METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

Petr Novák – Petr Havránek – Jan Kráčmar: Česká meteorologická radarová síť CZRAD v roce 2008 129

Ivan Kott – Jaroslav Valter: Nová metoda operativního vyhodnocování povrchových zásob vláhy v půdě v závislosti na počasí 137

Karel Dejmal: Uplatnění numerického předpovědního modelu ALADIN u české vojenské mise v Afghánistánu 144

Jana Škvareninová – Ingrid Turisová – Zora Snopková: Časová a priestorová variabilita začiatku kvitnutia konvalinky voňavej (*Convallaria majalis* L.) na strednom Slovensku 149

Informace – Recenze 154

ROČNÍK 61 – 2008 – ČÍSLO 5

Petr Novák – Petr Havránek – Jan Kráčmar: Czech weather radar network CZRAD in 2008 129

Ivan Kott – Jaroslav Valter: A new method of operational estimation of soil moisture in the shallow sub-surface layers of soil in dependence on the weather 137

Karel Dejmal: The use of the ALADIN numerical weather prediction model at the Czech military mission in Afghanistan 144

Jana Škvareninová – Ingrid Turisová – Zora Snopková: Temporal and spatial variability of the beginning of flowering of *Convallaria majalis* L. in the Central Slovakia 149

Information – Reviews 154

Abstracting and Indexing:
– Current Contents/Physical
– Chemical and Earth Sciences
– Cambridge Scientific Abstracts (CSA)
– Meteorological and Geoastrophysical Abstracts
– Environmental Abstracts

Meteorologické Zprávy, odborný časopis se zaměřením na meteorologii, klimatologii, čistotu ovzduší a hydrologii. Dvouměsíčník
Meteorological Bulletin, Journal specialized in meteorology, climatology, air quality and hydrology. Bi-monthly

Vedoucí redaktor – Chief Editor
L. Němec, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Redaktoři – Executive Editors
Z. Horký, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika
O. Šuvarinová, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Redakční rada – Editorial Board
J. Bednář, Univerzita Karlova, Praha, Česká republika
F. Hudec, Univerzita obrany, Brno, Česká republika
K. Krška, Brno, Česká republika
M. Lapin, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovenská republika
F. Neuwirth, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria
V. Pastirčák, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, Slovenská republika
D. Řezáčová, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, Česká republika
J. Strachota, Praha, Česká republika
J. Sulan, Český hydrometeorologický ústav, Plzeň, Česká republika
F. Šopko, Český hydrometeorologický ústav, Česká republika
K. Vaníček, Český hydrometeorologický ústav, Hradec Králové, Česká republika
H. Vondráčková, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Česká republika

Vydavatel (redakce) – Publishers
● Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany, telefon 244 032 722, 244 032 725, fax 244 032 721, e-mail: horky@chmi.cz. Sazba a tisk: Studio 3P, spol. s r. o. Rozšiřuje a informace o předplatném podává a objednávky přijímá Český hydrometeorologický ústav, SIS, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany; Cena jednotlivého čísla 20,– Kč, roční předplatné 180,– Kč včetně poštovného. Reg. číslo MK ČR E 5107. © Meteorologické Zprávy, Český hydrometeorologický ústav
● Czech Hydrometeorological Institute, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany, Phones: 244 032 722, 244 032 725, Fax: 244 032 721, e-mail: horky@chmi.cz. Printed in the Studio 3P, l.l.c. Orders and enquiries: Please contact Czech Hydrometeorological Institute, SIS, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany, Czech Republic. Annual subscription: 42,– EUR (6 issues)
● ISSN 0026 – 1173

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY
Meteorological Bulletin

ROČNÍK 61 (2008) V PRAZE DNE 31. ŘÍJNA 2008 ČÍSLO 5

ČESKÁ METEOROLOGICKÁ RADAROVÁ SÍŤ CZRAD V ROCE 2008

Petr Novák, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, e-mail: petr.novak@chmi.cz
Petr Havránek, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, e-mail: havranekp@chmi.cz
Jan Kráčmar, Řízení letového provozu/Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, e-mail: jkracmar@chmi.cz

Czech weather radar network CZRAD in 2008. Current status of Czech weather radar network CZRAD after two decades of digital weather radar measurements is given, including technical parameters and scanning strategies of radars. Both radar sensors, located at Skalky and Brdy-Praha hills, undergone a mid-life upgrade during 2006–07. Optimized interlaced volume scan is used for generating of radar products in 5 min. interval. Data processing, web-based presentation and international exchange of weather radar products are described. Long-term availability of radar data is better than 97%. Recent potential problems and limitations of weather radar measurements in C band, especially interferences from communication equipments (RLAN/WiFi) and other devices, wind turbines and obstacles in radar horizon, are discussed.

KLÍČOVÁ SLOVA: radiolokátor meteorologický – síť radarová – zpracování dat – Česká republika
KEY WORDS: weather radar – radar network – data processing – Czech Republic

1. ÚVOD

Operativní meteorologická radarová měření prodělala v posledních dvou desetiletích bouřlivý rozvoj – od manuálních hodinových měření, překreslovaných z obrazovky a šířených faksimilovým vysíláním v 70. a 80. letech [1, 2, 3], přes první zkušenosti s digitalizací sovětských radarů MRL-5 v první polovině 90. let [4], k současné národní síti CZRAD. Dvojice moderních dopplerovských radarů poskytujících plně digitální data byla instalována ve 2. polovině 90. let na bezobslužných stanovištích s optimálním pokrytím celého území ČR [5] – viz obr. 1. V roce 1995 byl na kótě Skalky na střední Moravě na Drahanské vrchovině instalován radar Gematronik Meteor-360AC [6] a v roce 1999 pak ve středních Čechách na kótě Praha v Brdech radar EEC DWSR-2501C [7]. Instalací radaru v Brdech byla sjednocena vojenská a civilní meteorologická radiolokační síť – provoz radarů a metodiku měření zajišťuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Armáda ČR zabezpečila výstavbu a funkci infrastruktury na stanovišti Brdy, dále poskytuje rychlé přenosové trasy mezi radary a centrem sítě CZRAD v Praze-Libuši.

V současnosti jsou radarová data využívána na centrálním a regionálních předpovědních pracovištích Českého hydrometeorologického ústavu jako jeden z klíčových podkladů pro předpovědní a výstražné účely (meteorologické i hydrologické) [8, 9, 10]. Radarová data jsou dodávána široké paletě externích uživatelů (Řízení letového provozu, Armáda ČR, Zemědělská vodohospodářská správa, Česká televize, Ředitelství silnic a dálnic, atd.) a do mezinárodní výměny radarových dat mezi evropskými meteorologickými službami, včetně použití v rámci sil NATO. Radarová měření jsou též důležitá pro řešení řady výzkumných projektů [11, 12]. V neposlední řadě jsou data využívána i širokou veřejností prostřednictvím webových stránek radarového oddělení ČHMÚ [13].

V letech 2006–2007 prošly oba radary dílčím upgradem hardwaru i softwaru, který by měl prodloužit předpokládanou životnost sítě v současné konfiguraci do první poloviny příštího desetiletí. Cílem článku je poskytnout přehled o novém vývoji sítě CZRAD od roku 2000, zahrnujícím technické zabezpečení provozu heterogenní sítě s dálkovým řízením radarů na bezobslužných pracovištích, nastavení optimálních parametrů objemového snímání pro rychlou obnovu dat, tvorbu softwarového vybavení pro zpracování a zobrazování meteoradarových dat.

2. MODERNIZACE RADARŮ SÍTĚ CZRAD V LETECH 2006–2007

Přibližně v polovině očekávané životnosti proběhla na radarech Skalky i Brdy modernizace. U obou radarů tak bylo dosaženo technických standardů přelomu století: vysílač s polovodičově spínaným modulátorem, digitalizace přijímaného signálu na úrovni mezifrekvence, dále plně digitální dopplerovské zpracování dat, inovovaný software pro dávkové řízení parametrů snímání dat a otáčení antény. Tato modernizace sjednotila a zkvalitnila výstupní data, včetně fle-

xibilnější definice měření, unifikované mezi oběma radary; vytváří tím předpoklady pro vyšší aktuálnost dat pro koncové uživatele. Modernizace taktéž zajistila výměnu problémových částí radaru, což se projevilo snížením počtu chybových stavů spojených s výpadkem operativního měření a tedy vyšší dostupností radarových dat.

Modernizace radaru Skalky proběhla v listopadu 2006 a byla provedena původním dodavatelem radaru, německou firmou Gematronik. Náhradou thyratronu ve spínači modulátoru vysílače spínačem polovodičovým byla zvýšena jeho spolehlivost a sníženy nároky a náklady na servis. Kompletně byla vyměněna přijímací část radaru (analogové obvody přijímače konceptu MIMIC, digitální přijímač GDRX-RX a zpracování signálu GDRX-SP), řídící hardware (RCP) a software (Rainbow5, Ravis), přičemž jednotlivé komponenty digitálního přijímače a řízení radaru spolu komunikují po TCP/IP síti. Nezměněna zůstala vlnovodná trasa, anténa, anténní mechanika a její hardwarové řízení.

Modernizace radaru Brdy proběhla v listopadu až prosinci 2007 a byla provedena americkou firmou Sigmet Inc., patřící v současnosti pod finský koncern Vaisala. V rámci modernizace byl vyměněn kompletní radarový přijímač (analogové obvody přijímače a digitální přijímač RVP8), řídící hardware (RCP8) a software (IRIS). Zároveň byly od původního výrobce radaru EEC nakoupeny některé klíčové náhradní díly, které by měly minimalizovat budoucí výpadky radaru. Při modernizaci byl beze změn zachován vysílač, vlnovodná trasa, anténa, anténní mechanika a její hardwarové řízení.

Po modernizacích radarů v letech 2006 a 2007 došlo k některým změnám v parametrech radarů, dále došlo k upřesnění poloh radarů s využitím informací z přístrojů GPS a online ortofotomap [14, 15]. Základní aktuální parametry radarů sítě CZRAD jsou shrnuty v tab. 1. Obr. 1 zobrazuje umístění a dosahy operativních radarových měření.

3. OPERATIVNÍ PROVOZ SÍTĚ CZRAD

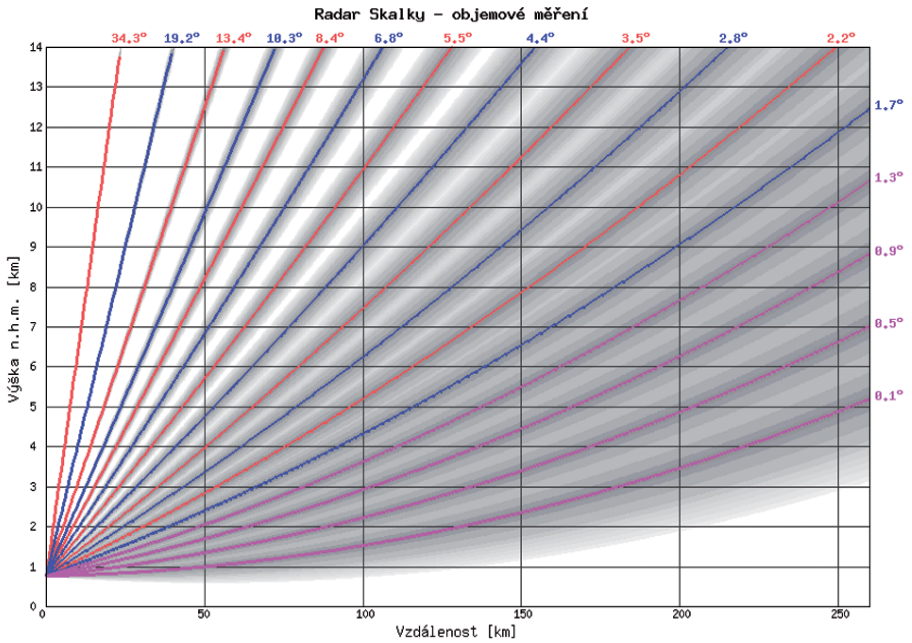
Operativní provoz meteorologických radiolokátorů je nejčastěji založen na objemovém snímání, tj. na opakova-

Tab. 1 Parametry meteorologických radarů ČHMÚ.

Table 1. Parameters of CHMI weather radars.

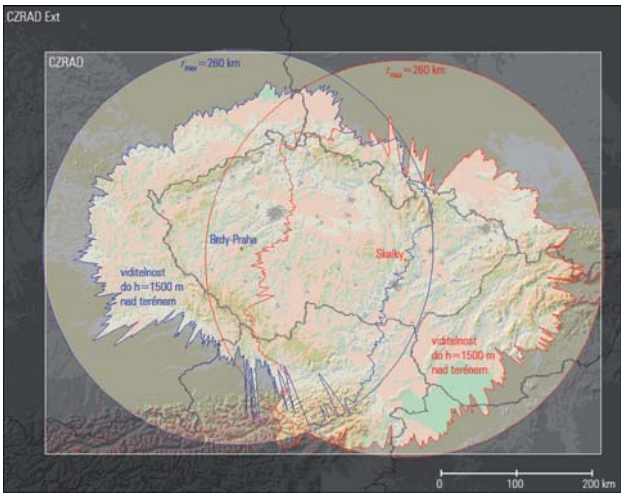
	Skalky u Protivanova	**Brdy – Praha**
Oblast	střední Morava	střední Čechy
WMO indikativ	11718	11480
Zeměpisná šířka	49° 30' 3,9" N (49,5011 N)	49° 39' 29,9" N (49,6583 N)
Zeměpisná délka	16° 47' 18,6" E (16,7885 E	13° 49' 04,1" E (13,8178 E)
Nadmořská výška	730 m	860 m
Výška antény nad mořem	767 m	916 m
V provozu	Od 1995 (modernizace 2006)	od 1999 (modernizace 2007)
Typ radaru	Gematronik METEOR-360AC	EEC DWSR-2501C
Dopplerovský mód	Ano	Ano
ANTÉNA		
Druh	parabolická	parabolická
Průměr	4,2 m	4,27 m
Šířka svazku	0,8°	0,96°
Zisk	44 dB	45 dB
Polarizace	lineární horizontální	lineární horizontální
VYSÍLAČ		
Druh	magnetronový	magnetronový
Frekvence (nastavitelná)	5600 až 5800 MHz	5500 až 5700 MHz
Frekvence (provozní – určená ČTÚ)	5652 MHz	5660 MHz
Vlnová délka (provozní)	5,31 cm	5,3 cm
Impulzní výkon (minimálně)	250 kW	250 kW
Délka pulzu	0,8; 2,0 μs	0,4; 0,8; 2,0 μs
Opakovací frekvence	250–1200 Hz	100–2126 Hz
PŘIJÍMAČ		
Typ	Gematronic MIMIC, digitální, lineární mezifrekvenční zesilovač	Sigmet RVP8, digitální, lineární mezifrekvenční zesilovač
Minimální detekovatelný signál	-109 dBm	-110 dBm
Dynamický rozsah	100 dB	80 dB
Mezifrekvence	460/60 MHz	60 MHz
Minimální detekovatelná odrazivost ve vzdálenosti 260 km	9,7 dBZ	10,6 dBZ
OPERATIVNÍ PROVOZ		
Interval měření	10 min. (5 min částečný)	10 min. (5 min částečný)
Maximální dosah	260 km	260 km
Délka pulzu	0,8 mikrosekundy	0,8 mikrosekundy
Opakovací frekvence	576 Hz, 1180 Hz, 768/1180 Hz	576 Hz, 1180 Hz, 768/1180 Hz

ném měření radarové odrazivosti při otáčení antény postupně na několika elevačních úhlech, zvolených pro optimální třírozměrné pokrytí sledované oblasti. Při definici operativního měření (výběru posloupnosti elevačních úhlů, rychlosti otáčení antény, opakovací frekvence radaru aj.) je třeba se vypořádat s dvěma hlavními uživatelskými požadavky, které jsou do jisté míry protichůdné. Na jedné straně je třeba zajistit co nejpodrobnější proměření sledované oblasti, aby bylo možné generovat co nejpřesnější produkty včetně charakteristik vertikálního profilu radarové odrazivosti. Při pomalejším otáčení antény se díky lepšímu průměrování dat dosahuje přesnějšího odhadu radiolokační odrazivosti i dopplerovských veličin (radiální rychlosti a šířky spektra). Zvětšováním počtu elevačních úhlů, použitých při objemovém snímání, se zlepšuje odhad vertikálního profilu odrazivosti a zachycení detailů prostorových polí radiolokačních charakteristik. Na druhou stranu je zde potřeba co nejvyšší aktuálnosti radarových měření, tedy co nejkratší interval obnovy a co nejrychlejší poskytnutí dat koncovým uživatelům. Výsledná definice měření objemových dat je tak kompromisem mezi těmito dvěma požadavky. Pro potřeby zabezpečení letového provozu nad územím ČR byla v roce 2003 vytvořena první optimalizace objemového snímání – tzv. prokládané snímání, rozdělující základní



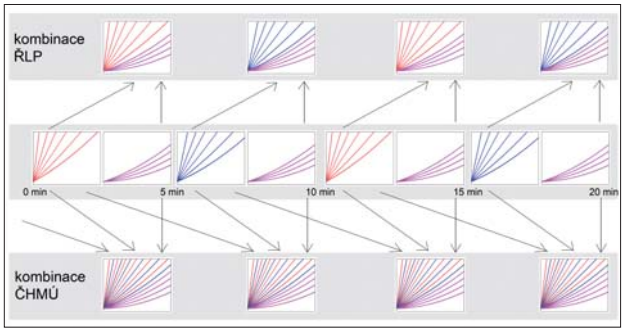
Obr. 2 Graf závislosti výšky jednotlivých měřených hladin na vzdálenosti od radaru Skalky pro operativně měřené elevační úhly. Čtyři nejnižší elevace, měřené na závěr každého pětiminutového cyklu, jsou znázorněny fialovou barvou. Červenou barvou jsou vyznačeny elevace měřené na začátku prvních pěti minut, modře elevace měřené na začátku druhých pěti minut. Šedou barvou je znázorněna šířka radarového paprsku.

Fig. 2. Range dependency of height of operationally measured elevations on Skalky radar. The 4 lowest elevations measured at the end of each 5-minute subscan are depicted by purple color. Elevations measured at the beginning of the first, resp. the second, 5-minute subscan are depicted by red, resp. blue, color. Gray color represents width of radar beam.



Obr. 1 Umístění a dosahy radarů české meteorologické radarové sítě CZRAD. Mapka ukazuje maximální dosahy meteorologických radarů ČHMÚ (kruhy) a dosahy vhodné pro určování intenzit srážek (do výšky osy paprsku 1500 m nad terénem) dle doporučení projektu COST 73 [5]. Bílý obdélník představuje oblast standardní české sloučené radarové informace, celý obrázek pak oblast rozšířené sloučené informace kam jsou doplňována měření i z blízkých cizích radarů.

Fig. 1. Positions and coverage of CHMI weather radars (CZRAD radar network). Map shows the maximum coverage of radars (circles) and coverage for precipitation estimation according to the recommendations of the project COST 73 [5] (the lowest usable beam 1500 m above ground level). White rectangle represents domain of standard Czech composite radar images, whole figure represents domain of extended Czech composite images which include also measurements of close foreign radars.



Obr. 3 Ukázka skládání výsledných objemových dat z prokládaného měření radarů v síti CZRAD. Prostřední řádek představuje časovou posloupnost měření jednotlivých elevačních úhlů (viz obr. 2), horní řádek zobrazuje způsob skládání naměřených elevací do objemových dat využívaných Řízením letového provozu ČR, spodní řádek poté kombinaci využívanou v ČHMÚ a všemi ostatními uživateli.

Fig. 3. Depiction of combination of interlaced measurement of CZRAD radars into final volume files. Middle row represents time sequence of operational measurements (as described in Fig. 2), upper row shows data combination used by Air Navigation Services of the Czech Republic and lower row show combination used by CHMI and all other users.

Tab. 2 Parametry operativního objemového měření meteorologických radarů v síti CZRAD.

Table 2. Parameters of operational volume measurement of CZRAD weather radars.

Index	Elevační úhel [°]	Délka pulzu [μs]	Opakovací frekvence [Hz]	Dosah [km]	Rozlišení délkové [km]	Rozlišení azimutální [°]	Rychlost otáčení antény [°/s]	Počet otáček za minutu	Počet průměrovaných vzorků	Maximální určitelná dopplerovská rychlost [m/s]
1	34,3	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
2	13,4	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
3	8,4	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
4	5,5	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
5	3,5	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
6	2,2	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
7	1,3	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
8	0,9	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
9	0,5	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
10	0,1	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
11	0,6	0,8	1180 / 786	120	0,5	1	15	2,5	32	31,3
12	19,2	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
13	10,3	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
14	6,8	0,8	1180	120	0,5	1	24	4	49	15,6
15	4,4	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
16	2,8	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
17	1,7	0,8	576	260	0,5	1	18	3	32	7,6
18	1,3	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
19	0,9	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
20	0,5	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6
21	0,1	0,8	576	260	0,5	1	15	2,5	38	7,6

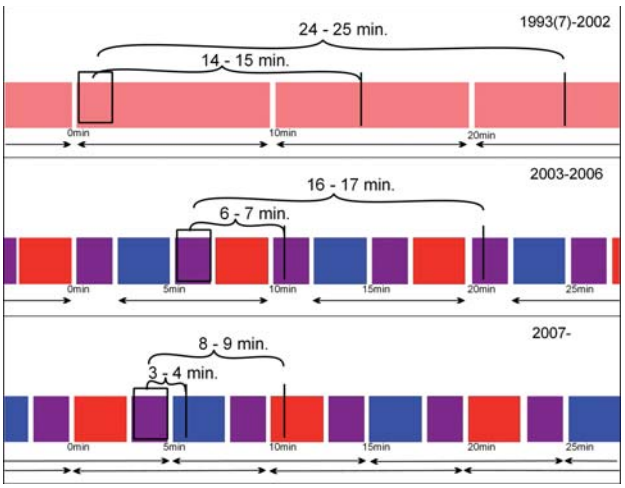
desetiminutový interval měření na dva dílčí produkty s obnovou po 5 minutách.

Definice objemového měření radarů sítě CZRAD byla optimalizována dle možností hardware radaru a řídícího i zpracovatelského softwaru. V současné době radary sítě CZRAD zpracovávají data každých 10 minut z 16 různých elevací do vzdálenosti 260 km. Pro výsledné radarové produkty jsou nejdůležitější měření na nejnižších elevačních úhlech. Pro zvýšení aktuálnosti výsledných produktů proto probíhá objemové měření „shora dolů“ (od nejvyšší k nejnižší elevaci); 4 nejnižší elevační úhly (do 1,3°) jsou navíc opakovány v obou dílčích 5minutových sériích (obr. 2). Tato definice umožňuje generovat každých 10 minut produkty z plného souboru čerstvých dat a každých 5 minut produkty z dat, která sice nejsou zcela aktualizována, ale obsahují nové informace z nejdůležitějších proměřovaných oblastí (viz obr. 3). Mezi první a druhou pětiminutovou částí standardně využívaných měření je na jedné elevaci prováděno experimentální měření optimalizované pro vyhodnocení nízkohladinového pole dopplerovských radiálních rychlostí (elevace s indexem 11 v tab. 2). Definice tohoto měření se bude zřejmě v nejbližší době ještě upravovat. Celé objemové měření trvá ca 9 minut, poslední minuta je ponechána pro servisní účely (měření úrovně šumu,…). Parametry definice aktuálního objemového měření jsou shrnuty v tab. 2. Tabulka neobsahuje definici vymazávání pozemních cílů. U obou radarů je prováděno pomocí dopplerovského filtru (odstranění dat odrazivosti s radiální rychlostí blízkou nule), detailní definice se u jednotlivých radarů liší z důvodu odlišné implementace signálového zpracování a též rozdílného zatížení radarových stanovišť pozemními odrazy. Obecně však platí, že nejsilnější filtr je použit u nejnižších elevací. U vyšších elevací je použit filtr slabší, s užším pásmem potlačení nízkých dopplerovských rychlostí, odpovídajících pozemním odrazům.

Aktuálnost radarových produktů pro koncové uživatele byla dále zlepšena zrychlením a zvýšením kapacity přenosových tras mezi radary a centrem v Praze-Libuši a optimalizací zpracovatelského software. Díky těmto vylepšením jsou v současnosti radarové produkty dostupné v první minutě po nominálním konci měření. Data z nejdůležitějších proměřovaných oblastí jsou tak ve chvíli doručení koncovému uživateli stará ca 3–4 minuty. S těmito daty poté uživatel pracuje v následujících 5 minutách, než proběhne následující měření; na konci tohoto období jsou rozhodující data stará ca 8–9 minut. Pro srovnání, do roku 2002 uživatelé pracovali s daty starými ca 14 až 25 minut.

4. ZPRACOVÁNÍ A PREZENTACE RADAROVÝCH DAT

Pro monitoring a řízení radarů a pro snímání surových naměřených dat je využíván software dodaný výrobci radarů, pro další zpracování uživatelských produktů ze surových radarových dat však není tento dodavatelský software dosta-



Obr. 4 Vývoj definice objemového měření CZRAD a aktuálnost radarových produktů pro koncové uživatele. Horní část představuje definici měření do roku 2002, kdy byla každých deset minut měřena posloupnost dvaceti elevací, postupně od nejnižších po nejvyšší. Prostřední část zobrazuje definici prokládaného snímání v letech 2003–2006, kdy došlo k rozdělení plného objemového měření na dvě části, stále se ale měřilo od nízkých k vysokým elevacím. Spodní část zobrazuje definici měření zavedenou v roce 2007, kdy došlo k obrácení pořadí měření od vysokých k nízkým elevacím. Barevné boxy ve střední a dolní části odpovídají barevnému označení elevací na obr. 2. Časové údaje označují aktuálnost dat z nejdůležitějších proměřovaných oblastí v okamžiku dostupnosti pro koncové uživatele, a dále ve chvíli, kdy je k dispozici další nové měření.

Fig. 4. Time development of definition of CZRAD volume measurement and latency of radar data for users. Upper part shows measurement definition up to 2002, when every 10 minutes sequence of 20 elevations was measured from the lowest to the highest one. Middle part shows measurement definition from 2003–2006, when main scan was divided into 2 subscans, where elevations were still measured from the lowest to the highest one. Lower part shows measurement definition introduced in 2007, when elevations are measured from the highest to the lowest one. Color boxes in middle and lower parts corresponds to the colors of elevations in Fig. 2. Time information indicates latency of the most important part of radar data for users.

tečně flexibilní. Naměřená objemová data jsou proto ještě na radarových stanicích konvertována do interního formátu (definovaného v ČHMÚ a společného pro oba radary) a odeslána do centra v Praze-Libuši k dalšímu zpracování. Ke zpracování surových radarových dat se využívá softwarový balík RVD/RPD vyvinutý v radarovém oddělení ČHMÚ. Tento softwarový balík umožňuje kombinaci dat naměřených na jednotlivých elevacích tak, aby byl v intervalu 5 min. k dispozici plný soubor dat. Zároveň zajišťuje dostatečnou flexibilitu při generování produktů podle specifických požadavků uživatelů (algoritmy výpočtu, korekce chyb radarových měření, datové a prostorové rozlišení, geografická projekce a oblast) a jednotné zpracování dat z obou radarů. Objemová data jsou nejprve převedena ze sférických do kartézských souřadnic ve zvolené geografické projekci a následně jsou generovány dvojrozměrné uživatelské produkty (PPI, CAPPI, MAX-3D, Echo top, VIL, VPR). Dvojrozměrné produkty z jednotlivých radarů jsou dále kombinovány do výsledné sloučené radarové informace, z níž jsou dále počítány radarové odhady srážek za určité časové období (1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, ...) [16, 17] a extrapolační předpovědi budoucího rozložení radarového echa [18, 19, 20].

Starší způsob vizualizace radarových dat, užívající v 90. letech speciální software, který musel být nainstalován na uživatelský počítač a kterému bylo třeba zasílat aktuální data, byl postupně nahrazen webovým přístupem. V současnosti jsou radarové produkty nahrávány na webový server, k vizualizaci pak slouží aplikace JSMeteoView (tzv. tenký klient), využívající technologie dynamického HTML, Javascriptu a PHP. Tuto aplikaci si koncový uživatel nahraje ze serveru spolu s radarovými daty pomocí běžného webového prohlížeče (např. Mozilla Firefox, Opera, Microsoft Internet Explorer), nezávisle na používaném operačním systému (Microsoft Windows, LINUX/UNIX, MAC OS). Tento způsob vizualizace dat urychluje přístup k radarovým datům a díky zabudovaným základním GIS funkcím (výpočet a zobrazování polohy, překreslovaní vrstev s geografickými informacemi, přibližování části obrazu) umožňuje i přesnou geografickou lokalizaci detekovaných jevů.

V plné konfiguraci umožňuje aplikace JSMeteoView též kombinaci zobrazení radarové odrazivosti s dalšími meteorologickými daty (snímky z družice MSG, bodová data detekce blesků, předpovědní pole z NWP LAM ALADIN, přízemní pozorování SYNOP), přinášející meteorologům komplexnější obraz o dějích odehrávajících se v atmosféře (obr. 5).

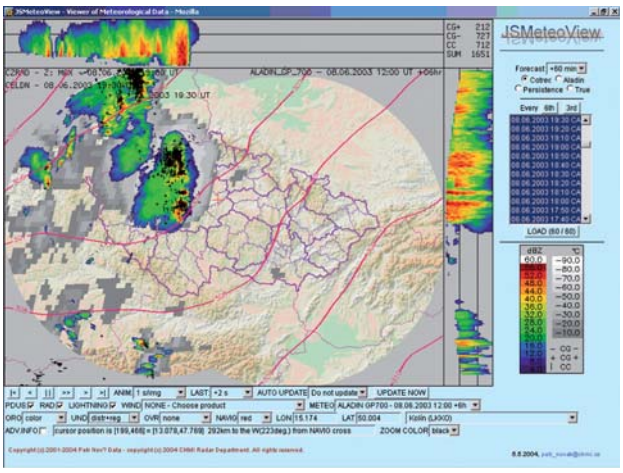
Aplikace JSMeteoView slouží jako primární nástroj pro vizualizaci radarových dat v ČHMÚ i pro některé externí uživatele. Zjednodušená verze této aplikace je k dispozici i na veřejných internetových stránkách ČHMÚ pro širokou veřejnost.

5. MEZINÁRODNÍ VÝMĚNA RADAROVÝCH DAT

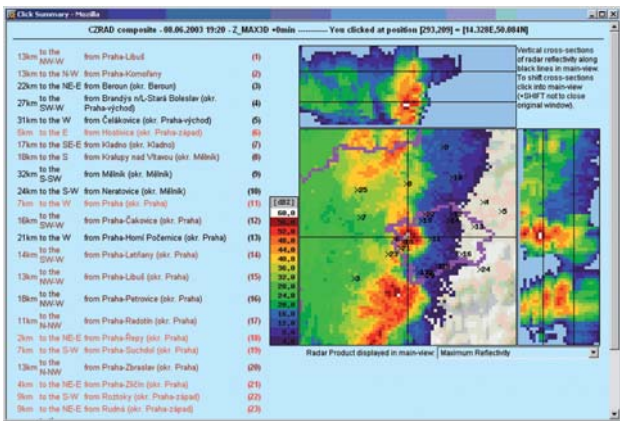
Přestože síť CZRAD pokrývá měřením celé území ČR i jejího blízkého okolí, jsou radarové informace z okolních zemí neocenitelným doplňkem národní radarové informace, kdy rozšiřují zobrazovanou oblast, což je užitečné zejména pro předpovědní pracoviště ke zkvalitnění analýzy meteorologické situace, tvorby výstrah a velmi krátkodobých předpovědí. Data z blízkých zahraničních radarů mohou též poskytovat záložní informace v případě výpadku českých radarů, navíc zejména v zimním období mohou zpřesňovat česká radarová měření v pohraničních oblastech, kde v důsledku zakřivení zemského povrchu již nejsou viditelné spodní partie atmosféry a vertikálně málo mohutná srážková oblačnost tak může být významně podceňována nebo dokonce zcela nezaznamenána. Vzhledem k typickému reliéfu ČR s pohraničními horami je však často pokrytí zahraničními meteoradary poněkud omezené (týká se např. polských meteoradarů). Dalším omezením dat ze zahraničních radarů v operativním provozu je jejich ca 5–15 minutové zpoždění, které vzniká během zpracování a přenosu mezi meteorologickými službami.

Přednosti mezinárodní výměny meteoradarových dat jsou v Evropě široce využívány, od pokusné západoevropské sloučené informace COST-73 z 80. let, přes široký rozvoj bilaterálních výměn radarových dat, který nastal v 90. letech po vyřešení problému jednotného formátu vyměňovaných dat (kód WMO FM-94 BUFR) a distribucí dat (síť WMO – GTS). Od roku 1999 je koordinace mezinárodní výměny radarových dat zastřešena programem OPERA [21] organizace EUMETNET (sdružení evropských meteorologických služeb, zajišťující spolupráci v základních meteorologických aktivitách). Těchto aktivit se ČHMÚ účastní od první poloviny 90. let, přestože není přímo členem EUMETNET.

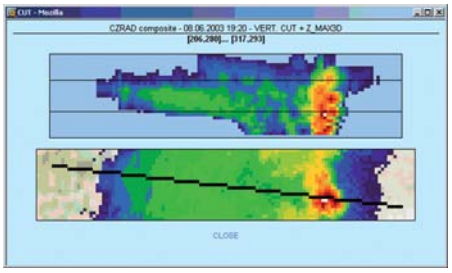
Od 90. let je v ČHMÚ přijímána středoevropská sloučená radiolokační informace CERAD, vytvářená ve Vídni ve spolupráci ZAMG a Technické univerzity Graz. Četnost obno-



(a)



(b)



(c)

Obr. 5 Ukázka vizualizace sloučené radarové informace v aplikaci JSMeteoView: (a) kombinace maximální radarové odrazivosti (barevná škála), teplotního kanálu z družice Meteosat (odstíny šedi), dat detekce blesků (černé symboly) a předpovědi pole geopotenciálních výšek hladiny 700 hPa numerického modelu ALADIN, (b) zvětšený výřez bouře s přesnou geografickou lokalizací, (c) volně definovaný řez konvektivní bouří.

Fig. 5. Example of visualization of composite radar information in JSMeteoView application: (a) combination of maximum radar reflectivity (color scale), thermal IR channel from Meteosat satellite (gray scale), lightning locations (black symbols) and forecasted field of geopotential of 700 hPa by NWP model ALADIN, (b) zoom of convective storm with precise geographical localization, (c) freely defined cross-section of convective storm.

Tab. 3 Roční dostupnost dat meteorologických radarů v síti CZRAD.

Table 3. Annual data availability of CZRAD weather radars.

Rok	Radar Skalky – roční dostupnost [%], poznámky		Radar Brdy – roční dostupnost [%], poznámky	
2000	94,7	nestabilita vysílače	92,1	dokončování instalace
2001	97,2		96,9	
2002	99,2		92,4	anténní mechanika
2003	97,8		95,2	
2004	95,4	ložisko mechaniky antény	99,5	
2006	90,9	modernizace	95,0	filtr ve vysílači
2007	98,8		92,9	modernizace

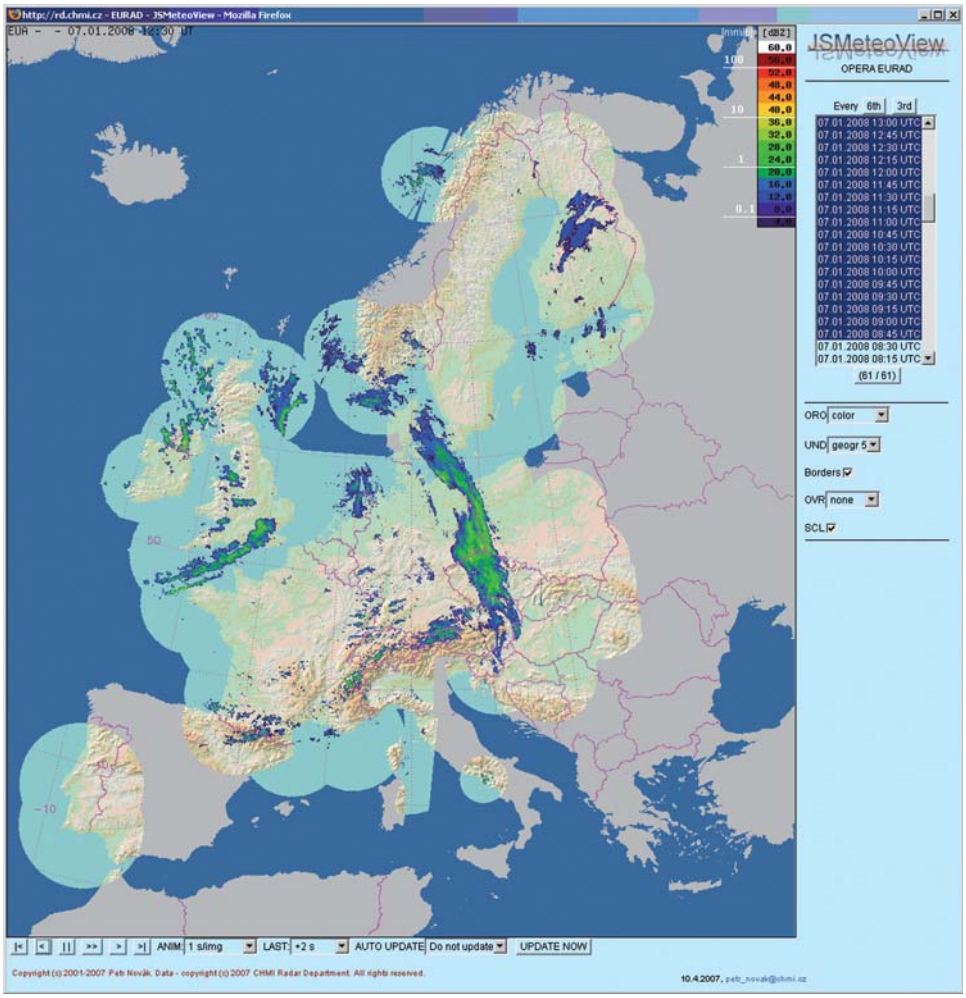
vy dat CERAD byla zvýšena ze 30 na 15 minut, avšak již není dále vyvíjena; chybějící novější radarová data (z Polska a Slovenska) jsou do sloučené informace CERAD doplňována až v ČHMÚ. Pro potřeby ČHMÚ jsou od konce 90. let přijímána data z okolních radarů v kódu BUFR, z nichž je generována rozšířená radarová informace pokrývající ČR a okolí. V posledních dvou letech je navíc z experimentálního evropského radarového centra, které vzniklo v rámci programu OPERA, přijímána celoevropská sloučená radarová informace (obr. 6), která je v ČHMÚ dekódována a převedena do standardního obrazového formátu.

Mezinárodní výměna meteoradarových dat je zatím v praxi omezována kapacitou linek Globálního telekomunikačního systému WMO na dvojrozměrné obrazové produkty radiolokační odrazivosti (interpretované jako přízemní intenzity srážek). Dosud neexistuje pravidelná výměna objemových meteoradarových dat; datové přenosy přinášejí zřetelné zpoždění oproti národním kompozitům. Ačkoliv pokračující standardizace v rámci programu OPERA přinesla mj. dílčí vodítka pro kvalitu dat a napomohla lepší mezinárodní srovnatelnosti dat, nelze ani v nejbližších letech uvažovat o možnosti přímé zastupitelnosti mezi národními a zahraničními meteoradarovými daty pro operativní potřeby.

6. PROVOZNÍ ZABEZPEČENÍ SÍTĚ CZRAD

Po technické stránce zabezpečuje provoz meteoradarové sítě pracoviště ČHMÚ – ODMI Praha-Libuš, které je také garantem metodiky měření. Zásadní otázky provozu sítě jsou pravidelně konzultovány se zainteresovanými složkami Armády ČR i dalšími klíčovými uživateli meteoradarových dat. Funkčnost radarů je v nepřetržitém provozu dohlížena provozním personálem aerologické a synoptické stanice Praha-Libuš. Základní monitoring funkce dodávky dat je v současnosti částečně automatizován (generování výstražných e-mailů a SMS zpráv při přerušení dodávky dat apod.).

I přes značnou složitost a heterogennost meteoradarové sítě (dva typy radarů od různých výrobců, vlastní zpracovatelský software, bezobslužný provoz systému aj.) je dosahováno velmi dobrých dostupností dat ca 97 %. Statistika ročních dostupností dat z radarů sítě CZRAD je shrnuta v tab. 3



Obr. 6 Ukázka experimentální sloučené evropské radarové informace programu EUMETNET OPERA, vizualizace ČHMÚ.

Fig. 6. Example of experimental European radar composite image generated by EUMETNET OPERA demonstration data hub, visualization by ČHMÚ.

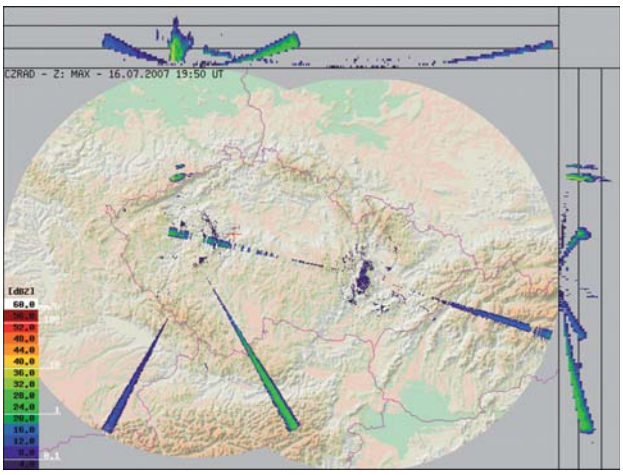
společně s poznámkami o důvodech hlavních výpadků dat. Dlouhodobější výpadky byly zaznamenány při modernizaci radarů a dále v několika případech, kdy bylo třeba čekat na dodání náhradního dílu od výrobce. V roce 2006 je třeba část výpadků též připsat na vrub implementaci dodatkových filtrů do vlnovodných tras obou radarů, prováděné firmou RETIA, a. s. Tyto dodatkové filtry eliminují parazitní vyzařování radarů sítě CZRAD v pásmu 6 a 11 GHz, které rušilo provoz směrových spojů telekomunikačních operátorů.

7. HROZBY PRO RADAROVÁ MĚŘENÍ

Meteorologické radary jsou velmi citlivá zařízení, která musí být schopna detekovat vysokofrekvenční signály o nejnižších technicky měřitelných výkonových úrovních. Zachycení odrazů od srážkové oblačnosti vzdálené stovky km je možné jen díky velkému zisku antény a zesílení přijatého signálu před dalším zpracováním. Pokud nějaké zařízení vysílá na stejné frekvenci jako meteorologický radar, je schopno rušit meteorologická radarové měření i při nízkých vlastních vysílacích výkonech. V uplynulých několika letech jsou na radarových snímcích pozorovatelné výseče rušivých falešných cílů, paprskovitě se rozbíhající z bodu umístění radaru, viz obr. 7. Intenzita těchto falešných cílů často měření od měření kolísá, někdy i mizí. Zdrojem těchto rušení jsou zařízení RLAN (radioreléové spoje) pracující v pásmu 5 GHz, využívané poskytovateli bezdrátového internetového připojení i ostatními nadšenci z řad internetové komunity. Tato zařízení jsou v ČR provozována legálně na základě všeobecného oprávnění Českého telekomunikačního úřadu (ČTÚ) č. VO-R/12/05.2007-6 a VO-R/12/08.2005-34. Přestože tato zařízení vysílají pouze na nízkých výkonech a v rozprostřeném kmitočtovém pásmu, vzhledem k velké citlivosti meteorologických radarů mohou být zdrojem rušení. Někteří provozovatelé navíc vypínají v těchto zařízeních algoritmus detekce radarového signálu, který je schopen používání radarové frekvence blokovat a vyhnout se jí. Podle Zákona o elektronických komunikacích č. 127/2005 Sb., § 100, však nesmí tato zařízení radarovým měřením vadit, a pokud ano, jsou rušitelé povinni rušení zabránit, popř. zastavit jejich provoz. Toho však nelze jednoduše dosáhnout, na území ČR je dnes až několik tisíc takových vysílačů, z nichž pouze jenom několik desítek občas nebo systematicky ruší radarová měření. Protože provozovatelé těchto zařízení nemají ze zákona povinnost se registrovat, nezná nikdo jejich polohu ani majitele a jejich lokalizace technickými prostředky ČTÚ je velmi složitá. Do budoucna je na evropské úrovni připravována zvýšená ochrana dílčího frekvenčního pásma 5600–5650 MHz. Z tohoto důvodu se předpokládá, po dohodě s ČTÚ, příslušné přeladění našich radarů.

V celosvětovém měřítku roste tlak na intenzivnější využívání frekvenčního spektra pro komunikační potřeby. Meteorologická radiolokace je potenciálně ohrožována i dalšími zdroji signálů v pásmu centimetrových vln. Konkrétním příkladem potenciálního zdroje rušení je plánovaná instalace amerického protiraketového radaru EBR v Brdech. Zamýšlená poloha plánovaného radaru je jen jednotky kilometrů od meteorologického radaru umístěného na kótě Praha v Brdech. V současnosti stále probíhají konzultace s cílem vzájemné ovlivnění obou zařízení vyloučit.

Celoevropskou hrozbou pro meteorologická radarová měření jsou větrné elektrárny, kterých je v současnosti v rámci podpory obnovitelných energetických zdrojů („zelené“ energie) budováno velké množství. Větrné elektrárny jsou často



Obr. 7 Ukázka rušení radarových měření (úzké radiální výseče) radioreléovými spoji pracujícími v pásmu 5 GHz.

Fig. 7. Example of disturbance of radar measurements (thin sectors) cause by RLAN communication devices working in 5 GHz band.

s ohledem na zajištění dostatečné četnosti výskytu silnějšího větru budovány na vyvýšených stanovištích, jaká bývají vhodná i pro umístění meteorologických radarů [5]. Pokud je větrná elektrárna postavena v blízkosti jednotek či několika málo desítek kilometrů na místě opticky (a tedy i radiově) viditelném z meteorologického radaru, může představovat problém pro radarová měření. Větrná elektrárna působí jednak jako překážka v radarovém horizontu, za kterou se vytváří radiový stín, jednak v místě elektrárny vzniká neodfiltrovatelný falešný odraz a vzhledem k otáčení vrtule jsou znehodnocena i měření dopplerovských radiálních rychlostí. Problémy narůstají s koncentrací elektráren do tzv. farem na jednom místě. V některých evropských zemích jsou větrné elektrárny již vážným problémem pro radarová měření a došlo již i k nucenému přemístění meteorologického radaru z důvodu výstavby farem větrných elektráren v jeho okolí. V ČR je takto ohrožován zejména radar Skalky, poloha radaru Brdy je díky umístění ve vojenském prostoru v tomto ohledu výhodnější.

Kvalita meteoradarových dat závisí na radiohorizontu, neboť pro měření ve velkých vzdálenostech jsou potřebné elevační úhly okolo 0°. Negativně se může projevit okolní výstavba (např. věží GSM vysílačů) nebo nárůst okolního porostu. V bezprostředním okolí meteoradarů jsou stanovena ochranná pásma, která by měla regulovat okolní zástavbu. V posledních letech se ve spolupráci s lesním závodem podařilo vytipovat a postupně nechat pokácet většinu z blízkých stromů, které způsobovaly dílčí zastínění ve východních směrech od radaru Skalky.

8. ZÁVĚR

Česká meteorologická radarová síť CZRAD je moderní síť poskytující data na zcela srovnatelné evropské úrovni. Měření meteorologických radarů jsou důležitá nejen pro operativní meteorologii a hydrologii, ale i pro mnoho dalších uživatelů. Speciálně navržená definice objemového měření umožňuje rychlou aktualizaci dat při zachování jejich dostatečně detailního prostorového rozlišení. Vývoj vlastních zpracovatelských a vizualizačních nástrojů zajišťuje flexibilitu při plnění různorodých uživatelských požadavků. Meteorologické radary jsou v současnosti ohrožovány několika vlivy, které znehodnocují nebo mohou potenciálně znehodnocovat jejich měření.

Literatura

[1] STRACHOTA, J., 1981. Využití meteorologického radiolokátoru TESLA RM-2 při zajišťování požadavků uživatelů meteorologických radiolokačních informací. *Meteorologické Zprávy*, roč. **34**, č. 1, s. 4–8.

[2] STRACHOTA, J., 1983. Lokalizace a identifikace nebezpečných letních konvektivních jevů meteorologickým radiolokátorem MRL-2. *Meteorologické Zprávy*, roč. **36**, s. 147–157.

[3] STRACHOTA, J., 1985. Radiolokační měření srážek pro hydrologické účely. *Meteorologické Zprávy*, roč. **38**, s. 137 až 140.

[4] KRÁČMAR, J.,1995. Automatizace radaru MRL-5 v provozu Českého hydrometeorologického ústavu. *Meteorologické Zprávy*, roč. **48**, s. 37–44.

[5] KRÁČMAR, J., 1994. Radiohorizonty a výskyt pozemních cílů pro radiolokační síť ČR. *Meteorologické Zprávy*, roč. **47**, s. 163–171.

[6] HAVRÁNEK, P. – KRÁČMAR, J., 1996. Nová meteorologická radiolokační stanice na střední Moravě. *Meteorologické Zprávy*, roč. **49**, s. 81–84.

[7] KRÁČMAR, J., 2000. Nový meteorologický radar Brdy v síti CZRAD. *Meteorologické Zprávy*, roč. **53**, s. 161 až 168.

[8] ŠÁLEK, M. – KRÁČMAR, J. – NOVÁK, P. – SETVÁK, M., 1997: Využití distančních metod při povodňových událostech v červenci 1997. *Meteorologické Zprávy*, roč. **50**, s. 177–178.

[9] ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P. – KRÁČMAR, J., 2002. Využití metod dálkové detekce během povodní v České republice v srpnu roku 2002. *Meteorologické Zprávy*, roč. **55**, s. 177–179.

[10] SETVÁK, M. – NOVÁK, P. – ŠÁLEK, M., 2004. Tornáda 31. května 2001 na území ČR. *Meteorologické Zprávy*, roč. **57**, s. 101–112.

[11] ŘEZÁČOVÁ, D. – SOKOL, Z. – PEŠICE, P., 2007. A radar-based verification of precipitation forecast for local convective storms. *Atmospheric Research*, Vol. **83**, s. 211–224.

[12] SOKOL, Z. – ŘEZÁČOVÁ, D., 2006. Assimilation of radar reflectivity into the LM COSMO model with a high horizontál resolution. *Meteorological Applied*, Vol. **13**, s. 1–14.

[13] Stránky radarového oddělení ČHMÚ. Dostupné na: <http://www.chmi.cz/meteo/rad/>

[14] Mapový webserver. Dostupné na: <http://www.mapy.cz/>

[15] Mapový webserver. Dostupné na: <http://www.amapy.cz/ >

[16] ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P. – SEO, D-J., 2004. Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. *ERAD publication series*, **2**, ISBN 3-936586-29, 16–20.

[17] ZACHAROV, P. – ŠÁLEK, M. – NOVÁK, P., 2004. Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření pro odhad srážek. *Meteorologické Zprávy*, roč. **55**, s. 157–167

[18] NOVÁK, P., 2007. The Czech Hydrometeorological Institute's Severe Storm Nowcasting System. *Atmospheric Research*, Vol. **83**, s. 450–457.

[19] NOVÁK, P. – FROLÍK, P. – BŘEZKOVÁ, L., 2007. Nowcasting srážek pomocí extrapolace radarového echa. *Meteorologické Zprávy*, roč. **60**, s. 147–152.

[20] KYZNAROVÁ, H. – NOVÁK, P., 2008. Využití radarových měření pro identifikaci a předpověď pohybu konvekčních bouří. *Meteorologické Zprávy*, roč. **61**, s.14–19.

[21] Program EUMETNET-OPERA. Dostupné na: <http://-www.knmi.nl/opera/>

Lektor (Reviewer) RNDr. J. Strachota.

NOVÁ METODA OPERATIVNÍHO VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHOVÝCH ZÁSOB VLÁHY V PŮDĚ V ZÁVISLOSTI NA POČASÍ

Ivan Kott, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany,
e-mail: kott@chmi.cz
Jaroslav Valter, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany,
e-mail: valter@chmi.cz

A new method of operational estimation of soil moisture in the shallow sub-surface layers of soil in dependence on the weather. Estimation of soil moisture in the shallow sub-surface layers of soil is one of typical tasks in operational agrometeorology, where state of weather plays a dominant role. This article describes a new progress in development of the method named „BASET“ that has been already practiced during last 10 years in CHMI. There are some reports describing a few older versions of the method. Now, we provide its updated and more complete description, including some tests of accuracy based on comparison with data measured by soil hygrometers in the network of CHMI.

KLÍČOVÁ SLOVA: vlhkost půdní – bilance vodní – meteorologie zemědělská – deficit vodní
KEY WORDS: soil moisture – water balance – agricultural meteorology – water deficit

1. ÚVOD

Model BASET (Bilance atmosférických srážek a evapotranspirace) jako prostředek odhadu aktuální vlhkosti zemědělské (nelesní) půdy je logicky spřízněn s řadou jiných nástrojů tohoto typu [8, 19]. Ve své verzi pro standardní trávník je denně využíván v rámci operativních agrometeorologických služeb ČHMÚ na pracovišti v Praze, přičemž provozní výpočty se týkají svrchní půdní vrstvy 0 až 20 cm. Omezení modelu na uvedenou vrstvu půdy je záměrné – při důrazu na operativnost modelu akcentujeme skutečnost, že je to vrstva, v níž změny vlhkosti probíhají v nejtěsnější vazbě na atmosférické děje a mívají také největší dynamiku. Objektivně omezující věcí je skutečnost, že mělké půdy zejména v podhorských a horských oblastech větších hloubek často ani nedosahují. Nicméně je k dispozici rovněž verze modelu pracující s hlubšími vrstvami půdy (až 30 cm).

K provozování modelu je zapotřebí denních hodnot následujících meteorologických prvků: teplota a vlhkost vzduchu (2 m), sluneční svit, rychlost větru a atmosférické srážky. Model využívá také výšku sněhové pokrývky, přízemní teplotu vzduchu a teplotu půdy v hloubce 5 cm, ovšem jen pro rozhodování o přepnutí výpočtu na jeho zimní verzi. Pomocným prvkem je vlastně i sluneční svit, který slouží pro odhad globálního záření.

Akvizice těchto dat je založena na programem řízeném výpisu z databáze zpráv INTER, která je udržována operativním výpočetním centrem ČHMÚ. Příprava vstupních souborů zahrnuje i doplňování chybějících dat a kontrolu věcné správnosti dat před výpočtem. V blízké perspektivě pravděpodobně dojde k přechodu na využívání moderní klimatologické databáze ORACLE – CLIDATA. Současné zpoždění denních výstupů modelu za reálným časem (nyní ca 5 h) se sice asi nepodaří zmenšit, předpokládáme však snížení pracnosti přípravné fáze, neboť bude možno zrušit zmíněné přípravné akce se vstupními daty.

2. ODHAD POTENCIÁLNÍ EVAPOTRANSPIRACE

Penmanova rovnice pro odhad potenciální evapotranspirace (E_p) má základní tvar

$$E_p = (\Delta/\gamma \,.\, H_T + E_{AT})/(\Delta/\gamma + 1)\,. \qquad (1)$$

Je to částečně empirický vztah obsahující deterministické komponenty, který byl původně publikován v [12]. Tento vztah umožňuje odhadnout potenciální evapotranspiraci jakožto funkci čtyř meteorologických prvků, a to radiační bilance (“net radiation”) H_T, teploty vzduchu T_M, parciálního tlaku (napětí) vodní páry e_d a rychlosti větru w, vesměs ve výšce 2 m nad zemí. Výraz γ je psychrometrická konstanta (zhruba 0.66). Vliv teploty vzduchu na výpar je zahrnut do výrazu

$$\Delta = (5157 \,.\, 6{,}108/(T_M + 273{,}16)^2) \,.\, \exp(19{,}81 \,.\, T_M/(T_M + 273{,}16))\,, \qquad (2)$$

což jest bezrozměrná veličina – sklon křivky napětí vodní páry v nasyceném vzduchu v závislosti na teplotě T_M, a dále i do výpočtu hodnoty tohoto „nasyceného“ napětí při dané teplotě T_M (Clausiova-Clappeyronova rovnice)

$$e_a = 6{,}108 \,.\, \exp(19{,}81 \,.\, T_M/(T_M + 273{,}16))\,, \qquad (3)$$

kde konstanta 5157 je koeficient úměrnosti; konstanta 6,108 je tlak vodní páry při $T_M = 0$; konstanta 19,81 je dána výrazem $L/(R_p \,.\, 273{,}16)$, kde L je latentní teplo vypařování při 0 °C a R_p je měrná plynová konstanta pro vodní páru.

Člen E_{AT}, tzv. výsušná síla atmosféry [13], vyjadřuje kombinovaný vliv rychlosti větru *(w)* a sytostního doplňku ($e_a - e_d$) na výpar:

$$E_{AT} = (0{,}35 + 0{,}123 \,.\, w) \,.\, (e_a - e_d)\,. \qquad (4)$$

Radiační bilance H_T se vyhodnocuje jako rozdíl mezi globálním zářením R_i a dlouhovlnným (zpětným) zářením zemského povrchu R_b:

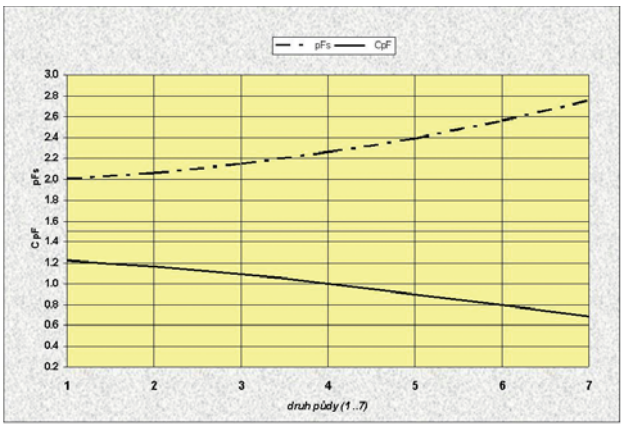
$$H_T = R_i \,.\, (1 - a_s) - R_b\,. \qquad (5)$$

Globální záření je určováno měřením, zatímco dlouhovlnné záření zemského povrchu je dáno Stefan-Boltzmannovým zákonem:

$$\mathrm{Rb} = \sigma\,(T_M + 273{,}16)^4 \,.\, (0{,}56 - 0{,}092 \,.\, \sqrt{(e_d)}) \,.\, (0{,}1 + 0{,}9 \,.\, s/L_D)\,, \qquad (6)$$

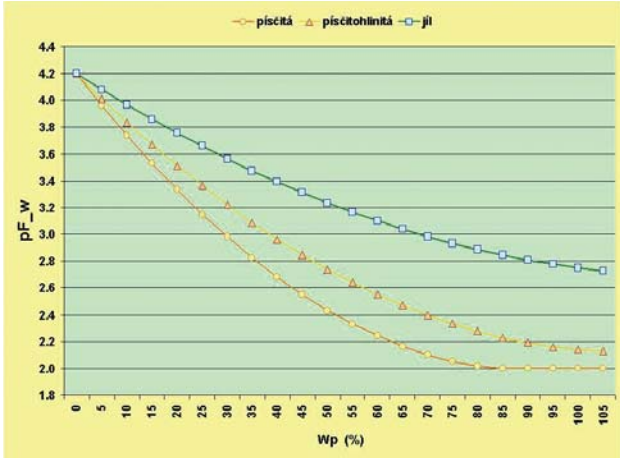
kde σ je Stefan-Boltzmannova konstanta ($2{,}02 \,.\, 10^{-9}$ mm den^{-1}), s je denní počet hodin se slunečním svitem, a_s je celková odrazivost povrchu země (vodní hladina, holá půda, trávník atd.), tzv. albedo.

Odrazivost a_s je v podstatě poměr určující jak velká část globálního záření je odrážena. Jeho hodnota záleží silně na druhu povrchu a jeho okamžitých stavech. I když model pracuje především se zelenými povrchy, běží nicméně celoročně a je proto uzpůsoben výskytu sněhové pokrývky,



Obr. 1 Logaritmus savého tlaku nasycené půdy pF_s jako funkce druhu půdy podle zrnitosti (horní křivka) a z něj odvozený koeficient C_{pF} upravující potenciální evapotranspiraci podle druhu půdy (dolní křivka).

Fig. 1. Logarithm of the suction pressure of saturated soil pF_s as a function of the soil type according to the grain (upper curve) and derived coefficient C_{pF} regulating potential evapotranspiration according to the soil type (lower curve).



Obr. 2 Sací tlak půdy v závislosti na stupni nasycení půdy vodou. pF_w – dekadický logaritmus savého tlaku půdy o vlhkosti w; W_p – vlhkost půdy vyjádřená jako procento využitelné vodní kapacity půdy;

Fig. 2. The suction pressure of the soil in the dependence on the level of soil saturation with water. pF_w – decadical logarithm of the suction soil pressure with moisture w; W_p – soil moisture expressed as a percentage of usable water capacity of soil.

vodní hladiny, ledu a holé půdy. Pro holou zkypřenou půdu je $a_s = 0{,}13$, pro vodu v jezerech 0,05, pro led 0,35, pro sníh 0,65, pro krátkou svěží trávu 0,25 (jde vesměs o průměrné hodnoty).

Výskyt jednotlivých druhů těchto povrchů se v modelu rozpoznává podle meteorologických dat. Volba odrazivosti podle druhu povrchu je v modelu založena na kombinacích hodnot sněhové pokrývky, přízemní teploty vzduchu a teploty půdy, které jsou charakteristické pro zimní či vegetační podmínky.

V praxi se globální záření měří jen na omezeném počtu klimatologických stanic. K jeho odhadu se proto používá některého z ověřených empirických vztahů, nejčastěji tzv. Angströmovy rovnice [5, 14, 16, 18], založené na regresi globálního záření vůči trvání slunečního svitu, které je měřeno mnohem častěji:

$$R_i = R_a \,.\, (0{,}18 + 0{,}55 \,.\, s/L_D)\,, \qquad (7)$$

kde R_a je záření dopadající na horní povrch atmosféry kolmo na směr šíření, přičemž platí, že

$$R_a = 10 + 6{,}77 \,.\, \sin(0{,}986 \,.\, (n_d - 81) \,.\, \pi/180)\,; \qquad (8)$$

L_D je astronomicky možná délka dne v hodinách, odhadovaná obvykle výrazem

$$L_D = 12{,}2 + 4 \,.\, \sin(0{,}986 \,.\, (n_d - 81) \,.\, \pi/180)\,, \qquad (9)$$

kde n_d je pořadové číslo dne v roce. Fyzikální rozměr globálního záření (a také veličin R_i, R_a) při tomto výpočtu je z praktických důvodů mm H_2O . den^{-1}.

U rostlin, kde vypařujícím povrchem je obvykle zelený list, je třeba vedle specifikace odrazivosti zvážit také fakt, že jde o prostorově strukturovanou mozaiku elementárních plošek, která se navíc vyznačuje tím, že se vyvíjí v rámci vegetačního období, tj. zpočátku roste až do sezonního maxima a později se naopak začne snižovat v souvislosti se zráním a stárnutím. Toho lze docílit zavedením funkce růstu listové plochy, přičemž je výhodné respektovat úzkou souvislost mezi stupněm fenologického vývoje rostliny a velikosti plochy listů:

$$A_L = f(D)\,,$$

kde A_L je velikost listové plochy realizovaná nad jednotkou plochy pozemku (tzv. index listové plochy) a D je dosažený stupeň vývoje. Stupeň vývoje je kvalitativní veličina, kterou je nicméně možno kvantifikovat, např. očíslováním po sobě jdoucích stadií vývoje. Tyto kvantifikátory jsou v literatuře známy jako fenologické stupnice [11]. Potom je možno odhadovat stupeň vývoje D pomocí vhodného teplotního modelu, např. $D = f(T_s)$, kde T_s je suma teplot vzduchu od počátku vegetace do okamžiku hodnocení [13]. Podrobnější výklad těchto postupů by však přesáhl téma tohoto článku – zde se soustředíme především na evapotranspiraci z tzv. standardního trávníku, což je konvenčně předpokládaný, idealizovaný porost, který neroste a má konstantní velikost listové plochy a také konstantní odrazivost [3, 4] . Technicky jde o trávník udržovaný sečením na víceméně konstantní výšce porostu kolem 10 cm. V modelu konkrétně předpokládáme, že $A_L = 2{,}9$ a $a_s = 0{,}25$.

3. ODHAD SKUTEČNÉ EVAPOTRANSPIRACE

3.1 Oprava potenciální evapotranspirace podle savého tlaku půdy

V logice Penmanova vztahu není místo pro uvážení skutečnosti, že voda pro výpar je v půdě vázána různými silami, jejichž velikost – velmi zjednodušeně řečeno – závisí především na minerálním složení (chemismu) půd a také na jejich fyzikální struktuře (hlavně na střední velikosti částic a diametru kapilárních prostorů). Půdy jsou v tomto smyslu ovšem vzájemně velmi odlišné.

Podstatné je, že síly potřebné k odpaření jednotkového objemu vody jsou tím vyšší, čím vyšší je sací tlak půdy. Ten se podle zavedené konvence vyjadřuje pomocí veličiny pF, což je dekadický logaritmus sacího tlaku půdy (přesněji jejího kapilárního potenciálu) vyjádřeného jako sloupec vody v cm [17].

Tato problematika je v modelu řešena opravou „penmanovské“ evapotranspirace E_p pomocí koeficientu C_{pF}, viz vztah (12). Koeficient C_{pF} je nepřímo závislý na veličině pF:

$$C_{pF} = 3{,}887 \,/\, pF_s - 0{,}72346\,. \qquad (10)$$

Veličina pF_s je pF půdy jistého druhu nasycené na polní vodní kapacitu. Je to je proměnná, která se dá stanovit

Tab. 1 Druhy půd podle zrnitosti. Veličina pF_s (logaritmus savého tlaku půdy) je odhadnuta dle vztahu (11).Veličina K_f je hydraulická vodivost půdy.

Table 1. Types of soil according to the grain. The pF_s quantity (logarithm of the suction soil pressure) is estimated according to the relation (11). The K_f quantity means hydraulic soil conductivity.

Číslo	Název	pF_s	K_f
1	písčitá	2,00	158,2
2	hlinitopísčitá	2,06	57,6
3	písčitohlinitá	2,14	35,5
4	hlinitá	2,26	31,5
5	jílovitohlinitá	2,39	27,7
6	jílovitá	2,56	17,4
7	jíl	2,75	10,3

opraveno 12. 2. 2008

měřením v laboratorních podmínkách; pro náš účel bylo pro uvažované druhy půd nutno provést její odhad statistickými metodami vycházejícími z publikovaných měření. Konkrétně bylo použito prosté parabolické regrese mezi druhem půdy S_c (7 tříd dle tabulky 1) a souborem naměřených hodnot pF_s pro různé druhy půdy, které byly kompilovány z [10] . Takto nalezená funkce má podobu

$$pF_s = 0{,}013333 \,.\, \sqrt{(S_c)} + 0{,}018 \,.\, S_c + 1{,}97 \,. \qquad (11)$$

Výsledné hodnoty pF_s pro jednotlivé druhy půdy jsou v tab. 1. Průběh funkcí (10) a (11) viz obr. 1.

Shora uvedený hyperbolický výraz pro opravný koeficient C_{pF} odpovídá předpokladům, že pro středně těžkou půdu (4 – hlinitá) je oprava zhruba nulová, tj., platí na 100 % „penmanovská“ hodnota evapotranspirace, zatímco pro jíl (druh 7) činí výkon evapotranspirace zhruba 70 %; naopak pro písek (druh 1) je to asi 122 %. Tyto předpoklady byly odvozeny na základě ladění vztahu na nejlepší shodu modelu s údaji o půdní vlhkosti na agrometeorologické observatoři v Doksanech.

Pro opravenou potenciální evapotranspiraci (E_{pc}) potom platí, že

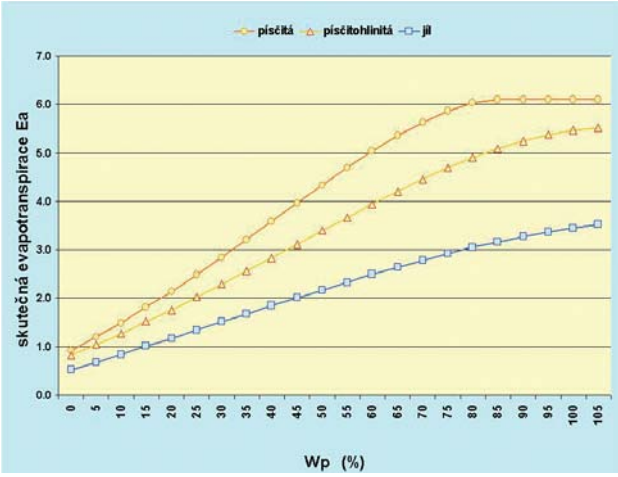
$$E_{pc} = C_{pF} \,.\, E_p \,. \qquad (12)$$

Toto řešení vlivu sacího tlaku půdy na výkon evapotranspirace je spojeno s řadou značných zjednodušení. Zabudování popsané korekce „penmanovské“ evapotranspirace do modelu však přineslo při porovnání s měřenou vlhkostí půdy zřetelné zlepšení přesnosti modelu (asi o 5 %).

3.2 Uplatnění vlivu vlhkosti půdy na evapotranspiraci

Výchozí úroveň vlhkosti půdy, přesněji disponibilní objem vody pro výpar v objemové jednotce půdy je hlavní příčinou toho, že mezi potenciální a skutečnou evapotranspirací jsou často i velmi značné rozdíly. Jejich velikost je přitom úměrná vodnímu deficitu půdy, který je definován níže uvedeným vztahem (25). V tomto modelu se předpokládá, že při nulovém vodním deficitu půdy evapotranspirace skutečná je rovna evapotranspiraci potenciální, přesněji veličině E_{pc} – viz (12), zatímco při dosažení bodu vadnutí evapotranspirace klesá na jednu desetinu (tento druhý předpoklad je konvenční). S rostoucím vodním deficitem roste též veličina pF_w , tj. v podstatě síla, jíž je voda v půdě vázána, takže výpar je stále obtížnější.

Tato souvislost je v modelu vyjádřena soustavou rovnic odpovídajících 7 druhům půdy dle tabulky 1; předpokládá se přitom kvadratická závislost:



Obr. 3 Závislost skutečné evapotranspirace E_a na vlhkosti půdy W_p (%) při výchozí potenciální evapotranspiraci E_p = 5 mm – viz vztahy (10) až (23).Uvažovány půdní druhy 1, 3 a 7.

Fig. 3. The dependence of the actual evapotranspiration E_a on the soil moistureW_p (%) at initial potential evapotranspiration E_p = 5 mm – see relations (10) to (23). Soil types 1, 3 and 7 are taken into consideration.

1 písčitá $$pF_w = 0{,}0002664 \,.\, (W_p)^2 - 0{,}04864 \,.\, W_p + 4{,}2 \qquad (13)$$

2 hlinitopísčitá $$pF_w = 0{,}0002156 \,.\, (W_p)^2 - 0{,}04296 \,.\, W_p + 4{,}2 \qquad (14)$$

3 písčitohlinitá $$pF_w = 0{,}0001724 \,.\, (W_p)^2 - 0{,}03784 \,.\, W_p + 4{,}2 \qquad (15)$$

4 hlinitá $$pF_w = 0{,}0001398 \,.\, (W_p)^2 - 0{,}03343 \,.\, W_p + 4{,}2 \qquad (16)$$

5 jílovitohlinitá $$pF_w = 0{,}0001156 \,.\, (W_p)^2 - 0{,}02966 \,.\, W_p + 4{,}2 \qquad (17)$$

6 jílovitá $$pF_w = 0{,}0001016 \,.\, (W_p)^2 - 0{,}02656 \,.\, W_p + 4{,}2 \qquad (18)$$

7 jíl $$pF_w = 0{,}0000956 \,.\, (W_p)^2 - 0{,}02406 \,.\, W_p + 4{,}2 \qquad (19)$$

Konstanta 4,2 je logaritmus sacího tlaku pF při dosažení bodu trvalého vadnutí (nezávisle na druhu půdy). Výraz W_p je vlhkost půdy ve vrstvě 0 až 20 cm vyjádřená jako procento tzv. využitelné vodní kapacity půdy, což je objem definovaný jako rozdíl mezi polní vodní kapacitou W_C a bodem vadnutí W_W [17]:

$$W_p = 100 \,.\, (W_o - W_w)/(W_C - W_W) \,, \qquad (20)$$

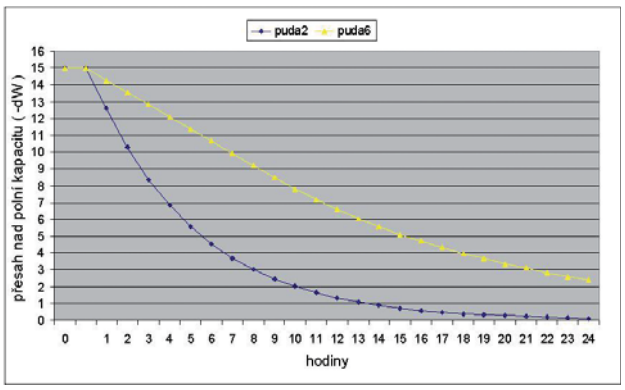
kde W_o je modelem odhadnutá objemová vlhkost půdy [$m^3 \,.\, m^{-3}$]

V dalším kroku je vypočten koeficient aktuální evapotranspirace podle hyperbolického vztahu

$$a = C_a \,.\, (pF_s / pF_w - 1) + 1 \,. \qquad (21)$$

Veličina C_a je druhově specifická konstanta odhadnutá výrazem

$$C_a = 3{,}57 \,/\, (4{,}2 - pF_s) \,. \qquad (22)$$



Obr. 4 Denní průběh filtrace objemu vody přesahujícího polní vodní kapacitu u půdy hlinitopísčité (puda2) a jílovité (puda6), jak je určen vztahem (26). Záporně vzatá výchozí hodnota vodního deficitu je – –Dw = 15 mm. U jílovité půdy zůstal nevsáknutý zbytek asi 2 mm.

Fig. 4. The daily course of filtration of water volume exceeding field water capacity of sandy clay soil (puda2) and clay soil (puda6) as is determined by relation (26). Negative initial value of water deficit is – –Dw = 15 mm. At clay soil was an unseeped rest about 2 mm.

Jak je zřejmé, hodnota koeficientu aktuální evapotranspirace (a) je nepřímo úměrná logaritmu sacího tlaku půdy pF_w dosaženého při vlhkosti W_p.

Nakonec se oprava uplatní:

$$E_a = a \,.\, E_{PC} \,. \tag{23}$$

Je to poslední krok při výpočtu aktuální evapotranspirace E_a pro standardní trávník.

Výraz (21) vyhovuje nutnému předpokladu, že ve stavu plného nasycení půdy vodou je oprava nulová ($a = 1$); při dosažení bodu vadnutí je podle výrazu (21) skutečná evapotranspirace desetkrát menší než evapotranpirace potenciální ($a = 0{,}1$). Tento druhý předpoklad je spekulativní. Celý postup odhadu aktuální evapotranspirace byl však nastaven na gravimetrická data o vlhkosti půdy v Doksanech za roky 1991 až 2000.

4. VODNÍ BILANCE

Vodní bilance svrchní vrstvy půdy 0 až 20 cm se počítá v denním kroku podle rovnice

$$W_K = W_J + R - E_a \,, \tag{24}$$

kde W_K je vlhkost půdy „dnes“ ve vrstvě 0–20 cm ($l \,.\, m^{-2}$), W_J totéž včera, R je denní úhrn srážek (mm) a E_a je aktuální evapotranspirace „dnes“. V dalším kroku se vypočte denní vodní deficit

$$D_w = C_F - W_K \,, \tag{25}$$

kde C_F je polní vodní kapacita bilancované vrstvy půdy ($l \,.\, m^{-2}$). Záporná hodnota D_w značí přebytek vláhy nad polní vodní kapacitu. Pokles vlhkosti půdy W_K pod bod trvalého vadnutí není formálně dovolen – v takovém případě se ponechává hodnota odpovídající bodu vadnutí.

Dojde-li k naplnění sledované vrstvy nad polní vodní kapacitu (D_w je záporné), potom přesahující objem vody daný jako ($-D_w$) není půda schopna kapilárními silami udržet. Jde o gravitační vodu, která postupně prosákne do hlubších vrstev.

Pokud nastane případ, že objem vody v půdě přesahující polní vodní kapacitu je větší než rozdíl mezi pórovitostí a polní vodní kapacitou, tj. $(-D_w) > d_c$ (kde $d_c = C_X - C_F$; C_X je pórovitost, nejvýše možný objem vody v půdě), potom přesah nad d_c vsákne rychlostí příslušnou tzv. nasycené hydraulické vodivosti, což je v podstatě konstanta úměrnosti K_f v Darcyho zákonu, specifická pro druh půdy a danou kapalinu, v tomto případě vodu [10]. Uvažujeme přitom, že hydraulický sklon je roven jedné, což je při vsaku srážek realistické (viz tab. 1).

Jakmile se však situace zvrátí, tj. deficit $(-D_w) <= d_c$, potom rychlost filtrace začne klesat, a to v podstatě úměrně velikosti přesahu polní vodní kapacity, který je určen jako rozdíl $(-D_w - C_F)$. V modelu se osvědčil vztah založený na poměru mezi aktuálním přesahem vody a rozdílem mezi pórovitostí a polní vodní kapacitou

$$dW_G = (K_f / 24) \,.\, ({}^{-h}D_w / d_c) \,, \tag{26}$$

kde dW_G je „hodinová“ filtrace, K_f je hydraulická vodivost a ${}^{-h}D_w$ je výchozí („hodinová“) velikost přesahu nad C_F; d_c je rozdíl mezi pórovitostí a polní vodní kapacitou, jak už uvedeno výše.

Voda, která vsákne za den, je pak dána jako

$$W_G = {}_1\!\int^{24} \mathrm{d}W_G \,.\, \mathrm{d}t \,. \tag{27}$$

Při denním kroku modelu jde totiž o provedení odhadu, zda se celý objem nerovnovážně zachycené vody ($-D_w$) stačí během 24 h vsáknout nebo naopak část zůstane na další den. Eventuální nevsáknutý zbytek daný jako rozdíl $(-D_w - W_G)$ se následujícího dne formálně připočte ke srážkám.

Problematika povrchového odtoku, významná hlavně v souvislosti s výskytem srážek mimořádné vydatnosti, je rámcově řešena právě v souvislosti s výpočtem zmíněného nevsáknutého zbytku: jestliže je tento zbytek větší než d_c, pak právě jeho část přesahující d_c se zanedbává (tvoří vlastně povrchový odtok). Jinak řečeno, ve vegetačním období model nepřipouští akumulaci vody na povrchu země déle než 24 h.

Model rozlišuje tzv. letní a zimní podmínky. V zimních podmínkách ($T_M \leq 0$) se z definice srážky ukládají v pevné fázi na povrchu země a nepřipočítávají se přímo k vlhkosti půdy, nýbrž bilancují se vůči výparu do pomocné proměnné S_{ww} (suma zimní vlhkosti). V zimě je výpar odhadován sice v zásadě obecným postupem popsaným v kapitole 2, avšak s opraveným členem Δ (viz vztah (2)); konkrétně

$$\Delta_w = 1{,}136 \,.\, \Delta \,, \tag{28}$$

kde Δ_w je opravený sklon křivky napětí nasycených par pro teplotu $T_M < 0$. V podstatě je tímto způsobem respektován fakt, že se zde uplatňuje sublimační latentní teplo místo latentního tepla vypařování – konstanta $k = 1{,}136$ je jejich poměrem ([7]). Kromě toho jsou v zimě při vyhodnocování radiační bilance (výraz (5)) uplatňovány hodnoty celkové odrazivosti odpovídající aktuálním druhům povrchů (sníh, led).

Když zimní podmínky třeba i na jeden den skončí ($T_M > 0$, nastává obleva), hodnota S_{ww} se připočte k půdní vlhkosti. Je nutno upozornit, že půdní vlhkost počítaná modelem je v zimním období smysluplným odhadem skutečnosti právě jen ve dnech, kdy probíhá obleva. Jinak mají význam jen jako vnitřní proměnná modelu, umožňující zachovat kontinuitu výpočtu mezi dvěma aktivními obdobími.

5. SROVNÁNÍ MODELU S MĚŘENOU VLHKOSTÍ PŮDY

Pro ověření úspěšnosti (pravdivosti) modelu bylo použito srovnání s vlhkostí půdy měřenou na týchž stanicích půdním vlhkoměrem VIRRIB, který se standardně používá na vybra-

ných stanicích ČHMÚ od roku 1999. Seznam použitých stanic je zřejmý z tab. 2. V zásadě jsme v letech 2003 až 2006 srovnávali denní data za vegetační období (duben až září), a to jednak v podobě objemové vlhkosti, jednak jako procento využitelné vodní kapacity půdy. Zatímco u modelu se výslovně jednalo o půdní vrstvu 0 až 20 cm, prostorový záběr čidla nelze takto jednoznačně popsat – na naměřené hodnotě se nejvíce podílí vlhkost v nejbližším okolí čidla a s rostoucí vzdáleností její vliv klesá. Použité čidlo je vodorovně umístěno v hloubce 7,5 cm pod povrchem půdy a snímá údaje o vlhkosti půdy z prostoru 0 až 15 cm. Lze tedy říci, že podstatná část objemu modelem uvažované půdní vrstvy je tímto čidlem sledována.

Výběr období a rovněž i výběr stanic je dán pragmaticky – jiná sourodá data o vlhkosti půdy nejsou zatím k dispozici. Přesto lze říci, že se shodou okolností jedná o poměrně vyrovnaný vzorek našeho klimatu. V daném čtyřletí je zastoupen jednak rok s celkově velmi suchým vegetačním obdobím (2003), rok s velmi suchou druhou polovinou vegetačního období (2004), vláhově příznivý rok (2005) a rok se silně kolísavými vláhovými poměry (2006). Podobně i rozmístění a výškové rozložení použitých stanic je uspokojivé (10 v zóně 0–300 m, 10 v zóně 301–500 m, 11 v zóně nad 500 m).

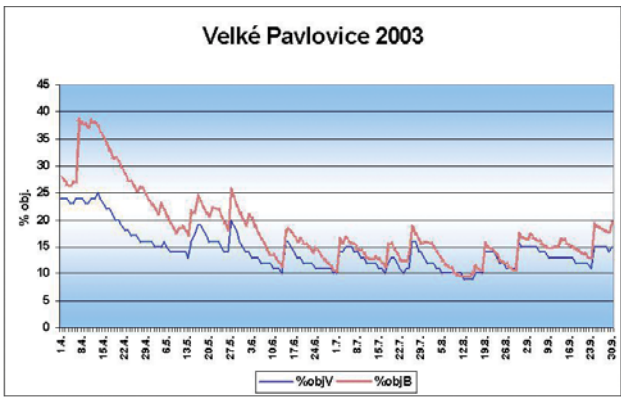
Čidla jsou primárně kalibrována v objemových procentech. Při přepočtu na procento využitelné vodní kapacity půdy je nutno používat empirických parametrů (polní vodní kapacita a bod trvalého vadnutí), které do systému vnášejí určité nepřesnosti. Při vyhodnocování úspěšnosti modelu BASET jsme v tomto sdělení proto preferovali vlhkost půdy v objemových procentech. Možnosti kalibrace čidla jsou poněkud omezené a v absolutních hodnotách se jejich údaje někdy liší řádově až o 10–15 % . Shoda v hodnotách mezi modelem a čidlem není proto příliš směrodatná (průměrný rozdíl je přibližně 3,7 % ve prospěch modelu); podstatná je naopak podobnost v časovém průběhu. Při prokázaném přibližně normálním rozdělení obou veličin jsme proto jako míru podobnosti použili Pearsonův korelační koeficient.

Výsledky srovnání jsou uvedeny v tab. 2. Všechny hodnoty korelačního koeficientu jsou vysoce významné, dokonce včetně absolutně nejhoršího případu (Opava 2005). Jako typický příklad sezonního chodu vlhkosti půdy v jednotlivých zkouma-

Tab. 2 Korelační koeficienty modelované a měřené vlhkosti půdy ve vrstvě 0 až 20 cm na 31 klimatologických stanicích ČR v letech 2003–2006. p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056, n = 183; i mezinárodní indikativ, H nadmořská výška stanice (m).

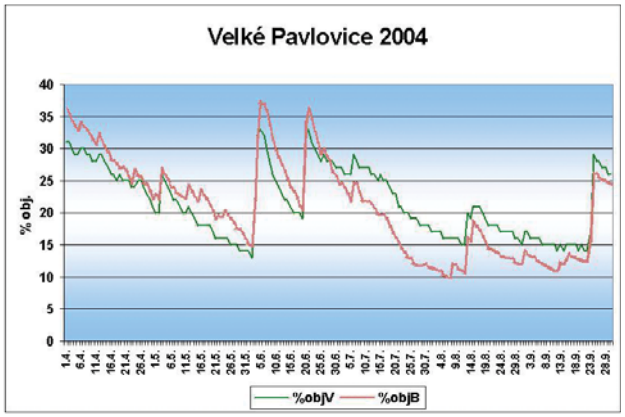
Table 2. Correlation coefficients of the modelled and measured soil moisture at the layer 0–20 cm at 31 climatological stations in CR in 2003–2006. p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; n = 183; i – international index number, H – altitude of the station (in m).

i	STANICE	H	2003	2004	2005	2006	spolu
11406	Cheb	470	0,908	0,857	0,795	0,889	0,862
11438	Tušimice	322	0,878	0,558	0,356	0,899	0,673
11446	Plzeň-Bolevec	312			0,717	0,857	0,787
11450	Plzeň-Mikulka	360		0,557	0,761	0,867	0,728
11487	Kocelovice	519	0,659	0,676	0,852	0,883	0,768
11509	Doksany	158	0,714	0,602	0,949	0,920	0,796
11522	Neumětely	322			0,703	0,648	0,675
11526	Nedrahovice	348			0,828	0,873	0,850
11547	Černá v Pošumaví	739			0,874	0,883	0,879
11603	Liberec	398	0,859	0,920	0,892	0,934	0,901
11620	Seč	542		0,938	0,877	0,905	0,907
11628	Košetice	534	0,883	0,701	0,898	0,923	0,851
11635	Jindřichův Hradec	525	0,800	0,844	0,911	0,842	0,849
11636	Kostelní Myslová	569	0,900	0,833	0,622	0,937	0,823
11660	Vatín	543	0,897	0,796	0,858	0,946	0,875
11674	Deštné v O.h.	635	0,711	0,719	0,895	0,848	0,793
11675	Úpice	413	0,784	0,413	0,841	0,936	0,744
11693	Dukovany	400	0,746	0,923	0,925	0,641	0,809
11696	Dyjákovice	180	0,651	0,581	0,680	0,781	0,673
11705	Šumperk	328	0,966	0,884	0,886	0,972	0,927
11710	Luká	513	0,706	0,902	0,886	0,922	0,854
11716	Protivanov	670	0,940	0,950	0,504	0,928	0,831
11723	Brno-Tuřany	241		0,886	0,927	0,845	0,886
11725	Velké Pavlovice	196	0,939	0,882	0,879	0,924	0,906
11736	Světlá Hora	596	0,961	0,974	0,791	0,824	0,888
11742	Olomouc	215		0,858	0,865	0,949	0,891
11751	Kroměříž	235	0,845	0,924	0,905	0,840	0,879
11755	Strážnice	176	0,762	0,797	0,853	0,752	0,791
11763	Opava	272	0,546	0,919	0,221	0,883	0,642
11765	Bělotín	298		0,718	0,374	0,392	0,495
11784	Lučina	300	0,754	0,887	0,908	0,786	0,834
	AVG	397,710	0,809	0,796	0,782	0,853	0,809
	MIN	158	0,546	0,413	0,221	0,392	0,495
	MAX	739	0,966	0,974	0,949	0,972	0,927



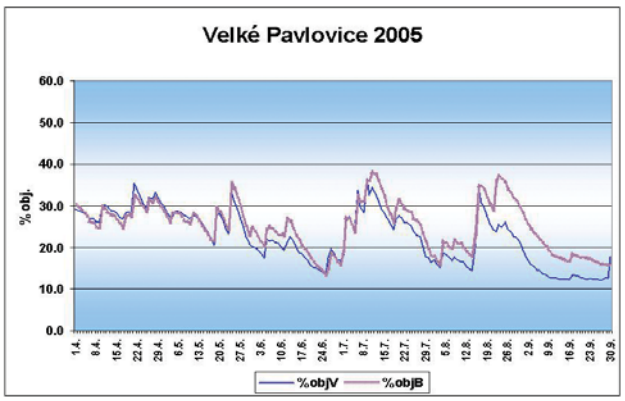
Obr. 5 Průběh vlhkosti půdy na stanici Velké Pavlovice v roce 2003 podle vlhkoměru VIRRIB (%objV) a modelu BASET (%objB). Denní hodnoty v objemových procentech, vrstva 0 až 20 cm. r = 0.9387 při p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183)

Fig. 5. The course of the soil moisture at the station Velké Pavlovice in 2003 according to the VIRRIB hygrometer (% volV) and the BASET model (%volB). The daily values in volume per cents, the layer 0 – 20 cm. r = 0.9387, p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183).



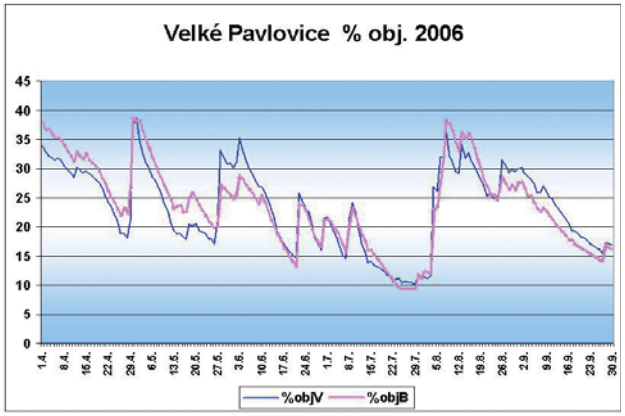
Obr. 6 Průběh vlhkosti půdy na stanici Velké Pavlovice v roce 2004 podle vlhkoměru VIRRIB (%objV) a modelu BASET (%objB). Denní hodnoty v objemových procentech, vrstva 0 až 20 cm. r = 0.8822 při p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183)

Fig. 6. The course of the soil moisture at the station Veké Pavlovice in 2004 according to the VIRRIB hygrometer (%volV) and the BASET model (%volB). The daily values in volume per cents, the layer 0 – 20 cm. r = 0.8822, p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183).



Obr. 7 Průběh vlhkosti půdy na stanici Velké Pavlovice v roce 2005 podle vlhkoměru VIRRIB (%objV) a modelu BASET (%objB). Denní hodnoty v objemových procentech, vrstva 0 až 20 cm. r = 0.8790 při p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183)

Fig. 7. The course of the soil moisture at the station Veké Pavlovice in 2005 according to the VIRRIB hygrometer (%volV) and the BASET model (%volB). The daily values in volume per cents, the layer 0 – 20 cm. r = 0.8790, p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183).



Obr. 8 Průběh vlhkosti půdy na stanici Velké Pavlovice v roce 2006 podle vlhkoměru VIRRIB (%objV) a modelu BASET (%objB). Denní hodnoty v objemových procentech, vrstva 0 až 20 cm. r = 0.9245 při p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183)

Fig. 8. The course of the soil moisture at the station Veké Pavlovice in 2006 according to the VIRRIB hygrometer (%volV) and the BASET model (%volB). The daily values in volume per cents, the layer 0 – 20 cm. r = 0.9245, p(0.1) = 0.122351, p(0.05) = 0.142373, p(0.01) = 0.187056; (n = 183).

ných letech mohou posloužit obr. 5 až 8, které zobrazují situaci na stanici Velké Pavlovice. Zdroje zjištěných rozdílů ve vlhkosti půdy mezi čidlem a modelem je obtížné logicky pojmenovat; zdá se, že mají spíš nahodilý charakter, založený mj. i na rozdílech v kalibraci a přesnosti čidel na jednotlivých stanicích.

Čidlo i model vcelku shodně vykazují vysoce významnou závislost sezonní průměrné vlhkosti půdy na nadmořské výšce stanice, přičemž regresní přímka je u modelu BASET jen lehce strmější než u čidla VIRRIB (obr. 9).

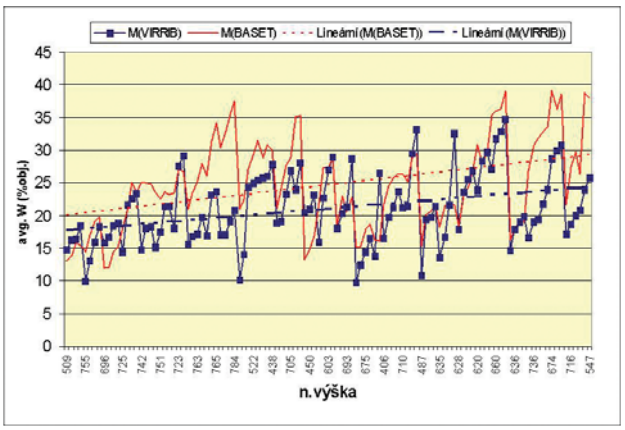
Nebyla prokázána závislost přesnosti modelu na kalendářním datu, v průběhu sezony se nijak podstatně nemění. Rovněž nebyl zjištěn průkazný rozdíl v přesnosti ve srovnání suchých a vlhkých období. Zato vliv lokality je značný – jednotlivé stanice se v míře podobnosti údajů čidla a modelu značně liší. Vliv nadmořské výšky na přesnost modelu nebyl prokázán.

Rozdíly ve variabilitě mezi čidlem a modelem jsou poměrně malé; podle všech použitých statistik (směrodatná odchylka, střední chyba odhadu pro průměr) čidlo vykazuje poněkud nižší variabilitu, v průměru konkrétně o 11 %, viz tab. 3.

6. DISKUSE

Výpočetní systém pro odhad vlhkosti v povrchových vrstvách půdy je založen na poměrně jednoduchých řešeních dílčích otázek vztahů mezi půdní vlhkostí a počasím. Nejedná se však o prostou klimatickou vodní bilanci. V modelu BASET jde mj. o odhad skutečného výparu z půdy, který je založen na tom, že tento výpar je limitován skutečným obsahem vody v půdě (viz vztah (10)). Přitom se přihlíží rovněž k tomu, že výpar z půdy je nepřímo závislý na síle, s níž je voda v půdě vázána (vztahy (13) až (19)).

Vliv biologických parametrů není záměrně uvažován, nebo přesněji, jejich vliv je položen za konstantní; předmětem modelu je výpar z tzv. standardního trávníku, který má z definice konstantní index listové plochy.



Obr. 9 Závislost sezonního průměru (IV až IX) vlhkosti půdy (% objemu) na nadmořské výšce u čidla VIRRIB a modelu BASET (32 stanic, 2003–2006). Závislost je průkazná na hladině 1 % (n =13, r = 0.3945 a 0.3558 při p(0.01) = 0.2410).

Fig. 9. The dependence of the seasonal average (IV-IX) of the soil moisture (in per cents of volume) on the altitude at the VIRRIB sensor and the BASET model (32 stations, 2003–2006).The dependence is evident at the level 1 % (n = 113, r = 0.3945 and 0.3558, p(0.01 = 0.2410).

Tab. 3 Rozdíly ve variabilitě denních údajů o vlhkosti půdy (vrstva 0–20 cm, % obj., duben až září) v letech 2003– 2006. 31 stanic, 183 případů ročně, m – aritmetický průměr; s – směrodatná odchylka; d – střední chyba odhadu pro průměr.

Table 3. Differences in variability of daily data on soil moisture (layer 0–20 cm, % of the volume, April–September) in 2003–2006. 31 stations, 183 cases per year, m – arithmetic mean, s – standard deviation, d – mean error of the estimate for an average.

	m		s		d	
Rok	ČIDLO	MODEL	ČIDLO	MODEL	ČIDLO	MODEL
2003	16,849	21,357	5,119	5,893	0,380	0,436
2004	20,178	24,077	4,853	5,327	0,387	0,394
2005	22,414	26,226	4,797	5,073	0,357	0,375
2006	23,150	25,902	6,790	6,833	0,506	0,505
AVG	20,648	24,391	5,390	5,782	0,408	0,427

Je třeba zdůraznit, že standardní trávník je mezinárodně užívaným teoretickým druhem vypařujícího povrchu zavedeným především kvůli potřebě studovat meteorologickou, resp. klimatologickou podmíněnost evapotranspirace tak, že biologické vlivy (druh plodiny, stáří, výška a hustota jejího porostu) jsou neměnné. Proměnlivost takto provedených odhadů evapotranspirace v čase i prostoru je potom odrazem diverzity meteorologických podmínek a její bilancování vůči atmosférickým srážkám umožňuje mj. objektivní pohled na výskyt sucha jak v časové řadě, tak i v plošném smyslu.

Respektování reálně existující mozaiky různých druhů porostů v různých vývojových stadiích by způsobilo v pohledu na vlhkost půdy naprostou heterogenitu geografického pole této veličiny, znemožňující jakákoli plošná zobecnění.

Tím není řečeno, že model BASET je omezen právě jen na travní porost. Je připraveno několik tzv. plodinových verzí modelu, které jsou naopak určeny především pro odhad vlhkosti půdy pod konkrétními porosty (zatím jen u obilovin). S jejich popisem počítáme pro některé další sdělení.

Výsledky publikované v tomto příspěvku vznikly dík podpoře poskytnuté Ministerstvem zemědělství ČR v rámci projektu NAZV QF 3100.

Literatura

[1] ALLEN, R. G. – JENSEN, M. E. – WRIGHT, J. L. – BURMAN, R. D., 1989. Operational estimates of evapotranspiration. *Agronomy Journal*, Vol. **81**, č. 4, s. 650–662.

[2] ALLEN, R. G. – PRUITT, W. O., 1991. FAO-24 reference evapotransipration coefficients. *Journal of Irrigation And Drainage Engineering*, Vol. **117**, č. 5, s. 758–773.

[3] ALLEN, R. G. – SMITH, M. – PEREIRA, L. S. – PERRIER, A., 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, Vol. **43**, č. 2, s. 35–92.

[4] ALLEN, R. G. – SMITH, M. – PERRIER, A. – PEREIRA, L. S., 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, Vol. **43,** č. 2, s. 1–34.

[5] ANGSTRÖM, A., 1924. Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. **50**, s. 121–125.

[6] BAILEY, R. J. – GROVES, S. J. – SPACKMAN, E., 1996. A model for estimating soil moisture changes as an aid to irrigation scheduling and crop water-use studies: 1. Field test of the model. *Soil use and management,* Vol. **12**, č. 3, s. 129–133.

[7] BRUTSAERT, W. H., 1982. Evaporation into the Atmosphere. Theory, History, and Applications. 1. vyd. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company. 299 s.

[8] HUANG, J. et al., 1996. Analysis of Model-Calculated Soil Moisture over the United States (1931-93) and Application to Long-Range Temperature Forecasts. *Journal of Climate,* Vol. **9**, č. 6., s. 18–39.

[9] KOTT, I., 1992. Vláhová bilance na území České republiky v letech 1974–1990. In: *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu,* sv. **42**. Praha: ČHMÚ. 125 s. ISBN 80-900206-9-0.

[10] KUTÍLEK, M., 1978. Vodohospodářská pedologie. 2.vyd. Praha: SNTL. 295 s.

[11] LANCASHIRE, P. D., et al., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, Vol. **119**, s. 561–601.

[12] PENMAN, H. L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proceedings of Royal Society, Vol. **193 A**, s.120–146.

[13] PETR, J., et al., 1991. Weather and Yield. 1. vyd. Amsterdam: Elsevier. 288 s.

[14] PRESCOTT, J. A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, Vol. **64**, s. 114–118.

[15] REDDY, S. J., 1983. A simple method of estimating the soil water balance. *Agricultural and Forest Meteorology,* Vol. **28**, s. 1–17.

[16] RIETVELD, M. R., 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology*, Vol. **19**, s. 243–252.

[17] SLAVÍK, B., 1974. Methods of Studying Plant Water Relations. 1. vyd. Praha: Academia. 449 s.

[18] SUPIT, I. – KAPPEL, R. R. van, 1998. A simple method to estimate global radiation. *Solar Energy*, Vol. **63,** s. 147–160.

[19] DOOL, H. van den – HUANG, J. – FAN, Z., 2003. Performance and analysis of the constructed analogue method applied to U.S. soil moisture over 1981–2001. *Journal of Geophysical Research,* Vol. **108** (D16), s. 8617–8636.

Lektor (Reviewer) RNDr. Mojmír Kohut.

UPLATNĚNÍ NUMERICKÉHO PŘEDPOVĚDNÍHO MODELU ALADIN U ČESKÉ VOJENSKÉ MISE V AFGHÁNISTÁNU

Karel Dejmal, Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany, Kounicova 65, 612 00 Brno, e-mail: karel.dejmal@unob.cz

The use of the ALADIN numerical weather prediction model at the Czech military mission in Afghanistan. The concept of the ALADIN project was proposed by Météo-France in 1990 and it became a joint research and development program of 15 countries from Europe and North Africa. ALADIN is at the same time a name of the Numerical Weather Prediction (NWP) system for use on limited geographic areas while allowing a zoom effect with respect to the coupling global model IFS/ARPEGE. A dedicated application of ALADIN was tailored for Afghanistan region forecast. The spatial resolution of this application is 10 km and the size of domain is 151 x 124 grid points. The production forecast is running at Czech Hydrometeorogical Institute twice a day since December 2006. The outputs are distributed to Military geographical and hydrometeorological department and to weather service of airport Kabul and Logar.

KLÍČOVÁ SLOVA: numerický model ALADIN – Afghánistán – verifikace modelu
KEY WORDS: NWP model ALADIN – Afghanistan – model verification

ÚVOD

Model ALADIN je numerický předpovědní model počasí na omezené oblasti, určený pro krátkodobou předpověď (typicky dva až tři dny podle velikosti oblasti) atmosférických procesů s rozlišením řádově okolo 10 km. Model je vyvíjen od roku 1990 v mezinárodní spolupráci vedené francouzskou povětrnostní službou Météo-France a je v rutinním provozu v řadě členských zemí konsorcia ALADIN. Jeho vývoj probíhá v rámci řady národních a evropských projektů [2, 3, 4, 5, 6].

Ve spolupráci AČR a ČHMÚ, oddělením numerických předpovědí počasí, byla připravena aplikace numerického předpovědního modelu ALADIN pro oblast Afghánistánu. Cílem aplikace je podpora meteorologického zabezpečení české vojenské mise v Afghánistánu a připravovala se s ohledem na skutečnost, že Česká republika byla pověřena v roce 2007 převzít velení letiště Kábul, včetně meteorologického zabezpečení. Vývoj aplikace začal koncem roku 2005 a do operativního provozu byla zavedena v prosinci 2006.

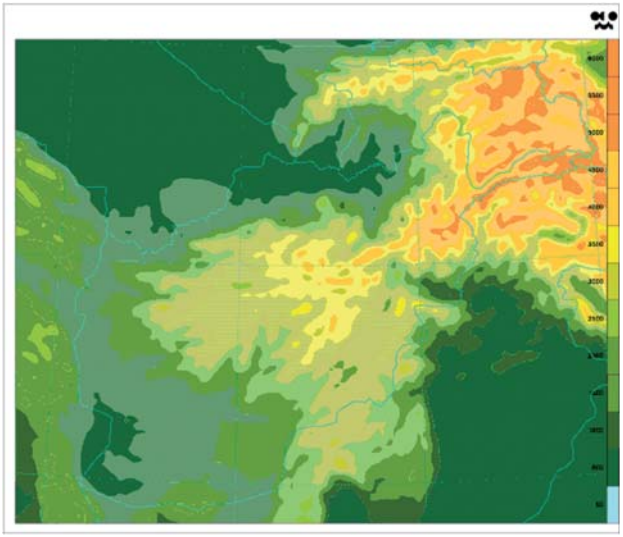
Aplikace se provozuje na počítačích ČHMÚ. Čtyřikrát denně se počítá asimilační a dvakrát denně produkční cyklus (integrace na 48 hodin). V Météo-France se připravují počáteční a okrajové podmínky z globálního modelu ARPEGE [7], čtyřikrát denně z long cut-off asimilace pro asimilační cyklus a dvakrát denně z short cut-off asimilace pro produkční cyklus.

ORGANIZACE PROVOZU MODELU ALADIN

Globální model ARPEGE měl v zájmové oblasti horizontální rozlišení kolem 65 km a od 7. 2. 2008 má pak rozlišení kolem 23 km. Pro přenos se interpolovaly výstupy tohoto modelu do sítě nejdříve s rozlišením 50 km, nyní je to 20 km, aby se plně využilo zvýšené rozlišení modelu ARPEGE.

Rozlišení aplikace modelu ALADIN má krok sítě 10 km a 151 x 124 uzlových bodů (162 × 135 uzlových bodů kolokační sítě (C + I + E)). Oblast modelu s výškou modelové orografie je zobrazena na obr. 1. Zájmová oblast je problematická hlavně z důvodu rozsáhlého horstva a členitého terénu v severovýchodní části. Himálajský masiv znemožňuje zvolit oblast tak, aby na okrajích byl relativně rovný terén, a to představuje určitý problém pro zajištění hladkého navázání řešení na krajích s modelem ARPEGE.

Model se počítá ve verzi hydrostatických základních rovnic se semi-lagrangeovským advekčním schématem a semi-implicitním dvouhladinovým časovým schématem. Používá se lineární eliptické oříznutí spektra na 80 × 67 vln. Uvažuje se 43 vertikálních hladin hybridního souřadnicového systému. Délka časového kroku je 360 s. Boční okrajové podmínky z ARPEGE jsou dodávány s periodou 3 hodiny.

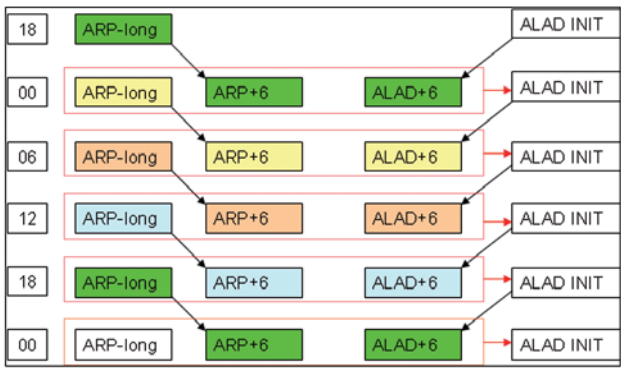


Obr. 1 Modelová oblast a modelová nadmořská výška.
Fig. 1. Model area and model orography.

Počáteční podmínky modelu jsou tvořeny pomocí blendingu [1]. Snahou je získání reálnějších počátečních podmínek modelu, než jaké by se získaly pouhou interpolací globálního modelu. V blendingu se kombinuje analýza z ARPEGE s informací z předchozího běhu modelů ALADIN a ARPEGE.

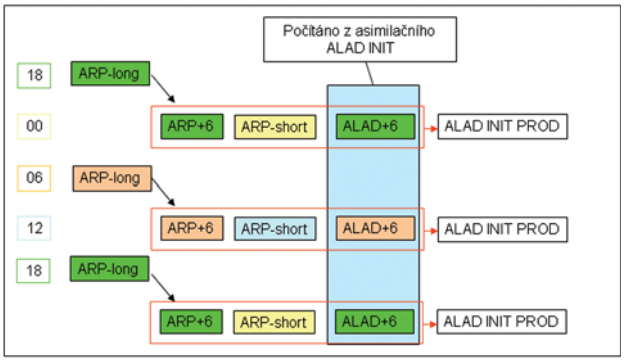
Aplikace se skládá z asimilačního (obr. 2) a produkčního cyklu (obr. 3). Na obrázcích zkratka ARP označuje model ARPEGE, ALAD model ALADIN, long – long cut off analýzu, short – short cut off analýzu, číslo za „+“ dobu integrace v hodinách, INIT (INIT PROD) – výsledný inicializační soubor v asimilačním (produkčním) cyklu.

Produkty modelů, které se používají k získání inicializačních souborů cyklů, jsou v červených rámečkách. Asimilační cyklus pracuje s výstupy ARPEGE s long cut of asimilací



Obr. 2 Asimilační cyklus.

Fig. 2. Assimilation cycle.



Obr. 3. Produkční cyklus.

Fig. 3. Production cycle.

a v rámci cyklu se integruje pouze na 6 hodin. Produkční cyklus používá výstupy z ARPEGE s short cut of asimilací a v rámci tohoto cyklu probíhá samotná integrace modelu na 48 hodin, jejíž výsledky se posílají uživatelům. Pro short cut off asimilaci se použijí, z důvodu časové dostupnosti, pouze data dostupná do určitého termínu, zatímco do long cut off je čas pro asimilaci delší. V obou cyklech se uvažují okrajové podmínky pro integraci z modelu ARPEGE po 3 hodinách.

Výsledky předpovědi se zpracovávají do finálních produktů: plošné mapy vybraných veličin, prognostické TEMPy a meteogramy pro vybraná místa. Z ČHMÚ se tyto produkty posílají na Odbor hydrometeorologického zabezpečení Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Ruzyni a odtud pak do Kábulu a Logaru. Výstupy modelu využívají i vojáci z ostatních států zabezpečujících misi ISAF (International Security Assistance Force) .

VERIFIKACE VÝSLEDKŮ

Velký problém při verifikaci představuje dostupnost dat. Proto se vyhodnocení provádělo pouze na stanici Kábul. Pro tuto stanici byla k dispozici operativní data z automatické stanice TACMET (Tactical Meteorological Station) a zprávy METAR. Zprávy METAR byly dostupné ještě z několika dalších stanic oblasti zájmu, avšak vzhledem k jejich častým výpadkům a jejich problematické kontrole se neuvažovaly. Zprávy SYNOP byly dostupné pouze pro sousední státy Afghánistánu.

Pro Kábul se zprávy METAR použily pouze ke kontrole hodnot ze stanice TACMET. Důvodem byla přesnost a rozsah kódovaných veličin a menší počet zpráv METAR, který

Tab. 1 Počet údajů o teplotě pro dané období.

Table 1 Number of available temperature observation for considered period.

	TACMET				METAR			
Měsíc / h	0 UTC	6 UTC	12 UTC	18 UTC	0 UTC	6 UTC	12 UTC	18 UTC
200612	0	0	0	0	6	17	14	8
200701	31	31	31	31	16	23	18	19
200702	17	17	17	16	13	19	12	14
200703	24	24	24	25	6	15	15	12
200704	30	30	30	30	18	20	18	22
200705	31	31	31	31	25	30	30	30
200706	24	24	24	24	29	27	30	29
200707	31	31	31	31	26	28	30	30
200708	31	31	31	31	30	29	30	30
200709	26	27	26	26	21	22	23	22
200710	31	30	31	31	23	24	24	25
200711	30	30	30	30	11	13	15	15
200712	31	31	31	31	12	13	17	19
200801	30	30	31	31	20	21	21	25
200802	29	29	29	28	17	22	17	21
200803	31	31	31	31	24	25	28	26
200804	30	30	30	30	21	25	24	26
200805	31	31	31	31	19	22	24	19
200806	30	30	29	30	23	14	15	19
celkem	518	518	518	518	360	409	405	411

byl k dispozici. Zpracované období bylo 1. 1. 2007 do 30. 6. 2008. Vyhodnocovaly se následující veličiny: teplota vzduchu, směr a rychlost větru a množství srážek. Počet dostupných měření teploty pro termíny 0, 6, 12 a 18 UTC ze stanice TACMET a zpráv METAR je v tab. 1. Pro ostatní veličiny byl z TACMET dostupný obdobný počet dat. Pouze u rychlosti a směru větru byla vyřazena data z větší části listopadu a počátku prosince (12. 11.–4. 12. 2007), kdy byla podle údajů ze stanice TACMET nulová rychlost větru. To bylo v rozporu s rychlostmi ze zpráv METAR.

Okolí Kábulu je velmi členité (hřebeny kolem 4 500 m n. m. 50 km od Kábulu). Pro verifikaci se pro všechny veličiny uvažovaly pouze výstupy modelu v nejbližším uzlovém bodě. Modelová nadmořská výška nejbližšího uzlového bodu je o 74 m nižší než skutečná nadmořská výška (1707 m n. m. vers. 1791 m n. m.).

Teplota vzduchu

V tab. 2a a tab. 2b jsou uvedeny základní statistické charakteristiky předpovědi termínové teploty za období leden 2007 až červen 2008 pro letiště Kábul. RMSE označuje střední kvadratickou chybu, Avg - průměrná hodnota rozdílu model pozorování, Stdev – standardní odchylka průměrného rozdílu, Max – maximální rozdíl, Min – minimální rozdíl, N – počet hodnocených předpovědí, Q25 – dolní kvartil rozdílu, Q75 – horní kvartil rozdílu, Med – medián rozdílu.

Teplota v 12 UTC je modelem nadhodnocována. Nadhodnocení roste s dobou integrace modelu. Pro tento termín je také největší rozptyl chyby modelu. V ostatních termínech je teplota vzduchu v průměru podhodnocována. Model má určité problémy s postihnutím reálného denního chodu teploty v orograficky velmi složité oblasti. Denní amplituda je v modelu v průměru asi o 2 °C vyšší než ve skutečnos-

Tab. 2a Statistické charakteristiky pro předpověď teploty (start modelu v 0 UTC).

Table 2a. Statistical characteristics for temperature forecast (model start at 0 UTC).

Doba integrace [h]	RMSE [°C]	Avg [°C]	Stdev [°C]	Max [°C]	Min [°C]	N	Med [°C]	Q25 [°C]	Q75 [°C]
0	2.3	-1.1	2.1	8.0	-7.1	514	-1.2	-2.4	0.2
6	3.1	-2.1	2.2	9.8	-10.1	514	-2.1	-3.4	-0.9
12	2.6	1.1	2.4	13.0	-8.6	514	1.1	-0.2	2.4
18	2.7	-1.7	2.1	5.4	-8.0	513	-2.0	-3.0	-0.6
24	2.3	-1.2	2.0	5.6	-8.9	513	-1.1	-2.4	-0.1
30	2.9	-1.9	2.1	11.3	-8.9	512	-1.9	-3.2	-0.6
36	3.0	1.6	2.6	15.6	-6.5	512	1.6	-0.1	3.1
42	2.6	-1.5	2.1	5.9	-7.9	511	-1.6	-2.7	-0.4
48	2.2	-1.0	2.0	5.5	-6.8	511	-1.1	-2.2	0.2

Tab. 2b Statistické charakteristiky pro předpověď teploty (start modelu v 12 UTC).

Table 2b. Statistical characteristic for temperature forecast (model start at 12 UTC).

Doba integrace [h]	RMSE [°C]	Avg [°C]	Stdev [°C]	Max [°C]	Min [°C]	N	Med [°C]	Q25 [°C]	Q75 [°C]
0	2.5	0.9	2.4	9.9	-8.6	513	1.0	-0.4	2.3
6	2.7	-1.6	2.2	5.9	-8.1	512	-1.8	-2.9	-0.4
12	2.2	-1.0	2.0	6.0	-8.2	512	-1.0	-2.2	0.3
18	2.9	-2.0	2.2	10.8	-8.5	512	-2.0	-3.3	-0.8
24	2.7	1.3	2.4	11.4	-12.8	512	1.3	0.0	2.7
30	2.7	-1.6	2.1	5.7	-7.7	511	-1.7	-2.9	-0.4
36	2.3	-1.1	2.0	5.5	-9.1	510	-1.2	-2.5	0.2
42	2.9	-1.9	2.2	10.0	-8.8	510	-1.9	-3.2	-0.6
48	3.0	1.6	2.6	12.0	-6.0	510	1.5	0.0	3.2

ti. RMSE se pohybuje od 2,2 do 3,1 °C a do značné míry koresponduje s průměrnou chybou modelu. Nejvyšší hodnoty RMSE jsou v 6 UTC. Některé předpovědi s velkou chybou teploty jsou ovlivněny chybnou předpovědí srážek. Například 28. 6. 2007 se vyskytoval v termínu pozorování déšť, který model příliš nepostihl a pozorovaná teplota byla téměř o 10 °C nižší než modelová. Chyby teploty ovlivňují i opačné případy, kdy model dává výrazné srážky a ve skutečnosti neprší.

Chyby předpovědi teploty vzduchu závisí také na ročním období. Na obr. 3 jsou předpovědi pro teplotu v 12 UTC (ze všech odpovídajících výstupů modelu pro tento termín). Patrné je soustavné nadhodnocování předpovědí v lednu a únoru 2007. V dalších měsících není toto nadhodnocení tak patrné. V tomto případě lze pravděpodobně vysvětlení nalézt ve špatném zahrnutí sněhové pokrývky do modelu. Informace o skutečné výšce sněhové pokrývky a jejího výskytu nemáme bohužel k dispozici. V modelu oblast se sněhovou pokrývkou končí těsně u Kábulu.

Rychlost a směr větru

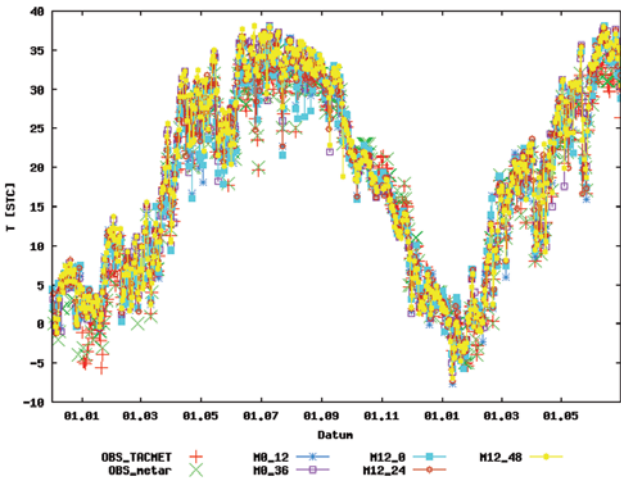
Předpověď větru je silně ovlivněna členitým reliéfem v okolí Kábulu. Souhrnné statistické vyhodnocení rychlosti větru je v tab. 3a a tab. 3b. Nejproblematičtěji se jeví předpověď rychlosti větru pro odpolední a večerní hodiny (12 a 18 UTC), kdy jsou největší rychlosti.

Pro směr větru je naopak nejhorší předpověď při menších rychlostech větru. Změna směru větru (i při malých rychlostech) má velký význam při předpovědi dohlednosti, která je na směru proudění v dané oblasti silně závislá.

Na obr. 4 jsou větrné růžice pro nerozlišené rychlosti větru, pro rychlosti větru nad 3 m . s^{-1} a pro rychlosti větru nad 5 m . s^{-1} pro termín 12 UTC. Při nerozlišených rychlostech a i při rychlostech nad 3 m . s^{-1} je vidět relativně silné zastoupení předpovědí jihovýchodního směru. Ve skutečnosti se tento směr vyskytuje spíše výjimečně. Četnost předpovídaných směrů pro rychlosti nad 5 m . s^{-1} se poměrně dobře shoduje s četností pozorovaných směrů.

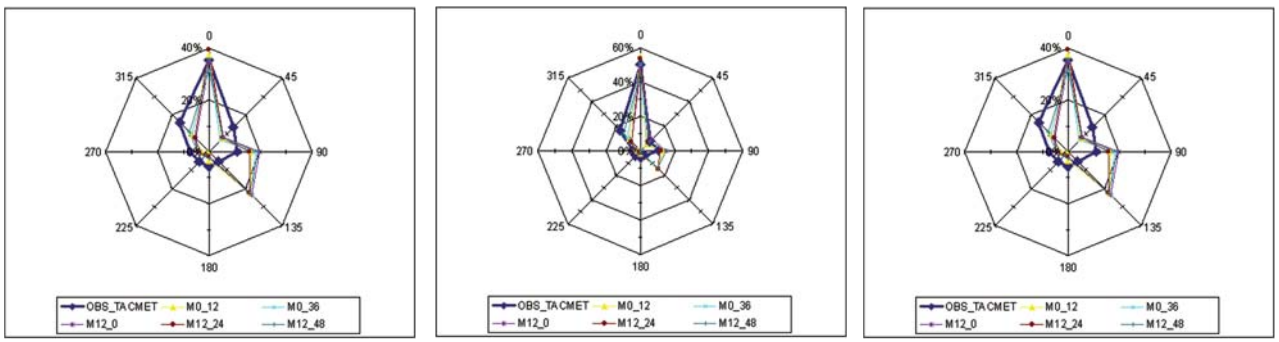
Srážky

Pro jednoduchost byly vyhodnoceny pouze modelové srážky v nejbližším uzlovém bodě. Vyhodnocovaly se šesti-



Obr. 4 Předpověď a pozorování teploty v 12 UTC pro Kábul (1. 12. 2007 – 30. 6. 2008).

Fig. 4. Temperature forecast and observation at 12 UTC for Kabul (1. 12. 2007 – 30. 6. 2008.)



(a) (b) (c)

Obr. 5 Porovnání četnosti předpovídaných směrů větru se skutečností pro zvolené třídy rychlosti větru (pro 12 UTC) a) nerozlišené rychlosti, b) rychlosti nad 3 m.s^{-1}, c) rychlosti nad 5 m.s^{-1}.

Fig. 5. Frequency of forecasted and observed wind directions for considered wind speed categories (at 12 UTC) a) all velocities, b) velocities above 3 m.s^{-1}, c) velocities above 5 m.s^{-1}.

hodinové úhrny. Časový interval bude pro zjednodušení označován pouze časem konce intervalu (např. 12 UTC je použito pro označení intervalu 6 až 12 UTC). Z dostupných pozorování je odhadovaný roční úhrn srážek kolem 200 mm. Srážky se vyskytly přibližně v 70 dnech v roce, ale pouze ve 14 dnech byly denní úhrny vyšší než 5 mm. Zhruba polovina úhrnu srážek spadá do 12 UTC. Většina množství srážek připadá na jarní a zimní měsíce. Od května do září 2007 spadlo pouze kolem 40 mm srážek. Model v průměru množství srážek nadhodnocuje. Pro 12 UTC, kdy spadlo nejvíce srážek, jsou však úhrny podhodnoceny. Probability of Detection (POD) pro úhrny nad 0,1 mm je 50 až 80 %. Hodnota POD by se zvětšila, pokud by se uvažovalo více uzlových bodů. Bohužel srovnatelná s těmito hodnotami je hodnota False Alarm Rate (FAR), která se liší do 10 % od POD. POD i FAR dosahují nejvyšší hodnoty pro interval 00 UTC, kdy je nejnižší úhrn srážek.

Podle zkušeností českých synoptiků v Kábulu je předpověď srážek modelem ALADIN velmi přínosná s ohledem na to, že pro daný region nejsou dostupná žádná radarová data a použitelnost družicových dat je omezená. Pokud se vyskytly významnější srážky v Kábulu nebo jeho okolí, pak model na tuto možnost většinou s předstihem ukazoval.

ZÁVĚR

Aplikace modelu ALADIN pro území Afghánistánu se ukázala přínosnou při zajištění české účasti v rámci ISAF. Poskytuje informace s větším rozlišením, a proto i lépe odpovídající, než ostatní pro tuto oblast dostupné a používané modely. Problémem je nedostatečná hustota pozorování pro

Tab. 3a Statistické charakteristiky pro předpověď rychlosti větru (start modelu v 00 UTC).

Table 3a. Statistical characteristic for wind speed forecast (model start at 00 UTC.)

Doba integrace [h]	RMSE [m . s^{-1}]	Avg [m . s^{-1}]	Stdev [m . s^{-1}]	Max [m . s^{-1}]	Min [m . s^{-1}]	N	Med [m . s^{-1}]	Q25 [m . s^{-1}]	Q75 [m . s^{-1}]
0	1.8	0.1	1.8	5.8	-9.3	490	0.0	-0.8	1.2
6	2.2	-0.4	2.1	6.8	-8.0	490	-0.5	-1.6	0.7
12	2.5	0.2	2.5	7.7	-7.7	491	0.2	-1.4	1.9
18	2.8	-1.1	2.5	5.8	-10.7	489	-0.7	-2.3	0.4
24	1.7	0.1	1.7	5.2	-9.6	489	0.0	-0.8	1.2
30	2.2	-0.5	2.1	6.8	-8.6	488	-0.6	-1.6	0.5
36	2.5	0.0	2.5	7.1	-7.7	489	0.0	-1.8	1.7
42	2.8	-1.1	2.5	5.3	-11.8	487	-0.7	-2.3	0.3
48	1.7	0.2	1.7	5.2	-10.4	487	0.1	-0.7	1.2

Tab. 3b Statistické charakteristiky pro předpověď rychlosti větru (start modelu v 12 UTC).

Table 3b. Statistical characteristic for wind speed forecast (model start at 12 UTC).

Doba integrace [h]	RMSE [m . s^{-1}]	Avg [m . s^{-1}]	Stdev [m . s^{-1}]	Max [m . s^{-1}]	Min [m . s^{-1}]	N	Med [m . s^{-1}]	Q25 [m . s^{-1}]	Q75 [m . s^{-1}]
0	2.5	0.1	2.5	5.9	-7.7	490	0.3	-1.4	1.8
6	2.8	-1.0	2.6	7.0	-11.3	488	-0.7	-2.2	0.6
12	1.7	0.1	1.7	5.1	-9.3	488	0.0	-0.9	1.1
18	2.2	-0.5	2.1	6.7	-8.0	488	-0.7	-1.7	0.5
24	2.5	0.1	2.5	7.6	-7.8	489	0.2	-1.5	1.8
30	2.7	-1.1	2.5	5.0	-11.5	487	-0.8	-2.3	0.3
36	1.7	0.2	1.7	5.7	-10.0	486	0.1	-0.8	1.2
42	2.3	-0.6	2.2	6.8	-8.5	486	-0.7	-1.8	0.5
48	2.6	-0.2	2.6	7.1	-8.8	487	-0.1	-1.7	1.5

verifikaci modelu a pro další testy modelu. Na druhou stranu malé množství informací zvyšuje význam informací z tohoto lokálního modelu. Model je důležitým a používaným zdrojem informací nejen pro české příslušníky mise ISAF. Velké poděkování patří ČHMÚ, zejména oddělení numerických předpovědí počasí, za přípravu dané aplikace a její operativní provoz.

Literatura

[1] BROŽKOVÁ, R. – DERKOVÁ, M. – BELLUŠ, M. – FARDA, A., 2006. Atmospheric Forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. Ocean Science, MFSTEP special issue, s. 113–121.

[2] BUBNOVÁ, R. – HELLO, G. – BÉNARD, P. – GELEYN, J.-F. , 1995. Integration of the fully elastic equations cast in the hydrostatic pressure terrain-following coordinate in the framework of the ARPEGE/Aladin NWP system. *Monthly Weather Revue*, Vol. **123**, s. 515–535.

[3] CATRY, B. – GELEYN, J.-F. – TUDOR, M. – BÉNARD, P. – TROJÁKOVÁ, A., 2007. Flux conservative thermodinamic equations in a mass weighted framework. *Tellus*, Vol. **59A**, s. 71–79.

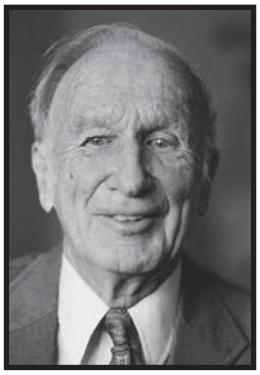
[4] GELEYN, J.-F. – VÁŇA, F. – CEDILNIK, J. – TUDOR, M. – CATRY, B., 2006. A intermediate solution between diagnostic exchange coefficients and prognostic TKE methods for vertical turbulent transport. WMO: WGNE Blue Book.

[5] HORÁNYI, A. – KERTÉSZ, S. – KULLMANN, L. – RADNÓTI, G., 2006. The ARPEGE/ALADIN mesoscale numerical modeling system and its at the Hungarian Meteorological Service: Sensitivity experiments using global singular vectors, preliminary results. *Idojárás*, Vol. 110, s. 203–228.

[6] Dokumentace k modelu ALADIN. Dostupné na WWW: <http://www.chmi.cz/meteo/ov/aladin/index.php>

[7] Dokumentace k ARPEGE/ALADIN/AROME. Dostupné na WWW: <http://www.cnrm.meteo.fr/gmapdoc/>

Lektor (Reviewer) RNDr. F. Šopko



ZEMŘEL EDWARD NORTON LORENZ

Dne 16. dubna 2008 zemřel ve věku téměř 9l let (nar. 23. 5. 1917) americký matematik a meteorolog Edward Norton Lorenz. Během 2. světové války sloužil jako meteorolog v armádě a tato zkušenost ho podnítila ke studiu oboru na Massachusetts Institute of Technology, kde pak většinu svého života působil jako řádný a emeritní profesor. Při studiu zákonitostí atmosférických procesů se stal jedním z průkopníků uplatnění teorie chaosu, navázal na poznatky francouzského matematika a astronoma Henri Poincaré (1854–1912), jenž prohlásil: *„Malý rozdíl v počátečních podmínkách vyprodukuje obrovský rozdíl v konečném stavu. Předpověď se stává nemožnou a budoucnost se stává nahodilou záležitostí.“* Výzkumem atmosféry Lorenz dospěl k závěru, že i malá nepřesnost v měření vstupních parametrů výrazně ovlivňuje výsledky předpovědi. A jelikož s úplnou přesností nemůžeme měřit nikdy, některé jevy se vzpírají našim předpovědím – počasí se vždy nechová podle předpovědí. Tato citlivá závislost na počátečních podmínkách se stala známou pod pojmem motýlí efekt: něco tak malého jako třepetání motýlích křídel může zprostředkovaně ovlivnit počasí na druhém konci světa. (Tento pojem uvedl Lorenz poprvé v roce 1979 v přednášce nazvané „Predictability: Does the flap of the butterfly's wings in Brazil off a tornado in Texas?“) Lorenz v počítačových simulacích vývoje počasí opakoval výpočet předpovědi za nepatrně změněných počátečních podmínek, avšak s výsledkem podstatně odlišným. Tím dospěl k závěru, že dlouhodobá předpověď počasí je nemožná bez absolutně přesné znalosti současného stavu počasí. Z Lorenzových prací vycházejí i moderní předpovědní systémy modelování počasí umožněné prudkým vývojem superpočítačů, které obcházejí problém nedostatečné přesnosti výchozích podmínek výpočtem pravděpodobnostního rozdělení výsledků mnohonásobného počítání modelu s nepatrně pozměněnými výchozími podmínkami. Vycházejí tedy z teorie chaosu a mají pravděpodobnostní charakter. Příkladem jsou ansámblové předpovědi produkované Evropským centrem pro střednědobou předpověď počasí (ECMWF), které znamenají velký krok vpřed v numerickém modelování počasí. Avšak ansámblový přístup se začíná uplatňovat i při modelování klimatu a jeho změn.

První vědecký článek publikoval E. Lorenz v roce 1955 v časopisu Tellus, poslední v roce 1998 (spoluautor K. A. Emanuel). Z publikací uvádíme:

- 1963. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. **20**, s. 130–131.
- 1976. Nondeterministic theories of climate change. *Quaternary Research*, Vol. **6**, s. 495–506.
- 1990. Can chaos and intransitivity lead to interannual variability? *Tellus*, Vol. **42A**, No 3, s. 378–389.
- 1993. The Essence of chaos. University of Washington Press, Seattle. 227 s. ISBN 0-295-97270-X.
- 1998. Optimal sites for supplementary weather observations: Simulations with a small model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. **55**, s. 399–414.

Zdeněk Horký

ČASOVÁ A PRIESTOROVÁ VARIABILITA NÁSTUPU ZAČIATKU KVITNUTIA KONVALINKY VOŇAVEJ (*CONVALLARIA MAJALIS* L.) NA STREDNOM SLOVENSKU

Jana Škvareninová, Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, e-mail: janask@vsld.tuzvo.sk
Ingrid Turisová, Katedra environmentálneho manažérstva FPV UMB, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, e-mail: turisova@fpv.umb.sk; Botanický ústav SAV, Dúbravská cesta 14, 845 23 Bratislava
Zora Snopková, Slovenský hydrometeorologický ústav, Regionálne stredisko Banská Bystrica, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: Zora.Snopkova@shmu.sk

Temporal and spatial variability of the beginning of flowering of *Convallaria majalis* L. in the Central Slovakia. The presented study analyses 20-year-long phenological observations of *Convallaria majalis* L. in Central Slovakia. It is a typical plant of floodplain forests, light deciduous forests and brushwood that is considered a reliable indicator of optimal deciduous tree species habitats. The choice of the plant species followed from a natural occurrence in the forest stands or on their margins in accordance with the valid methodology of phenological observation of forest species. The aim of the contribution is to evaluate the beginning of flowering and the average daily air temperature three months before this spring phenological phase (III.–V.). From the average dates of the beginning of flowering we made a trend analysis. The observations were performed in the years 1987–2006 on 11 phenological stations and the related meteorological stations. With the help of the spatial analysis, using GIS tools, we applied the results obtained to the area of central Slovakia. For the processing and evaluation we used data from the databank of the Slovak Hydrometeorological Institute. The average date of the beginning of flowering of *Convallaria majalis* L. in Central Slovakia is from 5 May to 10 june. There was also evaluated the trend of flowering, especially the time of its very beginning in the localities of Zvolen, Stare Hory and Telgart. At all these three localities, the belated blossoming has been observed, shifted by about 4–7 days due to the faster leaf growing within a surrounding forest stand.
The trend analysis revealed that over the 20-year period, the beginning of this phenological phase is shifted 2 days earlier. A summarizing phenological map covering the period 1987–2006 represents the results of evaluation of spatial analysis of *Convallaria majalis* L. At the same time we made a map evaluation of three months average of daily air temperatures.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: *Convallaria majalis* L. – fenológia – začiatok kvitnutia – teploty vzduchu denné priemerné – stredné Slovensko
KEY WORDS: *Convallaria majalis* L. – phenology – beginning of flowering – mean daily air temperature – Central Slovakia

1. ÚVOD

Fenológia patrí k vedným disciplínam s dlhoročnou tradíciou a v posledných rokoch vzbudzuje mimoriadnu pozornosť nielen klimatológov, ale aj botanikov, zoológov a poľnohospodárov u nás a v zahraničí. Hlavným dôvodom sú globálne klimatické zmeny, ktoré ovplyvňujú nástup a dĺžku trvania fenologických fáz a môžu zasiahnuť aj do nástupu a priebehu základných životných prejavov predovšetkým lesných ekosystémov [7, 10]. Aj napriek tomu, že začiatok a dĺžka jednotlivých fenofáz je podmienená geneticky, extrémne teploty, deficit a rozkolísanosť zrážok v jarnom a letnom období môžu jednotlivé fenologické fázy posunúť a narušiť ďalší vývoj rastlín.

Fenologické pozorovania sa môžu využívať ako biologické indikátory zmeny environmentálnych podmienok. Pravidelné a dlhoročné pozorovania nástupu vývojových a rastových fáz rastlín v jednotlivých oblastiach umožnia poznanie klimatického charakteru územia z hľadiska poľnohospodárskeho a lesníckeho. Modelovanie fenologických fáz umožní odhadnúť dopady globálnych klimatických zmien v budúcnosti, ktoré sa prejavia zmenami dĺžky rastových období, rizikami mrazových poškodení a podobne.

Fenológia má nezanedbateľný význam pre sledovanie vývoja prirodzených lesných spoločenstiev a tendencie ich vývoja. Fenologické odchýlky jednotlivých zložiek ekosystémov sú signálom prichádzajúcich zmien prostredia. Rastliny, zvlášť byliny, veľmi citlivo reagujú na okolité podmienky, takže v jednotlivých momentoch vývoja podávajú obraz o pôsobení komplexu činiteľov, akými sú tvárnosť terénu, pôda, povrchová a podzemná voda, ľudská činnosť. Z meteorologických prvkov má rozhodujúci význam teplota vzduchu, pretože jej účinkom sa rast a vývoj rastlín môže časovo značne urýchliť, ale aj spomaliť [8].

Súčasťou lesníckej fenológie je okrem pozorovania drevín aj celoplošné sledovanie sezónnej dynamiky vývinu rastlín v mimovegetačnom a vegetačnom období. Predmetom sledovania je časový nástup vybraných fenologických fáz divorastúcich druhov rastlín v ich prirodzených podmienkach bez priameho vplyvu človeka. Z časových radov ich fenologických fáz možno charakterizovať regionálne podmienky danej oblasti, ale aj vzťah medzi životnými prejavmi rastlín a vývojom klímy. Fenologické pozorovania sa tak stávajú dôležitým biologickým indikátorom modelovania fenologických fáz pri možnom dopade klimatickej zmeny, ale aj pri prognózach ďalšieho rozšírenia a vitality drevín a bylín [1].

2. MATERIÁL A METODIKA

Jednou z fytozložiek lesných a lúčnych ekosystémov je konvalinka voňavá (*Convallaria majalis* L.). Na Slovensku je chránenou rastlinou rastúcou od nížin po horské pásmo. Uprednostňuje kyslé, na živiny a bázické prvky stredne bohaté a kypré pôdy, ale často rastie aj na pôdach vápnitých [13, 19]. Ako polovýslnný druh sa vyskytuje najmä v svetlých listnatých lesoch, v presvetlených ihličnatých lesoch, v luhoch, krovinách, na holiach a lúkach od 1. až po 7. lesný vegetačný stupeň. Kvitne v mesiacoch máj – jún [5, 18]. Svoj názov odvodený od latinského

Tab. 1 Fenologické stanice a im prislúchajúce meteorologické stanice na strednom Slovensku pre hodnotenie začiatku kvitnutia konvalinky voňavej (Convallaria majalis L.).

Table 1. Phenological stations in the Central Slovakia with monitoring Convallaria majalis L. and responsible meteorological stations.

Fenologická stanica	Okres	Nadmorská výška	Zemepisná dĺžka	Zemepisná šírka	Meteorologická stanica
Lučenec	LC	185	19° 57'	48° 13'	**Lučenec - Boľkovce**
Čebovská Bukovina	VK	220	19° 18'	48° 14'	**Dolné Plachtince**
Zvolen	ZV	300	19° 10'	48° 34'	**Sliač**
Slovenská Ľupča	BB	375	19° 17'	48° 46'	**Banská Bystrica**
Muráň	RA	400	20° 02'	48° 44'	**Revúca**
Turie	ZA	435	18° 45'	49° 09'	**Dolný Hričov**
Staré Hory	BB	485	19° 42'	48° 54'	**Banská Bystrica**
Kysihýbeľ	BS	565	18° 58'	48° 26'	**Banská Štiavnica**
Liptovský Ján	LM	630	19° 41'	49° 30'	**Liptovský Hrádok**
Červená Skala	BR	825	20° 08'	48° 49'	**Telgárt**
Oravice	TS	855	19° 45'	49° 17'	**Liesek**

slova convallis, čo znamená údolie, dostala podľa typického miesta jej výskytu v údolí lesov [5]. Pre svoje kvety sa stala obľúbenou rastlinou aj napriek tomu, že všetky jej časti sú jedovaté. Rastlina obsahuje zmes kardioaktívnych glykozidov a saponínov dôležitých pre lekárstvo [11]. Využíva sa aj na výrobu šnupavého tabaku a konvalinkového parfumu [13].

Vybraný druh je pokladaný za spoľahlivého indikátora výhodných stanovíšť listnatých drevín. Čím mohutnejší a bujnejší je jeho rast a kvitnutie, tým je dané stanovište priaznivejšie pre vývoj týchto drevín [12]. Konvalinka voňavá má hojné zastúpenie v spoločenstvách zv. *Carpinion* Issler 1931, v nižšie položených bučinách zv. *Fagion* Luquet 1926, v dubovo-brestovo-jaseňových lužných lesoch podzv. *Ulmenion* Oberd. 1953. Predstavuje boreálno-subatlanticko-eurázijský prvok vo flóre Slovenska. Hojne sa vyskytuje v skupinách lesných typov *Carpineto-Quercetum* (hrabové dúbravy), *Fageto-Quercetum* (bukové dúbravy), *Fagetum pauper* (bučiny), *Fagetum dealpinum* (dealpínske bučiny) [6, 13].

Výber rastlinného druhu pre fenologické pozorovania bol podmienený jeho jednoduchou identifikáciou v teréne a pomerne hojným rozšírením na území celého Slovenska od nížin do horských, miestami až subalpínskych polôh. Táto trváca bylina s tenkým podzemkom nachádzajúcim sa plytko pod povrchom pôdy veľmi citlivo reaguje na prehrievanie opadu, čo sa prejavuje rýchlym nástupom fenologických fáz. Z tohoto dôvodu bola analýza zameraná na fenofázu nástupu začiatku kvitnutia konvalinky voňavej (*Convallaria majalis* L.) na strednom Slovensku vo vzťahu k priemernej mesačnej teplote vzduchu.

Druh pozorovatelia zaznamenávali na lokalitách s prirodzeným výskytom v lesných porastoch alebo na ich okrajoch v rokoch 1987–2006 podľa platnej metodiky fenologických pozorovaní lesných rastlín [3]. Jednotlivé byliny pozorovali v skupine na miestach s vyšším výskytom, minimálne na ploche s 10 rastlinami. Pri pozorovaniach zaznamenávali dátumy nástupu fenofázy. Pri spracovaní dát sme urobili transformáciu dátumu na číselný údaj, kde je každý deň v roku nahradený poradovým číslom dňa od začiatku roka. Za začiatok nástupu fázy kvitnutia sa podľa metodiky považuje deň, keď na pozorovacej skupine dosiahla fáza 10% výskyt, t.j. nastúpila aspoň u 3–4 jedincov v pozorovanej skupine. Na ploche s početnejším výskytom rastliny nástup tejto fenofázy nastáva vtedy, keď je rozkvitnutých 30–40 % jedincov daného druhu. Súkvetia vstupujú do tejto fázy rozvinutím 2–3 kvietkov v spodnej časti strapcov.

Podkladový materiál pre vyhodnotenie nástupu kvitnutia konvalinky sme získali zo všetkých 11 možných staníc lesníckej fenológie nachádzajúcich sa na území stredného Slovenska v nadmorskej výške od 185 m n. m. (Lučenec) do 855 m n. m. (Oravice), kde bol daný druh pozorovaný. Údaje o teplotách vzduchu boli použité z meteorologických staníc, ktoré sa nachádzajú v najbližšom okolí príslušných fenologických staníc. Nadmorská výška, zemepisné súradnice fenologických staníc a prislúchajúce meteorologické stanice sú uvedené v tabuľke 1.

Stredné Slovensko zaberá celkovo 1 6249,9 km^2. Plošne najväčšiu rozlohu (takmer 59 %) pokrýva územie s výškovým rozpätím 200–800 m (tabuľka 2).

Pri analýzach sme vychádzali z priemernej mesačnej teploty vzduchu v mesiacoch marec až máj pred nástupom kvitnutia a to pre všetky stanice. Podľa [4] majú práve tieto teploty preukazne najvyššiu koreláciu so sledovaným štádiom

Tab. 2 Hypsometrické členenie územia stredného Slovenska odvodené z digitálnej topografickej mapy mierky 1 : 50 000.

Table 2. Hypsometric classification of the Central Slovakia derivation from digital topographic map M 1 : 50 000.

Por. č.	Hypsometrické rozpätie	Výmera (km^2)	Percentuálny podiel celkovej výmery (%)
1.	do 200 m n. m.	690,2	4,20
2.	200–300 m n. m.	1974,4	12,10
3.	300–400 m n. m.	1498,6	9,20
4.	400–500 m n. m.	1965,1	12,10
5.	500–600 m n. m.	2046,8	12,50
6.	600–700 m n. m.	2070,5	12,70
7.	700–800 m n. m.	1820,6	11,20
8.	800–900 m n. m.	1463,9	9,00
9.	900–1 000 m n. m.	976,6	6,00
10.	1 000–1 100 m n. m.	627,1	3,80
11.	1 100–1 200 m n. m.	389,9	2,40
12.	1 200–1 300 m n. m.	260,4	1,60
13.	1 300–1 400 m n. m.	170,8	1,50
14.	1 400–1 500 m n. m.	107,1	0,60
15.	1 500–1 600 m n. m.	68,2	0,40
16.	1 600–1 700 m n. m.	48,4	0,30
17.	1 700–1 800 m n. m.	34,9	0,20
18.	1 800–1 900 m n. m.	23,2	0,10
19.	1 900–2 000 m n. m.	10,2	0,09
20.	2 000 a viac m n. m.	3,0	0,01
Suma		**16249,9**	**100**

ontogenézy. Priemerné hodnoty nástupu kvitnutia a priemerná mesačná teplota vzduchu tri mesiace pred nástupom začiatku kvitnutia na jednotlivých staniciach v sledovanom období boli spracované metódou priestorovej autokorelácie v prostredí GIS v programe ArcView GIS.

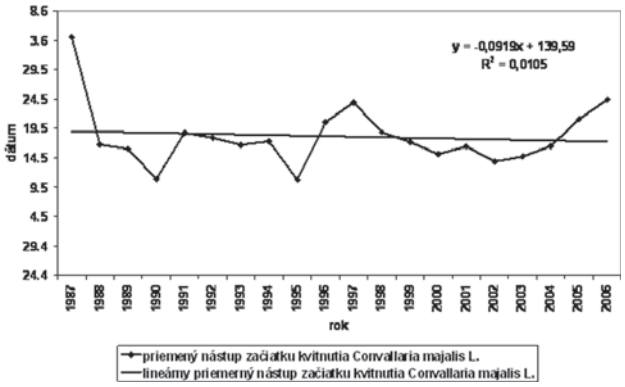
3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Počas sledovaných rokov začala konvalinka voňavá na strednom Slovensku kvitnúť v priemere od 5. mája do 10. júna. Najskorší nástup fenologickej fázy začiatku kvitnutia bol zaznamenaný 22. apríla 1991 v Slovenskej Ľupči, najneskorší nástup bol 24. júna 2000 v Oraviciach. Naše údaje tak potvrdili literárne pramene [5], ktoré udávajú obdobie kvitnutia konvalinky na Slovensku v období mája a júna. Priemerný nástup kvitnutia na strednom Slovensku v jednotlivých rokoch s trendom vývoja je znázornený na obrázku 1.

Hoci dvadsaťročný časový rad údajov je pre posúdenie vplyvu klimatických zmien krátky, zaznamenali sme za toto obdobie nepatrne klesajúci trend. Prejavilo sa to skorším nástupom kvitnutia o približne 2 dni, čo nie je štatisticky preukazný trend. Zatiaľ však nemožno z týchto poznatkov predpovedať ďalší smer jeho vývoja. Pre podrobnejšie vyhodnotenie priebehu kvitnutia za hodnotené obdobie sme vybrali tri lokality v celom vertikálnom profile, na ktorých boli zaznamenané všetky potrebné údaje. Priebeh kvitnutia spolu s priemernou trojmesačnou teplotou vzduchu za mesiace marec – máj znázorňujú obrázky 2–4.

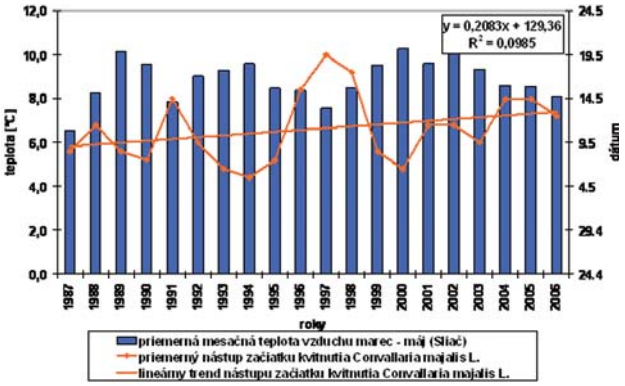
Z obrázkov vidieť, že u konvalinky na všetkých troch lokalitách nastáva oneskorovanie kvitnutia s posunom približne o 4 dni – Zvolen, 7 dní – Staré Hory, 7 dní – Telgárt. Oneskorovanie paradoxne spôsobuje skutočnosť, že zalisťovanie lesných porastov sa posúva do skorších termínov, čo dokumentuje aj práca [2]. Olistená koruna vytvára špeciálnu mikroklímu, ktorá zabraňuje zvyšovaniu teploty prízemnej vrstvy a prehriatiu pôdy. Hoci by sa dalo predpokladať, že trojmesačná teplota vzduchu bude mať priamo úmerný vplyv na časový nástup kvitnutia na jednotlivých lokalitách, z obrázkov 2–4 vidieť rozličnú závislosť. Reprezentatívne výsledky by sme dosiahli v prípade, že by sa merania teploty robili priamo v porastoch s výskytom pozorovaného druhu. Meteorologické stanice sú umiestnené na voľnej ploche a merané meteorologické prvky sa nedajú úplne presne použiť na vyhodnotenie vzťahu s fenologickým prejavom kvitnutia konvalinky rastúcej v okruhu porastovej mikroklímy.

Grafické znázornenie priemerných nástupov fenofázy na jednotlivých staniciach podáva obrázok 5. Z obrázku vidieť, že stanice do nadmorskej výšky 400 metrov majú takmer vyrovnaný priebeh priemerného nástupu kvitnutia, nad touto hranicou sa prejavila vyššia variabilita. Pri ďalšom hodnotení



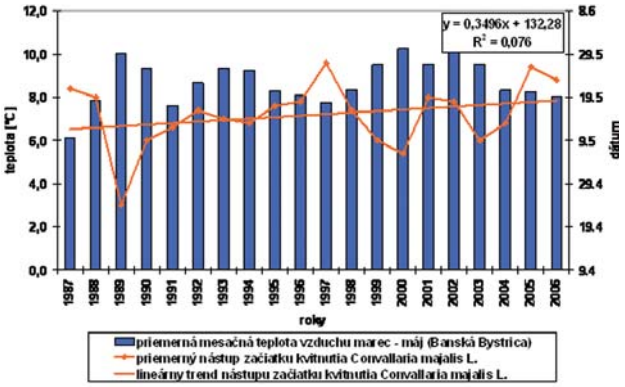
Obr. 1 Priemerný nástup začiatku kvitnutia Convallaria majalis L. za obdobie rokov 1987 – 2006 na strednom Slovensku.

Fig. 1. Mean beginning of flowering Convallaria during period 1987 – 2006 in the Central Slovakia.



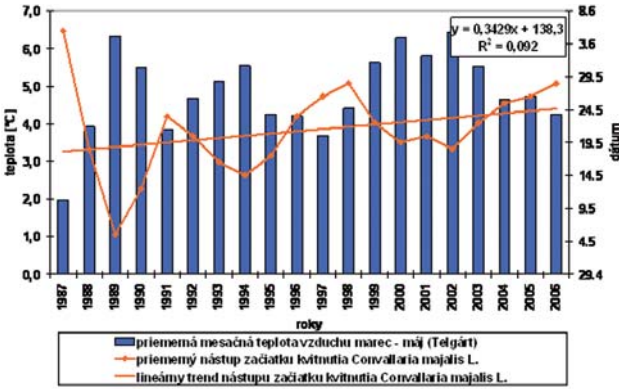
Obr. 2 Začiatok kvitnutia Convallaria majalis L. a priemerná mesačná teplota vzduchu tri mesiace pred touto jarnou fenologickou fázou za obdobie rokov 1987 – 2006 na lokalite Zvolen.

Fig. 2. Beginning of flowering Convallaria majalis and average monthly air temperature three months before this spring phenophase during period 1987 – 2006 at the station Zvolen.



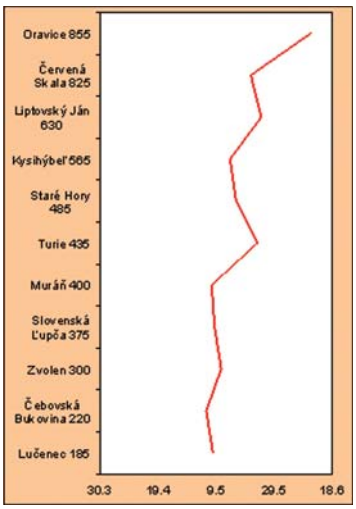
Obr. 3 Začiatok kvitnutia Convallaria majalis L. a priemerná mesačná teplota vzduchu tri mesiace pred touto jarnou fenologickou fázou za obdobie rokov 1987 –2006 na lokalite Staré Hory

Fig. 3. Beginning of flowering Convallaria majalis and average monthly air temperature three months before this spring phenophase during period 1987 – 2006 at the station Staré Hory



Obr. 4 Začiatok kvitnutia Convallaria majalis L. a priemerná mesačná teplota vzduchu tri mesiace pred touto jarnou fenologickou fázou za obdobie rokov 1987 – 2006 na lokalite Červená Skala.

Fig. 4. Beginning of flowering Convallaria majalis and average monthly air temperature three months before this spring phenophase during period 1987–2006 at the station Červená Skala.



Obr. 5 Priemerný nástup začiatku kvitnutia Convallaria majalis L. *na fenologických staniciach na strednom Slovensku v závislosti od nadmorskej výšky za obdobie 1987–2006.*

Fig. 5. Mean beginning of flowering Convallaria majalis on phenological stations in the Central Slovakia in the dependence on altitude during period 1987–2006.

sme zohľadnili túto skutočnosť a fenologické stanice sme rozdelili do dvoch skupín.

Štatistické údaje o sledovanej fenologickej fáze na vybraných staniciach podáva tabuľka 3. Nakoľko súbory hodnôt na jednotlivých fenologických staniciach neboli identické, pre relatívne porovnanie miery variability sme použili variačný koeficient. Zistili sme aj variačné rozpätie (rozdiel medzi najneskorším a najskorším dátumom fenofázy [17]) ako charakteristiku miery variability pre každú stanicu. Časový nástup začiatku kvitnutia na staniciach v nadmorskej výške do 400 metrov prebiehal od 5. do 12. mája. Variabilitu časového nástupu na jednotlivých staniciach vyjadrujú variačné koeficienty, ktoré dosahujú vyrovnané hodnoty v rozpätí od 2,17 % do 2,95 %. Výnimkou je lokalita Slovenská Ľupča, na ktorej sme zaznamenali najväčšiu variabilitu (variačný koeficient 5,29 %) a tiež variačné rozpätie počas sledovaného obdobia dosahujúce 27 dní spôsobené jej polohou v údolí pod masívom Nízkych Tatier.

S rastúcou nadmorskou výškou na fenologických staniciach nad 400 metrov sa táto fenologická fáza oneskoruje a priemerne nastupuje v období od 15. mája do 10. júna. Najneskorší júnový termín bol zaznamenaný v severnej časti Slovenska v oblasti Oravy. Zistená variabilita vyjadrená hodnotou variačného koeficientu sa pohybuje v rozpätí 3,09–5,69 %. Fenofáza dosahuje aj vyššie variačné rozpätia na jednotlivých fenologických staniciach od 14 do 39 dní. Podobne pomerne vysokú variabilitu nástupov jarných fenologických fáz lesných bylín v nadmorskej výške nad 450 metrov uvádza v svojej práci aj [13].

Hodnoty všetkých variačných koeficientov, aj napriek značne rozdielnym stanovištným podmienkam, sú nižšie ako pri tej istej fenofáze u lesných drevín [15, 16]. Spôsobuje to skutočnosť, že konvalinka reaguje na mikroklímu prízemnej vrstvy veľmi intenzívne, pretože má tenký plazivý podzemok rozkonárený plytko pod povrchom pôdy a jej výška dosahuje len do 30 centimetrov. Fenologické prejavy sú priamo závislé na prehriatí lesnej opadanky a vrchnej vrstvy pôdy. Dreviny s niekoľko metrovou korunou vysoko nad povrchom zeme majú preto nerovnomerný nástup začiatku kvitnutia s vyššou variabilitou.

V sledovanom časovom období bola najnižšia priemerná teplota vzduchu vo februári 1987 v Telgárte –7,9 °C a naopak najvyššia 13,6 °C v apríli roku 2000 v Dolných Plachtinciach. Variabilita priemernej mesačnej teploty vzduchu tri mesiace pred nástupom začiatku kvitnutia bola 4,3 °C.

Priemerné hodnoty nástupu začiatku kvitnutia a priemerná mesačná teplota vzduchu tri mesiace (marec–máj) pred nástupom začiatku kvitnutia na jednotlivých staniciach v rokoch 1987 až 2006 boli spracované v prostredí GIS metódou priestorovej autokorelácie na spojitý model územia, kde sú znázornené jednotlivé izolínie reprezentujúce priemernú teplotu vzduchu tri mesiace pred nástupom začiatku kvitnutia (obr. 6) a nástup začiatku kvitnutia *Convallaria majalis* na strednom Slovensku (obr. 7). Spojitý model priemerného nástupu jarných fenofáz v rámci Slovenska bol použitý aj v iných prácach [9].

Z obidvoch obrázkov vidieť priamu závislosť začiatku kvitnutia konvalinky od priemernej teploty vzduchu v jednotlivých oblastiach Slovenska. Na staniciach do nadmorskej výšky 400 metrov, kde sa priemerná trojmesačná teplota vzduchu pred nástupom kvitnutia pohybovala v rozpätí 2–6 °C, prebiehalo kvitnutie v prvej májovej dekáde. V nadmorskej výške 400–600 metrov sa začiatok kvitnutia posunul od konca prvej do polovice tretej májovej dekády pri priemernej teplote vzduchu 2–4 °C tri mesiace pred nástupom fenofázy. Na staniciach nad 800 metrov n. m., kde priemerná teplota 3 mesiace pred nástupom začiatku kvitnutia dosahovala menej ako 2 °C, nastal odlišný časový priebeh fenofázy. Na stanici Červená Skala začínala konvalinka kvitnúť priemerne v poslednej dekáde mája, zatiaľ čo na stanici Oravice v prvej dekáde júna. Tento rozdielny nástup aj napriek rovnakej nadmorskej výške je pravdepodobne spôsobený stanovištnými podmienkami. Kým na stanici Červená Skala prehriate južné svahy Nízkych Tatier urýchľujú fenofázu, naopak oblasť Oravy sa vyznačuje chladnou a vlhkou klímou, čo odďaľuje termín začiatku kvitnutia.

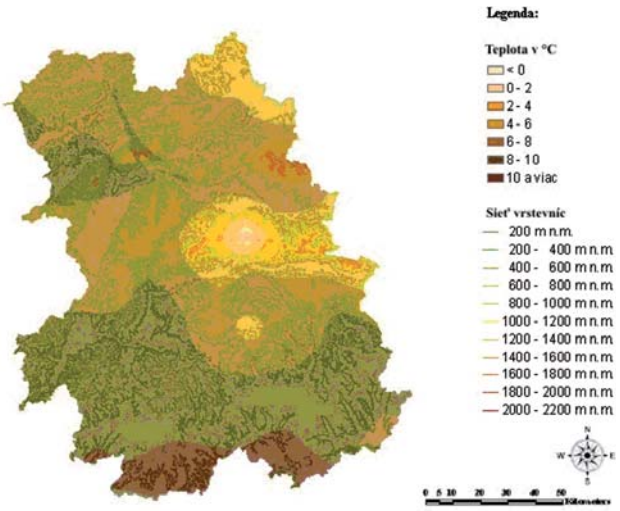
4. ZÁVER

Nástup začiatku kvitnutia konvalinky voňavej (*Convallaria majalis* L.) na strednom Slovensku stanovený na základe pozorovaní v rokoch 1987–2006 na 11 fenologických staniciach je od 5. mája do 10. júna. Fenologické stanice do 400 metrov mali pomerne vyrovnaný priebeh nástupu fenofázy od 5. do 12. mája. Vyrovnaný priebeh nástupu dokumentujú aj hodnoty variačných koeficientov, ktoré sa pre stanice do 400 m n. m. pohybujú v rozpätí od 2,17 % do 2,95 %. Výnimkou je lokalita Slovenská Ľupča, na ktorej štatistické charakteristiky variability dosiahli najvyššie hodnoty (variačný koeficient

Tab. 3 Štatistické charakteristiky začiatku kvitnutia konvalinky voňavej (∅x – aritmetický priemer (vyjadrený ako dátum), R – variačné rozpätie, sx – smerodajná odchýlka, sx% - variačný koeficient).

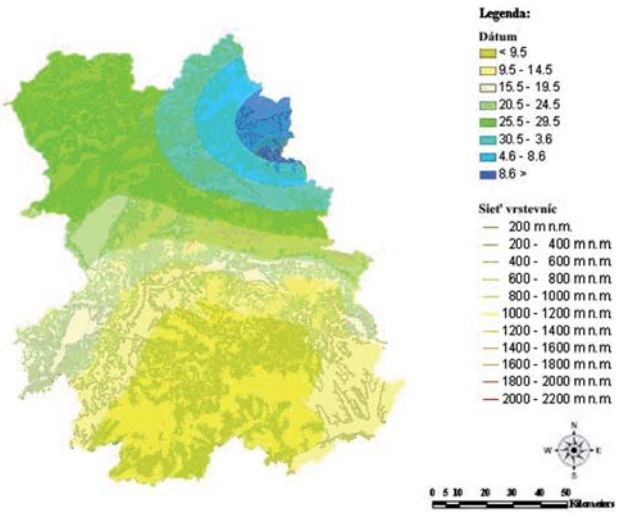
Table 3. Statistic characteristics of the beginning of flowering the Convallaria majalis L. (∅x – arithmetic mean (as date), R – variation range, sx – standard deviation, sx% – relative standard deviation.)

Fenologické stanice	Štatistické charakteristiky			
	∅x	R	s_x	s_x%
do 400 m n. m.				
Lučenec	10.5.	11	3,29	2,55
Čebovská Bukovina	5.5.	9	3,43	2,71
Zvolen	12.5.	14	3,88	2,95
Slovenská Ľupča	10.5.	27	6,83	5,29
Muráň	9.5.	10	2,79	2,17
nad 400 m n. m.				
Turie	25.5.	24	8,14	5,69
Staré Hory	19.5.	20	5,91	4,32
Kysihýbeľ	15.5.	15	4,91	3,65
Liptovský Ján	26.5.	14	4,52	3,09
Červená Skala	27.5.	31	6,40	4,50
Oravice	10.6.	39	9,03	5,61



Obr. 6 Priemerná teplota vzduchu tri mesiace pred nástupom začiatku kvitnutia Convallaria majalis L. na strednom Slovensku (1987–2006).

Fig. 6. Average air temperature three months before flowering Convallaria majalis in the Central Slovakia (1987–2006).



Obr. 7 Spojitý model priemerného nástupu začiatku kvitnutia Convallaria majalis L. na strednom Slovensku (1987–2006).

Fig. 7. Mean beginning spatial model of flowering Convallaria majalis in the Central Slovakia (1987–2006).

5,29 %, variačné rozpätie 27 dní), čo je spôsobené údolnou polohou fenologickej stanice.

Na staniciach s nadmorskou výškou nad 400 metrov začiatok kvitnutia priemerne nastupuje v období od 15. mája do 10. júna. V týchto oblastiach sa prejavila väčšia variabilita na jednotlivých lokalitách. Zaznamenali sme vyššie hodnoty variačných koeficientov (3,09 %–5,69 %) a variačné rozpätia na jednotlivých staniciach od 14 do 39 dní.

Na lokalitách Zvolen, Staré Hory, Telgárt sme hodnotili aj trend nástupu kvitnutia. Na všetkých troch lokalitách nastáva oneskorovanie kvitnutia s posunom o približne 4 až 7 dní vplyvom rýchlejšieho zalistenia okolitého lesného porastu. V súbore dvadsaťročného časového radu všetkých jedenástich sledovaných lokalít sme zaznamenali skorší nástup kvitnutia *Convallaria majalis* na strednom Slovensku o približne 2 dni. Bude potrebné potvrdiť jeho vývoj pri dlhšom časovom rade údajov.

Poďakovanie

Autorky ďakujú projektom VEGA MŠ SR 1/4393/07, 1/3256/06, 1/0515/08 za podporu tejto publikácie.

Literatúra

[1] BAGAR, R. – NEKOVÁŘ, J., 2006. Tendence vývoje vegetace v přírodních lesních oblastech Moravy. In: Rožnovský, J., Litschmannn, T., Vyskot, I. (eds.): Fenologická odezva proměnlivosti podnebí, s. 7. Brno: ČHMÚ. 38 s. ISBN 80-86690-35-0.

[2] BAUER, Z., 2006. Fenologické tendence složek jihomoravského lužního lesa na příkladu habrojilmové jaseniny *(Ulmi-Fraxineta Carpini)* za období 1961–2000. Část fenologie dřevin. *Meteorologické Zprávy*, roč. **59**, č. 3, s. 80–85.

[3] BRASLAVSKÁ, O. – KAMENSKÝ, L., 1996. Fenologické pozorovanie lesných rastlín: Metodický predpis. Bratislava: SHMÚ. 22 s.

[4] BRASLAVSKÁ, O. – MÜLLER-WESTERMEIER, G. – ŠŤASTNÝ, P. – LUKNÁROVÁ, V. – TEKUŠOVÁ, M. et al., 2004. Evaluation of Phenological Data for Climatological Purposes. Final Report. Forschung und Entwicklung, Arbeitsergebnisse Nr. 81. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst. 140 s.

[5] ČERVENKA, M. – FERÁKOVÁ, V. – HÁBER, M. – KRESÁNEK, J. – PACLOVÁ, L. et al., 1984. Z našej prírody. Bratislava: Príroda. 404 s.

[6] DOSTÁL, J., ČERVENKA, M., 1992. Veľký kľúč na určovanie vyšších rastlín II. Bratislava: SPN. 342 s.

[7] KRAMER, K., 1996. Phenology and growth of Europaean trees in relation to climate change. Wageningen: Proefschrift Wageningen. 210 s.

[8] KURPELOVÁ, M., 1972. Fenologické pomery. In: Slovensko – Príroda. Bratislava: Obzor, s. 275–282.

[9] MELO, M., 2006. Vplyv geografickej polohy na nástup fenologických fáz lipy malolistej na Slovensku. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (eds.): Fenologická odezva proměnlivosti podnebí, s. 17. Brno: ČHMÚ. 38 s. ISBN 80-86690-35-0.

[10] MINĎÁŠ, J. – ŠKVARENINA, J., 2003. Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. Zvolen: Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene. 129 s.

[11] NOVÁK, F. A., 1976. Veľký obrazový atlas rastlín. Bratislava: Mladé letá. 613 s.

[12] RABŠTEINEK, O. – PORUBA, M., 1983. Lesní rostliny ve fotografii. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 260 s.

[13] RANDUŠKA, D., 1981. Lesné rastliny vo fotografii. Bratislava: Príroda. 524 s.

[14] SCHIEBER, B., 2007. Changes of flowering phenology of six herbal species in a beech forest (Central Slovakia): A decade analysis. *Polish Journal of Ecology,* Vol. **55**, s. 233–244.

[15] ŠKVARENINOVÁ, J., 2003. Analýza fenologických pozorovaní vybraných lesných drevín v Zvolenskej pahorkatine. *Acta Facultatis Forestalis*, Vol. **45**, Technická univerzita vo Zvolene, s. 29–40.

[16] ŠKVARENINOVÁ, J., 2007. Charakteristika fenologických fáz jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) v Arboréte Borová hora v rokoch 1987–2006. *Acta Facultatis Forestalis*, Vol. **49**, Technická univerzita vo Zvolene, s. 17–29.

[17] ŠMELKO, Š., 1977. Štatistické metódy v lesníctve. Bratislava: Príroda. 330 s.

[18] www.ufz.de/biolflor

[19] www. wikipedia.org

Lektor (Reviewer) Ing. J. Nekovář, CSc.

OZONOVÉ SYMPOZIUM, TROMSØ, 2008

Ve dnech 30. 6.–5. 7. 2008 se v norském Tromsø konala mezinárodní konference „Quadrennial Ozone Symposium" (QOS), kterou ve čtyřletých intervalech pořádá Mezinárodní ozonová komise IAMAS (Mezinárodní asociace pro meteorologii a atmosférické vědy). Hlavním účelem sympozia je prezentace nejnovějších výsledků monitoringu a výzkumu atmosférického ozonu a jeho vazeb na další procesy v atmosféře a na mezinárodní konvence. Toto celosvětové setkání odborníků je doprovázeno také řadou institucionálních i osobních jednání, která jsou důležitá pro další rozvoj výzkumu v této stále velmi aktuální vědecké oblasti. Spolupořadatelem letošní konference byla také Evropská komise. Na místní organizaci QOS se podílely hlavně Universita Oslo, Universita Tromsø a Norský ústav pro výzkum atmosféry (NILU). Akce se účastnilo ca 350 odborníků včetně autorů této informace, kteří prezentovali na 450 příspěvků rozdělených do 10 základních tematických sekcí. Odborné výsledky z jednotlivých sekcí lze shrnout do následujících základních závěrů.

Historie výzkumu ozonu – Montrealský protokol

V této úvodní sekci přednesl R. Bojkov, dlouholetý tajemník IOC, podrobný historický přehled nejdůležitějších etap výzkumu atmosférického ozonu včetně budování globálního systému monitoringu ozonové vrstvy (OV). Poukázal rovněž na vazby mezi bilancí vzniku a rozkladu ozonu a dalšími atmosférickými procesy, které se mimo jiné podílejí na formování a změnách globálního klimatu. Na tuto přednášku navázal laureát Nobelovy ceny za chemii S. Rowland, který shrnul základní principy vlivu chlorovaných uhlovodíků na poškozování ozonové vrstvy. Další přednášky se věnovaly vzniku a působení Montrealského protokolu (MP) a jeho dodatků, které bylo hodnoceno jako prozatím velmi úspěšné a s dobrou perspektivou na celkové obnovení OV. I když se zatím daří velmi účinně realizovat omezení produkce a spotřeby ozon ničících látek (ONL), je třeba i nadále zajistit dodržování MP v podmínkách rychlého růstu ekonomik rozvojových zemí a rozšířit výzkum závislosti obnovy OV na očekávaných změnách globálního klimatu. Stále více se tak potvrzuje vazba MP na Kjótský protokol – více v kap. Interakce ozonu a klimatu.

Rozvoj technologií měření

Pokračující rozvoj nových metod měření ozonu vychází především z potřeb komplexního monitoringu všech důležitých složek atmosféry, které vstupují nejen do chemických reakcí ovlivňující bilanci ozonu, ale i do dalších navazujících procesů – např. „skleníkového" typu nebo regionálního znečištění atmosféry. Stále více se projevuje potřeba zpřesnit měření těchto složek (celkových objemů i vertikálních profilů) a to nejen ve stratosféře, ale i v troposféře. Stoupající požadavky na přesnost, kvalitu a kontinuitu měření vedou k nutnosti zavádění ISO norem kvality, zejména u pozemních systémů. Rozvoj a zavádění nových technologií měření zahrnují především:

- měření ozonu a souvisejících atmosférických složek nejen z polárních, ale i z geostacionárních družic se zaměřením jak na nadirové „backscattered", tak i na „limb-occultation" technologie,
- zvýšení rozlišovací přesnosti družicových měření až na 5 km s časovým intervalem pod 60 minut (například i pro operativní sledování kvality ovzduší v regionálním měřítku),
- zlepšení přesnosti měření vertikálních profilů ozonu a dalších složek (družicemi i pozemními systémy) kombinací lidarových a spektrálních měření v UV, viditelné, infračervené a mikrovlnné oblasti,
- stanovení a zavádění standardních provozních postupů (SOPs) pro hlavní typy pozemních přístrojů – především pro spektrofotometry a ozonové sondy.

V uplynulém desetiletí došlo k rychlému rozvoji družicového monitoringu ozonu a UV evropskými agenturami, což se projevilo i rostoucím počtem úspěšných projektů – např. GOME I, GOME II, SCIAMACHY, OMI. Jako nový a perspektivní způsob měření atmosférických složek se jeví i velkokapacitní bezpilotní letouny vybavené chemickými kontejnery.

Měření celkového ozonu a vertikálního rozložení – analýzy a hodnocení

Měření celkového ozonu spektrofotometry a vertikálních profilů ozonovými sondami stále zůstává hlavní částí pozemního monitorovacího systému, který je tvořen především sítěmi programů GAW a NDACC. Tato měření slouží k hodnocení dlouhodobých trendů vývoje ozonové vrstvy, validaci družicových měření a k operativnímu globálnímu mapování. Vzájemné porovnání asimilovaných družicových dat vůči pozemním měřením celkového ozonu ukazuje na rozdílnou kvalitu měření a vede k nutnosti opravy datových řad z některých, i dlouhodobých, stanic. Za tímto účelem byl proveden specialisty Světového ozonového a UV datového centra (WOUDC) výběr „problémových" stanic, které budou vyzvány k účasti na opravení dat. Tuto akci budou koordinovat expertní skupiny SMO.

Za účelem udržení kvality měření bude třeba také pro nové typy přístrojů (UV/VIS, FTIR) definovat a zavést příslušné SOPs a další kritéria kontroly kvality. Naopak rozdíly mezi jednotlivými družicovými přístroji vyžadují podrobné analýzy, ke kterým je třeba zejména:

- provádět speciální srovnávací akce s pozemními přístroji, zejména ve vyšších zeměpisných šířkách – viz. projekt SAUNA,
- standardizovat jednotné škály absorpčních koeficientů ozonu a dalších atmosférických plynů,
- dále zpřesnit algoritmy zpracování družicových dat, především u typu DOAS.

Pro maximální sjednoceni měření vertikálních profilů ozonovými sondami byly vypracovány SOPs vycházející z rozsáhlých laboratorních studii i mezinárodních srovnávacích měření. Důležitým úkolem je dosažení homogenity ozonosondážních dat jak v čase (jednotlivé řady z každé stanice), tak v prostoru (mezi stanicemi v sítích). Proto byly pro různé typy čidel doporučeny postupy pro přípravu sondy před vypuštěním i pro následné zpracování naměřených údajů. Výše uvedené úzce souvisí s nástupem nových technologií a s tím spojeným zvyšováním přesnosti měření ozonových čidel a radiosond (měření tlaku, teploty a vlhkosti). Dochází ke změnám v hustotě vzorkování vrstev atmosféry. To může vést k nehomogenitám v časových řadách.

Další analýzy a hodnocení ozonových profilů by měly být zaměřeny na zkoumání spojitostí mezi změnami vertikální distribuce a všeobecné cirkulace atmosféry. V popředí zájmu je hledání vazeb mezi rozložením řídicích tlako-

vých útvarů (a tedy prouděním) a přenosem ozonu mezi troposférou a stratosférou. S tím úzce souvisí oblast tropopauzy, a tudíž i měření vertikálních profilů teploty. Pro zkoumání těchto vazeb jsou velice detailní ozonosondážní data nezastupitelným zdrojem informací.

Ozon rozkládající látky

Bylo konstatováno, že v důsledku přijetí Montrealského protokolu klesá ve spodní atmosféře od r. 1994 množství chloru a bromu vznikajících fotolytickým rozkladem ONL.

V současné době je značná pozornost věnována působení halogenovaných látek s velmi krátkou dobou setrvání (< 0,5 roku) a jejich příspěvku k celkové zátěži halogenovanými sloučeninami ve stratosféře. Je prokázáno, že tyto látky i přes jejich velmi krátkou životnost pronikají až do nejnižších vrstev stratosféry. Z bromovaných sloučenin se jedná zejména o bromoform ($CHBr_3$) a dibrommetan (CH_2Br_2). Chlorované sloučeniny jsou zastoupeny převážně chloroformem ($CHCl_3$) a dichlormetanem (CH_2Cl_2). Byla představena schemata popisující rozklad těchto látek v troposféře a modelové výpočty jejich příspěvku k rozkladu stratosférického ozonu.

Relativně nové téma v oblasti nejistot v atmosférické chemii představuje problematika rozkladu ozonu v arktické mezní vrstvě. Předpokládá se, že potenciálním zdrojem plynné fáze halogenovaných sloučenin jsou heterogenní reakce probíhající na mořském aerosolu. Mechanismus procesu, kterým dochází k uvolnění aktivního halogenu z organického nebo anorganického zdroje, není znám. Prezentovány byly měřené profily koncentrací NO_2, BrO, OClO. Pozornost byla věnována i radikálům HO_x (H., OH. a HO_2.), které se také mohou významně podílet na poškozování ozonové vrstvy.

Změny UV

Tato sekce se zabývala hlavně klimatologií a dlouhodobými změnami UV. Ve vysokých a středních zeměpisných šířkách jsou změny UV záření v posledních desetiletích nejvýraznější. Právě proto je věnována velká pozornost dlouhodobým změnám, rekonstrukcím a porovnáním jednotlivých UV modelů pro různé geografické oblasti. ČHMÚ se aktivně podílí ve dvou evropských projektech, které se zabývají jednak dosavadními dlouhodobými změnami UV záření v oblasti Evropy (COST-726, SCOUT-O3, 6FP-EU), ale také budoucím vývojem. Z dosavadních výsledků vyplývá, že v oblasti Evropy UV záření narůstá ca od druhé poloviny 80. let nejen v důsledku změn celkového množství ozonu v atmosféře, ale také vlivem změn oblačnosti a slunečního svitu. Dále bylo ukázáno, jak velká může být variabilita UV záření v průběhu jednotlivých let v různých atmosférických podmínkách. Ukazuje se, že tato proměnlivost je jedním z klíčů k porozumění celkových změn UV záření.

Troposférický ozon

Na ozonovém sympoziu bývá tradičně mnohem větší pozornost i prostor věnován ozonu stratosférickému než troposférickému. Nicméně i v této sekci zazněla řada zajímavých příspěvků. Úvodní přednášku pronesl A. Volz-Kley, známý zejména jako první autor hojně citované práce „Ozone Measurements in the 19th Century: An Evaluation of the Montsouris Series“ publikované v r. 1988. Uvedl, že koncentrace ozonu na tzv. pozaďových stanicích v Evropě i Severní Americe nadále rostou, trendy jsou však rozdílné v různých oblastech. Není k dispozici žádná konzistentní dlouhá časová řada měření koncentrací troposférického ozonu a také je obtížné detekovat dlouhodobé trendy jeho prekurzorů, tedy oxidů dusíku a těkavých organických látek. Z dostupných měření je zřejmé, že růst koncentrací je vyšší v zimním období než v létě, což dosud nebylo vysvětleno. V následujících příspěvcích týkajících se modelování koncentrací ozonu však bylo poukázáno na fakt, že v rozporu s výsledky přímých měření, modely používané např. v projektu RETRO (Reanalysis of the Tropospheric Chemical Composition over the past 40 Years), žádné rostoucí trendy neukazují.

S. Oltmans z NOAA poukázal na rozdílné trendy a chování ozonu v různých geografických oblastech v rámci severní i jižní polokoule a prezentoval změny průměrných dlouhodobých koncentrací na stanicích různých typů. Výrazně rozdílné chování vykazují stanice v závislosti na vzdálenosti od emisních zdrojů.

Ordoňez et al. ve svém příspěvku poukázali na fakt, že koncentrace přízemního ozonu ve vysokohorských oblastech střední Evropy (stanice Jungfraujoch, Zugspitze, Sonnenblick) v devadesátých letech 20. století rostly, ačkoliv právě v tomto období došlo prokazatelně k výraznému snížení emisí prekurzorů ozonu v Evropě a v poněkud menší míře i v Severní Americe. Připisují to vlivu stratosférických intruz. Dále předpokládají zvýšení vazby mezi ozonem ve volné troposféře a v nižší stratosféře v důsledku působení klimatické změny a obnově ozonové vrstvy.

Několik příspěvků bylo věnováno antropogenním emisím z globální námořní dopravy a bylo zdůrazněno, že asi 70 % emisí prekurzorů z ní je emitováno do relativně velmi čistého ovzduší v pásu do 400 km vnitrozemí. Námořní doprava výrazně zvyšuje emise NO_x a je zřejmé, že v následujícím období porostou v důsledku rostoucího objemu mezinárodního obchodu. Tyto emise nebyly dosud žádným způsobem regulovány. Podle prezentovaných scénářů mohou emise z lodní dopravy v Evropě kompenzovat značnou část snížení emisí z pozemní dopravy očekávaného v důsledku zavedení nové evropské legislativy.

Interakce ozonu a klimatu

Souvislost změn ozonu, resp látek poškozujících ozon, se změnami klimatu se dnes dostává do popředí pozornosti. Je nesporné, že změny v ozonové vrstvě nejsou izolované od obecných klimatických změn, ale že se obě tyto oblasti vzájemně ovlivňují. Změny radiační a tepelné bilance ozonosféry ovlivňují její teplotu a tím i stratosférickou cirkulaci (Brewer-Dobsonova cirkulace) v globálním měřítku, nebo polohu jet-streamů. Pronikání stratosférického ozonu do troposféry, případně tvorba přízemního ozonu, ovlivňují radiační a tepelnou bilanci troposféry. Naopak pronikání některých skleníkových plynů do stratosféry nebo změny teploty ozonosféry mohou ovlivnit průběh řady chemických reakcí, podílejících se na tvorbě či rozkladu ozonu.

Na QOS se přednášky k tomuto tématu týkaly spíše obecných principů interakce mezi ozonem a klimatem, zatímco postery byly většinou věnovány konkrétním dílčím procesům nebo lokálním či regionálním analýzám těchto interakcí. Mezi nejzajímavější závěry patří např. předpokládané geografické odlišnosti jednotlivých fází obnovy ozonové vrstvy (zejména v oblasti těsně nad tropopauzou), které by měly být způsobeny právě změnami v Brewer-Dobsonově cirkulaci. Ukazuje se, že v dnešní době už nelze oddělovat klasické modelování klimatu od chemických modelů popisujících chování ozonosféry a že pro budoucnost bude velice důležité právě jejich propojení. Několik prezentovaných příspěvků již vycházelo z výsledků dynamických modelů atmosféry, pro-

pojených s modely chemickými, zaměřenými hlavně na procesy tvorby a rozkladu ozonu.

Nové procesy, nejistoty

V sekci nové procesy a nejistoty se autoři zaměřovali především na parametrizaci chemických procesů ovlivňujících intenzitu tvorby a rozkladu ozonu. Výjimkou v tomto směru byl příspěvek J. P. Pommereau zabývající se injektáží ledových částic do stratosféry díky přestřelujícím vrcholkům bouří. Tento jev byl doposud považován z hlediska chemického složení atmosféry za nevýznamný a není v modelech zahrnut. Četnost těchto průniků troposférického vzduchu do stratosféry, a tedy i jejich význam, roste s klesající zeměpisnou šířkou. Z příspěvku však vyplývá, že by jeho vliv mohl být nezanedbatelný i v globálním měřítku a rozhodně by neměl být zcela opomíjen. Kvantifikace injektáže částic do stratosféry a její zahrnutí do modelů je předmětem dalšího studia.

Dále byla diskutována loňská publikace Pope a kol. (2007), která uvádí výrazně nižší absorpci UV záření působením ClOOCl, oproti dosud předpokládaným hodnotám. V důsledku nižší intenzity fotolýzy ClOOCl byly v modelech významně sníženy ztráty polárního ozonu připisované katalytickým ClO_x reakcím. V takovém případě by část reálných ztrát polárního ozonu zůstala v modelech nevysvětlena, což by znamenalo, že současná známá chemie ozonu by nebyla schopna vysvětlit formování ozonové díry. Hlavní problém měření absorpčního spektra ClOOCl je v kontaminaci vzorků molekulami Cl_2. Byly vyvinuty nové metody jednoznačné detekce Cl_2, takže v brzké budoucnosti by již měly být k dispozici jednoznačné závěry, zda některé mechanismy v současném popisu chemie ozonu dosud chybí. Nová metoda simultánní detekce O(1D) a O(3P) založená na chemiluminiscenční reakci $O(1D) + C_2H \rightarrow CH\ (A) + CO$ byla vyvinuta na KUL v Belgii. Tato metoda umožňuje vysoce přesné určení rychlostních konstant některých, z hlediska ozonové vrstvy klíčových, chemických reakcí.

Polární ozon

Hlavní náplní této sekce byla analýza měření stratosférického ozonu v oblasti Arktidy a Antarktidy. Poslední měření v polárních oblastech ukazují, že úbytky ozonu pokračují. Jedná se nejen o Arktidu, ale zejména o Antarktidu, kde maximální rozloha ozonové díry dosahuje ca 28 mil. km^2. Podle posledních modelových výpočtů budou tyto redukce v polárních oblastech pokračovat i v následujících letech. Postupná obnova se v Arktidě očekává v letech 2040–2050 a v Antarktidě o ca 20 let později v dekádě 2060–2070. Proto se současný výzkum změn ozonové vrstvy stále více zabývá studiem a modelováním vazeb mezi změnami stratosférického ozonu a jejich vlivu na klima. V polárních oblastech se jedná hlavně o ochlazování stratosféry, které podporuje vznik stratosférických polárních oblaků, a tím i úbytky ozonu. Dále to je také očekávaná změna klimatu a s tím spojená přestavba cirkulačních systémů v atmosféře, která může ovlivnit i distribuci ozonu z rovníkových oblastí do vyšších zeměpisných šířek.

Do výzkumu ozonové vrstvy v polárních oblastech se hodlá v příštích letech zapojit i Solární a ozonová observatoř ČHMÚ jako spoluřešitel již schváleného projektu VAV MŽP „Příspěvek ČR k zajištění stavu ozonové vrstvy Země a slunečního UV záření v Antarktidě, paleoklimatická a paleogeografická rekonstrukce vybraného území Antarktidy a související geologické studium a mapování“.

Obnova ozonu

Na základě uplatnění MP by mělo dojít k postupnému snižování ONL v atmosféře a obnově ozonové vrstvy v globálním měřítku. Za nejdůležitější milník v obnově je považován stav, kdy množství ONL klesne na úroveň před rokem 1980. Odhady vývoje vrstvy v následujících letech a desetiletích vycházejí jak z výpočtů numerických modelů, tak ze studií časových řad družicových a pozemních měření. Modely lze v zásadě rozdělit na chemicko-klimatické, chemické a semi-empirické. Hlavním úkolem modelových studií je přispět k pochopení vlivů různých geofyzikálních a chemických faktorů na stav ozonové vrstvy a klimatu. Pro určení dalšího vývoje je třeba brát v úvahu nejen dlouhodobé změny v atmosféře, ale i krátkodobé variace. Středem zájmu je v současné době vztah mezi obnovou ozonu a teplotou atmosféry. Změny v teplotě a cirkulaci stratosféry navíc ovlivňují klima a počasí v troposféře. Chemické reakce ozonu s látkami v atmosféře jsou teplotně závislé a nelze tudíž spojovat obnovu ozonu pouze s redukci ONL. Z výše uvedeného plyne důraz kladený na měření profilů teploty a obsahu vodní páry v atmosféře i validaci těchto měření.

Družicová i pozemní měření naznačují, že klesající trend u stratosférického ozonu se zpomaluje a v posledních deseti letech dochází k určité stabilizaci jeho stavu. Je však třeba zdůraznit, že pro posouzení dlouhodobého vývoje ozonové vrstvy je desetiletí krátkým obdobím, ze kterého zatím nelze vyvodit dostatečně reprezentativní závěry.

Z lidarových měření, která poskytují detailní informace o ozonu až do výšky kolem 40 km, například vyplývá, že před rokem 1996 byl úbytek ozonu v horní stratosféře přibližně 5 až 8 % za desetiletí. Mezi lety 1996 až 2002 zůstávala úroveň ozonu víceméně konstantní a od roku 2002 ozonu mírně přibývá. Ve středních zeměpisných šířkách severní polokoule je mírné zlepšení stavu vrstvy spojováno především s redukcí ONL. Koncentrace těchto látek dosáhly svého maxima přibližně v roce 1996 a minimum ozonu ve výšce kolem 40 km bylo zaznamenáno v roce 2000.

I přes pozorované pozitivní změny v posledním desetiletí je celkové množství ozonu v atmosféře nadále pod hodnotami pozorovanými před rokem 1980. Jarní úbytek ozonu v polárních oblastech je i nadále výrazný, zejména v průběhu studených zim. Rozsáhlá ozonová anomálie v oblasti Antarktidy se objevuje stále a modelové studie naznačují, že k jejímu zmenšování by mohlo dojít nejdříve kolem roku 2025 a návrat ke stavu před rokem 1980 se neočekává dříve než kolem roku 2070. V oblasti Arktidy je pozorována výrazná meziroční variabilita ozonové vrstvy, která je spojována s proměnlivostí meteorologických podmínek. V průběhu chladných zim se za poslední čtyři desetiletí výrazně rozšířily oblasti, ve kterých se vytváří polární stratosférická oblaka, podílející se na rozkladu ozonu ve stratosféře. Tento jev není doposud dostatečně objasněn a znesnadňuje odhad budoucího vývoje v Arktidě.

Prezentace pracovníků ČHMÚ

V rámci účasti na sympoziu delegáti ČHMÚ prezentovali tyto samostatné nebo společné příspěvky:

- Staněk M. – Vaníček K.: Comparison of GOME, OMI satelite with Dobson, Brewer ground total ozone observations at Hradec Kralove, Czech.
- Fioletov V. – Vaníček K. et al.: The performance of the ground-based total ozone network assessed using satelite data.
- Hůnová I.: Surface ozone levels in the Czech Republic.

– Motl M. – Skřivánková P. – Kalvová J.: Connection between pressure in tropopause level and amount of ozone above the Czech Republic.
– Janouch M. – Metelka L.: Modeling of UV Spectra with the Help of Neural Networks – long term changes.
– Tourpali K. – Janouch M. et al. : Variability of surface erythemal irradiance calculated from a Chemistry-Climate Model output.
– Den Outer P. – Janouch M. et al.: UV history reconstruction using five different models for eight European Sites.

Další informace

V návaznosti na QOS se Dr. K. Vaníček účastnil zasedání Vědeckého poradního výboru SMO pro ozon (SAG-Ozone) a Poradní skupiny GAW pro Dobsonovy spektrofotometry *(http://www.chmi.cz/meteo/ozon/dobsonweb/welcome.htm)*. Na pravidelném zasedání Mezinárodní ozonové komise IAMAS byl vedoucí SOO zvolen za jejího řádného člena. Sborník rozšířených abstraktů příspěvků na CD a další dokumentace získaná během akce jsou uloženy u jednotlivých delegátů. Mimo pracovníků ČHMÚ se z ČR sympozia účastnili také odborníci z ÚFA AV ČR, MFFUK Praha a MU Brno.

Karel Vaníček, Ladislav Metelka, Iva Hůnová, Michal Janouch, Martin Motl, Pavla Skřivánková

CENA „SPECIAL ACHIEVEMENT IN GIS" PRO ATLAS PODNEBÍ ČESKA

Otcové našich otců a dědové našich dědů jezdívali do Ameriky za prací a na zkušenou. Cestovat však do Ameriky pro ocenění za práci je určitě příjemnější. Jsem rád, že jsem mohl v USA zastupovat rozsáhlý tým odborníků, kteří se podíleli na přípravě Atlasu podnebí Česka a převzít Special Achievement in GIS na uživatelské konferenci ESRI User Conference 2008.

Obr. 1 Předání ceny. Zleva P. Seidl, prezident ESRI J. Dangermand, R. Tolasz

Atlas podnebí Česka [1] vydal v roce 2007 Český hydrometeorologický ústav v koedici s Univerzitou Palackého Olomouc. Výsledek se nerodil zcela snadno a více než 50 klimatologů, kartografů, grafiků a dalších specialistů věnovalo jeho přípravě od roku 2003 hodně času i nervů. A málokdo si uvědomuje, že bez desetiletí trvajících pozorování základních klimatologických prvků na stovkách míst bychom žádný Atlas vytvořit nemohli. Tisíce dobrovolných pozorovatelů a stovky profesionálů se za zpracovávané období 1961–2000 vystřídalo na srážkoměrných, klimatologických i profesionálních

Obr. 2 Konferenční centrum.

stanicích, aby každý den, každou hodinu, ale i každou minutu věnovali svou pozornost projevům počasí a záznamům různých přístrojů. Bez jejich práce by Atlas nebyl. Ohromný pokrok ve zpracování dat za posledních deset, patnáct let nám rovněž usnadnil práci. V české klimatologii máme už od roku 2000 k dispozici klimatologickou databázovou aplikaci CLIDATA [2], jejíž součástí je i aplikace pro geografické zpracování dat navržená s využitím software ESRI (CLIDATA-GIS). Na jedné straně jsme tak získali nástroj pro „snadné“ vytváření různých produktů (včetně map), ale zároveň nám je umožněno se na klimatologická data podívat jiným pohledem, který ukazuje nové souvislosti. Postupně i v klimatologii přecházíme od sledování ročních chodů na základě měsíčních průměrů a úhrnů k objevování denních chodů na základě hodinových, patnáctiminutových i minutových dat. Pokrok od tužky, papíru a kalkulačky k databázím a „gisovskému“ zpracování dat je obrovskou výzvou. I Atlas podnebí je odpovědí klimatologů na tuto výzvu.

Po vydání Atlasu se objevily i kritické připomínky k jeho obsahu nebo k jeho formálnímu zpracování. Nebylo jich málo. Pokud budu ještě jednou dělat Atlas, pokusím se k různým připomínkám přihlížet. Některé skutečnosti jsou však mimo dosah klimatologa. Nejzávažnější připomínkou k Atlasu totiž je nezveřejnění datových tabulek, na základě kterých byl Atlas vytvořen. Podle některých kritiků měla být data součástí Atlasu. Rovněž zpřístupnění map v některém ze standardních GIS formátů by odborná veřejnost jistě uvítala. Bohužel, ekonomické postavení Českého hydrometeorologického ústavu nás nutí chovat se jinak. To je objektivní realita a Atlas je tak určen hlavně široké veřejnosti, žákům, studentům a nadšencům. Odborná veřejnost potřebuje jiné výstupy z naší klimatologické databáze, než je „pouhá“ kniha.

Přesto se Atlas dostal do širokého povědomí nejen v Česku, ale i v zahraničí. Atlas si objednalo mnoho univerzitních pracovišť z celého světa, různé specializované knihovny, a po návštěvách v ČHMÚ si ho odvážejí představitelé meteorologických a hydrologických služeb. Česká klimatologie je dnes ve světě uznávaná a Atlas, společně s aplikací CLIDATA, k tomu jistě přispívá. Atlas se dostal do rukou i prezidentu firmy ESRI, který takto komplexní mapové dílo ocenil nejen v osobních rozhovorech s představiteli firmy ArcData Praha, ale i osobním dopisem řediteli ČHMÚ. Přesto jsem byl překvapen jeho pozváním na uživatelskou konferenci, která proběhla v americkém San Diegu. Dne 6. srpna 2008 jsem v zastoupení širokého autorského kolektivu převzal z jeho rukou společně s ředitelem ArcData „Special Achievement in GIS“ (obr. 1). Měl jsem možnost na této uživatelské konferenci vidět hodně skvělých kartografických děl z různých oborů, oblastí lidského konání i z různých koutů světa. Určitě bych pro toto významné ocenění našel jiné adepty. Neskromně však musím konstatovat, že se Atlas v této konkurenci neztratil. Dík a tato cena patří všem, kdo se na vzniku Atlasu jakkoliv podíleli.

Uživatelská ESRI konference je obrovská akce. Podle údajů organizátorů se letos zúčastnilo téměř 14 000 uživatelů. Je málo míst na světě, kde lze zajistit dostatečnou konferenční kapacitu pro akce takového rozsahu. San Diego Convention Center tímto místem je (obr. 2). Výstavní, přednáškové, diskusní i stravovací kapacity jsou natolik rozsáhlé, že akce působí mnohem menším, skoro bych řekl rodinným dojmem. Zájemci o GIS v energetice se nemusí, ale mohou, potkat s odborníky na lesní hospodářství, klimatolog s politiky. Každý si najde uplatnění pro svůj zájem a všechny zájmy zastřešuje GIS. Na této konferenci a v posledních letech i v odborném životě. San Diego jistě stojí za návštěvu.

(Psáno společně pro Meteorologické Zprávy a ArcReview.)

Literatura

[1] TOLASZ, R. (ed), 2007. Atlas podnebí Česka. 1. vyd. Praha – Olomouc: ČHMÚ, Univerzita Palackého. 256 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

[2] TOLASZ, R., 2008. Databázové zpracování klimatologických dat. 1. vyd. Praha: ČHMÚ. 68 s. Sborník prací ČHMÚ, sv. 52. ISBN 978-80-86690-50-6.

Radim Tolasz

KLIMATICKÉ ZMĚNY – PŘEDSTAVY, SKUTEČNOST A DŮSLEDKY

Seminář České meteorologické společnosti 2008

Ve dnech 16. až 18. září 2008 se konal na Churáňově na Šumavě v hotelu Olympia každoroční seminář České meteorologické společnosti s názvem Klimatické změny – představy, skutečnost a důsledky.

V současnosti v mnoha pádech skloňované klimatické změny vnesly do dříve poklidné klimatologie nový náboj, přinesly pozornost široké veřejnosti a tato dříve spíše poněkud opomíjená věda se stala tématem politické scény, ocitla se ve střetu politických zájmů.

Široká a velmi aktuální náplň semináře poskytla mnoho námětů k referátům a přilákala četné zájemce.

Na semináři bylo přihlášeno 21 příspěvků, které odezněly ve třech přednáškových blocích a na závěr proběhl diskuzní kulatý stůl.

Letošní seminář na Churáňově přivítal téměř 90 účastníků. Tradičně více než polovina byla z ČHMÚ, početné zastoupení měl Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Odbor hydrometeorologického zabezpečení – Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu (dříve Povětrnostní ústředí) Armády ČR a Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy. Dále zde byli přítomni účastníci z Národného lesníckého centra – Lesnícky výskumný ústav, Přírodovědecké fakulty UP Olomouc, Národního parku Šumava a České televize.

První blok přednášek byl věnován klimatickému modelování a to především ve střední Evropě, používaným metodám a přístupům při analýze výsledků scénářů klimatických modelů. Ve druhém bloku byla zastoupena klasická klimatologie a dále byl inspirován místem konání semináře v blízkosti profesionální stanice na Churáňově, historií pozorování a teplotními zvláštnostmi Šumavy. Třetí blok přednášek sdružoval referáty aplikací výsledků klimatického modelování na území Česka a Slovenska v praxi. Např. zde byly prezentovány nepříznivé dopady změny klimatu na pěstování a kvalitu chmelu na Žatecku a změny v růstu lesních porostů na Slovensku. Část referátů byla zaměřena na kvalitu a využití naměřených meteorologických dat v klimatických modelech. Na závěr připoutala velkou pozornost účastníků panelová diskuze na téma Klimatické změny a veřejnost. Přítomná meteorologická obec se shodla na tom, že je třeba se více zapojit do veřejné diskuze o klimatických změnách, trpělivě tuto problematiku vysvětlovat a věnovat se vzdělávání veřejnosti o klimatu s důrazem na mladší generaci.

Zahájení semináře – T. Míková (Česká televize, Národní klimatický program ČR, T. Halenka, předseda České meteorologické společnosti, MFF UK, Katedra meteorologie a ochrany prostředí). Foto O. Šuvarinová.

Seminář přinesl mnoho nových zajímavých poznatků jak z oblasti teorie klimatického modelování, tak z oblasti aplikací klimatických změn v praxi. Stal se výbornou příležitostí setkání odborníků z různých institucí, škol a výzkumu spřízněných meteorologickou problematikou.

Ve středu odpoledne byla v průběhu semináře uspořádána prohlídka profesionální meteorologické stanice na Churáňově a odtud účastníci pokračovali do oblasti teplotně extrémních lokalit na Horskou Kvildu a Jezerní Slať. Z počátku nevlídná, deštivá a mlhavá tvář Šumavy zůstávala stále zamračená, ale tentokrát již byla bez deště. Chladné počasí s velkým důrazem připomnělo přítomným meteorologům místní drsné klima. Sluncem zalitá Šumava se ukázala až poslední den a odměnila účastníky semináře na závěr dalekými výhledy na sluncem projasněnou krajinu jižních Čech.

Přednesené referáty

Beranová, R.: Neurčitosti scénářů extrémních teplotních a srážkových jevů ve střední Evropě.
Dubrovský, M. – Trnka, M.: Scénáře změny klimatu pro agroklimatologické impaktové studie.
Halenka, T.: Současnost modelování klimatické změny – od globálních modelů IPCC po regionální modely s vysokým rozlišením.
Halenka, T.: Projekt CECILIA – vyhodnocení dopadů klimatické změny ve střední a východní Evropě.
Hanslian, D.: Klimatické trendy rychlosti větru: realita nebo fikce?
Hlásny, T.: Aktuálne poznatky v oblasti dopadov klimatických zmien na lesy a prínosy projektu Cecilia.
Holtanová, E.: Proč nejsou klimatické modely přesné a jak se s tím vypořádat.
Hostýnek, J. – Sklenář, K. – Stančíková, R.: Změny vybraných klimatologických prvků v západních Čechách.
Huth, R.: Statistický a dynamický downscaling – dva přístupy k tvorbě regionálních a lokálních scénářů klimatické změny.
Chládová, Z.: Analýza výstupů klimatických modelů nelineárními metodami.
Kalvová, J.: Projekce změny klimatu pro ČR.
Křivancová, S. – Vojvodík, A.: Teplotní zvláštnosti Šumavy.
Metelka, L.: Růst globální průměrné teploty a změny sluneční aktivity.
Možný, M. – Trnka, M. – Žalud, Z. – Dubrovský, M.: Dopady změny klimatu na české chmelařství.
Pavlík, J.: Informace o konferenci o změnách klimatu v Evropě.
Pop, L.: Využití reanalýz pro studium vývoje větrného klimatu.
Smělý, V.: Vliv změn sluneční činnosti a antropogenních vlivů na teplotní odchylky v teplém a chladném období roku.
Starostová, M.: Kolísání srážek na jihu Čech v teplém období.
Šálek, M.: Klimatické změny z pohledu meteorologa (diskusní příspěvek).
Štěpánek, P. – Farda, A. – Skalák, P.: Klimatické změny ve střední Evropě pro období 2020–2050 podle modelu ALADIN-Climate/CZ.
Vavruška, F.: Historie meteorologických měření na Šumavě (a jeho využití pro sledování kolísání klimatu).

Miloslava Starostová

FENOLOGIE A ALERGOLOGIE VE ŠVÝCARSKÉ METEOROLOGICKÉ SLUŽBĚ

Fenologie je součástí aktivit odboru biometeorologie a klimatologie prostředí Švýcarské meteorologické služby (MeteoSchweiz). Fenologická síť sestává z řádově 160 staničních lokalit. Stanice ve vertikálním profilu se pohybují mezi nadmořskou výškou 200 a 1 800 m. Metodika pozorování je vypracována pro 26 rostlinných druhů a jejich 69 fenofází. Je vypracováváno vyhodnocení posledního pozorovaného roku pro lesníky a zemědělce, jakož i pro další konkrétní zájemce (od roku 1994 pro národní parky, od roku 1998 pro potřeby programu distančního multispektrálního skenování Univerzity Bern). Pro každou stanici je zpracován fenologický kalendář za období 20 až 50 let; přičemž hodnoty rozptylu dat nástupu fenofází ve vegetační sezoně jsou hodnoceny: nejranějších 10 % jako velmi rané, dalších 15 % je považováno za raný nástup, 50 % s mediánem za normální, pozdějších 15 % jako pozdní a nejpozdnějších 10 % za velmi pozdní nástup. Veřejnost je pravidelně informována v denním tisku, např. na jaře je uváděna mapa kvetení třešně. Fenologická data jsou využívána pro studium změny klimatu. Pomocí metod rekonstrukce časových řad sestrojila univerzita v Bernu (This Rutishauser a kol.) dlouhodobou fenologickou sérii pro švýcarskou předalpskou planinu počínající rokem 1702, která pomáhá také hodnotit změnu klimatu ještě v předinstrumentálním období.

Pozorovány jsou stromy a keře: jírovec maďál, buk lesní, javor klen, jeřáb obecný, líska obecná, lípa velkolistá, lípa srdčitá, bez hroznatý, bez černý, modřín opadavý, smrk obecný, trnovník akát, bříza bradavičnatá, kaštan setý. Sledované fenologické fáze jsou: olisťování, počátek a plné kvetení, zrání plodů, všeobecné žloutnutí listí, konec opadu. Z bylin je pozorován podběl obecný, sasanka hajní, srha říznačka, smetanka lékařská, vrbka úzkolistá, řeřišnice luční, kopretina luční, ocún jesenní; u bylin je sledována fáze plného květu. Z ovocných dřevin jsou to třešeň, hrušeň, jabloň (zaznamenána je odrůda a pozoruje se fáze počátku kvetení a plného kvetení), dále vinná réva (odrůda a fáze všeobecného kvetení a vinobraní) a je sledováno také datum začátku senoseče.

Aktuální zpravodajství je zasíláno operativně. Rychlé zpravodajství zahrnuje olisťování, plný rozkvět a plné žlout-

Obr. 1 Fenologická zahrádka stanice Payerne.

nutí listí lísky, modřínu, jírovce, buku, lípy velkolisté, třešně, hrušně a jabloně, u bylin plný rozkvět smetanky a kopretiny; také datum počátku senoseče, plného rozkvětu vinné révy a datum startu vinobraní.

Metodika pozorování fenologie rostlin je popsána dvoujazyčně (německy, francouzsky), je vydána společně Spolkovým úřadem pro meteorologii a klimatologii (MeteoSchweiz), Spolkovým úřadem pro prostředí, les a krajinu (BUWAL & OFEFP) a Geografickým ústavem University v Bernu, odkud jsou i autoři Robert Brügger a Astrid Vassella. Dnes platné znění bylo publikováno v Geographica Bernensia v roce 2003.

Síť aerobiologie (pylové alergie), kterou ve Švýcarsku provozuje meteorologická služba (v Česku rezort zdravotnictví, zejména Hygienická služba) sestává z 15 stanic. Vzorky pylu jsou zachycovány v souladu s evropským standardem na lapačích Burkhardt a vyhodnocovány. Z výsledků jsou publikovány dvoujazyčné ročenky s popisem aktuálního roku, rozdílů vůči dlouhodobému průměru a s grafickým vyjádřením jednotlivých druhů alergologicky významných pylů na všech stanicích. Přílohou je seznam publikací za uplynulé období v daném oboru v zemi i ve světě.

Obě sítě jsou provozovány a výsledky jsou vyhodnocovány z centra služby v Curychu a z Payerne, umístěného ve francouzsky mluvící části země. Tato decentralizace služby souvisí se složením švýcarské konferedace z kantonů s převahou obyvatelstva mluvícího většinově německy, francouzsky, italsky a rétorománsky.

Jiří Nekovář

NEDOŽITÉ OSMDESÁTINY
doc. Ing. IGNÁCE UHRECKÉHO, CSc.

Jedním z nadaných a pracovitých asistentů prof. Dr. Václava Nováka, DrSc. na Vysoké škole zemědělské v Brně byl doc. Ing. Ignác Uhrecký, CSc. Pocházel z velmi chudé rodiny příležitostného dělníka z vesnice Obyce na Slovensku (okres Nitra, dříve Zlaté Moravce). Narodil se 27. prosince 1928. Po základní škole a gymnáziu ve Zlatých Moravcích studoval v letech 1948 až 1952 na Agronomické fakultě VŠZ v Brně. Na konci studia obhájil diplomovou práci na téma Geonomický výzkum pěstování důležitějších teplomilných rostlin v rayonu Starý Poddvorov, Nový Poddvorov, Prušánky, Josefov a Dolní Bojanovice v okrese Hodonín s výborným prospěchem. Potom byl přijat jako asistent na Ústav půdoznalství, meteorologie a klimatologie agronomické fakulty VŠZ v Brně, kde se stal v roce 1954 odborným asistentem. Pod vedením prof. V. Nováka vypracoval a v roce 1962 úspěšně obhájil kandidátskou dizertační práci na téma Studium tepelných vlastností půd.

Kromě pedagogické činnosti na ústavu, kde působil, se podílel velkou měrou na výzkumu půdního klimatu, především na jeho teplotních charakteristikách. Dále se významně účastnil na rozvoji fenologie, kde byla původní fenologická síť změněna na komplexnější biometeorologickou observatoř Mendlovy zemědělské a lesnické univerzity (MZLU) v Brně s celkovým počtem 25 stanic. Stanice sledovaly a měřily všechny základní meteorologické prvky včetně výparu, půdních teplot a intenzity slunečního záření.

Uhreckého habilitační práce s názvem Půdní klima jako neoddělitelná součást vegetačního klimatu z roku 1966 byla cíleným pokračováním jeho dosavadní vědecké činnosti. Docentem byl jmenován v roce 1968. V další vědeckovýzkumné práci svou pozornost soustředil na půdní a porostové klima, včetně lužního lesa v lednicko-valtickém areálu. Zvláštní zřetel věnoval růstu, vývoji a výnosům různých zemědělských plodin na školním závodě v Žabčicích. Z této činnosti publikoval 21 odborných prací a 2 závěrečné zprávy.

Docent Uhrecký byl srdečný, velmi oblíbený mezi spolupracovníky i posluchači agronomického, zahradnického a lesnického inženýrství. Byl jedním z mála učitelů slovenského původu na VŠZ v Brně, kteří se plně adaptovali na moravské prostředí a průběžně se zdokonaloval v češtině. Výchově svých tří dětí věnoval velkou pozornost; jeho syn Štěpán se stal lékařem a působil v Třebíči, syn Jan je zvěrolékařem v Jaroměřicích nad Rokytnou, dcera Zdeňka se provdala do Frýdku-Místku.

Doc. Uhrecký byl po dva roky vedoucím katedry půdoznalství, meteorologie a klimatologie VSŽ; podílel se na metodice sledování klimatu v porostech obilovin i v porostech lesních. Byl autorem či spoluautorem 37 publikací, včetně 3 celostátních učebnic a 4 učebních textů. Byl aktivním účastníkem celostátních i zahraničních vědeckých konferencí a přednesl celou řadu popularizačních přednášek.

Docent Ing. Ignác Uhrecký, CSc. zemřel náhle dne 30. července 1987 v Brně ve věku 59 let, kdy dokončoval svou doktorskou práci. Jeho životní dílo a neobyčejná houževnatost si zaslouží u příležitosti jeho nedožitých osmdesátin alespoň tuto krátkou vzpomínku.

Zdeněk Smolík – Blahomil Grunda

NABÍDKA PUBLIKACÍ ČHMÚ

Iva Hůnová – Radomír Srněnský – Jan Horálek – Klára Koželková

VYUŽITÍ PASIVNÍCH DOZIMETRŮ PRO VYMEZENÍ RIZIKOVÝCH OBLASTÍ Z HLEDISKA POTENCIÁLNÍHO POŠKOZENÍ VEGETACE PŘÍZEMNÍM OZONEM: PŘÍPADOVÁ STUDIE PRO CHKO JIZERSKÉ HORY, VEGETAČNÍ SEZONA 2006

Práce shrnuje výsledky a zkušenosti z několikaleté aplikace pasivních dozimetrů pro měření koncentrací přízemního ozonu ve venkovských zalesněných oblastech vzdálených od antropogenních emisních zdrojů. Poukazuje na možnost využití výsledků pro hodnocení znečištění ovzduší ve vztahu k přírodnímu prostředí, vegetaci a ekosystémům, zejména v oblasti horských lesů a pro vymezení rizikových oblastí z hlediska potenciálního poškození vegetace zvýšenými koncentracemi fytotoxického přízemního ozonu.

Pasivní dozimetry umožňují studovat prostorovou a časovou variabilitu koncentrací přízemního ozonu v rámci menšího územního celku v mnohem podrobnějším měřítku, než to umožňuje stávající měřicí síť Automatického imisního monitoringu ČHMÚ, což dokládají prezentovaná mapová znázornění.

Hlavní kapitoly:

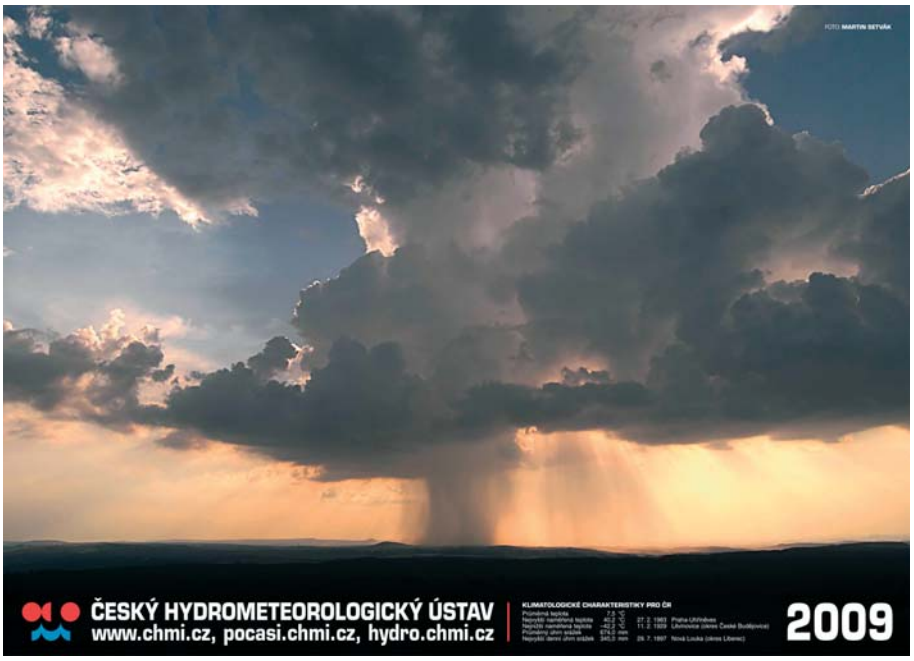
- Vliv znečištění ovzduší na vegetaci a ekosystémy
- Pasivní dozimetrie
- Expoziční index AOT40
- Aplikace GIS pro vytvoření map
- CHKO Jizerské hory
- Výsledky
- Literatura

Praha, ČHMÚ 2008. 76 stran. Cena 120 Kč. ISBN 978-80-86690-57-5

Publikace lze objednat na adrese:
Český hydrometeorologický ústa, SIS, p. E. Firmanová, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany, Tel./fax: 244032721, e-mail: eva.firmanova@chmi.cz.
Na objednávce uvádějte svoje IČO

ČHMÚ

NABÍDKA KALENDÁŘE NA ROK 2009



Kalendář v ceně 145,- Kč lze zakoupit na adrese:

Český hydrometeorologický ústav, SIS,
Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany
Tel./fax: 244 032 721 (Eva Firmanová), e-mail: eva.firmanova@chmi.cz