmazták operatív módon). Ily módon megindultak a magyarországi adaptációs munkák is, amelyek először az OMSZ HP (Hewlett-Packard) munkaállomásain kezdődtek meg. Ebben az időben az OMSZ számítógépjeinek homogenitása fontos szempont volt és akkor még nem merült fel, hogy más, esetleg a modellhez jobban „illeszkedő” platformot alkalmazzunk. A HP-n végzett tesztfuttatások sikeresek voltak egy apró, de nem elhanyagolható részlettől eltekintve: a modell végrehajtási sebessége némi kívánnivalót hagyott maga után úgy, hogy kb. 10-12 órába került a 48 órás modell-előrejelzés elkészítése (ennek a fő oka a HP FORTRAN fordító hiányosságából fakadt, amely nem tudta megfelelő módon optimalizálni az ALADIN modell számítógépes kódját).

A sikertelen HP-n való kísérletezés után a figyelem a DEC (Digital Electric Company) számítógépek irányába fordult, mivel Szlovéniában már sikeresen alkalmazták (lásd fentebb) az ALADIN modellt ilyen munkaállomásokon. Az adaptációs és tesztelési munkák sikere után megbizonyosodtunk arról, hogy a DEC platform megfelelő arra a célra, hogy az első magyarországi operatív ALADIN futtatást arra alapozzuk. Ilyen előzmények után került beszerzésre egy ún. „DEC 600 Au Personal Workstation”, amelyen 1998. február 3-án kvázi-operatív, míg július 20-án teljes operatív módon beindult az ALADIN modell hazai alkalmazása. A teljes operativitás eléréséhez biztosítani kellett az oldalsó határfeltételek dedikált, azaz teljes mértékben megbízható távközlési csatornákon való áthozatalát a toulouse-i központból. Az első operatív változat legfontosabb jellemzői az alábbiak voltak:

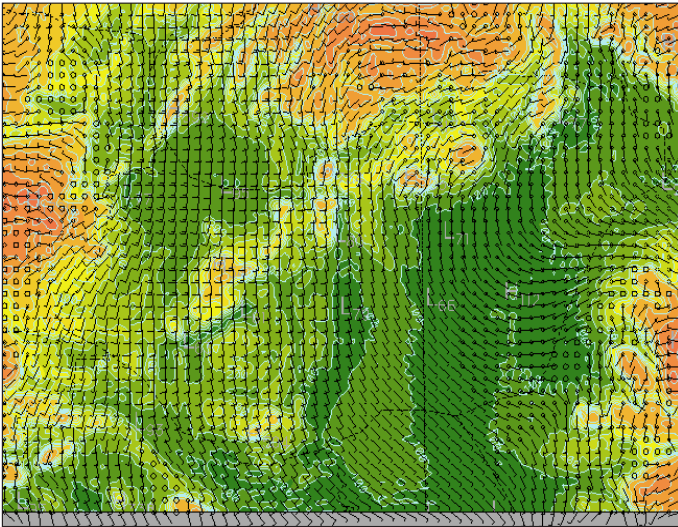
- Dinamikai adaptációs futtatás, azaz a modell kezdeti feltételeinek előállításához nem futtattunk külön adatasszimilációs ciklust, hanem azt a kezdeti feltételt adó durvább felbontású modell mezőinek finom felbontásra való interpolációjával kaptuk meg.
- Az oldalsó határfeltételeket (és a kezdeti feltételeket is) a Prágában futtatott ALADIN/LACE modellváltozathoz állítottuk elő (azaz kettős csatolással jutottunk el a magyarországi modell-tartományhoz a francia globális modellből kiindulva a prágai ALADIN változaton keresztül).
- A modell vízszintes felbontása mintegy 11 (10,89) km volt, függőlegesen 27 modellszintet alkalmaztunk.
- A modell tartománya Közép-Európát fedte le (1. ábra).
- Naponta két alkalommal (00 és 12 UTC-kor) 48 órás időtartamra állítottunk elő előrejelzéseket.



1. ábra Az ALADIN modell első (1998-as) modelltartománya egy szimulált infravörös műholdkép segítségével.

Az első számítógépet és modellváltozatot hamar kinőttük, és 1999-ben már egy új platformon (SGI⁴¹ Origin 2000-en) kezdtük meg az operatív modellfuttatást. Az új változat jellemzői az alábbiak voltak:

- Az ALADIN modell „distributed memory” változatát párhuzamos programozási technikák révén alkalmaztuk (azaz többprocesszoros gépre optimalizált változatot használtunk).
- Továbbra is adatasszimiláció nélküli dinamikai adaptációs futtatását hajtottunk végre az ALADIN/LACE modellel meghajtva az oldalsó határfeltételek tekintetében, naponta kétszer 48 órás időtartamra.
- A tartomány méretén alapvetően nem változtattunk (kissé nyugatra toltuk), de a felbontást 8 km-re növeltük és 31 vertikális szintet használtunk.



2000-re sikerült némileg bővíteni az Origin 2000 gépet, s így módon az operatív futtatást az alábbi eljárásokkal egészítettük ki:

- Nowcasting (ultra-rövidtávú) célú optimális interpoláció alkalmazása annak érdekében, hogy olyan analízis mezőket állítsunk elő, amelyek a megfigyelésekre „tökéletesen” illeszkednek és így módon a belőlük számolt diagnosztikai mennyiségek (például a konvektív hasznosítható potenciális energia vagy a nedvesség konvergencia) jól jelzik a konvektív jelenségek kialakulásának lehetőségét.
- Elkezdtük az operatív előrejelzésekre épülő nagyfelbontású dinamikai adaptációs eljárás futtatását, ami lehetővé teszi nagyfelbontású szélmező származtatását (jelenleg is ez az alkalmazás az alapja a szélerőműveknek szolgáltatott szélelőrejelzéseknek, Szépszó and Horányi, 2010; 2. ábra).

2. ábra Nagyfelbontású dinamikai adaptációs szélmező a felszín közelében.

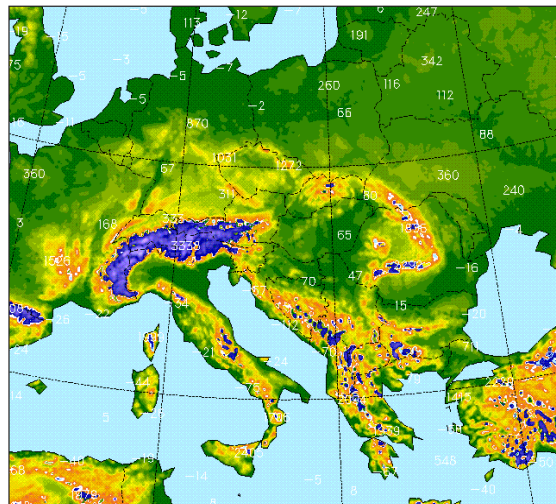
- Az utófeldolgozás gyakoriságát megnöveltük úgy, hogy modell eredmények az első 24 órában óránként, utána pedig 3 óránként álljanak rendelkezésre.

A következő mérföldkő 2003-ra tehető, amikor már az új IBM⁴² számítógépünkön (a p690 „regatta” szerveren) futtattuk az ALADIN modellt, s amelyben az alábbi legfontosabb változtatásokat hajtottuk végre:

- Megszűnt a kettős csatolás, azaz az ALADIN modellt most már közvetlenül az ARPEGE francia globális modellel hajtottuk meg (3 órás frekvenciával).
- A tartomány felbontását megnöveltük: 6,5 km-es vízszintes és 37 szintes függőleges felbontást alkalmaztunk.
- A tartomány méretét megnöveltük (a jelenleg is használt tartomány gyakorlatilag ekkor nyerte el a végső méretét; 3. ábra).

2005 folyamán a „regatta” számítógép kiegészült egy másik IBM típusú számítógéppel (a p655 klaszter szerverrel: „klipper”), amely révén további bővítésekre került sor (többnyire már 2006-ban):

- Az ALADIN tagországok közül elsőként (megelőzve a francia szolgálatot is) operatív bevezetésre került az ALADIN modell háromdimenziós variációs adatasszimilációs sémája (3D-Var; Vasiliu and Horányi, 2005; Bölöni, 2006) a modell kezdeti feltételeinek minél pontosabb meghatározására. Az adatasszimilációs ciklusunk 6 órás volt, SYNOP, TEMP, AMDAR⁴³ és ATOVS/AMSU-A⁴⁴ adatokat alkalmaztunk az adatasszimiláció során (az előrejelzési hibákat az ún. NMC módszer⁴⁵ alapján származtattuk).



3. ábra Az ALADIN modell jelenleg is használt tartománya, amely 2003-ban került bevezetésre.

42 International Business Machines

43 AMDAR: Aircraft Meteorological Data Relay, repülőgépes mérések

44 ATOVS-AMSU-A: Advanced Microwave Sounding Unit-A, műholdas mérések

45 NMC módszer: az adott időpontra vonatkozó, különböző kezdeti feltételekből indított előrejelzések eltéréseiből becsli az előrejelzési hibát

- A modell vízszintes felbontását visszaállítottuk 8 km-re belátva azt, hogy az ennél nagyobb felbontás már nem vezet érdemben jobb eredményekhez. A függőleges felbontást viszont 49 modellszintre növeltük (jelenleg is ennyi szintet alkalmazunk).

2007-re a még jelenleg is (elsősorban klímamodellezésre) használt SGI Altix 3700 gépre került át az operatív modell alkalmazás, az alábbi lényegi változtatásokkal:

- A modellt most már nem naponta kétszer, hanem napi négy alkalommal futtattuk: 54 órára 00 UTC-kor, 48 órára 06 és 12 UTC-kor és 36 órára 18 UTC-kor.
- A 3D-Var adatasszimilációs rendszert az alábbi fejlesztésekkel tökéletesítettük:
 - ATOVS/AMSU-B adatok használata a NOAA-15, NOAA-16 és NOAA-17 műholdakról, MSG⁴⁶-METEOSAT-8 (SATOB) és windprofiler megfigyelési adatok alkalmazása (Randriamampianina, 2006);
 - Új előrejelzési hibák származtatása ezúttal az ensemble módszer segítségével (Belo Pereira and Berre, 2006).

A 2008-as évtől kezdődően a számítógépes kapacitás növekedésével párhuzamosan újabb fejlesztések operatív üzembe való állítása vált lehetővé, melyek az alábbiak voltak:

- Újabb műholdas adatok operatív asszimilációja: AMSU-A és MHS⁴⁷ adatok a NOAA-18-as műholdról (2008), SEVIRI⁴⁸ vízgőzcsatornák az METEOSAT-8 (2009), majd METEOSAT-9 (2011) és METEOSAT-10-ről (2013).
- Az optimális interpolációs (CANARI⁴⁹) felszíni adatasszimilációs séma operatív alkalmazása.
- Az oldalsó peremfeltételeket már az ECMWF/IFS modellből vettük változtatlan 3 órás időbeli frekvenciával (Böloni et al., 2009).
- Az ALARO fizikai parametrizációs csomag (Gerard, 2007) operatív alkalmazása (2012), amely elsősorban a mélykonvekció pontosabb leírását eredményezi.
- Beindítottuk az ALADIN modellen alapuló ALADIN HUNEPS rövidtávú ensemble előrejelző rendszert az alábbi legfontosabb

46 MSG: Meteosat Second Generation, műholdas mérések

47 MHS: Microwave Humidity Sounder, műholdas nedvesség mérések

48 SEVIRI: Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager, műholdas mérések

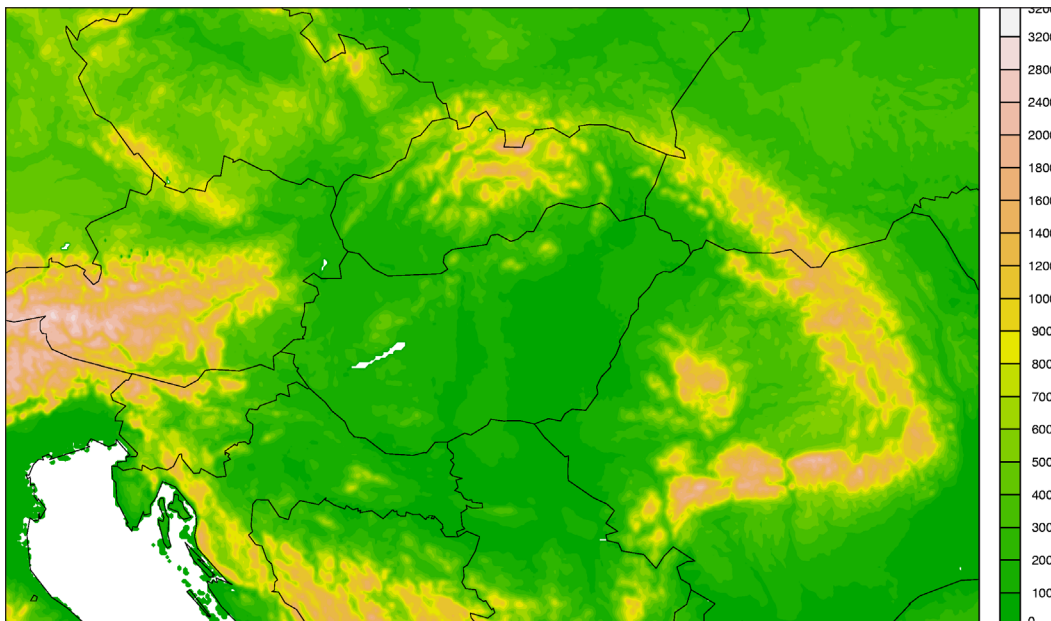
49 CANARI: Code for the Analysis Necessary for ARPÉGE for its Rejects and its Initialization, francia optimális interpolációs adatasszimilációs eljárás a felszíni mezők asszimilációjára

jellemzőkkel (Horányi et al., 2011):

- A francia ARPEGE globális ensemble előrejelző rendszer dinamikai leskáázása;
- 12 km-es vízszintes és 46 szintes függőleges felbontás az operatív „determinisztikus” modellel megegyező tartományon (jelenleg az ALADIN EPS 8 km-es felbontáson fut);
- 10 + 1 ensemble tag alkalmazása.

Végül, de nem utolsósorban a legközelebbi múlt vitathatatlanul legfontosabb fejleménye az ALADIN modell legújabb változatának, az AROME nem-hidrosztatikus modellnek kísérleti, majd kvázi-operatív futtatása, végül operatív bevezetése az ultra-rövidtávú előrejelzés céljaira az alábbi jellemzőkkel:

- A nem-hidrosztatikus dinamika és a fejlett mikrofizika lehetővé teszi, hogy az AROME modell explicit módon írja le a konvektív folyamatokat.
- Az operatív modell-változat (2010 novemberétől) 2,5 km-es horizontális és 60 szintes vertikális felbontású egy Magyarországot és közvetlen környékét körülölelő tartományon (4. ábra).
- Eleinte a kezdeti feltételek az ALADIN modell 3D-Var analízisének interpolációjával álltak elő. A legfrissebb fejlesztések eredményeként azonban, 2013 áprilisától az AROME modellben is lokális 3D-Var adatasszimilációs sémát alkalmazunk a kezdeti feltételek meghatározására, konvencionális (SYNOP, TEMP, AMDAR) megfigyelések 3 óránkénti asszimilálásával (a nagy időbeli frekvenciával futtatott asszimilációs rendszerek – RUC, azaz „Rapid Update Cycle” – először az Egyesült Államokban kerültek kifejlesztésre Dezső intenzív részvételével).
- Eleinte az oldalsó peremfeltételeket az ALADIN modellből kapta az AROME. 2012 decemberétől azonban a modellt közvetlenül az ECMWF IFS modellből nyert határfeltételekkel hajtjuk meg.
- A 00 és 12 UTC-s futtatások 48 órás, míg a 06 és 18 UTC-s futások 36 órás előrejelzéseket szolgáltatnak.
- Szubjektív és objektív kiértékelés és összevetés más modellek eredményeivel.



4. ábra Az AROME modell jelenleg használt tartománya és domborzata.

A verifikációs eredmények elég egyértelmű képet villantanak fel: összességében az AROME modell jobban viselkedik összehasonlítva az OMSZ-ban még alkalmazott WRF nem-hidrosztatikus modellel. Mindazonáltal természetesen van fejlesztendő, nevezetesen az AROME modell csapadék- és szél-előrejelzései azok, amelyeken érdemben szükségés és lehet még javítani.

◉ **KITEKINTÉS, VÉGSZÓ**

A jelen dolgozatban röviden áttekintettük a hazai numerikus prognosztika elmúlt 20 éves fejlődésének legfontosabb eredményeit az operatív numerikus előrejelző modellek segítségével. Kitértünk arra, hogy a modern numerikus prognosztika magyarországi megalapításában Dévényi Dezső elévülhetetlen érdemeket szerzett azzal a felismeréssel, hogy hazánkban is el kell kezdeni a számszerű előrejelző modellek fejlesztését és alkalmazását, és csatlakozni kell a Nyugat-Európában már régóta folyó munkához. A „svéd” modell jelentette az igazi hőskort, amire alapozva és támaszkodva vettünk részt az ALADIN modell-család kifejlesztésében, majd külföldi (francia és cseh) és hazai operatív alkalmazásában. Jelenleg az ECMWF és az ALADIN együttműködés közösen jelenti azt az alapot, amire támaszkodva egy olyan egységes időjárás-előrejelző rendszer (Horányi, 2009) kiépítésére van lehetőségünk, amely hosszútávon biztosíthatja az Országos Meteorológiai Szolgálat számára az ultrarövid- és rövidtávú előrejelzési igények optimális és hatékony kielégítését.

Sajnos azonban nem feledkezhetünk meg azokról az irányvonalakról sem, amelyek a fenti terveket nagyban veszélyeztetik és egy olyan jövőt vetítenek előre, amelyek nem a modellek nemzetközi fejlesztésén alapuló operatív alkalmazását tűzik ki célul, hanem pusztán a numerikus modellek fekete dobozként való alkalmazását. Utolsó gondolatként nem kívánhatnék mást, mint hogy teljesítsük be Dévényi Dezső álmát és arassuk le azokat a babérokat, amelyeket az elmúlt mintegy 25 év kutató és fejlesztő munkája megalapozott: fejlesszünk ki egy olyan operatív, egységes és hatékony ultrarövid- és rövidtávú numerikus előrejelző rendszert, amely épít a modellek részleteinek szakmai ismeretére és azok további fejlesztésére, és magában foglalja a numerikus prognosztikai ismeretek további bővítését, oktatását, valamint az ezzel kapcsolatos ismeretterjesztést.

◉ **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Köszönet Bölöni Gergelynek a dokumentum legújabb fejlesztéseket tartalmazó részének frissítéséért.

◉ IRODALOM

Belo Pereira, M., and L. Berre, 2006: The Use of an Ensemble Approach to Study the Background Error Covariances in a Global NWP Model. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2466–2489.

Böölöni, G., 2006: Development of a variational data assimilation system for a limited area model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, vol. 110, 309–327.

Böölöni, G., L. Kullmann, and A. Horányi, 2009: Use of ECMWF lateral boundary conditions and surface assimilation for the operational ALADIN model in Hungary. *ECMWF Newsletter*, 119, 29–35.

Gerard, L., 2007: An integrated package for sub-grid convection, cloud and precipitation compatible with the meso-omega scales. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 133, 711–730.

Horányi, A., I. Ihász, and G. Radnóti, 1996: ARPEGE/ALADIN: A numerical weather prediction model for Central-Europe with the participation of the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 100, 277–300.

Horányi, A., S. Kertész, L. Kullmann, and G. Radnóti, 2006: The ARPEGE/ALADIN mesoscale numerical modelling system and its application at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 110, 3–4, 203–227.

Horányi A., 2009: Egységes időjárási és éghajlati előrejelző rendszer kifejlesztése az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. *Kiadvány a 34. Meteorológiai Tudományos Napok előadásából.*

Horányi, A., M. Mile, and M. Szűcs, 2011: Latest developments around the ALADIN operational short-range ensemble prediction system in Hungary. *Tellus A*, 63, 3, 642–651.

Randriamampianina, R., 2006: Impact of high resolution satellite observations in the ALADIN/HU model. *Időjárás*, 110, 329–349.

Szépszó, G., and A. Horányi, 2010: Validation of the dynamically adapted high-resolution wind forecasts for the wind power stations in Hungary. *Időjárás*, 114, 1–2, 57–77.

Vasiliu, S., and A. Horányi, 2005: An evaluation of the performance of the three-dimensional variational data assimilation scheme for the ALADIN/HU spectral limited area model. *Időjárás*, 109, 4, 235–258.

DÉVÉNYI DEZSŐ, A TANÁR

Tasnádi Péter

Furcsa érzés olyan tanár munkájáról írni megemlékezést, akit mint egyetemi hallgatót ismertem meg és akinél majd fél évtizeddel idősebb vagyok. Mégis elvállaltam, el kellett vállalnom a feladatot, mert Dezső kedves tanítványom volt, s tanári munkájának hatását markánsan tapasztalhatom a meteorológus képzésben.

Dezsőt matematika-fizika szakos hallgatóként ismertem meg. Nem tartozott a legszorgalmasabb diákok közé, de dolgozatai mindig a legjobbak között voltak, s a gyakorlatokon is kitűnt invenciózus, gyors gondolkodásával. Örültem, amikor megtudtam, hogy harmadik szakként Ő is felvette a meteorológiát. A tanulmányaikban kiemelkedően teljesítő diákokból nem mindig lesznek kiváló tanárok. A szakmai tudás mellett ahhoz még sok minden szükséges, de a gyors, kreatív gondolkodás, ami Dezsőben már hallgató korában megvolt, bizonyára jó indítást jelentett a tanári munkához.

Érdemes elgondolkozni azon, kit is tekintünk kiváló tanárnak. A kérdés azért is érdekes, mert az évek múlásával sokszor megkopik a diákkorunkban nagyon kedvelt tanárok emléke, s egyre erőteljesebben ragyog fel a kiemelkedő tudású, szigorúaké. Az egyetemen a kiválóság további kritériumaként szabható a leadott anyag későbbi hasznossága, korszerűsége.

Nos, Dezső azok közé tartozott, akit a hallgatók már az egyetem alatt is kedveltek, s akinek emléke a későbbiek során sem halványult. Mutatják ezt tanítványainak visszaemlékezései, valamint sok jó teljesítményt nyújtó diplomamunkása. Tanítási módszerét talán egyik munkatársának emlékező mondatai mutatják legjobban: *“his grasp of mathematics was beyond that of most of his colleagues, but he was always willing to explain things in as much depth as he thought they could handle ...”*

Igen, Dezső teljesítette a kiemelkedő tanári személyiség két legfontosabb kritériumát, szakmai tudása széleskörű és mély volt, ugyanakkor magyarázatai alkalmazkodtak a diák tudásához. Széles matematika tudását magam is tapasztalhattam, amikor valamikor a kilencvenes években összefutottunk a Trefort kertben, s beszélgettünk munkánkról, kutatási feladatainkról. Akkoriban a kerámiák és üvegek törésével foglalkoztam, s megemlégtettem, hogy a Weibull statisztika elvi megalapozását

nemigen találok az irodalomban. Akkor ajánlotta Dezső, hogy nézzem meg Gulyás Ottóval közösen írt valószínűségi számítás könyvüket (1988), továbbá felhívta a figyelmemet Gumbel (Gumbel, 1954) munkájára. A két könyv lényegében megoldotta problémámat.

Megnyerő tanári személyiségén túl igen fontos Dezsőnek a meteorológus képzés átalakításában betöltött szerepe. A hetvenes évek végén újraindult az önálló meteorológus képzés és a megújított képzés kidolgozásában Dezső nagy szerepet játszott. Két alapvető témakörben is máig ható az általa kialakított tantárgyi tematika. Az egyik, a meteorológia statisztikus módszereinek matematikai megalapozottságú tárgyalása, a másik a Numerikus Prognosztika tárgy, amelynek tematikáját érdemes röviden felidézni:

- A feladat kitűzése (hibastruktúra, korrektség)
- Véges differencia sémák
 - Euler, Euler backward
 - időben centrált
 - explicit kétlépéses
- A közelítő módszerek általános elmélete
 - momentumok módszere
 - Bubnov-Galjorkin módszer
 - legkisebb négyzetek módszere
- A véges differencia sémák hibája, korrektsége, approximációja, konstruálása, rács típusok
- A Courant–Friedrichs–Lewy feltétel
 - Gauss elimináció
- Iterációs módszerek
 - Jacobi
 - Gauss-Seidel
 - a szukcesszív túl-relaxálás módszere
- A stabilitásvizsgálat, approximációs viszkozitás
- A befagyasztott együtthatók módszere, konzervatív módszerek hiperbolikus egyenletekre
- Nemlineáris instabilitás, spektrális módszerek

- Az operatív numerikus előrejelzés folyamata

Mi sem bizonyítja jobban a tematika korszerűségét, mint az, hogy a Műegyetem általános numerikus analízis kurzusaiban a speciális meteorológia vonatkozású témák kivételével a címszavak ma is megtalálhatók.

A tárgyat Dévényi Dezső ténylegesen csak igen rövid ideig tanította egyetemünkön. Részletes jegyzeteit azonban átadta korábbi tanítványainak, joggal mondhatjuk, hogy a Numerikus Prognosztikát az ELTE meteorológia szakján ma is a Dévényi Dezső által meghonosított szellemben, az általa javasolt módszerekkel, s az általa kidolgozott tematikát továbbfejlesztve tanítják Szépszó Gabriella és kollégái.

A tematika mellett érdemes felidézni a konkrét megvalósítást is. Dezső szigorúan követte az egyszerűtől a bonyolult felé haladás pedagógiai elvét és kerülte a korai túlzott absztrakciót. A numerikus módszerek bevezetésekor többnyire egyszerű fizikai példákban indult, s a példák motiváló erejét kihasználva adta meg az új fogalomkör kereteit, mondta ki a szükséges fogalmak definícióit. (A numerikus sémák bevezetésekor pl. a harmonikus rezgőmozgás mindenki által jól ismert példájából indult ki, általánosított, majd az új fogalmakat alkalmazta az advekción egyenletre.)

Nem kevésbé fontos a már említett, Gulyás Ottóval írott Matematikai Statisztikai Módszerek a Meteorológiában című könyv (1988) sem. A meteorológia adatbázisai napjainkra hihetetlenül hatalmasra és nehezen kezelhetővé váltak. A statisztikai módszerek utat mutatnak a nagy adatbázisok rendezésére és kezelésére. Az 1988-ban megjelent tankönyv máig is jól használható és a meteorológiához illesztett didaktikus bevezetést ad a valószínűségszámítás és a matematikai statisztika alapjaiba.

Végül szólnunk kell Dévényi Dezső tudományos utánpótlást nevelő munkájáról. Diplomamunkásainak témái, a témák sokszínűsége mutatja, hogy Dezső érdeklődése és szakértelme az információk feldolgozásától a primitív egyenletek felhasználásáig szinte mindenre kiterjedt. Az alábbi lista mutatja, hogy tudott és szeretett együttműködni a fiatalokkal. Ők azok, akik igazán őrzik emlékét és folytatják munkáját:

- Sallai Márta: A műholdas információk felhasználási lehetőségeinek vizsgálata a meteorológiai mezők objektív analizisében (1983)
- Mede Zoltán: A Fővárosi Autótaxi Vállalat baleseteinek feldolgozása meteorológiai szempontból (1984)
- Pártai Lucia: SATEM táviratok ellenőrzése az optimális összehasonlítás módszerével (1984)
- Török László: Meteorológiai mezők objektív analízise az optimális interpoláció módszerével (1986)
- Csiszár Iván: Vertikális hőmérsékleti profilok származtatása műholdas radiancia adatok felhasználásával (1988)
- Horányi András: Meteorológiai mezők izentróp objektív analízise spline interpoláció alkalmazásával (1989)
- Labancz Krisztina: A shallow-water egyenletrendszer megoldása kvázi-Lagrange numerikus módszer alkalmazásával (1989)
- Barát Imola: Talajközeli áramlás mezoskálájú prognosztikai modelljének kvalitatív vizsgálata (1990)
- Gyarmati Györgyi: Magyarország radaradatok multifraktál analízise (1991)
- Ország Gábor: Barotróp korlátos tartományú modellek inicializációja (1991)
- Szunyogh István: Statisztikus mechanikai egyensúly vizsgálata barotróp előrejelzési modellekben (1991)
- Kovács Mihály: Localization of pollutant distribution in random environment (2000)
- Bölöni Gergely: Az ALADIN modell adatasszimilációban alkalmazható előrejelzési hibastatisztikáinak vizsgálata (2001)
- Izsák Beatrix: A Kálmán-szűrő statisztikai adaptációs eljárás alkalmazása a felszínközeli hőmérséklet rövidtávú előrejelzésének javítására (2001)

Doktoranduszai:

- Borbás Éva: Meteorológiai adatok új forrása: Globális Helymeghatározó Rendszer (2000)
- Gyarmati Györgyi: Lokális előrejelezhetőségi kísérletek a légkör egy egyszerű modelljével (2002)

Sajnos Dezső rövid ideig volt az ELTE Meteorológiai Tanszékének tanára, s tanári tevékenységére az a paradoxon érvényes, hogy „amikor nem volt a tanszék alkalmazottja, akkor tanított egyetemünkön, s amikor a tanszék alkalmazta, akkor már nem tanított nálunk” (már az USA-ban dolgozott).

Köszönjük, hogy nálunk tanított, s érezzük a veszteséget, hogy nem sikerült hosszabb időre az ELTE-hez kötni!

◉ **IRODALOM**

Dévényi D. és Gulyás O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest, 443 oldal.

Gumbel, E. J., 1954: Statistical theory of extreme values and some practical applications. Applied mathematics series, 33, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.

nyí Dezső

s Prognosztikai

lékérem

—●— K

High

100

Low