

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

METEOROLOGICAL BULLETIN

<i>Stanislava Kliegrová: Současné přístupy k sezonním předpovědím a hodnocení jejich úspěšnosti</i>	65
<i>Rudolf Brázdil – Kateřina Chromá – Radim Tolasz: Kolísání extrémně vlhkých a extrémně suchých měsíců v České republice</i>	73
<i>Milan Váňa – Karel Dejmal: Trendy koncentrací přízemního ozonu na českých regionálních stanicích programů GAW a EMEP Košetice a Svratouch</i>	80
<i>Rudolf Kolomý: Georg Wilhelm Richmann (1711–1753) – tragická oběť vědeckého experimentu</i>	87
Informace – Recenze	93
Typy povětrnostních situací na území České republiky v roce 2002	96
Typy povětrnostních situací na území Slovenskej republiky v roce 2002	96

ROČNÍK 56 – 2003 – ČÍSLO 3

<i>Stanislava Kliegrová</i> : Current approaches to seasonal predictions and their verification	65
<i>Rudolf Brázdil – Kateřina Chromá – Radim Tolasz</i> : Fluctuations of extremely wet and extremely dry months in the Czech Republic	73
<i>Milan Váňa – Karel Dejmal</i> : Trends of surface ozone concentrations at the Czech regional stations on the GAW and EMEP programmes at Košetice and Svratouch	80
<i>Rudolf Kolomý</i> : Georg Wilhelm Richmann (1711–1753) – tragic victim of a scientific experiment	87
Information – Reviews	93
Weather situations on the territory of the Czech Republic in 2002	96
Weather situations on the territory of the Slovak Republic in 2002	96

Meteorologické zprávy, časopis pro odbornou veřejnost ● Vydává Český hydrometeorologický ústav ● Redakce: Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, telefon 244 032 722, 244 032 725, fax 244 032 721, e-mail: horiky@chmi.cz ● Řídí vedoucí redaktor RNDr. Luboš Němec, redaktor prom. knih. Zdeněk Horký ● Redakční rada: Prof. RNDr. Jan Bednář, CSc., Ing. František Hudec, CSc., RNDr. Karel Krška, CSc., Mgr. Stanislav Racko, RNDr. Daniela Řezáčová, CSc., RNDr. Jan Strachota, RNDr. Karel Vaníček, CSc., RNDr. Helena Vondráčková, CSc. ● Za odborný obsah podepsaných článků odpovídají autoři. Proti dalšímu otiskování, uvede-li se původ a autor, není námitek ● Sazba a tisk: 3P s.r.o. ● Rozšiřuje a informace o předplatném podává a objednávky přijímá Český hydrometeorologický ústav, SIS, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany; Offers for Meteorological Bulletin arranges ČHMÚ, SIS, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany, Czech Republic. Annual subscription is 42,- USD for 6 issues ● Ročně vychází 6 čísel, cena jednotlivého čísla 20,- Kč, roční předplatné 180,- Kč včetně poštovného, do zahraničí 42,- USD. Reg. číslo MK ČR E 5107.
ISSN 0026 – 1173

METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY

Meteorological Bulletin

ROČNÍK 56 (2003)

V PRAZE DNE 30. ČERVNA 2003

ČÍSLO 3

Stanislava Kliegrová (ČHMÚ)

SOUČASNÉ PŘÍSTUPY K SEZONNÍM PŘEDPOVĚDÍM A HODNOCENÍ JEJICH ÚSPĚŠNOSTI

Current approaches to seasonal predictions and their verification. Research in the last couple of decades has shown that seasonal climatic anomalies are potentially predictable for many regions of the world. Much, but not all, attention is given to the ENSO phenomenon because it has such a large global impact and because so much of forecasting efforts and skill is derived from it. Two basic types of models are used for the seasonal forecasts – statistical and dynamical models. Both types of the models have their advantages and disadvantages. It is more advantageous to use both the approaches in parallel. The most commonly used technical measures of the forecast quality are described, and examples of forecast verification scores are introduced for different types of forecasts (categorical forecasts of continuous predictands, categorical forecasts of discrete predictands, probability forecasts). Accuracy and Skill are generally described by scores. Accuracy refers to the average correspondence between individual forecasts and the events they predict. Scalar measures of accuracy are meant to summarize, in a single number, the overall quality of a set of forecasts (for example: MSE for categorical forecast of continuous predictands, Heidke score and LEPS score for categorical forecasts of discrete predictands, Brier score and Ranked probability score for probability forecasts). Forecast Skill refers to the relative accuracy of a set of forecasts, with respect to some set of standard control or reference forecasts. Webpages, where seasonal forecasts for Europe can be found, are given at the end of the paper.

KLÍČOVÁ SLOVA: předpovídání počasí – předpověď sezonní – modely předpovědní – kvalita předpovědi – úspěšnost

1. ÚVOD

V poslední době jsou uživateli stále více žádané předpovědi počasí na měsíc až několik měsíců dopředu. Podle definice WMO [40] se předpovědi na více než 30 dní a méně než 2 roky dopředu nazývají dlouhodobé předpovědi. Může se jednat o předpovědi průměrných hodnot meteorologických parametrů vyjádřených nejčastěji jako odchylky od klimatických hodnot pro určitý měsíc (měsíční předpověď), pro tříměsíční období (tříměsíční nebo 90denní předpověď), nebo pro definovanou sezonu (sezonní předpověď). Lze však vůbec předpovídat měsíční až sezonní hodnoty teplot a srážek (tedy jakési „průměrné počasí“) na měsíc až několik měsíců dopředu? Je jasné, že meteorologický numerický model atmosféry používaný pro několikadenní předpovědi na to nestačí. Tyto modely jsou totiž konstruovány pro detailní předpovědi budoucího stavu atmosféry, která je vlastně chaotickým systémem, a mají proto (i přes stále se zpřesňující vstupní údaje používané k inicializaci, lepší rozlišovací schopnosti, lepší parametrizace) svou hranici.

Obecně „předpovědatelnější“ na delších časových škálách je „průměrné počasí“ v těch oblastech světa, kde se projevuje velký vliv teploty povrchu oceánu na stav atmosféry. Je to dáno

tím, že oceány mají velkou tepelnou kapacitu, a teplotní anomálie povrchu tedy trvají delší dobu (řádově týdny) [6, 8].

V případě vysokých korelací mezi hodnotami teplot povrchu oceánu – SST (Sea Surface Temperature) a hodnotami meteorologických prvků je potom možno vydat odhad budoucího vývoje počasí. Takovou oblastí jsou například tropy. Ve východním tropickém Pacifiku vzniká známý jev El Niño [27], který svou intenzitou ovlivňuje současné i budoucí počasí ve všech tropických oblastech, v menším měřítku potom i v dalších částech světa [30, 31]. Změny tropické atmosféry jsou do velké míry dány rozložením SST. Vzhledem k tomu, že jev El Niño je v hlavních rysech možno modelovat [37, 38], můžeme pro tyto oblasti dostat použitelnou předpověď průměrných hodnot teplot a srážek na základě znalosti hodnot SST [17].

Ve vyšších zeměpisných šířkách je situace bohužel složitější. Korelace mezi hodnotami SST a průměrnými hodnotami teplot a srážek jsou menší, do hry vstupují velkoplošné atmosférické cirkulační systémy (pro Evropu má význam hlavně jev NAO – the North Atlantic Oscillation, [23]), situaci „komplikuje“ rozložení kontinentů a mořských proudů. Spolu s vývojem spřažených klimatických modelů, tedy modelů, ve kterých je globální model atmosférické cirkulace

nápojen na globální model oceánické cirkulace, se objevují i snahy využít tyto modely pro předpovědní účely [39]. To samozřejmě klade velké nároky na výpočetní techniku a výpočetní čas, finanční náklady jsou vysoké. Jako alternativa se tady nabízí hledání empirických vztahů mezi vhodnými prediktory a časově posunutým „průměrným počasím“. Problém je samozřejmě určit právě ty vhodné prediktory, které jsou (jak se ukazuje) pro každou oblast individuální.

V článku se zaměříme na metody dlouhodobých předpovědí a možnosti jejich vyhodnocování. V závěru budou zmíněny zdroje, ze kterých lze tyto předpovědi pro oblast Evropy získat.

2. TYPY PŘEDPOVĚDÍ

Nejprve se zmíníme, že se dlouhodobé předpovědi zaměřují především na průměrné teploty a celkový úhrn srážek za měsíc až sezonu. Jedinou významnější výjimkou je snaha o předpovědi četnosti výskytu a drah tropických cyklon, zejména v severním Atlantiku [10, 11, 22].

Dlouhodobé předpovědi lze podle metod, kterými se získávají, rozdělit do dvou skupin: na statistické a dynamické (neboli numerické).

2.1 Statistické modely

Obecně ve statistickém modelu předpokládáme, že můžeme použít předchozí, současné, nebo očekávané hodnoty (získané pomocí jiných, například dynamických metod) určitých proměnných (prediktorů) k předpovědi budoucího stavu, nebo vývoje předpovídané proměnné (prediktandu), a to na základě nalezených matematických vztahů v řadě historických pozorování.

U většiny existujících modelů pro statistické předpovědi sezonních klimatických anomálií jsou jako hlavní prediktor uvažovány hodnoty SST (ať předcházející či předpověděné). V literatuře můžeme najít popisy statistických modelů například pro oblasti Sahelu [33], východní Afriky [26], jižní Afriky [20], severovýchodní Brazílie [34], Austrálie [5], Evropy [18], USA [3] a Kanady [32]. Větší prediktabilita je v oblasti tropického Pacifiku, ale mění se v závislosti na fázi ENSO (El Niño – Southern Oscillation), [19]. Jisté zlepšení předpovědí lze dosáhnout přidáním některých atmosférických prediktorů, například hodnoty geopotenciální výšky pro 500 a 700hPa [13].

Přes skutečnost, že vzájemné vztahy jednotlivých složek klimatického systému jsou ve své podstatě nelineární, metody používané pro statistické sezonní předpovědi jsou zatím v drtivé většině lineární. S tím souvisí problém, že tyto metody nejsou schopny postihnout dlouhodobou variabilitu prediktandu.

Nejčastěji používané statistické techniky jsou regresní modely (především vícenásobná lineární regrese, Multiple Linear Regression) a kanonická korelační analýza (CCA Canonical Correlation Analysis).

Používá se i diskriminační analýza (například [28]), která patří mezi metody zabývající se zkoumáním závislosti mezi skupinou kvantitativních proměnných na jedné straně a jednou kvalitativní proměnnou na straně druhé. Vstupní data tedy představují hodnoty numerických proměnných zjištěných u souboru objektů (v tomto případě prediktorů) a hodnotu „klasifikační“ proměnné, která určuje příslušnost objektu do nějaké skupiny (v klimatologii často do kategorií nadnormální, normální, podnormální hodnoty prediktandu). Při samotné diskriminační analýze se potom snažíme najít diskriminační funkce, které nám usnadní klasifikaci do daných skupin. Takto získané funkce potom zpravidla používáme pro rozřa-

zování nových objektů, u nichž obměny kvalitativní proměnné neznáme, do skupin.

Protože není cílem tohoto článku popisovat jednotlivé statistické metody, detailní popis najde zájemce ve statistické literatuře (viz například [14]).

Praktickým příkladem využití těchto metod je práce [18], kde se snaží autoři zhodnotit sezonní předpověditelnost teploty pro oblast severní Evropy. Jako prediktory používají tříměsíční průměry (ať už jednotlivě nebo v různých kombinacích) hodnot teploty vzduchu za předcházející období, lokální SST (okolí severní Evropy, v síti $2 \times 2^\circ$), kvaziglobální SST (mezi 40°S a 60°N , v síti $10 \times 10^\circ$) a geopotenciální výšky hladiny 700 hPa (20°N – 90°N , na téměř rovnoměrné síti). Metodologie je založená na kanonické korelační analýze (CCA). Podstata této metody spočívá v tom, že ve skupině prediktorů hledáme takovou lineární kombinaci, která má nejvyšší korelační koeficient s prediktandem. Po jejím nalezení hledáme další lineární kombinaci, která má s prediktandem druhý nejvyšší korelační koeficient za podmínky, že není korelovaná s první lineární kombinací. Tento proces pokračuje tak dlouho, dokud jsou další korelační koeficienty statisticky významné. Tím provádíme transformaci systému vzájemně korelovaných proměnných (prediktorů) do systému nových hypotetických proměnných, kterých je méně, a přitom si zachovávají maximum informace ve vztahu k prediktandu.

Předpovědní schopnost navržené metody je v této práci měřena korelačním koeficientem ACC křížově validovaných anomálií mezi standardizovanými řadami teplot pozorovaných T'_0 a předpověděných T'_F .

$$ACC(i, t_s, t_F) = \frac{\sum_{t_Y=n}^{39} T'_F T'_0}{\sqrt{\sum_{t_Y=n}^{39} T'^2_F \sum_{t_Y=n}^{39} T'^2_0}},$$

kde i je index stanice (59 stanic), t_s označuje 3měsíční sezonu v roce t_Y (1955–1993, celkem 39 let), t_F je počet měsíců mezi koncem období, ze kterého bereme hodnoty prediktorů (dále prediktorového období) a začátkem období, ze kterého bereme hodnoty prediktandů (dále prediktandového období). Předpovídáme-li například z průměrné teploty za období leden až březen průměrnou teplotu na období červenec až září, je $t_F = 3$.

$$T'_0(i, t_s, t_Y) = \frac{T_0(i, t_s, t_Y) - \overline{T_0(i, t_s)}}{\sigma(i, t_s)},$$

kde

$$\overline{T_0(i, t_s)} = \frac{1}{(N-n)} \sum_{t_Y=n}^N T_0(i, t_s, t_Y),$$

je průměrná hodnota a

$$\sigma(i, t_s) = \sqrt{\frac{1}{(N-n)} \sum_{t_Y=n}^N \left[T_0(i, t_s, t_Y) - \overline{T_0(i, t_s)} \right]^2},$$

je standardní odchylka. Při sumaci je vždy vynechán ten rok t_Y^0 , pro který byla předpověď sestavena a vyhodnocována. Vzhledem k metodice získávání předpovědí jsou potřeba, v závislosti na počtu měsíců mezi prediktorovým a prediktandovým obdobím, pro každou předpověď různě dlouhá ob-

dobí dat. Proto pro některé předpovědi nelze použít data pro získání průměrných hodnot a standardních odchylek ze začátku, a pro některé zase v konci 39letého období. To je ve vzorcích vyjádřeno variabilním počátečním rokem sumace ($n > 1$) a koncovým rokem sumace ($N \leq 39$).

Analogické vzorce platí i pro T'_F .

Johansson et al. [18] zkoušeli modely s různými kombinacemi výše uvedených prediktorů. Jako model s nejlepšími výsledky byl vyhodnocen model, ve kterém byly použity jako prediktory hodnoty teploty vzduchu a hodnoty geopotenciální výšky hladiny 700 hPa z předcházejícího období.

Hodnoty ACC pro jednotlivé modely se liší geograficky (ve studii je zahrnuto 59 stanic), časově (tedy podle toho na jak dlouho dopředu chceme předpovídat), i sezonně (kterou sezonu chceme předpovídat). Sezónou s nejvyšší prediktabilitou se jeví období leden až březen, s předstihem předpovědi 1 měsíc.

2.2 Dynamické modely

Pro dlouhodobé předpovědi jsou v současné době používány dva typy numerických modelů: atmosférické cirkulační modely (Atmospheric General Circulation Models – AGCMs) a sprážené cirkulační modely oceán-atmosféra (Coupled General Circulation Models – CGCMs). Do AGCMs [16, 4] vstupují SST jako okrajové podmínky, které následně působí na atmosféru, jejíž chování plně těmto podmínkám podléhá. V CGCMs se atmosféra i oceán vyvíjejí určitý čas nezávisle, a v určitých časových intervalech dochází v hraničních oblastech mezi atmosférou a oceánem k výměně informací. To je jedna z výhod CGCMs. Naopak nedostatkem CGCMs je, že pole SST má tendenci se s postupujícím časem integrace odchylovat od reálných hodnot, což potom způsobuje nereálné atmosférické anomálie. Toto „odchylování“ může probíhat rychle (způsobeno nevyváženými počátečními podmínkami), nebo pomaleji (způsobeno např. nedostatky v parametrizaci) [8].

Výsledky dynamických sezónních předpovědí mají charakter skupinových předpovědí (ensemble predictions), tzn. že se jedná o řadu předpovědí pro stejné období. Jednotlivé členy skupinové předpovědi se mohou lišit svými okrajovými podmínkami, počátečními atmosférickými podmínkami, nebo fyzikálními parametrizacemi. Skupinové předpovědi vedou k pravděpodobnostně formulovaným sezónním předpovědím (bližší podrobnosti jsou uvedeny v 3. části).

Pro dosažení většího prostorového i časového rozlišení dynamických předpovědí a pro korekci případných systematických nepřesností modelu se vyvinula celá řada metod. Často používané jsou například postupy založené na statistickém downscalingu [28, 35].

2.3 Dynamické versus statistické metody

Detailní srovnání možností statistického a dynamického modelu dlouhodobých předpovědí jsou stále vzácné. Ukazuje se však, že v některých případech mohou dávat lepší výsledky modely statistické, v jiných případech mohou být lepší modely dynamické.

Statistické předpovědi monzunových srážek v Indii jsou příkladem, kdy statistické modely překonávají modely dynamické [13]. Výsledky jednotlivých členů dynamické skupinové předpovědi se zde pohybují v příliš širokém rozmezí. Statistické modely mohou v podobném případě pomoci najít ty nejdůležitější atmosférické prediktory.

Víceleté výsledky ze statistického modelu pro Severní Ameriku jsou lepší, než výsledky některých AGCMs [1].

Toto srovnání by však mohlo dopadnout méně příznivě pro statistický model v době jiné fáze ENSO, popř. v době změny fázi tohoto jevu.

Naopak podle [21] pro oblast jižní Afriky se zdá být dynamický model pro předpověď letních úhrnů srážek o něco málo lepší než model statistický.

Velkou výhodou dynamických modelů je jejich nezávislost na existenci a na kvalitě historických dat. Výsledky nejsou zkresleny nestacionaritou klimatu, mohou postihnout i extrémní hodnoty, které v řadě historických měření nebyly zaznamenány (a se kterými mají statistické modely problémy). Nevýhodou dynamických modelů jsou poměrně vysoké provozní náklady. Úspěšnost dynamických předpovědí se pro daný region liší pro různé sezóny a proměnné. Volba typu modelu nakonec záleží na možnostech především toho, kdo předpovědi produkuje a potřebách uživatele. Bylo by asi výhodné používat obě tyto metody paralelně.

Důležitou součástí sezónní předpovědi by měla být informace o „nejistotě“ této předpovědi. Neurčitost předpovědi má dva zdroje. Jednak samotný model, ale také skutečnost, že stav atmosféry není stoprocentně předpověditelný. Jinými slovy, i kdybychom měli perfektní model, vnitřní variabilita atmosféry nám do výstupu z tohoto modelu vnáší nejistotu. S tím se vyrovnávají pravděpodobnostní předpovědi, jejichž výsledky jsou distribuční funkce pravděpodobnosti možných výstupů [19], kde by měly být brány do úvahy oba výše uvedené zdroje možných chyb.

Pro odhad pravděpodobnostních distribučních funkcí (PDF) klimatických výstupů byly vyvinuty statistické i dynamické metody.

3. HODNOCENÍ KVALITY PŘEDPOVĚDI

Dlouhodobé předpovědi můžeme podle formy výstupní informace dělit na deterministické (konkrétní a jednoznačné) a pravděpodobnostní (očekáváme dvě a více alternativ, každou s jistou pravděpodobností), [40]. Deterministickou předpovědi může být přímo jedno číslo (např. průměrná lednová teplota bude 2.2 °C), v tomto případě hovoříme o diskretním prediktandu nebo kategorii (průměrná teplota v lednu bude nadnormální), pak se jedná o kategoriální prediktand.

Pravděpodobnostní předpověď přiřazuje každé kategorii určitou pravděpodobnost (průměrná lednová teplota bude s 60% pravděpodobností nadnormální, s 25% pravděpodobností normální, s 15% pravděpodobností podnormální), nebo je jejím výsledkem pravděpodobnostní distribuční funkce PDF (na ose x jsou potom lednové anomálie teploty, na ose y předpokládaná četnost výskytu těchto anomálií v %).

Předpověď by měla splňovat následující požadavky:

1. Dobře korespondovat s pozorováním, tedy být správná (přesná). V angličtině se používá termín accuracy. Tato vlastnost je popsána jedním číslem (skóre), které vyjadřuje průměrnou shodu mezi jednotlivými předpověďmi a událostmi, které předpovídají.
2. Být lepší než předpověď pomocí jednoduchých předpovědních strategií (předpověď pomocí klimatologických hodnot, náhodných hodnot, perzistentní předpověď), tedy úspěšná, šikovná (v angličtině se používá termín skill). Tato vlastnost je většinou prezentována pomocí skill skóre, které je interpretováno jako procentuální zlepšení oproti jednoduché předpovědní strategii (referenční předpovědi). Vyjádření v obecné formě můžeme najít např. v [36]:

$$SS_{ref} = \frac{A - A_{ref}}{A_{perf} - A_{ref}} * 100\% , \quad (1)$$

kde A je míra správnosti předpovědi, A_{ref} je míra správnosti referenční předpovědi, A_{perf} je míra přesnosti, kterou bychom dosáhli bezchybnou předpovědí.

Dále jsou uvedeny některé verifikační metody doporučené pro výše uvedené typy předpovědi: deterministické – kontinuální, deterministické – kategoriální a pravděpodobnostní.

3.1 Hodnocení deterministicko-kontinuálních předpovědí

K hodnocení deterministických předpovědí spojitého prediktandu se používají následující charakteristiky:

- **Střední kvadratická chyba MSE** (Mean Squared Error), *RMSE* (druhá odmocnina *MSE*), [36] .

MSE je průměr druhých mocnin rozdílu mezi odpovídajícími dvojicemi hodnot předpovědi a pozorování.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 ,$$

kde x_i , $i = 1...n$, je řada n předpověděných hodnot, a y_i , $i = 1...n$, je odpovídající řada n pozorovaných hodnot. Pokud je předpověď bezchybná, pak *MSE* je rovno nule.

- **Skill score SS**

K tomu, abychom mohli k *MSE* spočítat odpovídající skill skóre *SS*, potřebujeme vybrat jednoduchou referenční strategii. Pokud si jako referenční předpověď vybereme perzistentní předpověď, můžeme pro ni podle [36] psát:

$$MSE_{Pers} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{i-1} - y_i)^2 ,$$

kde y_{i-1} , y_i , $i = 1...n$, jsou sousední členy řady n pozorovaných hodnot.

Pokud si uvědomíme, že *MSE* bezchybné předpovědi je rovna 0, můžeme podle definice skill skóre vyjádřit:

$$SS_{Pers} = \frac{MSE - MSE_{Pers}}{0 - MSE_{Pers}} = 1 - \frac{MSE}{MSE_{Pers}} ,$$

- **Korelace anomálií**

Standardní korelační koeficient je definován jako:

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} ,$$

kde \bar{x} a \bar{y} jsou průměrné hodnoty pozorovaných a předpověděných řad n hodnot. Nevýhodou standardního korelačního koeficientu je, že nepostihne systematický rozdíl mezi pozorovanými a předpověděnými hodnotami. Vynásobením předpověděných hodnot stejnou konstantou totiž nemá na hodnotu standardního korelačního koeficientu vliv.

3.2 Hodnocení deterministicko-kategoriálních předpovědí

Verifikace tohoto typu předpovědi se provádí pomocí kontingenční tabulky, která shrnuje počty případů, kdy jev byl/nebyl předpovídan a ve skutečnosti nastal, resp. nenastal, a to ve všech možných vzájemných kombinacích. Nejjedno-

duším případem je kontingenční tabulka 2 x 2 uváděná např. v [25]:

	Předpověď		
Pozorování	ANO	NE	Součet
ANO	H	M	H+M
NE	FA	CR	FA+CR
součet	H+FA	M+CR	H+M+FA+CR

H (Hit- „trefa“) je počet případů, kdy jev byl předpokládán a skutečně nastal;

M (Miss- „chyba“) je počet případů, kdy jev nebyl předpokládán, ale nastal;

FA (False Alarm- „falešný poplach“) je počet případů, kdy jev byl předpokládán, ale nenastal;

CR (Correct Reject – „správné vyloučení“) je počet případů, kdy jev nebyl předpokládán a nenastal.

Následující verifikační skóre vyhodnocují různými způsoby výsledky z kontingenční tabulky:

- **Heidke (Hit) score** (viz např. [2]) odpovídá na otázku, kolikrát byla předpověď správná:

$$Heidke\ score = \frac{H + CR}{H + M + FA + CR} ,$$

Hodnoty tohoto skóre se pohybují mezi 0 (zcela neúspěšná předpověď) a 1 (perfektní předpověď). Je zřejmé, že Heidke score vychází z principu ekvivalence událostí H a CR a penalizuje oba druhy chyb (*M*, *FA*) stejně, což nemusí být v některých případech žádoucí. Jedná se především o situaci, kdy předpovídaný jev se vyskytuje zřídka, viz Příklad 1.

- **Threat score (TS)**, nebo jinak critical success index (CSI), je alternativou k výše uvedenému hit score (viz [36]) pro případ, kdy se předpovídaný jev (v tabulce kategorie „ANO“) objevuje podstatně méně často, než se neobjevuje (kategorie „NE“):

$$TS = CSI = \frac{H}{H + M + FA} ,$$

Nejhorší možná hodnota tohoto skóre je 0, nejlepší možná 1.

- **Bias**, který vyjadřuje podíl počtu „ANO“ předpovědí k počtu „ANO“ pozorování, může být také užitečným pomocníkem při vyhodnocování kvality předpovědi (viz např. [36]):

$$B = \frac{H + FA}{H + M} ,$$

Toto skóre vyjadřuje, kolikrát více byl daný jev předpověděn než pozorován. Není tedy mírou přesnosti předpovědi, ale shody mezi průměrnou předpověděnou hodnotou prediktandu a hodnotou pozorovanou. Hodnota $B = 1$ vyjadřuje, že jev byl předpověděn stejně často jako pozorován, hodnota $B > 1$ ($B < 1$) znamená, že předpovědní metoda předpovídala jev častěji (méně často), než byl pozorován.

- **Heidke (Hit) Skill Score** vyhodnocuje, kolikrát je předpověď lepší ve srovnání např. s klimatologií, náhodným výběrem (obecně s referenční strategií). Kladné hodnoty tohoto skóre znamenají lepší výsledky předpovědi (oproti referenční strategii), nulovou hodnotu obdržíme při stejných výsledcích obou metod. Záporné hodnoty ukazují, že jsme si předpovědi oproti referenční strategii pohoršili. Následující vyjádření dostaneme dosazením Heidkeho skóre do obecné rovnice pro skill score (1), uváděné na začátku této kapitoly:

$$Heidke\ skill\ score = \frac{H + CR - (H_{ref} + CR_{ref})}{H + M + FA + CR - (H_{ref} + CR_{ref})} ,$$

kde symboly H_{ref} , CR_{ref} se vztahují k referenční strategii. Význam symbolů, který byl vysvětlen výše, zůstává stejný.

PŘÍKLAD 1

Praktické použití většiny výše uvedených skóre pro deterministické-kategoriální předpovědi může být objasněno na historickém příkladě předpovědi výskytu tornád, které sestavil John Finley v 19. století (převzato z [36]).

Kontingenční tabulka pro verifikaci předpovědi tornád podle Finleyho:

Pozorování	Předpověď	
	ANO	NE
ANO	28	23
NE	72	2680
Součet	100	2703

Vypočtené Heidke score je poměrně vysoké:

$$Heidke\ score = \frac{28 + 2680}{2803} = 0.966.$$

Na základě tohoto skóre Finley tvrdil, že předpovědi mají úspěšnost 96.6 %. Je ale zřejmé, že vysoká hodnota tohoto skóre je dána správnými předpověďmi nevýskytu tornáda. Záhy se objevila kritika, že pokud budeme předpovídat vždy, že se tornádo neobjeví, dostaneme ještě vyšší Heidkeho skóre úspěšnosti.

Kontingenční tabulka by pak vypadala následovně:

Pozorování	Předpověď	
	ANO	NE
ANO	0	51
NE	0	2752
Součet	0	2803

a

$$Heidke\ score = \frac{0 + 2752}{2803} = 0.982.$$

Nevhodné použití Heidkeho skóre nám potvrzuje i Heidkeho skill skóre Finleyho předpovědi, když za referenční strategii k této předpovědi považujeme „nulovou“ předpověď (tedy, že tornádo se nikdy neobjeví).

$$Heidke\ skill\ score = \frac{(28 + 2680) - 2752}{2803 - 2752} = -0.863.$$

Záporné Heidkeho skill skóre znamená zhoršení výsledků Finleyho předpovědi oproti „nulové“ předpovědi.

Rozumnější, byť ne zcela vyhovující hodnocení úspěšnosti, dává threat score, jehož hodnota vychází poměrně nízká:

$$TS = \frac{28}{28 + 23 + 72} = 0.23.$$

Hodnota bias ukazuje, že Finley předpovídal téměř dvakrát více tornád, než se skutečně objevilo:

$$B = \frac{28 + 72}{28 + 23} = 1.96.$$

• **Linear Error in Probability Space (LEPS) score** může

být v zásadě použito pro zhodnocení předpovědi kontinuálních i kategoriálních proměnných [29].

Předpokládejme, že perfektní předpověď by měla skóre a . Pokud by předpověď nebyla zcela 100%, bylo by skóre a zmenšeno v závislosti na rozdílu mezi pozicí pozorované hodnoty v distribuční funkci P_v a pozicí předpověděné hodnoty v distribuční funkci P_f . Hodnoty P_v a P_f se pohybují mezi 0 a 1. Toto skóre bychom potom mohli (podle Warda a Follanda, převzato z [29]) zapsat jako:

$$S = a - |P_f - P_v|.$$

V současné době se používá pro kontinuální proměnné normalizovaná a upravená verze LEPS skóre. Zájemce o matematické podrobnosti odkazují na [29].

V níže uvedené tabulce uvádím verzi LEPS skóre optimalizovanou pro kategoriální předpovědi v klimatologii (hodnoty budou nadnormální, normální, nebo podnormální), která byla získána spočtením očekávaných skóre pro každou kombinaci pozorovaných a předpověděných tří kategorií [29]. Čísla z této tabulky používáme při vyhodnocování kategoriálních předpovědí jako váhy, což bude ukázáno v následujícím příkladě. Výhoda oproti např. Heidke score je, že penalizuje víc tzv. větší chyby (tedy předpověď nadnormální v případě, že skutečnost byla podnormální, a naopak).

LEPS score pro 3 kategorie

Pozorování	Předpověď		
	nadnormální	normální	Podnormální
Nadnormální	0.89	-0.11	-0.78
Normální	-0.11	0.22	-0.11
Podnormální	-0.78	-0.11	0.89

Předpokládejme, že výsledky předpovědi byly obecně vyhodnoceny takto:

Pozorování	Předpověď		
	nadnormální	normální	podnormální
Nadnormální	a	b	c
Normální	d	e	f
Podnormální	g	h	i

LEPS score je definováno:

$$LEPS = \frac{(a \times 0.89) + (b \times -0.11) + (c \times -0.78) + \dots}{((a + b + c) \times 0.89) + ((d + e + f) \times 0.22) + \dots + (g \times -0.78) + (h \times -0.11) + (i \times 0.89)} \times 100\%$$

$$\frac{\dots + (g \times -0.78) + (h \times -0.11) + (i \times 0.89)}{((g + h + i) \times 0.89)}$$

PŘÍKLAD 2

Předpokládejme, že naše předpovědi teploty vzduchu byly vyhodnoceny takto:

Pozorování	Předpověď		
	nadnormální	normální	podnormální
Nadnormální	8	3	1
Normální	2	5	5
Podnormální	2	5	6

Čísla z definiční tabulky pro LEPS skóre použijeme jako

váhy, a konkrétní hodnotu LEPS skóre pro náš příklad vypočteme dosazením do obecného vzorce takto:

$$LEPS = \frac{(8 \times 0.89) + (3 \times -0.11) + (1 \times -0.78) + \dots + (2 \times -0.78) + (5 \times -0.11) + (6 \times 0.89)}{(12 \times 0.89) + (12 \times 0.22) + (13 \times 0.89) \times 100}$$

$$LEPS=38\%$$

Všimněme si, že 100% úspěšné předpovědi by měly LEPS = 1, LEPS skóre náhodných předpovědí by se mělo pohybovat kolem 0.

Validace kategoriálních předpovědí „trpí“ hlavně dvěma problémy:

1. Možné zkreslení výsledku validace pro hodnoty pohybující se okolo pevné hranice mezi kategoriemi.
2. Přesnost uvnitř kategorií je neznámá.

3.3 Hodnocení pravděpodobnostních předpovědí

Verifikace pravděpodobnostních předpovědí je komplikovanější. Protože je předpověď výjádřena pravděpodobnostně, všechny výstupy jsou možné, a žádná jednotlivá pravděpodobnostní předpověď proto nemůže být označena jako správná či špatná. Dobrá či špatná však může být hladina spolehlivosti této předpovědi. Pokud jsou předpovědi spolehlivé, pravděpodobnost, že skutečně pozorovaný jev (stav) nastane, je stejná jako předpověděná pravděpodobnost.

Pokud je výsledkem pravděpodobnostních předpovědí předpovědní distribuční funkce PDF (probability distribution function), spolehlivost předpovědi by měla být určena srovnáním předpovědní PDF a PDF reálně naměřených hodnot. Ale to nelze. Předpovědní PDF musí být nakonec verifikována vzhledem k jediné skutečné realizaci daného jevu.

Níže uvedená verifikační skóre jsou pro vyhodnocování pravděpodobnostních předpovědí nejčastěji používaná:

- **Brier (nebo half Brier) score** je zřejmě nejběžnější používané skóre pro pravděpodobnostní předpovědi [36]. V níže uvedené formě platí pouze pro kategoriální pravděpodobnostní předpovědi pro dvě kategorie, a sice jev A nastal, jev A nenastal:

$$Brier\ score = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2,$$

kde x_i , $i = 1 \dots n$, je řada n předpověděných pravděpodobností, a y_i , $i = 1 \dots n$, je odpovídající řada n pravděpodobností pozorovaných hodnot ($y = 1$ pokud jev nastal, $y = 0$ pokud jev nenastal). Toto skóre vlastně vyjadřuje střední kvadratickou chybu pravděpodobnostních předpovědí. Hodnoty Brier score BS se pohybují od nuly po 1 včetně ($0 \leq BS \leq 1$). Perfektní předpověď má Brier score rovno 0, méně přesné předpovědi mají vyšší hodnoty skóre.

PŘÍKLAD 3

Pokud předpovíme, že jev, který opravdu nastal, nastane s 60% pravděpodobností, je Brierovo score: $(0.6-1)^2 = 0.16$.

- **Skill score** odpovídající Bier score můžeme spočítat:

$$SS = \frac{BS - BS_{ref}}{0 - BS_{ref}} = 1 - \frac{BS}{BS_{ref}}$$

když pro bezchybnou předpověď $BS_{perf} = 0$.

- **Ranked Probability Score** (jako Brier score, ale pro víc kategorií), kde je kvadratická chyba počítána vzhledem ke kumulativní pravděpodobnosti [29, 36]:

$$RPS = \sum_{m=1}^J (X_m - Y_m)^2$$

kde X_m , Y_m jsou kumulativní pravděpodobnosti předpovědí a pozorování pro J kategorií.

Kumulativní pravděpodobnosti jsou definovány následovně:

$$X_m = \sum_{i=1}^m x_i, \quad m = 1, \dots, J,$$

a

$$Y_m = \sum_{i=1}^m y_i, \quad m = 1, \dots, J,$$

kde x_i , $i = 1 \dots n$, je řada n předpověděných pravděpodobností, a y_i , $i = 1 \dots n$, je odpovídající řada n pravděpodobností pozorovaných hodnot ($y = 1$, pokud jev nastal, $y = 0$, pokud jev nenastal).

Bezchybná předpověď by měla RPS rovno nule.

PŘÍKLAD 4

Nechť předpověď teploty vzduchu je následující: 20% pravděpodobnost podnormální teploty ($x_1 = 0.2$), 40% pravděpodobnost teploty kolem normálu ($x_2 = 0.4$), a 40% pravděpodobnost teploty podnormální ($x_3 = 0.4$). Při pozorování byla naměřena teplota podnormální ($y_1 = 0$, $y_2 = 0$, $y_3 = 1$).

Podle výše uvedených vztahů spočteme $X_1 = x_1 = 0.2$, $X_2 = x_1 + x_2 = 0.6$, $X_3 = x_1 + x_2 + x_3 = 1$, a $Y_1 = y_1 = 0$, $Y_2 = y_1 + y_2 = 0$, $Y_3 = y_1 + y_2 + y_3 = 1$.

Dosazením do definice pro Ranked Probability score dostaneme:

$$RPS = (0.2 - 0)^2 + (0.6 - 0)^2 + (1 - 1)^2 = 0.76.$$

- **„Attributes“ diagramy** vyjadřují grafickou formou spolehlivost pravděpodobnostní předpovědi [12, 15, 36]. Jako příklad je v [36] uveden diagram, ve kterém zakreslené body vyjadřují pozorovanou relativní četnost výskytu srážek v závislosti na předpověděné pravděpodobnosti výskytu srážek. Je zřejmé, že body pro perfektní předpověď by v tomto diagramu ležely na diagonále. Pokud je v diagramu zakreslena také přímka pro předpověď pomocí klimatologických hodnot, lze na první pohled vyčíst zlepšení či zhoršení předpovědní metody vzhledem k této referenční strategii.

Existují také verifikační skóre, která penalizují předpovědi, které se neodchylují od klimatologické pravděpodobnosti. Je to například RPSS (Ranked Probability Skill Score), [36], a LEPSPROB (pravděpodobnostní verze LEPS), [29].

Další, a sice velmi důležitý problém s verifikací předpovědí už souvisí přímo s koncovým uživatelem těchto předpovědí. Je tato předpověď pro uživatele užitečná a cenná? Potíž je v tom, že „cena“ předpovědních chyb nebývá pro uživatele symetrická. Je lepší aby rostl počet dobrých předpovědí, např. výskytu tornáda i za cenu, že se zvýší počet falešných poplachů (tedy předpovědi výskytu tornáda, které se ve skutečnosti nevykytnou)? Na to není z hlediska uživatele jednoznačná odpověď. Byla vyvinuta charakteristika ROC (Relative Operating Characteristics), která popisuje závislost HR (podíl úspěšných předpokladů, že jev nastane, na celkovém počtu případů, kdy jev nastal) a FAR (podíl falešných poplachů na

celkovém počtu případů, kdy jev nenastal) na zvolené prahové hodnotě pravděpodobnosti.

S některými dalšími aspekty problému okolo validace zejména kategoriálních předpovědí je možno se blíže seznámit v [25].

4. SEZONNÍ PŘEDPOVĚDI V PRAXI

Kde můžeme sezonní předpovědi anomálií teplot a srážek pro Evropu nalézt? Nejprve bych zdůraznila, že všechny níže uvedené zdroje, jejichž internetové adresy jsou uvedeny na konci článku, uvádějí předpovědi v pravděpodobnostní formě.

Meteorologická služba Velké Británie (Met Office) na základě lednových a únorových anomálií SST v severním Atlantiku (viz [7]) vydává experimentální pravděpodobnostní předpovědi letních teplot pro severozápadní Evropu. Met Office dále vydává předpovědi pravděpodobnosti výskytu nadnormálních nebo podnormálních teplot a srážkových úhrnů pro dvě následující tříměsíční období.

Pravděpodobnostní informace o předpokládaných teplotních a srážkových anomáliích pro čtyři následující, překrývající se tříměsíční období v Evropě můžeme získat z webových stránek IRI (International Research Institute for Climate Prediction), kde jsou výsledkem hybridního modelu (dynamický model doplněný modely statistickými). Pro názornost, v lednu je vydávána předpověď na období únor–duben, březen–květen, duben–červen, květen–červenec).

Na veřejných stránkách ECMWF (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) jsou k dispozici výsledky spřaženého cirkulačního modelu oceán-atmosféra pro anomálie teplot, srážek, tlaku na hladině moře -SLP (sea level pressure), SST pro tři následující, překrývající se tříměsíční sezony, pro tropickou oblast, Afriku, Jižní Ameriku, jižní Asii i Evropu. Celý modelový komplex tvoří model oceánu HOPE (Hamburg Ocean Primitive Equation model, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg), atmosférický model IFS (Integrated Forecasting System, ECMWF, Reading), coupler OASIS (CERFACS, Toulouse, coupling 1x za 24 hodin pomocí toků tepla, vlhkosti a hybnosti) a asimilační systém ODASYS (Bureau of Meteorology Research Centre, Melbourne, založen na optimální interpolaci modelově předpověděných polí a pozorování).

Na stránkách NASA lze nalézt experimentální předpovědi pro jednu následující tříměsíční sezonu (i pro Evropu) z CGCM.

Na intranetových stránkách ČHMÚ jsou sumarizovány sezonní předpovědi teplotních anomálií pro naše území ze dvou zdrojů (IRI a ECMWF). V nejbližší době k nim přibudou i experimentální předpovědi měsíčních teplotních anomálií na základě vyvíjených empirických modelů.

V posledních letech sílí snahy situaci se sezonními předpovědi pro Evropu dále zlepšovat. V dubnu 2000 se rozběhl projekt DEMETER (Development of a European Multiple-model Ensemble system for seasonal to interannual climate prediction), který sdružuje dvanáct evropských partnerů, a jehož cílem je vytvořit z výsledků šesti CGCMs, které jsou v Evropě k dispozici, členy skupinové předpovědi pro sezonní předpovědi.

5. ZÁVĚR

Dlouhodobým měsíčním až sezonním předpovědím je poslední dobou věnována značná pozornost meteorologů a klimatologů. Je to dáno do jisté míry tlakem veřejnosti, pro kterou by tyto informace byly velmi užitečné, protože by mohly pomoci snížit škody způsobené dlouhodobým vývo-

jem počasí. Včas předpověděné sucho nebo záplavy by například zemědělcům umožnili podniknout patřičná protipatření, kterými by mohli své ztráty zmenšit.

Překážky bránící využívání dlouhodobých předpovědí mají několik příčin. První (a nejdůležitější) je v tom, že předpověditelnost klimatu je pouze omezená a použitelné předpovědi jsou dostupné zatím pouze pro některé regiony a období. Za druhé, poskytované dlouhodobé předpovědi mohou být, kvůli své pravděpodobnostní podobě, pro uživatele těžko pochopitelné, a při jeho snaze je interpretovat jako předpovědi deterministické, mohou být využity v dalším rozhodovacím procesu nesprávně. Za třetí, pokud předpovědi nejsou „šity“ pro potřeby konkrétního uživatele, mohou se mu jevit příliš obecné, nedostatečné. Pro zemědělce by například měla větší váhu informace o pravděpodobnosti výskytu období 10 dní bez srážek, než informace o předpokládaném celkovém srážkovém úhrnu za sezonu.

Z uvedeného vyplývá, že vývoj dlouhodobých předpovědí, pokud mají být užitečné a smysluplné, nelze oddělit od konkrétního koncového uživatele, který by měl specifikovat své požadavky, a měl by být dostatečně informován o terminologii, možnostech a omezeních těchto předpovědí.

Poděkování:

Velmi děkuji lektorce Jaroslavě Kalvové (KMOP MFF UK) za poskytnutí cenných připomínek k tomuto článku.

Literatura

- [1] ANDERSON et. al., 1999. Present-day capabilities of numerical and statistical models for atmospheric extratropical seasonal simulation and prediction. *Bulletin American Meteorological Society*, roč. **80**, s.1349–1362.
- [2] BARNSTON, A.G., 1992. Correspondence among the Correlation, RMSE, and Heidke Forecast Verification Measures; Refinement of the Heidke Score. *Weather and Forecasting*, roč. **4**, s. 699–700.
- [3] BARNSTON, A.G., 1994. Linear statistical short-term climate predictive skill in the Northern Hemisphere. *Journal of Climate*, roč. **7**, s.1513–1564.
- [4] BENGTTSSON, L. – SCHLESE, U. – ROECKNER, E. et al., 1993. A Two tiered approach to long-range climate forecasting. *Science*, roč. **261**, s.1026–1029.
- [5] CASEY, T. M., 1998. Assessment of a seasonal forecast model. *Australian Meteorological Magazine*, roč. **44**, s.219–224.
- [6] CHARNEY, J.G. – SHUKLA, J., 1981. Monsoon Dynamics. New York: Cambridge University Press, s. 99–109.
- [7] COLMAN, A. – DAVEY, M., 1997. Prediction of Summer Temperature, Rainfall and Pressure in Europe from Preceding Winter North Atlantic Ocean Temperature. *International Journal of Climatology*, roč. **12**, s.1285–1300.
- [8] DELECLUSE, P. – DAVEY, M. K. – KITAMURA, Y. et al., 1998. Coupled general circulation modeling of the tropical Pacific. *Journal of Geophysical Research*, roč. **103**, s. 14357–14373.
- [9] FRANKIGNOUL, C., 1985. Sea surface temperature anomalies, planetary waves and air-sea feedback in the middle latitudes. *Revue of Geophysics*, roč. **23**, 1985, s. 357–390.
- [10] GRAY, W. M. - LANDSEA, C. W. - MIELKE, P. W. et al., 1992. Predicting Atlantic seasonal hurricane activity 6-11 months in advance. *Weather Forecasting*, roč. **7**, s.440–455.
- [11] GRAY, W. M. – LANDSEA, C. W. – MIELKE, P. W. et al., 1994. Predicting Atlantic basin seasonal tropical cyclone activity by 1 June. *Weather Forecasting*, roč. **9**, s. 103–115.

- [12] HAMILL, T. M., 1997. Reliability diagrams for multicategory probabilistic forecasts. *Weather Forecasting*, roč. **12**, s. 736–741.
- [13] HASTENRATH, S., 1995. Recent advances in tropical climate prediction. *Journal of Climate*, roč. **8**, s. 1519–1532.
- [14] HEBÁK, P. - HUSTOPECKÝ, J., 1987. Vícerozměrné statistické metody s aplikacemi. Praha: SNTL.
- [15] HSU, W.-R. – MURPHY, A. H., 1986. The attributes diagram: a geometrical frame work for assessing the quality of probability forecasts. *International Journal of Forecasting*, roč. **2**, s. 285–293.
- [16] HUNT, B.G., 1997. Prospects and problems for multi-seasonal predictions: some issues arising from a study of 1992. *International Journal of Climatology*, roč. **17**, s. 134–154.
- [17] HUTCHINSON, P., 1992. The Southern Oscillation and prediction of Der season rainfall in Somalia. *Journal of Climate*, roč. **5**, s. 525–531.
- [18] JOHANSSON, A. – BARNSTON, A. – SAHA, S., 1998. On the Level and Origin of Seasonal Forecast Skill in Northern Europe. *Journal of Atmospheric Science*, roč. **55**, s. 103–127.
- [19] KUMAR, A. et al., 2000. Changes in the spread of the variability of the seasonal mean atmospheric states associated with ENSO. *Journal of Climate*, roč. **17**, s. 3139–3151.
- [20] LANDMAN, W. A. – MASON, S.J., 1999. Operational prediction of South African rainfall using canonical correlation analysis. *International Journal of Climatology*, roč. **19**, s. 1073–1090.
- [21] LANDMAN, W. A. et al., 2001. Retro-active skill of multi-tiered forecasts of summer rainfall over southern Africa. *International Journal of Climatology*, roč. **21**, 2001, s. 1–19.
- [22] LEHMILLER, G. S. – KIMBERLAIN, T. B. – ELSNER, J. B., 1997. Seasonal prediction models for North Atlantic basin hurricane location. *Monthly Weather Review*, roč. **125**, s. 1780–1791.
- [23] MARSHALL, J. – KUSHNIR, Y. – BATTISTI, D., et al. 2001. North Atlantic Climate Variability: phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology*, roč. **21**, s. 1863–1898.
- [24] MASON, S.J., 1998. Seasonal forecasting of South African rainfall using a non-linear diskriminant analysis model. *International Journal of Climatology*, roč. **18**, s. 147–164.
- [25] METELKA, L., 2001. Optimalizace kategoriálních předpovědí. *Meteorologické Zprávy*, roč. **54**, č. 2, s. 39–45.
- [26] MUTAI, C. C. et al., 1998. Towards the prediction of the East Africa rains based on sea-surface temperature-atmosphere coupling. *International Journal of Climatology*, roč. **18**, s. 975–997.
- [27] NEELIN, J. D. – BATTISTI, D. S. - HIRST, A. C., 1998. ENSO theory. *Journal of Geophysics Research*, roč. **103**, s. 14261–14290.
- [28] OSBORN, T. J. – HULME, M., 1998. Evaluation of the European daily precipitation characteristics from the atmospheric model intercomparison project. *International Journal of Climatology*, roč. **18**, s. 505–522.
- [29] POTTS, J.M. et al., 1996. Revised „LEPS“ Scores for Assessing Climate Model Simulations and Long-Range Forecast. *Journal of Climate*, roč. **9**, s. 34–52.
- [30] ROPELEWSKI, C. F. – HALPERT, M., 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, roč. **115**, s. 1606–1626.
- [31] ROPELEWSKI, C. F. – HALPERT, M., 1989. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, roč. **2**, s. 268–284.
- [32] SHABBAR, A. – BARNSTON, A.G., 1996. Skill of seasonal climate forecasts in Canada using canonical correlation analysis. *Monthly Weather Review*, roč. **124**, s. 2370–2385.
- [33] THIAW, W. et al., 1999. Predictions of African rainfall on the seasonal timescale. *Journal of Geophysics Research*, roč. **104**, s. 31589–31597.
- [34] UVO, C.B., et al., 1998. The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, roč. **13**, s. 287–293.
- [35] WILBY, R. L. – WIGLEY, T. M. L., 1997. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*, roč. **21**, s. 530–548.
- [36] WILKS, D. S., 1995. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. *International Geophysics Series*, roč. **59**. San Diego: Academic Press. 464 s.
- [37] XU, J.S. – VON STORCH, H., 1990. Principal oscillation pattern: prediction of the state of ENSO. *Journal of Climate*, roč. **3**, s. 1316–1329.
- [38] XUE, Y. – CANE, M. A. – ZEBIAK, S. E., 1994. On the prediction of ENSO: A study with a low-order Markov model. *Tellus*, roč. **46A**, s. 512–528.
- [39] The ECMWF Seasonal Forecasting System.
<http://www.ecmwf.int/products/forecasts/seasonal/documentation/ch2.html>
- [40] Standardiset Verification System for Long-Range Forecasts. Version 2.0 (Draft). WMO, Commission for Basic Systems.
<http://www.wmo.ch/web/www/DPS/SVS-for-LRF.html>

Internetové adresy (stav k červenci 2002):

Met office UK: <http://www.metoffice.com/research/seasonal/index.html>

IRI: <http://iri.columbia.edu/climate/forecast/>

ECMWF: <http://ra.ecmwf.int/products/forecasts/>

ČHMÚ (pouze Intranet): http://intranet.chmi.cz/poboc/HK/sez_pred/cf_main.htm

DEMETER:

<http://www.ecmwf.int/research/demeter/index.html>

Lektorka doc. RNDr. J. Kalvová, CSc., rukopis odevzdán v říjnu 2002.

KOLÍSÁNÍ EXTRÉMNĚ VLHKÝCH A EXTRÉMNĚ SUCHÝCH MĚSÍCŮ V ČESKÉ REPUBLICĚ

Fluctuations of extremely wet and extremely dry months in the Czech Republic. Based on homogeneous precipitation series of 94 meteorological stations of the Czech Republic, extremely wet and extremely dry months, according to critical thresholds (10% and 90% percentiles) of the gamma distribution in the reference period 1961–1990, were selected. Changes in their temporal and spatial variability were analysed for 1961–2000. From the average series of the 94 Czech stations, 45 extremely wet and 54 extremely dry months were selected. Long term fluctuations of extremely wet and dry months were studied for secular precipitation series of Prague-Klementinum (1805–2000), Bohemia (1876–2000) and Moravia (1881–1988).

KLÍČOVÁ SLOVA: srážky atmosférické – extrémny – kolísání – změny dlouhodobé – Česká republika

1. ÚVOD

Kolísání srážek je s ohledem na jejich dopady na nejrůznější oblasti lidské činnosti předmětem trvalého zájmu. Pozornost je věnována zejména vysokým denním a měsíčním srážkovým úhrnům, včetně jejich N-letosti (např. [2, 9, 18, 19, 22]), které jsou mnohdy doprovázeny výskytem povodní (např. [24, 27, 29]), stejně jako obdobím sucha (např. [25]), s nimiž jsou zpravidla spojeny ztráty v zemědělské výrobě nebo problémy v zásobování vodou. Mnohé práce se zabývají také analýzou dlouhodobých změn srážek, včetně jejich trendů a cykličnosti (např. [3, 4, 7, 10, 13]). Dosud ale prakticky chybí studie, které by se věnovaly extremitě srážek na úrovni měsíčních úhrnů.

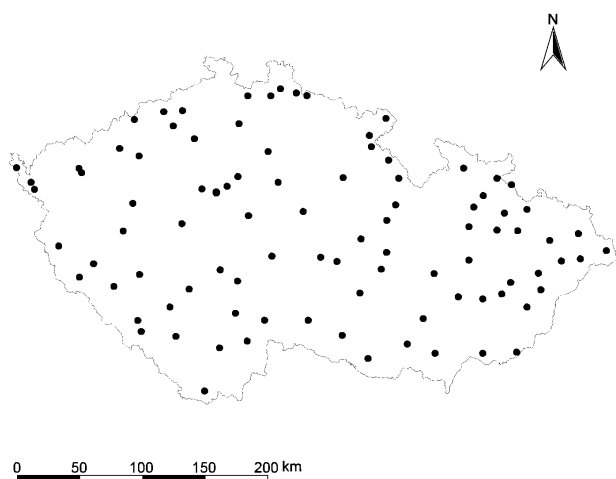
Předložená práce se proto věnuje analýze časových a prostorových změn extrémně vlhkých a extrémně suchých měsíců v České republice (dále ČR) pro období 1961–2000 a dlouhodobým změnám v jejich kolísání. Vychází ve značné míře z výsledků řešení této tematiky v rámci diplomové práce Chromé [20].

2. POUŽITÉ ÚDAJE

K analýze srážkově extrémních měsíců v ČR byly použity řady měsíčních úhrnů srážek 94 meteorologických stanic sítě ČHMÚ v období 1961–2000. Přes poměrně velký počet stanic je jejich geografické zastoupení slabší zejména v oblastech

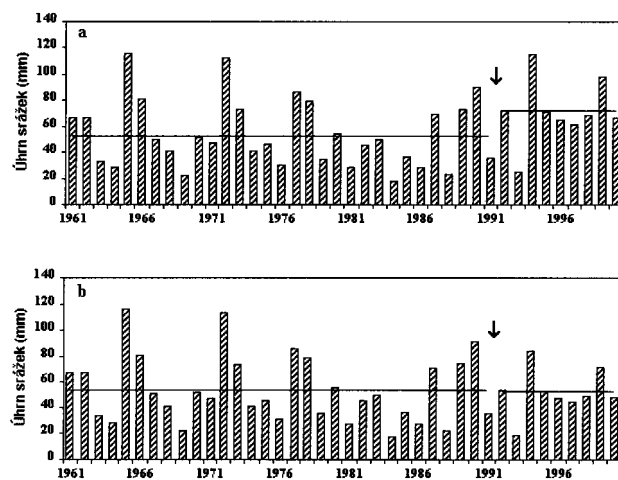
východních Čech, západních Čech a na Moravě v pásu území od Králického Sněžníku směrem na jih a jihozápad (obr. 1).

Během analyzovaného období 1961–2000 došlo na některých stanicích z různých důvodů k přerušení pozorování, popř. některé stanice neměřily po celé čtyřicetiletí. S ohledem na výsledky práce Brázdila a Litschmana [6], kteří porovnávali různé metody pro doplnění chybějících měsíčních srážek, byla zvolena metoda vícenásobné lineární regrese. Vhodné stanice pro doplnění byly vybírány z nejbližšího okolí doplňované stanice se zřetelem na podobnost chodů srážek vyjádřenou korelačním koeficientem (minimálně o hodnotě 0,8), přičemž se muselo jednat o stanice s úplnou řadou pozorování. V případě, že s ohledem na hodnoty korelačních koeficientů byla pro doplnění vhodná jen jedna stanice, použila se metoda jednoduché lineární regrese. Pokud nebylo možné vybrat z okolí žádnou referenční stanici, používaly se průměrné řady z okolních stanic, které vykazovaly zpravidla s doplňovanou stanicí lepší korelaci než řada jednotlivé stanice. Celkem bylo doplněno 457 měsíců pro 48 stanic, což představuje jen asi 1 % z počtu všech zpracovaných měsíců. Nejvíce údajů bylo doplňováno pro stanice Plzeň-Bolevec (99 měsíců, období 1961–březen 1969 podle stanice Plzeň-Doud-



Obr. 1 Geografické rozložení použitých meteorologických stanic na území ČR.

Fig. 1. Geographical distribution of employed meteorological stations on the territory of the Czech Republic.



Obr. 2 Chod srážkových úhrnů měsíce dubna na stanici Vsetín v období 1961–2000: a) měřené údaje, b) homogenizované údaje. Šipkou je označen rok nehomogenity, horizontální čarou odpovídající průměry.

Fig. 2. The variation of precipitation totals of the month of April at the station Vsetín in the period 1961–2000: a) measured data, b) homogenised data. The arrow marks the year of inhomogeneity, the horizontal line indicate the corresponding mean values.

levce, vodárna) a pro Kadaň, Tušimice (72 měsíců, období 1961–1966 podle stanice Vilémov). Na stanici Čechtice připadla polovina z 31 chybějících měsíců na období po září roku 1999, kdy bylo pozorování ukončeno.

Relativní homogenita srážkových řad byla pro jednotlivé měsíce testována pomocí SNHT testu (Standard Normal Homogeneity Test – [1]) pomocí software AnClim [28]. Jako referenční se při testování použila vždy řada, vypočítaná jako vážený průměr z údajů stanic ve vzdálenosti do 50 km od stanice testované, přičemž jako váhy se braly korelační koeficienty jednotlivých stanic se stanicí testovanou. Odpovídající řady pak byly homogenizovány pouze v případě, že zjištěné nehomogenity měly své opodstatnění v metadatech dané stanice, popř. fyzikální vysvětlení (tzv. nepochybnitelné nehomogenity – blíže viz [11]). Příkladem odstranění takové nehomogenity mohou být dubnové srážky na stanici Vsetín, kde příčinou zjištěné nehomogenity bylo přemístění stanice v roce 1990 a následné stavební změny v jejím okolí (obr. 2).

Z 1 128 řad měsíčních úhrnů srážek byla výše uvedeným testem zjištěna nehomogenita celkem ve 127 případech, tj. 11,3 % všech řad. Z tohoto počtu jich však bylo homogenizováno pouze 16. Neopraveno zůstalo 111 řad, což představuje 9,8 % všech měsíčních souborů. Zdánlivě velký počet nehomogenizovaných řad souvisí s tím, že nebyly opravovány nehomogenity indikované na jejich začátku či konci, kdy je obtížné posoudit, zda se jedná skutečně o nehomogenitu či o extrémní hodnotu v dané řadě. Navíc na mnoha stanicích byla nehomogenita indikována jen v jednom měsíci, přičemž v případě více nehomogenitních měsíců se zpravidla výrazně lišily roky nehomogenity, tj. nejednalo se zřejmě o systematickou změnu na stanici (např. v důsledku přemístění nebo změny typu srážkoměru). Příkladem může být stanice Praha-Klementinum, kde podle SNHT testu byly statisticky významné nehomogenity indikovány v letech 1962 (září), 1984 (prosinec) a 1996 (duben).

Takto upravené řady měsíčních úhrnů srážek 94 meteorologických stanic byly použity pro výpočet průměrné srážkové řady pro ČR. Ta byla počítána jednak jako prostý aritmetický průměr, jednak jako vážený průměr, kde se jako váhy braly nadmořské výšky jednotlivých stanic. V případě porovnání obou srážkových řad se hodnota statisticky významného korelačního koeficientu pohybovala v mezích od 0,979 (listopad) do 0,998 (květen, červenec, srpen, říjen, prosinec). Statisticky významné rozdíly mezi oběma řadami nebyly zjištěny ani t-testem pro párované hodnoty. Pro další analýzu byla vybrána řada vypočtená metodou prostého aritmetického průměru.

3. DEFINICE SRÁŽKOVĚ EXTRÉMních MĚSÍCŮ

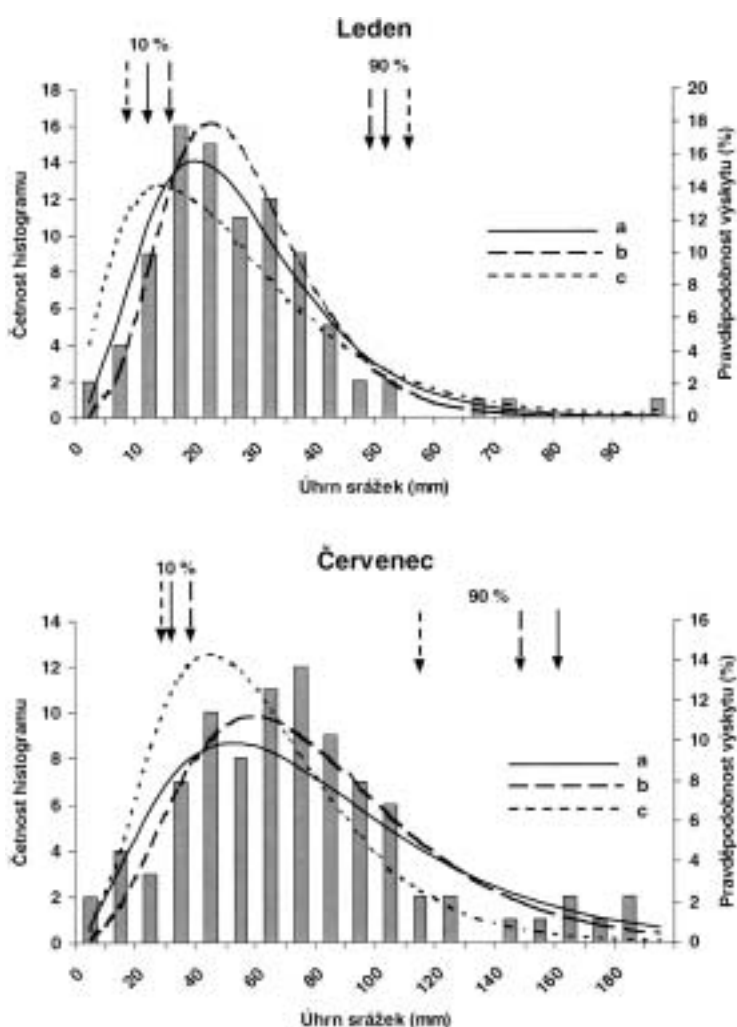
Srážkově extrémní období mohou být definována různým způsobem. Při statistickém vymezení se jedná o případy srážek, které se v dané řadě vyskytují s jistou malou pravděpodobností. Dalším kritériem vymezení extrémů mohou být jejich dopady, zejména hospodářské škody, ztráty na životech aj.

Klíčovou otázkou při statistickém vymezení

extrémů je stanovení mezních hodnot příslušného teoretického rozdělení aproximujícího danou veličinu, při jejichž překročení, resp. nedosažení budou hodnoty považovány za extrémní. Brázdil a Štěpánek [12] považují za nejvhodnější pro vymezení extrémně vlhkých a extrémně suchých měsíců gama rozdělení, které v porovnání s jinými zkoušenými metodami vyjadřuje srovnatelně dobře extrémně suché a lépe extrémně vlhké měsíce. Gama rozdělení se v nejobecnější podobě definuje se třemi parametry polohy, škály a tvaru. Někdy se při definování parametrizovaného tvaru zavádí jen parametry škály a tvaru při parametru polohy rovném nule. Funkce hustoty pravděpodobnosti gama rozdělení bude pak dána tvarem [14]:

$$\varphi(x) = \frac{x^{p-1} \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right)}{\delta^p \Gamma(p)},$$

kde δ je parametr škály a p je parametr tvaru. Hodnoty parametrů lze vypočítat podle momentové metody nebo metodou



Obr. 3 Porovnání histogramu (období 1901–1990) a teoretického gama rozdělení měsíčních srážkových úhrnů ledna a července v Brně vypočteného pro referenční období 1901–1930 (a), 1931–1960 (b) a 1961–1990 (c). Šipky odpovídají mezním extremity (percentily 10 a 90 %) stanoveným z gama rozdělení.

Fig. 3. The comparison of the histogram (period 1901–1990) and the theoretical gamma distribution of monthly precipitation totals of January and July in Brno calculated for the reference periods 1901–1930 (a), 1931–1960 (b) and 1961–1990 (c). The arrows correspond to the thresholds (percentiles 10 and 90%) determined from the gamma distribution.

maximální věrohodnosti (blíže např. [17]). Jako mezní hodnoty příslušného gama rozdělení byly v této práci zvoleny desátý percentil (extrémně suché měsíce) a devadesátý percentil (extrémně vlhké měsíce).

Zvolené meze extremity, a tedy i počet extrémních měsíců, však budou závislé na referenčním období, ze kterého se počítají parametry gama rozdělení. To lze dokumentovat na příkladu lednových a červencových srážkových úhrnů Brna v období 1901–1990 pro tři různá referenční období (obr. 3, tab. 1). Tak v lednu připadl nejvyšší počet extrémních měsíců na případ použití mezí určených z referenčního období 1931–1960, zatímco v červenci to bylo z období 1931–1960 pro extrémně suché a z období 1961–1990 pro extrémně vlhké měsíce. Tyto skutečnosti jsou důsledkem kolísání srážek a je třeba je vést v patrnosti při vlastní analýze a interpretaci výsledků. V případě zpracovávaného souboru 94 meteorologických stanic však volba referenčního období 1961–1990 jako doporučeného normálového období podle WMO byla dále vynucena především délkou těchto řad (1961–2000).

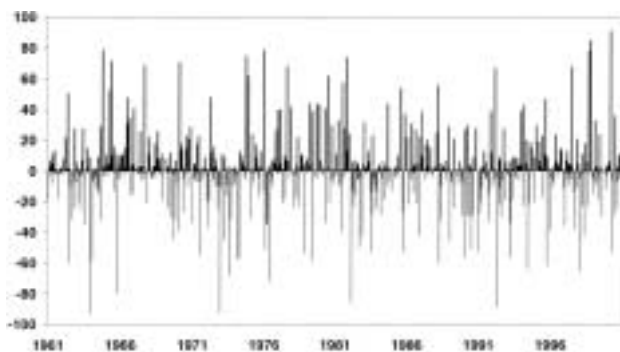
Tab. 1 Relativní četnosti (%) extrémně suchých (ES) a extrémně vlhkých (EV) měsíců v brněnské srážkové řadě v období 1901–1990 při použití desátého a devadesátého percentilu gama rozdělení stanoveného z různých referenčních období.

Table 1. Relative frequencies (%) of extremely dry (ES) and extremely wet (EV) months in the Brno precipitation series during the period 1901–1990 from thresholds (10% and 90% percentiles) of the gamma distribution determined from different reference periods.

Referenční období	Leden		Červenec	
	ES	EV	ES	EV
1901–1930	7,8	6,7	8,9	7,8
1931–1960	14,4	10,0	15,6	7,8
1961–1990	2,2	5,6	8,9	17,8

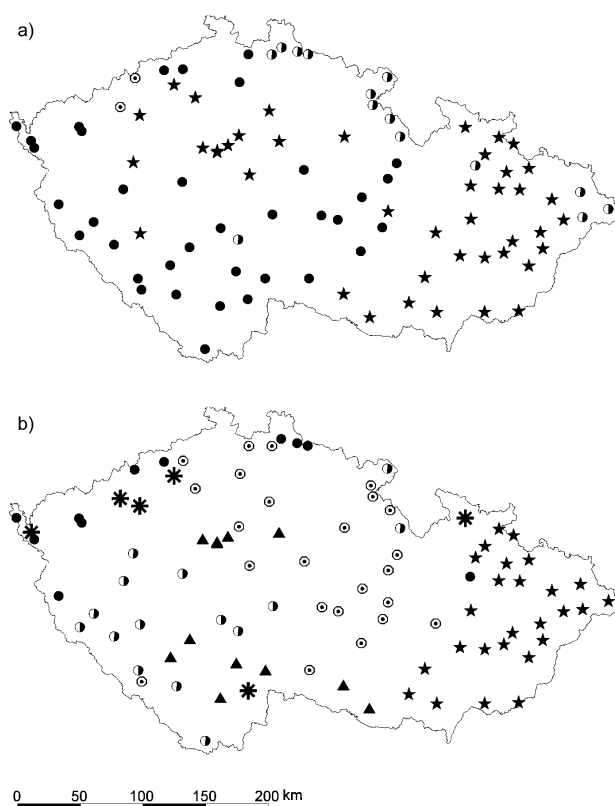
4. ČASOVÉ A PROSTOROVÉ ZMĚNY SRÁŽKOVĚ EXTRÉMních MĚSÍCŮ V ČR V OBDOBÍ 1961–2000

S ohledem na desátý a devadesátý percentil gama rozdělení každého měsíce v referenčním období 1961–1990 byly extrémně vlhké a extrémně suché měsíce určeny pro každou z 94 meteorologických stanic v období 1961–2000. Srážkově extrémní měsíc na jedné stanici nemusí být nutně vyjádřen jako extrémní na dalších stanicích. Obr. 4 ukazuje proto počet



Obr. 4 Kolísání počtu stanic se srážkově extrémním měsícem na území ČR v období 1961–2000 (kladné hodnoty pro extrémně vlhké měsíce, záporné pro extrémně suché).

Fig. 4. The fluctuation of the number of stations with the precipitation extremely month on the territory of the Czech Republic in the period 1961–2000 (positive values for extremely wet months, negative values for extremely dry months).



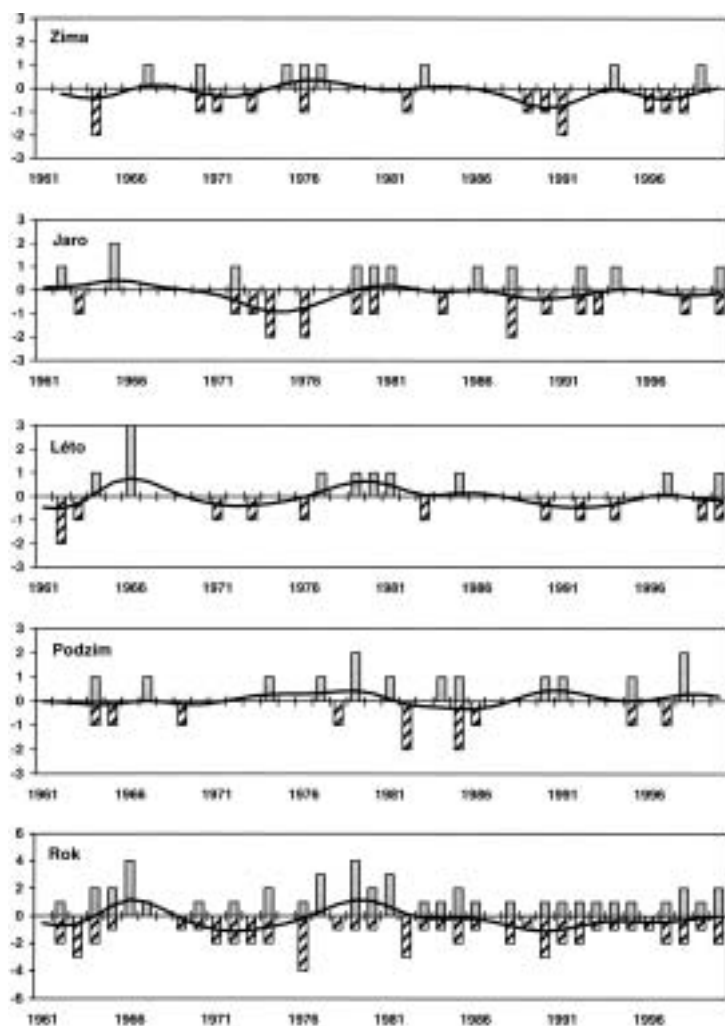
Obr. 5 Příklady shlukové analýzy (metoda nejbližšího souseda) výskytu srážkově extrémních měsíců během roku na území ČR v období 1961–2000: a) extrémně suché měsíce, b) extrémně vlhké měsíce (příslušnost stanice do téhož shluku je dána stejným symbolem).

Fig. 5. Examples of the cluster analysis (the method of complete linkage) of the occurrence of precipitation extremely months during the year on the territory of the Czech Republic in the period 1961–2000: a) extremely dry months, b) extremely wet months (appurtenance of the station into the same cluster is given by the same symbol).

stanic, které se v daném měsíci jeví jako extrémní. Vcelku překvapující je zjištění, že za celé čtyřicetileté období se vyskytlo pouze 16 měsíců, tj. 3,3 % všech případů, v nichž ani jedna z 94 použitých stanic nevykázala žádný extrém. Jen ty měsíce, kdy byl extrém zaznamenán na větším počtu stanic, se pak ukázaly jako srážkově extrémní i v průměrné řadě pro ČR.

Prostorové změny srážkově extrémních měsíců byly pro 94 meteorologických stanic analyzovány s použitím shlukové analýzy metodou nejbližšího souseda (obr. 5). Podle suchých extrémů byly stanice zařazeny do čtyř shluků, v případě vlhkých extrémů do šesti. U extrémně suchých měsíců (obr. 5a) se jako poměrně homogenní jeví území Moravy, které tvoří stejný shluk se stanicemi převážně z nížinných oblastí Čech (Polabí, okolí Prahy). Také území Čech s výjimkou uvedených oblastí a horských stanic na severu a severovýchodě Čech (Jizerské hory, Krkonoše, Orlické hory) tvoří poměrně jednotlivou oblast. Naproti tomu stanice Nová Ves v Horách a Kadaň, Tušimice vytvořily samostatný shluk.

Morava se ukazuje jako poměrně homogenní také v případě extrémně vlhkých měsíců (obr. 5b). Čechy lze v tomto případě rozdělit zjednodušeně na dvě části ve směru severozápad – jihovýchod: jednu zahrnující severní a východní Čechy s Českomoravskou vrchovinou, a druhou, do níž patří západní a jižní Čechy. Zatímco rozsáhlý shluk stanic na Moravě by mohl ukazovat na vliv vysokých srážek souvisejících s postupem středomořských cyklon (viz např. [16]),



Obr. 6 Kolísání počtu extrémně vlhkých (kladné hodnoty) a extrémně suchých (záporné hodnoty) měsíců pro roční období a rok podle průměrné řady ČR v období 1961–2000.

Fig. 6. The fluctuation of the number of extremely wet (positive values) and extremely dry (negative values) months for the seasons and the year according to the mean series of the Czech Republic in the period 1961–2000.

v Čechách je patrně důležitý směr, odkud přicházejí velké srážky z oblasti Atlantského oceánu.

Shlukování stanic podle výskytu srážkově extrémních měsíců ukazuje, že jejich nadmořská výška není tak rozhodujícím faktorem jako geografická poloha (např. na rozdíl od množství srážek, které obecně roste s nadmořskou výškou). Ukazuje to na fakt, že plošně vydatné srážky a zejména suchá období jsou vázána na cirkulační procesy větších měřítek jako makro α , β a mezo α , β , γ , což vyplynulo již z analýzy prostorových měsíčních úhrnů srážek Čech a Moravy v práci Brázdila a Štekla [9].

Podobně jako v případě jednotlivých stanic, byly srážkově extrémní měsíce určeny i z průměrné řady pro ČR (tab. 2). Časové změny 45 extrémně vlhkých a 54 extrémně suchých měsíců v období 1961–2000 ukazuje obr. 6. Nejvíce srážkově extrémních měsíců se vyskytlo v roce 1976 (jeden vlhký a čtyři suché) a 1979 (čtyři vlhké a jeden suchý). Naopak ve čtyřech letech (1961, 1968, 1975 a 1987) nebyl zaznamenán ani jeden extrémní měsíc. Od roku 1988 však byl nejméně jeden srážkově extrémní měsíc zjištěn již v každém roce. V jednotlivých desetiletích bylo nejvíce extrémně suchých měsíců v letech 1971–1980 a 1991–2000 (po 15 měsících), nejméně v letech 1961–1970 (10). V případě extrémně vlhkých měsíců šlo o desetiletí 1971–1980 (13) a 1981–1990 (9). Zatímco v případě suchých extrémů tak jde o evidentní nárůst po roce 1970, u vlhkých extrémů není zřetelná tendence patrná. Pokud jde o jednotlivá roční období, byly všechny měsíce srážkově extrémní na jaře 1988 (dva extrémně suché, jeden extrémně vlhký), v létě 1966 (všechny tři extrémně vlhké) a na podzim roku 1985 (dva extrémně suché, jeden extrémně vlhký).

Tab. 2 Přehled extrémně suchých a extrémně vlhkých měsíců zjištěných v průměrné srážkové řadě ČR v období 1961–2000.

Table 2. The list of extremely dry and extremely wet months determined in the mean precipitation series of the Czech Republic in the period 1961–2000.

Extrémně suché měsíce

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1964	1976	1972	1963	1979	1962	1963	1962	1964	1965	1978	1963
1970	1982	1973	1974	1980	1976	1971	1973	1969	1985	1982	1972
1971	1991	1974	1976	1988	1994	1983	1992	1982	1995	1986	
1989	1998	1976	1988	1992	2000	1990	1999	1985			
1990		1984	1993	1998				1997			
1991		1990	2000								
1996											
1997											

Extrémně vlhké měsíce

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1976	1970	1979	1965	1962	1966	1966	1964	1967	1964	1977	1966
1983	1977	1981	1972	1965	1979	1980	1966	1979	1974	1979	1974
	1999	1988	1980	1986		1981	1977	1984	1981	1985	1993
		1992				1997	1985	1995	1998	1990	
		1994				2000		1998		1991	
		2000									

5. DLOUHODOBÉ ZMĚNY SRÁŽKOVĚ EXTRÉMNÍCH MĚSÍCŮ V ČR

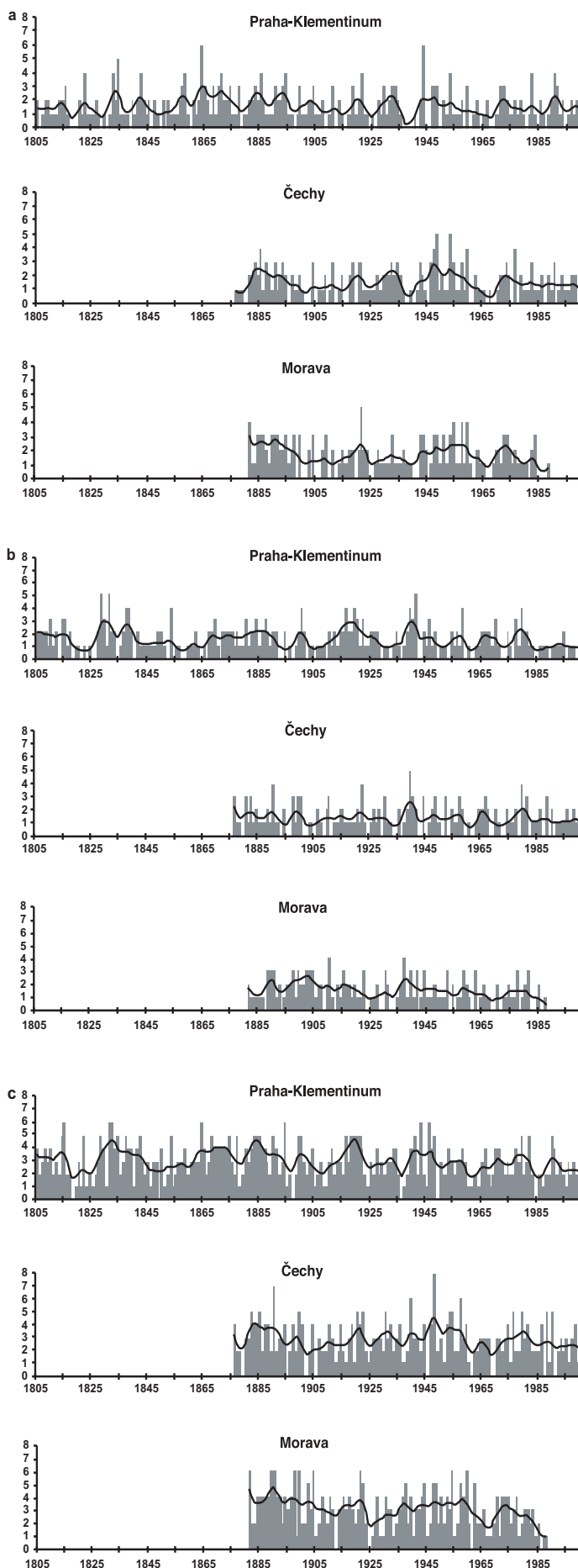
Dlouhodobé změny v četnostech srážkově extrémních měsíců lze studovat s použitím sekulární stanice Praha-Klementinum (období 1805–2000) a řad prostorových úhrnů srážek pro Čechy (období 1876–2000) a Moravu (období 1881–1988). Ačkoliv na nutnost korekce měřených srážek v pražském Klementinu upozornil již Křivský [23], nebyla tato řada dosud homogenizována s ohledem na problémy s nalezením dostatečně dlouhé a vhodné homogenní referenční řady. U srážkové řady Čech, prvně prezentované Jílkem [21], zase může být problémem měnící se způsob výpočtu prostorových průměrů. Jednotná metoda výpočtu byla použita pro srážkovou řadu Moravy a Slezska [5], její údaje však končí rokem 1988. Tyto skutečnosti nabádají proto k jisté opatrnosti při interpretaci výsledků z analýzy těchto tří řad.

Kolísání srážkově extrémních měsíců (obr. 7) neukazuje na výrazné kontrasty v jejich výskytu, tj. z jejich chodu nejsou patrná období, kdy by výrazně převládala četnost jednoho typu extrémů nad druhým, což je typické např. pro teplotu vzduchu (viz [8]). V případě suchých extrémů je jejich vyšší výskyt pozorován v 80.–90. letech 19. století a ve 40.–50. letech 20. století (Čechy, Morava), v Praze-Klementinu pak zejména od konce 50. do 70. let 19. století. Na Moravě vykázaly extrémně suché měsíce navíc zřetelný poklesový trend. Ten je patrný i u extrémně vlhkých měsíců, a to i pro Prahu-Klementinum a Čechy. Výraznější vzestup extrémně vlhkých měsíců vykázaly všechny tři řady ve 2. polovině 30. let minulého století, dále Morava začátkem 20. století a pražská řada také přibližně mezi léty 1825–1840 a 1915–1930. Pro všechny tři srážkové řady je rovněž typický celkový pokles četností výskytu srážkově extrémních měsíců.

Představu o struktuře srážkových extrémů v ročním chodu ve společném období 1881–1988 podává pro všechny tři řady tab. 3. Nejvyšší počet extrémně suchých měsíců se zřetelem na referenční období 1961–1990 vykázaly listopad, březen a únor, na Moravě místo posledních dvou měsíců květen a červen. Znamená to tedy, že v referenčním období byly tyto měsíce vlhčí než ve společném období 1881–1988, tedy i hodnota desátého percentilu gama rozdělení byla vyšší. V případě extrémně vlhkých měsíců případně nejvyšší četnosti na říjen a březen. Tedy v referenčním období 1961–1990 byly oba měsíce sušší než ve společném období všech tří řad, takže hodnota devadesátého percentilu gama rozdělení byla nižší. Prakticky stejný je počet výskytů souhlasných extrémů mezi srážkovými řadami Prahy a Čech na jedné straně a Čech a Moravy na straně druhé. Výrazně menší počty případů shody u extrémně vlhkých než u extrémně suchých

Obr. 7 Kolísání ročního počtu extrémně suchých (a), extrémně vlhkých (b) a všech srážkově extrémních měsíců (c) na stanici Praha-Klementinum (1805–2000), v Čechách (1876–2000) a na Moravě (1881–1988). Shlazeno Gaussovým filtrem pro 10 let.

Fig. 7. The fluctuation of the annual number of extremely dry (a), extremely wet (b) and all precipitation extreme months (c) at the station Prague-Klementinum (1805–2000), in Bohemia (1876–2000) and in Moravia (1881–1988). Smoothed by the Gaussian filter for 10 years.



Tab. 3 Roční chod četností srážkově extrémních měsíců pro Prahu-Klementinum (PK), Čechy (Č) a Moravu (M) v období 1881–1988 a počet případů souhlasného výskytu těchto extrémů.

Table 3. The annual variation of frequencies of the number of precipitation extremely months for Prague-Klementinum (PK), Bohemia (Č) and Moravia (M) in the period 1881–1988 and the number of the concordant occurrence of the same extremes.

Extrémně suché měsíce

Řada	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Četnost výskytu													
PK	7	24	23	10	13	9	3	17	12	8	28	8	162
Č	8	19	26	11	13	13	7	12	10	10	29	9	167
M	9	14	17	9	24	22	10	10	3	11	25	12	166
Četnost souhlasného výskytu													
PK-Č	4	14	18	5	10	8	2	10	8	7	19	4	109
PK-M	4	11	11	4	10	7	2	4	3	7	15	4	82
Č-M	7	12	16	5	11	11	7	6	2	8	17	6	108

Extrémně vlhké měsíce

Řada	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Četnost výskytu													
PK	6	10	20	14	8	13	10	11	11	20	14	17	154
Č	8	8	18	13	8	13	15	10	16	16	16	4	145
M	8	8	20	16	11	9	14	13	15	21	14	6	155
Četnost souhlasného výskytu													
PK-Č	3	5	8	8	3	6	6	6	8	15	8	2	78
PK-M	3	4	8	8	2	2	2	4	5	14	5	2	59
Č-M	4	4	9	8	3	4	7	5	9	14	8	2	77

měsíců ukazuje na prostorově menší dosah srážkově významných situací v porovnání se synoptickými podmínkami podmiňujícími suché počasí. Zvláště překvapující je vysoký počet extrémně vlhkých prosinců na stanici Praha-Klementinum v porovnání s oběma zbylými řadami.

6. ZÁVĚR

Analýza srážkově extrémních měsíců v období přístrojových měření a studium jejich časové a prostorové variability v ČR je důležitým příspěvkem ke studiu chování extrémů v období současného globálního oteplování v regionálním měřítku. Toto zpracování navazuje na analogickou práci zaměřenou na teplotně extrémní měsíce v ČR (viz [8]). Souhlas srážkových extrémů s odpovídajícími měsíčními teplotními extrémy je však poměrně malý (tab. 4). Tak extrémně vlhké měsíce byly jen v 6 případech zároveň i extrémně chladné a v 5 případech i extrémně teplé. Nejčastější je pak kombinace extrémně teplých a extrémně suchých měsíců (11 případů), nejméně časté je spojení extrémně chladných a extrémně suchých měsíců (3 případy). Celkově lze konstatovat, že od 70. let minulého století je v ČR patrný nárůst extrémně suchých a extrémně teplých měsíců.

Tab. 4 Přehled současně teplotně a srážkově extrémních měsíců v průměrné teplotě a srážkové řadě ČR v období 1961–2000: EV – extrémně vlhké, ES – extrémně suché, ET – extrémně teplé, EC – extrémně chladné

Table 4. The list of the concordant occurrence of temperature and precipitation extremely months in the mean temperature and precipitation series of the Czech Republic in the period 1961–2000: EV – extremely wet, ES – extremely dry, ET – extremely warm, EC – extremely cold

Kombinace	Měsíc/rok
EV-EC	IV/1980, V/1962, V/1965, VII/1980, X/1974, XI/1985
EV-ET	I/1983, III/1981, V/1986, VI/1979, XII/1974
ES-EC	V/1980, VI/1962, XII/1963
ES-ET	II/1998, III/1974, III/1990, IV/1993, IV/2000, V/1988, VI/2000, VII/1983, VIII/1992, IX/1982, X/1995

Provedená analýza je základním předpokladem pro sestavení syntetické řady srážkově extrémních měsíců v ČR jdoucí do poloviny minulého tisíciletí, v níž by měly být propojeny řady extrémů z období přístrojových měření s měsíčními extrémy kompilovanými na základě analýzy historických zpráv o počasí, jak bylo ukázáno např. pro Švýcarsko Pfisterem [26] nebo pro Německo Glaserem [15]. To by mělo být předmětem dalších výzkumů, přičemž analýza srážkových extrémů v období 1961–2000 bude představovat důležitý základní srovnávací etalon pro zhodnocení údajů z období před začátkem přístrojových měření.

Poděkování

Tato studie byla vypracována díky finanční podpoře Grantové agentury ČR pro řešení grantu č. 205/01/1067. Za cenné připomínky k tomuto příspěvku patří také poděkování recenzentovi RNDr. Luboši Němcovi.

Literatura

- [1] ALEXANDERSSON, A., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, roč. 6, č. 6, s. 661–675.
- [2] BRÁZDIL, R., 1984. Maximum monthly sums of precipitation in Moravia. *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun.*, roč. 14, č. 6 (Geographia), s. 263–288.
- [3] BRÁZDIL, R., 1992. Fluctuation of atmospheric precipitation in Europe. *GeoJournal*, roč. 27, č. 3, s. 275–291.
- [4] BRÁZDIL, R., 1998. Meteorological extremes and their impacts on forests in the Czech Republic. In: Beniston, M. – Innes, J. L., eds.: *The Impacts of Climate Variability on Forests. Lecture Notes in Earth Sciences 74*. Berlin, Springer, s. 19–47.
- [5] BRÁZDIL, R. – KOLÁŘ, M. – ŽALOUŠÍK, J., 1985. Prostorové úhrny srážek na Moravě v období 1881–1980. *Meteorologické Zprávy*, roč. 38, č. 3, s. 87–93.
- [6] BRÁZDIL, R. – LITSCHMAN, T., 1984. Comparing dif-

- ferent methods for completing the missing data on precipitation. *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun.*, roč. **14**, č. 6 (Geographia), s. 289–299.
- [7] BRÁZDIL, R. – OLBERG, M., 1990. Spektrální a koherenční analýza prostorových ročních úhrnů srážek v ČSSR. *Meteorologické Zprávy*, roč. **43**, č. 1, s. 24–28.
- [8] BRÁZDIL, R. – PÍSEK, J. – LUTERBACHER, J. – TOLASZ, R. – KVĚTOŇ, V., 2001. Fluctuations of extremely cold and warm months in the Czech Republic during the period of instrumental records and their relation to the atmospheric circulation. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, č. 27, CD-ROM.
- [9] BRÁZDIL, R. – ŠTEKL, J., 1986. Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Brno: Univerzita J. E. Purkyně. 298 s.
- [10] BRÁZDIL, R. – ŠTEKL, J. a kol., 1999. Klimatické poměry Milešovky. Praha: Academia. 433 s.
- [11] BRÁZDIL, R. – ŠTĚPÁNEK, P., 1998. Kolísání teploty vzduchu v Brně v období 1891–1995. *Geografie – Sborník České Geografické Společnosti*, roč. **103**, č. 1, s. 13–30.
- [12] BRÁZDIL, R. – ŠTĚPÁNEK, P., 2000. Hodnocení extremity řad měsíčních úhrnů srážek. Výzkumná zpráva projektu VaV/740/1/00: Výzkum dopadu klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku. Brno. 20 s.
- [13] BRÁZDIL, R. – ZOLOTOKRYLIN, A. N., 1995. The QBO signal in monthly precipitation fields over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, roč. **51**, č. 1–2, s. 3–12.
- [14] ČERMÁK, V., 1993. Diskrétní a spojitá rozdělení – vzorce, grafy, tabulky. Praha, Vysoká škola ekonomická. 188 s.
- [15] GLASER, R., 2001. Klimageschichte Mitteleuropa. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Darmstadt: Primus Verlag. 227 s.
- [16] HANSLIAN, D. – BRÁZDIL, R. – ŠTEKL, J. – KAKOS, V., 2000. Vliv cyklon středomořského původu na vysoké denní úhrny srážek na Milešovce a Lysé hoře v období 1961–1995. *Meteorologické Zprávy*, roč. **53**, č. 2, s. 33–41.
- [17] HÁTLE, J. – LIKEŠ, J., 1974. Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky. Praha: SNTL/Alfa. 464 s.
- [18] HOSTÝNEK, J., 1997. Analýza statistických metod pro určení charakteristik měsíčních úhrnů srážek. *Meteorologické Zprávy*, roč. **50**, č. 1, s. 13–16.
- [19] HOSTÝNEK, J. – LEPKA, Z. – SOSNA, V., 1999. Zpracování N-letých ročních a měsíčních maxim denních úhrnů srážek v západních Čechách. *Meteorologické Zprávy*, roč. **52**, č. 3, s. 73–77.
- [20] CHROMÁ, K., 2002. Extrémně suchá a vlhká období v České republice. [Diplomová práce.] Brno: Katedra geografie PFF MU. 82 s.
- [21] JÍLEK, J., 1957. Atmosférické srážky v Čechách (1876–1956). *Meteorologické Zprávy*, roč. **10**, č. 5, s. 133–134.
- [22] JOHANOVSKÝ, Z., 1985. Maximální N-leté denní úhrny srážek v Čechách. *Meteorologické Zprávy*, roč. **38**, č. 5, s. 154–156.
- [23] KŘIVSKÝ, L., 1957. Atmosphärische Niederschläge in Prag-Klementinum (1804–1956). *Studia Geophysica et Geodetica*, č. 1, s. 182–192.
- [24] KVĚTOŇ, V. – SRNĚNSKÝ, R. – VESELÝ, R., 1997. Rozložení srážek při povodních v červenci 1997. *Meteorologické Zprávy*, roč. **50**, č. 6, s. 172–177.
- [25] MIKA, J. – BARTZOKAS, A. – DOBROVOLNÝ, P. – BRÁZDIL, R. – NIEDZWIEDZ, T. et al., 1994. On spatial and temporal variations of drought in selected regions of central and south-eastern Europe. In: Brázdil, R. – Kolář, M., eds.: Contemporary Climatology. Proceedings of the Meeting of the Commission on Climatology of the International Geographical Union. Brno, s. 395–402.
- [26] PFISTER, C., 1999. Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Bern: Paul Haupt. 304 s.
- [27] ŠTEKL, J. – BRÁZDIL, R. – KAKOS, V. – JEŽ, J. – TOLASZ, R. – SOKOL, Z., 2002. Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879–2000 a jejich synoptické příčiny. Praha, ČHMÚ. 140 s. Národní klimatický program České republiky 31.
- [28] ŠTĚPÁNEK, P., 2001. AnClim – software pro homogenizaci klimatologických řad a jejich statistickou analýzu. Brno: Katedra geografie PFF MU.
- [29] TOLASZ, R., 1997. Pravděpodobnost opakování prostorových denních úhrnů srážek v červenci 1997 v povodí Odry. In: Stoleté výročí extrémních atmosférických srážek. Praha: ČHMÚ, s. 100–110.

Lektor RNDr. L. Němec, rukopis odevzdán v listopadu 2002.

CÍNOVEC A POVODNĚ V SRPNU 2002

Se zájmem jsem si přečetl příspěvek Munzar, J. – Ondráček, S.: Nový německý srážkový rekord z 12. srpna 2002 (*Meteorologické Zprávy*, 2003, č. 2, s. 63).

Rád bych konstatoval, že hodnota naměřená na německé stanici Cínovec se do článku nedostala omylem. Nepsal jsem Guinnessovu knihu rekordů, ale článek o rozložení srážek během povodní. V článku Květoň, V. et al.: Rozložení srážek při povodni v srpnu 2002 v České republice (*Meteorologické Zprávy*, 2002, č. 6, s. 180–187) si opravu zaslouží toto:

V tabulkách 2 až 4 je u stanice Cínovec chybně uveden okres, tj. Teplice (měl by tam být buď odpovídající okres německý, který neznám, nebo prázdné políčko), v názvu by

snad mohl být uvedeno místo Cínovce Zinwald nebo Cínovec-Zinwald. Zěmepisné souřadnice v tabulkách odpovídají hodnotám stanice Cínovec-Zinwald, tak jak byly poskytnuty Českému hydrometeorologickému ústavu německou stranou. V nadpisu tabulek by snad z hlediska přesnosti měly být upraveny názvy na: „... úhrn v ČR a okolí Cínovce“. Nechtě se na mne autoři článku nezlobí, ze svého hlediska mají jistě pravdu, nicméně mám-li např. provést odhad výskytu srážek v oblasti Cínovce pro jakékoli stavební či všeobecně klimatické účely, dopustil bych se kardinální chyby tím, že bych extrémní hodnotu naměřenou v těsné blízkosti českých hranic neuvažoval. Stejně tak při popisu rozložení srážek během povodni na českém území.

Vít Květoň

TRENDY KONCENTRACÍ PŘÍZEMNÍHO OZONU NA ČESKÝCH REGIONÁLNÍCH STANICÍCH PROGRAMŮ GAW A EMEP KOŠETICE A SVRATOUCH

Trends of surface ozone concentrations at the Czech regional stations on the GAW and EMEP programmes at Košetice and Svratouch. Surface ozone became one of the most serious environmental problems in Central Europe in the last decade. The task of this study is to evaluate the results of surface ozone measurements at the Czech GAW and EMEP stations (Košetice and Svratouch), which represent the regional scale of the Czech Republic, in the period 1992–2001. The results show, that the annual mean surface ozone concentration in rural areas of the Czech Republic stabilised in the nineties at a relatively high level of around $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, and has not increased further. Throughout the period under consideration, the mean surface ozone concentration at Czech regional stations was considerably higher than at the suburban station at Libuš in Prague. The number of episodes in which the ambient pollution limit was exceeded dropped rapidly in the second half of the nineties. Situations in which the surface ozone concentrations increase above the ambient pollution limit usually occur in longer periods with typical summer weather (extreme temperature, cloudless days, high intensity of solar radiation). During such episodes, extensive regions on a scale which goes beyond the borders of the Czech Republic are progressively affected. The evaluation of the influence of surface ozone on forest ecosystems and agricultural crops using the internationally used AOT40 index implies that, not only in rural areas, but practically throughout the Czech Republic, critical levels at which forest ecosystems and agricultural crops are damaged, are exceeded in the long term. Comparison of AOT40 indexes at stations of the EMEP programme documents the fact that rural areas of the Czech Republic are among the most stressed areas of the European continent from the point of view of the negative influences of tropospheric ozone on agricultural crops and forest ecosystems.

KLÍČOVÁ SLOVA: ozon přízemní – trendy přízemního ozonu – EMEP, GAW

1. ÚVOD

Měření koncentrací přízemního ozonu je vzhledem k jeho klíčové roli v chemických i fyzikálních procesech v troposféře jednou z povinných součástí mezinárodních programů monitoringu kvality ovzduší na regionální úrovni. Český hydrometeorologický ústav zabezpečuje účast České republiky v programech GAW (Global Atmosphere Watch – Globální sledování atmosféry), který je řízen Světovou meteorologickou organizací a EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe – Kooperativní program monitorování a hodnocení dálkového přenosu znečištění ovzduší v Evropě, přecházejícího hranice států), řízeném Evropskou hospodářskou komisí. Monitoring je realizován na regionálních stanicích Košetice (GAW a EMEP) a Svratouch (EMEP). Měření přízemního ozonu bylo na uvedených stanicích zahájeno v roce 1989 (jednalo se tehdy spolu s příměstskou stanicí Praha-Libuš o první pravidelná měření přízemního ozonu v České republice, jejíž výsledky jsou pro srovnání v předkládané studii rovněž uváděny). V období 1989–1992 se měřilo automatickým analyzátozem Dasibi (hodinové průměry), po zařazení těchto stanic do sítě AIM (Automatizovaný imisní monitoring) ČHMÚ v roce 1992 jsou měření realizována analyzátozem Thermoelectron (půlhodinové průměry). Měření analyzátozem Dasibi bylo ovlivněno celou řadou výpadků, a tak z důvodu kompletnosti a kvality dat byly pro základní hodnocení trendů použity výsledky z období 1992–2001. K detailnějšímu zpracování byla použita pouze data ze sítě AIM (1993–2001). Pro srovnání jsou rovněž uváděny výsledky ze stanice Praha-Libuš.

České regionální stanice jsou charakterizovány následujícími geografickými souřadnicemi:

Košetice $49^{\circ}35' \text{ s. š.}, 15^{\circ}05' \text{ v. d.}, 534 \text{ m n. m.}$ Podrobná

fyzicko-geografická charakteristika observatoře Košetice byla publikována v [23].

Svratouch $49^{\circ}73' \text{ s. š.}, 16^{\circ}03' \text{ v. d.}, 737 \text{ m n. m.}$

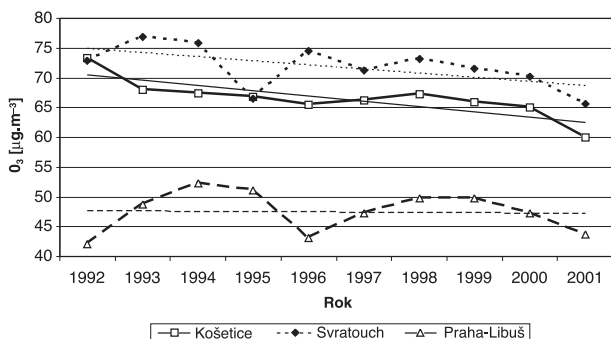
2. TRENDY PRŮMĚRNÝCH KONCENTRACÍ PŘÍZEMNÍHO OZONU NA REGIONÁLNÍCH STANICÍCH

Průměrné koncentrace přízemního ozonu ve sledovaném období 1992–2001 na observatoři Košetice ($67 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a na stanici Svratouch ($72 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) patří spolu s podobně položenými středoevropskými stanicemi mezi nejvyšší v rámci sítě EMEP, vyšší hodnoty jsou registrovány jen na horských stanicích. V teplém období (duben–září) jsou průměrné koncentrace na Svratouchu ($89 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) mírně vyšší než v Košetcích ($81 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Při porovnání výsledků se stanicemi EMEP v sousedních státech zjišťujeme, že rakouská stanice St. Koloman (850 m n. m.) udává podobné roční průměry jako české regionální stanice ($72\text{--}76 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), zatímco na níže položené stanici Illmitz (117 m n. m.) se roční průměry pohybují kolem $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Rovněž německá stanice Schmücke, lokalizovaná nedaleko hranice s ČR, udává roční průměry kolem $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ [4–10]. Odpovídající hodnoty z polských a slovenských stanic jsou přibližně o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nižší než na českých regionálních stanicích.

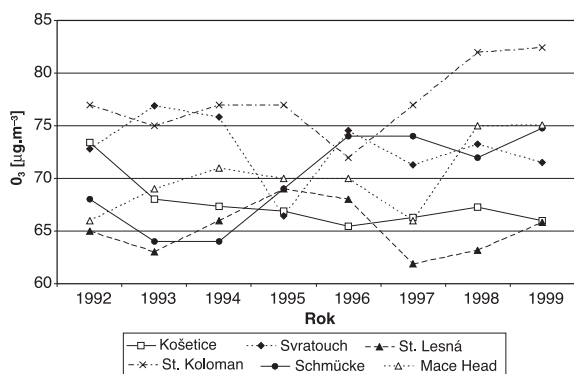
Z českých městských stanic sítě AIM má srovnatelnou řadu měření stanice Praha-Libuš, lokalizovaná v příměstské oblasti hlavního města. Ze srovnání výsledků vyplývá, že roční průměry na českých regionálních stanicích jsou vždy přibližně o $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ vyšší než na této příměstské stanici (průměrná koncentrace na stanici Libuš za období 1992–2001 je $48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Průměrné roční koncentrace přízemního ozonu na českých regionálních stanicích se v devadesátých letech stabilizovaly



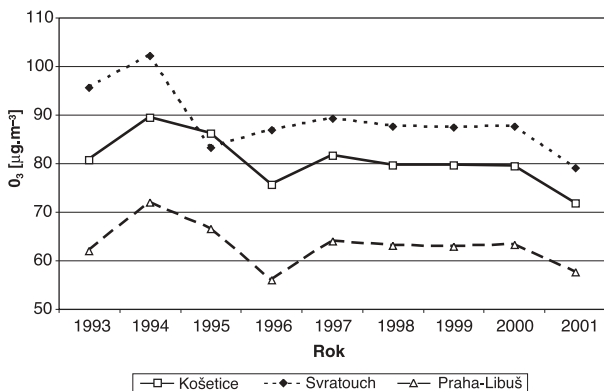
Obr. 1 Průměrné roční koncentrace přizemního ozonu na stanicích Košetice, Svratouch a Praha-Libuš v letech 1992–2001.

Fig. 1. Surface ozone average annual concentrations at the stations Košetice, Svratouch and Praha-Libuš in 1992–2001.



Obr. 2 Průměrné roční koncentrace přizemního ozonu na vybraných stanicích EMEP v letech 1992–2001.

Fig. 2. Surface ozone average annual concentrations at selected EMEP stations in 1992–2001.

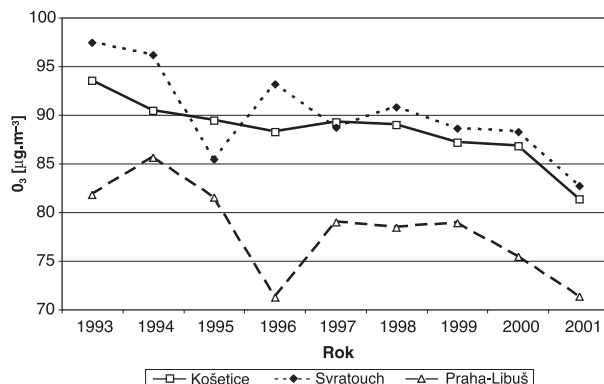


Obr. 3 Průměrné koncentrace přizemního ozonu v teplém období (duben – září) na stanicích Košetice, Svratouch a Praha-Libuš v letech 1993–2001.

Fig. 3. Surface ozone average concentrations in the warm period (April – September) at the stations Košetice, Svratouch and Praha-Libuš in 1993–2001.

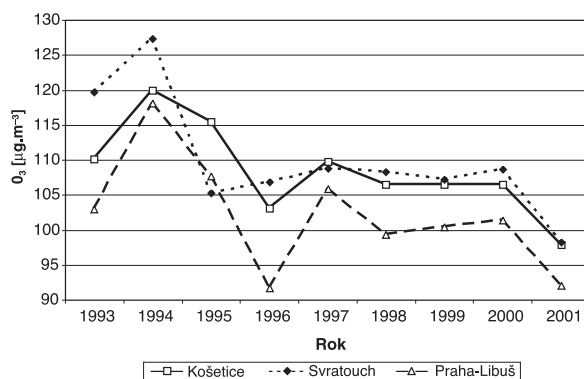
na poměrně vysokých hodnotách kolem $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Od roku 1996 pak registrujeme mírný pokles průměrných ročních koncentrací (obr. 1), ale především výrazné snížení počtu epizod, při nichž dochází k překračování imisního limitu. Porovnání průměrných ročních koncentrací s vybranými stanicemi EMEP v období 1992–1999 je prezentováno na obr. 2.

Průměrné koncentrace v teplém období byly vyšší v první polovině devadesátých let, kdy bylo registrováno více dnů



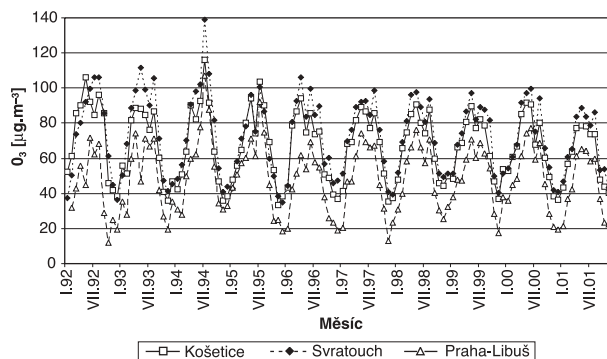
Obr. 4 Průměrná denní maxima přizemního ozonu na stanicích Košetice, Svratouch a Praha-Libuš v letech 1993–2001.

Fig. 4. Average daily maxima of the surface ozone at the stations Košetice, Svratouch and Praha-Libuš in 1993–2001.



Obr. 5 Průměrná denní maxima přizemního ozonu v teplém období (duben–září) na stanicích Košetice, Svratouch a Praha-Libuš v letech 1993–2001.

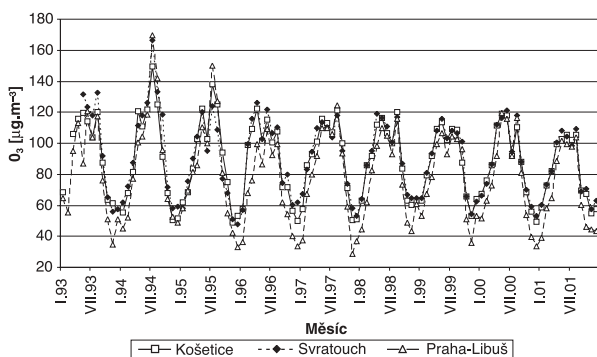
Fig. 5. Average daily maxima of the surface ozone in the warm period (April – September) at the stations Košetice, Svratouch and Praha-Libuš in 1993–2001.



Obr. 6 Průměrné měsíční koncentrace přizemního ozonu na stanicích Košetice, Svratouch a Praha-Libuš v letech 1992–2001.

Fig. 6. Surface ozone average monthly concentrations at the stations Košetice, Svratouch and Praha-Libuš in 1992–2001.

s příznivými klimatickými podmínkami pro tvorbu přizemního ozonu. Zejména léta 1992 a 1994 patřila k nejteplejším v celé historii meteorologických měření. Ve druhé polovině 90. let nebyl patrný žádný trend, pokles byl zaznamenán v roce 2001. Za pozornost stojí téměř totožný chod průměrných ročních koncentrací v teplém období na stanicích Košetice a Libuš, když na příměstské stanici byly hodnoty vždy o přibližně $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nižší (obr. 3).



Obr. 7 Průměrná denní maxima přízemního ozonu na stanicích Košetice, Svatouch a Praha-Libuš v jednotlivých měsících let 1993–2001.

Fig. 7. Average daily maxima of the surface ozone at the stations Košetice, Svatouch and Praha-Libuš in individual months of 1993–2001.

U ročních průměrů denních maxim je patrný výraznější sestupný trend v celém sledovaném období, a to jak u celoročních průměrů, tak u hodnot za teplé období (obr. 4–5).

Na základě výsledků dlouhodobého monitoringu v rámci globální sítě GAW [3] lze konstatovat, že na globálních stanicích severní polokoule (Barrow-Aljaška, White Face Mountain-USA, německé horské stanice Hohenpeissenberg, Zugspitze a Wang) mají koncentrace přízemního ozonu v posledních ca 25 letech vzestupný trend (meziroční nárůst od 0,6 do 2 %). Stanice Mauna Loa (Havaj) uvádí rovněž nárůst, ale nižší než severněji položené stanice. Na stanicích jižní polokoule se hodnoty koncentrací přízemního ozonu v posledních dvaceti letech udržovaly na velmi nízké úrovni a stanice NOAA na jižním pólu dokonce vykazuje zřetelně klesající trend (-0,5 % ročně).

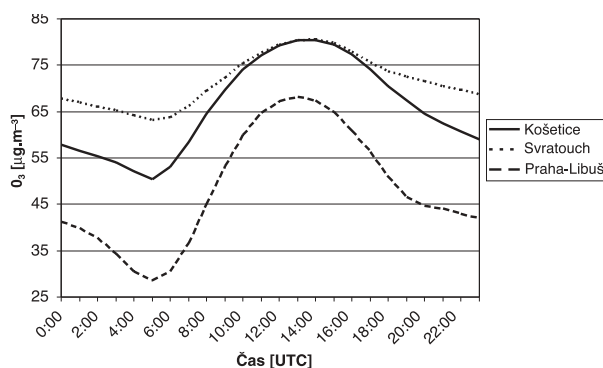
Koncentrace přízemního ozonu na českých regionálních stanicích mají výrazný roční chod s maximy koncem jara (obr. 6–7). V červnu a někdy i v červenci dochází k poklesu, způsobenému nástupem tzv. kontinentálního monzunu, který přináší zvýšenou oblačnost a úbytek slunečního záření. Pak zpravidla registrujeme (zejména ve velmi teplých letech) druhé maximum v červenci a v srpnu. Ve velmi chladném roce 1996 jsme zaznamenali maximální koncentrace již v dubnu. Roční chod koncentrací přízemního ozonu je srovnatelný s většinou podobně lokalizovaných středoevropských stanic EMEP, na britských a skandinávských stanicích je roční chod daleko méně výrazný [4–10]. Na horských stanicích jsou pochopitelně koncentrace vyšší po celý rok.

Na globálních stanicích GAW na severní polokouli jsou patrné výraznější rozdíly [3]. Na stanici Barrow (Aljaška) jsou registrována výraznější jarní minima, která zatím nebyla uspokojivě vysvětlena. Stanice Mace Head (Irsko) a Reykjavik (Island) ročním chodem odpovídají výsledkům z britských stanic EMEP (nevýrazný roční chod s maximy v jarních měsících). Nejvýraznější roční chod je patrný na stanici na Bermudech, kde jsou maximální koncentrace (přes $140 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) registrovány na jaře, kdy zde převládají vzduchové hmoty mírných šířek, které jsou na ozon bohatší, zatímco v létě, kdy zde převládá tropický vzduch, jsou koncentrace výrazně nižší. Stanice Izaña (Kanárské ostrovy) a Mauna Loa jsou lokalizovány v podobných geografických podmínkách (vysoká nadmořská výška, oceánské prostředí, subtropická oblast) a vykazují velmi podobný roční chod s maximy na jaře. Koncentrace v létě dosahují asi 60 % jarních maxim. Pro globální stanice jižní hemisféry s delší řadou měření (Americká Samoa, Kapské město, Cape Grim-Austrálie a Jižní pól) je

charakteristický roční chod s maximálními koncentracemi v zimě a minimy v létě (tedy opačný než na severní polokouli). Tento jev je způsoben obecně velmi nízkou úrovní koncentrací oxidů dusíku na regionální a globální úrovni na jižní polokouli a v cyklu troposférického ozonu se proto více uplatňuje fotodisociace ozonu v denních hodinách a v létě. Roční chody na globálních stanicích jižní polokoule jsou si navzájem velmi podobné.

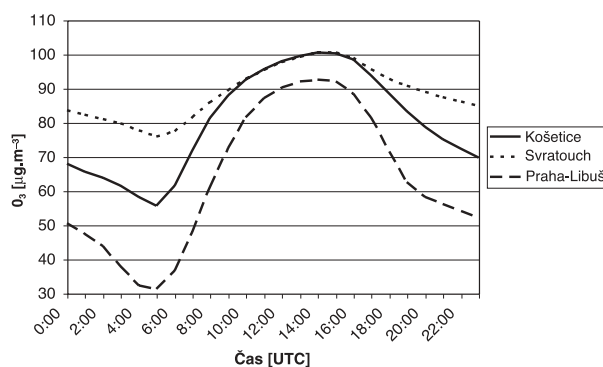
Z obr. 8–9 je zřejmý denní chod koncentrací přízemního ozonu na českých regionálních stanicích s minimem kolem páté hodiny ránní a maximy kolem 14. hodiny odpoledne (časy jsou uvedeny v UTC). V teplém období jsou maximální koncentrace posunuty do pozdějších odpoledních hodin. Výraznější denní chod na observatoři Košetice je jistě ovlivněn nižší nadmořskou výškou. Rozdíl je patrný zejména v noci, kdy hodnoty v Košetických klesají v průměru o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ níže než na Svatouchu, zatímco ve dne se koncentrace v průměru vyrovnávají. Denní chod na příměstské stanici Praha-Libuš je výraznější, koncentrace jsou po celý den přibližně o 15 až $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nižší než na observatoři Košetice. Zejména v odpoledních hodinách teplých letních dnů se rozdíly mezi regionálními stanicemi a příměstskou oblastí snižují.

Většina středoevropských stanic EMEP, lokalizovaných ve srovnatelné nadmořské výšce, má denní chod podobný českým stanicím. Britské a skandinávské stanice jsou charakterizovány méně výrazným denním chodem a ranní minima zde



Obr. 8 Denní chod koncentrací přízemního ozonu na stanicích Košetice, Svatouch a Praha-Libuš v letech 1993–2001.

Fig. 8. Daily variation of the surface ozone concentrations at the stations Košetice, Svatouch and Praha-Libuš in 1993–2001.



Obr. 9 Denní chod koncentrací přízemního ozonu na stanicích Košetice, Svatouch a Praha-Libuš v teplém období (duben–září) v letech 1993–2001.

Fig. 9. Daily variation of the surface ozone concentrations at the stations Košetice, Svatouch and Praha-Libuš in the warm period (April–September) in 1993–2001.

nejsou tak zřetelná. Horské stanice vykazují vyšší koncentrace po celý den, denní amplituda je nevýrazná. Na globálních stanicích sítě GAW, lokalizovaných v odlehlých oblastech s minimálním dosahem antropogenních vlivů, je denní chod velmi nevýrazný, přesto však lze konstatovat, že na stanicích v mírných šířkách severní hemisféry jsou maximální koncentrace registrovány přes den, zatímco v rovníkové oblasti a na jižní polokouli je denní chod opačný, tedy s maximy v noci.

3. KRITICKÉ ÚROVNĚ

Pro posouzení účinků přízemního ozonu na lidské zdraví a vegetaci byla mezinárodními i národními organizacemi postupně přijata celá řada imisních limitů či kritických hodnot. V této studii používáme srovnání vzhledem k českému imisnímu limitu platnému ve sledovaném období (klouzavý osmihodinový průměr vyšší než $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i k nově zavedenému limitu od roku 2002 (klouzavý osmihodinový průměr vyšší než $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a mezinárodním indexům AOT40.

Absolutně nejvyšší koncentrace přízemního ozonu byla na obou českých regionálních stanicích naměřena ve velmi teplém létě 1994. Na Svatouchu byla 29. 7. 1994 ve 12 hodin naměřena koncentrace $225 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v Košetících 6. 8. 1994

Tab. 1 Počet dnů s překročením limitu $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v jednotlivých měsících.
Table 1. Number of days with exceeding the limit of $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in individual months.

Košetice									
rok\měsíc	2	3	4	5	6	7	8	9	ROK
1993	0	0	0	1	0	2	1	0	4
1994	0	0	0	0	0	8	6	0	14
1995	0	0	0	4	0	4	1	0	9
1996	0	0	4	0	0	0	0	0	4
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	3	0	3
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	1	0	0	0	1
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
celkem	0	0	4	5	1	14	11	0	35

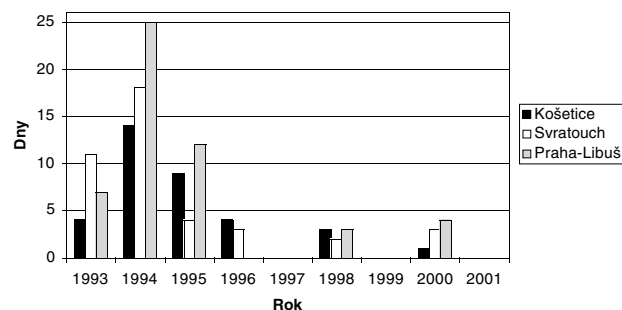
Svatouch									
rok\měsíc	2	3	4	5	6	7	8	9	ROK
1993	0	0	0	2	3	2	4	0	11
1994	0	0	0	0	0	11	7	0	18
1995	0	0	0	4	0	0	0	0	4
1996	0	0	3	0	0	0	0	0	3
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	2	0	2
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	2	0	1	0	3
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
celkem	0	0	3	6	5	13	14	0	41

Praha-Libuš									
rok\měsíc	2	3	4	5	6	7	8	9	ROK
1993	0	0	0	1	3	2	1	0	7
1994	0	0	0	0	1	15	9	0	25
1995	0	0	0	1	1	8	2	0	12
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	3	0	3
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	3	0	1	0	4
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
celkem	0	0	0	2	8	25	16	0	51

v 17 hodin večer $212 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (časy v UTC). Na evropských regionálních stanicích nejsou koncentrace nad $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ničím výjimečným a byly zaregistrovány na většině střeoevropských, západoevropských i britských stanic. Pouze na skandinávských stanicích se absolutní maxima pohybují kolem $170 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což souvisí s nižší intenzitou slunečního záření.

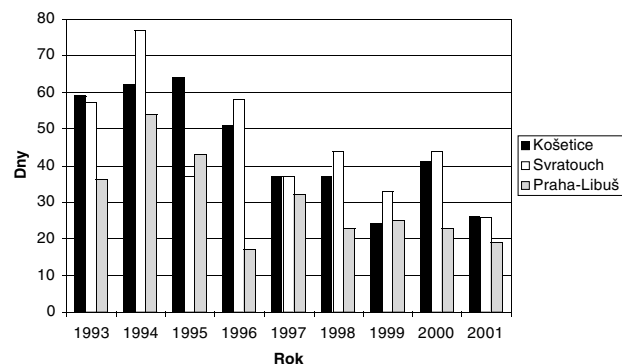
Imisní limit platný ve sledovaném období (klouzavý osmihodinový průměr vyšší než $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl překročen na observatoři Košetice ve 35 dnech, na stanici Svatouch ve 41 dnech a na stanici Praha-Libuš v 51 případech (viz tab. 1). Z tabulky je patrné, že naprostá většina těchto epizod byla registrována v období 1992–1995 (87 % všech případů shodně na obou českých regionálních stanicích). Ve druhé polovině devadesátých let pak docházelo k překročení imisního limitu jen zřídka a v letech 1997, 1999 a 2001 nebyl překročen vůbec. Výrazný sestupný trend počtu dní, v nichž byl překročen uvedený limit, je dokumentován na obr. 10.

V roce 2002 byl zaveden cílový imisní limit pro ochranu lidského zdraví (klouzavý osmihodinový průměr vyšší než $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) [11]. Tento limit nesmí být překročen ve více než 25 dnech za kalendářní rok v průměru za tři roky. Datum, do něhož musí být limit splněn, je 1. 1. 2010. Na observatoři Košetice byl limit $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ překročen ve sledovaném období ve 401 dnech a na Svatouchu ve 413 dnech (tab. 2.). Z tab. 3 vyplývá, že na obou regionálních stanicích byl cílový imisní limit překročen ve všech letech sledovaného období, zatímco na stanici Praha-Libuš se v období 1998–2001 tříletý průměr pohyboval kolem cílového imisního limitu. I u nového cílového imisního limitu je patrný sestupný trend počtu pře-



Obr. 10 Počet dnů s překročením limitu $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na stanicích Košetice, Svatouch a Praha-Libuš.

Fig. 10. Number of days with exceeding the limit of $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ at the stations Košetice, Svatouch and Praha-Libuš.



Obr. 11 Počet dnů s překročením limitu $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na stanicích Košetice, Svatouch a Praha-Libuš.

Fig. 11. Number of days with exceeding the limit of $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ at the stations Košetice, Svatouch and Praha-Libuš.

Tab. 2 Počet dnů s překročením limitu $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v jednotlivých měsících.
Table 2. Number of days with exceeding the limit of $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in individual months.

Košetice									
rok\měsíc	2	3	4	5	6	7	8	9	ROK
1993	0	9	13	11	10	5	11	0	59
1994	0	0	7	4	13	24	13	1	62
1995	0	3	5	12	2	22	19	1	64
1996	6	7	15	3	10	2	8	0	51
1997	0	0	3	10	6	4	11	3	37
1998	1	2	4	11	3	5	11	0	37
1999	0	1	4	5	2	6	5	1	24
2000	0	1	6	12	14	0	7	1	41
2001	0	0	5	2	5	4	10	0	26
celkem	7	23	62	70	65	72	95	7	401

Svratouch									
rok\měsíc	2	3	4	5	6	7	8	9	ROK
1993	0	0	0	17	12	9	19	0	57
1994	0	0	6	13	15	23	13	7	77
1995	0	1	1	9	2	17	7	0	37
1996	4	8	17	5	14	3	7	0	58
1997	0	0	4	10	6	2	13	2	37
1998	0	3	6	11	7	6	11	0	44
1999	0	1	4	7	3	5	6	7	33
2000	0	2	4	13	15	0	9	1	44
2001	0	0	2	4	6	4	10	0	26
celkem	4	15	44	89	80	69	95	17	413

Praha-Libuš									
rok\měsíc	2	3	4	5	6	7	8	9	ROK
1993	0	0	7	4	9	6	10	0	36
1994	0	0	5	2	8	21	17	1	54
1995	0	0	0	7	2	17	17	0	43
1996	0	0	6	1	7	0	3	0	17
1997	0	0	1	9	5	3	12	2	32
1998	0	0	0	9	3	1	10	0	23
1999	0	1	2	4	1	3	6	8	25
2000	0	0	1	8	5	1	7	1	23
2001	0	0	0	3	4	5	7	0	19
celkem	0	1	22	47	44	57	89	12	272

Tab. 3 Třiletý klouzavý průměr počtu dnů s překročením limitu $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.
Table 3. 3-year overlapping average of number of days with exceeding the limit of $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Rok	Košetice	Svratouch	Praha-Libuš
1995	62	57	44
1996	59	57	38
1997	51	44	31
1998	42	46	24
1999	33	38	27
2000	34	40	24
2001	30	34	22

kročení (obr. 11.) i když pokles není tak dramatický jako u limitu $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Základním předpokladem pro tvorbu troposférického ozonu ve venkovských oblastech jsou příznivé klimatické podmínky (déle trvající epizody s bezoblačnými dny, vysokou intenzitou slunečního záření a teplotou vzduchu). Především při těchto situacích může (ale implicitně nemusí, jak nás přesvědčily epizody tropických dnů v posledních letech) za přítomnosti oxidů dusíku a těkavých organických látek v ovz-

duší docházet k mimořádnému růstu koncentrací přízemního ozonu až za kritické úrovně.

Zdaleka nejvýraznější epizoda tohoto typu v celé historii měření přízemního ozonu v České republice byla zaznamenána v průběhu velmi teplého léta 1994. V období od 20. července do 10. srpna bylo na území České republiky extrémně teplé počasí s maximálními denními teplotami přes 30°C a délkou slunečního svitu více než 8 hodin. V průběhu této epizody došlo několikrát ke změně povětrnostní situace a směru proudění vzduchu. Přesto po celé období koncentrace přízemního ozonu na obou českých stanicích překračovaly imisní limit. Počet dnů, v nichž byl během této epizody překročen imisní limit, tvoří více než 25 % všech dnů s překročením limitu v celé historii měření na regionálních stanicích. Ve druhé polovině devadesátých let jsme již s podobně extrémní epizodou konfrontováni nebyli, naopak léta 1996 a 1997 byla poměrně chladná. V následujících letech se ale v letním období několikrát vyskytly klimatologické podmínky, příznivé pro tvorbu ozonu, ale k překročení v té době platného imisního limitu docházelo už jen sporadicky.

Z 50 případů, kdy byl původní imisní limit překročen alespoň na jedné stanici, byl ve 26 případech překročen na obou stanicích zároveň. Ve zbylých případech byl na stanici, kde limit překročen nebyl, maximální osmihodinový průměr vždy vyšší než $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (viz tab. 4). Z tabulky vyplývá, že extrémní koncentrace přízemního ozonu ve venkovském prostředí zpravidla zasahují širší regiony, mnohdy nadnárodního měřítka, a pod vlivem kritických koncentrací se ocitá pravděpodobně více obyvatel, než při smogových epizodách v urbanizovaných oblastech.

Z podrobnějšího hodnocení dnů, kdy byl na observatoři Košetice překročen původní imisní limit (klouzavý osmihodinový průměr nad $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) koncentrací přízemního ozonu, vyplývají tyto závěry:

- V 91,4 % těchto dnů byla délka slunečního svitu více než 8 hodin a ve 43 % dokonce více než 12 hodin.
- V 68 % případů byl průměrná denní teplota vyšší než 20°C .
- Ve 74 % případů byla maximální denní teplota vyšší než 25°C a ve 40 % dokonce vyšší než 30°C .
- Srážková činnost byla zaznamenána v 17 % případů.

Stejné hodnocení dnů, kdy osmihodinový klouzavý průměr byl vyšší než $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ukazuje že:

- V 83 % případů byla délka slunečního svitu nad 8 hodin a ve 40 % nad 12 hodin.
- Ve 34 % případů byla průměrná maximální teplota vzduchu vyšší než 20°C .
- Ve 49 % případů byla maximální denní teplota vyšší než 25°C a jen v 10 % vyšší než 30°C .
- Srážková činnost byla zaznamenána ve 33 % případů.

Obecně užívaným kritériem pro hodnocení dopadů koncentrací přízemního ozonu na vegetaci jsou AOT indexy, které jsou v současné době i součástí české legislativy. Hodnota cílového imisního limitu je $18\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$, zprůměrovaná za 5 let, dlouhodobý imisní cíl je pak $6\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$. Podrobný popis imisních limitů a konstrukce indexu AOT40 je uveden v [11].

Trend hodnot indexů AOT40 pro ochranu vegetace na obou českých stanicích EMEP je uveden na obr. 12. Vyplývají z něj tyto závěry:

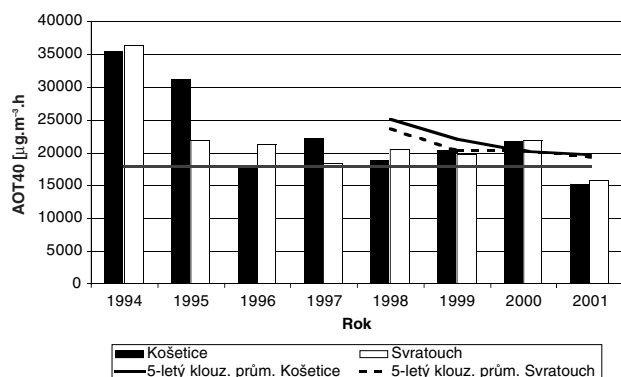
- Ve sledovaném období byly nejen ve venkovských oblastech, ale na naprosté většině území ČR překračovány kritické hodnoty indexu AOT40 pro vegetaci.

Tab. 4 Dny s překročením limitu $160 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Table 4. Days with exceeding the limit of $160 \mu\text{g.m}^{-3}$.

datum	Košetice	Svratouch	Praha-Libuš	datum	Košetice	Svratouch	Praha-Libuš
20.5.93	140	161		3.8.94	171	166	197
26.5.93	170	195	187	4.8.94	168	156	211
7.6.93	148	170	156	5.8.94	183	182	204
8.6.93	160	160	166	6.8.94	186	181	230
9.6.93	156	164	155	7.8.94	172	175	164
3.7.93	166	221	182	10.8.94	150	160	156
4.7.93	182	219	176	6.5.95	175	184	154
4.8.93	135	162	131	7.5.95	169	177	115
16.8.93	158	164	167	25.5.95	168	174	170
20.8.93	169	176	155	26.5.95	162	168	145
21.8.93	156	163	129	14.7.95	161	124	161
3.7.94	163	175	217	22.7.95	167	125	183
4.7.94	175	171	218	26.7.95	161	150	170
5.7.94	139	180		27.7.95	170	146	182
16.7.94	164	156	200	11.8.95	164	130	174
23.7.94	140	164	174	19.4.96	170	162	129
24.7.94	147	164	177	20.4.96	169	167	127
26.7.94	162	170		21.4.96	172	159	124
27.7.94	183	183	253	22.4.96	168	163	121
28.7.94	174	190	194	11.8.98	165	145	144
29.7.94	191	221	223	12.8.98	170	180	186
30.7.94	167	199	173	18.8.98	175	178	177
31.7.94	157	175		21.6.00	155	174	204
1.8.94	149	170	175	22.6.00	175	173	178
2.8.94	188	199	172	14.8.00	141	160	152

- V roce 1994 byl limit překročen na obou stanicích téměř dvojnásobně (hodnoty kolem $36\ 000 \mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}$).
- V roce 1995 došlo k poklesu, který byl mnohem výraznější na stanici Svratouch.
- Od roku 1996 se roční hodnoty indexu AOT40 stabilizovaly na úrovni kolem $20\ 000 \mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}$.
- V roce 2001 byly roční hodnoty (kolem $15\ 000 \mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}$) na obou stanicích poprvé v historii měření nižší než cílový imisní limit.
- Pětiletý klouzavý průměr hodnot indexu AOT40 byl na obou stanicích v období 1998–2001 vždy vyšší než cílový imisní limit.
- Porovnání indexů AOT40 na stanicích programu EMEP dokumentuje, že venkovské oblasti České republiky patří z pohledu negativních vlivů troposférického ozonu na vegetaci k nejzatíženějším oblastem evropského kontinentu [4–10].



Obr. 12 Index AOT40 na stanicích Košetice a Svratouch.

Fig. 12. AOT40 index at the stations Košetice and Svratouch.

4. ZÁVĚR

Průměrné roční koncentrace přízemního ozonu ve venkovských oblastech České republiky se v devadesátých letech stabilizovaly na poměrně vysoké úrovni kolem $70 \mu\text{g.m}^{-3}$, ale dále nerostly.

Průměrné koncentrace přízemního ozonu na českých regionálních stanicích byly po celé sledované období výrazně vyšší (v průměru o $20 \mu\text{g.m}^{-3}$) než na příměstské stanici Praha-Libuš.

Výrazná redukce emisí prekurzorů ozonu ve středoevropském regionu po roce 1990 se projevila jen na poklesu maximálních hodnot, což dokumentuje silně nelineární vztah mezi ozonem a jeho prekurzory a vliv procesů různého prostorového měřítka.

K situacím, při nichž dochází k dramatickému růstu koncentrací přízemního ozonu, které pak negativně působí na lidské zdraví, dochází zpravidla v déletrvajících obdobích s typicky letním počasím (extrémní teploty, bezoblačné dny, vysoká intenzita slunečního záření). Během těchto epizod jsou postupně zasaženy rozsáhlé regiony v měřítku přesahujícím hranice České republiky.

Naprostá většina epizod, při nichž byl na českých regionálních stanicích překročen v té době platný imisní limit, byla registrována v první polovině devadesátých let. Od roku 1996 dochází k těmto situacím jen velmi sporadicky.

Z hodnocení vlivu přízemního ozonu na vegetaci za použití mezinárodně uznávaného indexu AOT40 vyplývá, že nejen ve venkovských oblastech, ale prakticky na celém území České republiky jsou dlouhodobě překračovány kritické úrovně, při nichž dochází ke škodám na lesních ekosystémech i zemědělských plodinách. Porovnání indexů AOT40 na stanicích programu EMEP dokumentuje, že venkovské oblasti České republiky patří z pohledu negativních vlivů troposfé-

rického ozonu na vegetaci k nejzátíženějším oblastem evropského kontinentu.

Přízemní ozon zůstává na počátku nového tisíciletí jedním s nejzávažnějších environmentálních problémů středoevropského regionu, ale nenaplnily se některé prognózy z konce osmdesátých let, které předpokládaly další kontinuální růst koncentrací přízemního ozonu v průběhu devadesátých let.

Literatura

- [1] Exceedances of EC Ozone Threshold Values In Europe 1997. 1998. European Topic Centre On Air Quality.
- [2] NOVÁKOVÁ, M., 2000. Porovnání koncentrací přízemního ozonu v předměstské oblasti Prahy a ve venkovské oblasti. [Magisterská práce.] Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta UK.
- [3] OLTMANS J.S., LEVY, H., 1994. Surface Ozone Measurements from Global Network. *Atmospheric Environment*, Vol. 28, No.1, p. 9–24.
- [4] Ozone Data Report 1989. 1993 Lillestroem, NILU.
- [5] Ozone Measurements 1990–1992. 1995 Kjeller, NILU.
- [6] Ozone Measurements 1993–1994. 1996 Kjeller, NILU.
- [7] Ozone Measurements 1995. 1997 Kjeller, NILU.
- [8] Ozone Measurements 1996. 1998 Kjeller, NILU.
- [9] Ozone Measurements 1997. 1999 Kjeller, NILU.
- [10] Ozone Measurements 1998. 2000 Kjeller, NILU.
- [11] Nařízení vlády ČR 350/2002 Sb. ze dne 14. srpna 2002, kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší.
- [12] Správa o kvalitě ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečisťovanie v Slovenskej republike 1999. 2000. Bratislava, SHMÚ.
- [13] VÁŇA, M. a kol., 1995. Kvalita přírodního prostředí České republiky na regionální úrovni (výsledky observatoře Košetice a jejich zhodnocení). Praha, ČHMÚ.
- [14] VÁŇA, M., 1995. Measurements of Surface Ozone at Czech stations of EMEP Programme. In: EMEP Workshop on Quality Assurance of Measurements. Berlin 20–23. 11.1995, EMEP/CCC Report 3/96 p. 233–250.
- [15] VÁŇA, M. – PEKÁREK, J., 1996. Surface Ozone at the Czech Regional Station Košetice. In: Exceedance of Critical Levels. Wien, Umweltbundesamt.
- [16] VÁŇA, M., 1996. Surface Ozone Measurement at Czech EMEP Stations. *Meteorologické Zprávy*, roč. 49, č. 2, s. 33–38.
- [17] VÁŇA, M., 1996. Přízemní ozon na regionální úrovni České republiky. [Disertační doktorandská práce.] Praha: Univerzita Karlova. Fakulta přírodovědecká.
- [18] VÁŇA, M., et al., 1997: Quality of the natural environment in the Czech Republic at the regional level. Results of the Košetice Observatory. Praha: ČHMÚ.
- [19] VÁŇA, M., 1997. Monitoring přízemního ozonu na regionální úrovni České republiky. *Ochrana Ovzduší*, roč. 9, č. 5, s. 2–7.
- [20] VÁŇA, M., 1999. Surface ozone at the Regional Level in the Czech Republic. Second EMEP-GAW Workshop on Data Analysis and Interpretation. Dubrovnik, 4–8. 10. 1999.
- [21] VÁŇA, M. - SMRČKOVÁ, V., 2000. Surface ozone at the Czech GAW nad EMEP stations. *Meteorological Journal*, roč. 3, č. 3, s. 9–18.
- [22] VÁŇA, M., 2000. Ozone Trends at the Czech EMEP stations. EMEP Workshop on Analysis of Ozone Trends. Cologne, 9–11. 11. 2000.
- [23] VÁŇA, M. - HOLOUBEK, I. et al., 2001 : Quality of the Natural Environment in the Czech Republic at the Regional Level (Results of the Košetice Observatory.) Praha: ČHMÚ.
- [24] ZÁVODSKÁ, E. - ZÁVODSKÝ, D., 1990. Súčasný zmeny atmosférického ozónu a ich potenciálne ekologické následky. *Meteorologické Zprávy*, roč. 43, č. 5, s.146–153.
- [25] ZÁVODSKÁ, E. a kol., 1992. Prízemný ozón na území ČSFR. Příloha k projektu B 2.1.07 DP 5, Bratislava: SHMÚ, ČHMÚ, GÚ SAK.
- [26] ZÁVODSKÝ, D., 1992. Kvalita ovzdušia a zmeny klímy. Praha: ČHMÚ. Národní klimatický program ČSFR, sv. 6.
- [27] ZÁVODSKÝ, D. a kol., 1994. Dôsledky zmien teploty vzduchu a UV-B slnečného žiarenia na zmeny chemizmu hraničnej vrstvy atmosféry na Slovensku. Bratislava: SHMÚ. Národný klimatický program Slovenskej republiky 1/94.
- [28] Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v letech. 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002. Souhrnný roční tabelární přehled. Praha: ČHMÚ.

Lektor Doc. RNDr. D. Závodský, CSc., rukopis odevzdán v lednu 2003.

VÝZNAMNÁ CHURÁŇOVSKÁ JUBILEA

Koncem loňského roku jsme si připomněli padesát let nepřetržité činnosti meteorologické stanice na Churáňově. K tomuto výročí vydal Český hydrometeorologický ústav publikaci 50 let meteorologické stanice Churáňov. Větší část doby činnosti této stanice působil ve funkci jejího vedoucího dnes již osmdesátiletý Jiří Krejsa.

Narodil se 1. 5. 1923 v obci Kosmo, mezi Prachaticemi a Vimperkem, v sousedství Šumavských Hoštic, které se později staly jeho trvalým bydlištěm. Po absolvování měšťanské školy se vyučil strojním zámečnickem. Po druhé světové válce absolvoval v rámci základní vojenské služby meteorologický kurz a 5. 1. 1948 nastoupil do Státního meteorologického ústavu (SÚM) na pracoviště synoptické a letecké služby v Praze-Ruzyni.

V roce 1954 ukončil externí kurz leteckých meteorologů a o rok později složil zkoušky potřebné k obsluze vysílacích stanic. Po častých úvahách o možnosti přeložení na churáňovskou meteorologickou stanicí nakonec podlehl volání rod-

ného kraje a počátkem roku 1956 zde nastoupil jako pozorovatel s pověřením k vedení této stanice. Téhož roku v červenci jsem ho osobně poznal v rámci stáže na tomto pracovišti.

Jiří Krejsa pokračoval i nadále ve svém vzdělávání: v roce 1962 maturoval na středně vzdělávací škole pro pracující a o tři roky později ukončil postgraduální vzdělávání na podnikové technické škole Hydrometeorologického ústavu (HMÚ). V roce 1970 byla jeho činnost oceněna rezortním vyznamenáním.

Po patnácti letech v roce 1971 jsem se s ním díky svému zařazení u HMÚ Praha setkal znovu. Tentokrát se naše setkání změnilo v dobrou skoro desetiletou spolupráci. Na zasloužený odpočinek odešel 31. 5. 1983 po více než 35 letech věrné, pečlivé a poctivé služby pro československou meteorologii.

Chtěl bych mu při příležitosti jeho osmdesátin, při vzpomínce na krásného člověka se zažitými strastmi dojíždění a služby na horské stanici, za jeho celoživotní činnost ve prospěch meteorologie poděkovat a popřát hodně dobré pohody, spokojenosti a hlavně zdraví.

Antonín Chalupský

GEORG WILHELM RICHMANN (1711–1753) – TRAGICKÁ OBĚŤ VĚDECKÉHO EXPERIMENTU

Georg Wilhelm Richmann (1711 - 1753) – tragic victim of a scientific experiment. In an introductory part of the contribution the life story of G. W. Richmann, a significant Russian experimental physicist of the first part of the 18th century, is briefly outlined. This year 250 years will pass from his tragic death on 26 July (according to the present calendar on 6 August) 1753. In the second part of the contribution Richmann's research works in thermometry and calorimetry are mentioned. At first the researcher dealt with meteorological instruments and atmometers constructing, thermometers improving and temperature inversion explaining. For the development of calorimetry Richmann's first version of calorimetric equation, later known as Richmann equation (formula), was of a certain importance. The further development of calorimetry resulting in general formulation of calorimetric equation is described, too. The third part of the contribution is devoted to Richmann's main interest – the study of electric phenomena. The researcher constructed a big friction electricity machine, batteries of Leyden jars and in 1745 an electricity indicator, so-called „electric indicator“, one of the first electrometers. He experimentally examined electric conductivity of different matters and at the same time he found out a close similarity between their electric and thermal conductivities. In the years 1748-1751 he dealt with electrostatic induction. The knowledge obtained was published in 1751 in the paper „New experiments on electric phenomena“. It was the first Russian scientific work on electricity. After the first reports on experiments with atmospheric electricity abroad G. W. Richmann and M. V. Lomonosov started relevant experiments in Peterburg. In their homes they installed laboratories with so-called „storm (thunder, lightning) machines“ and informed one another about their observations results. In the paper circumstances of Richmann's tragic death during a sudden stroke of lightning, which a great many researchers considered to be a ball lightning, is described in detail. It is important for us that Prague newspaper Prager-Post-Zeitungen informed about the accident (wide commented abroad) very soon and even two times and for the second time in a fine detail. The contribution also mentions reaction of Prokop Diviš to the tragic accident which discouraged numerous experimenters from further experiments. However, in case of the Czech researcher it led to the construction of a grounded lightning protector in the parson's garden at Přímětice near Znojmo on 15 June 1754.

KLÍČOVÁ SLOVA: jevy elektrické – elektřina atmosférická – experimenty – bleskosvod – historie

ÚVOD

G. W. Richmann, velký ruský experimentální fyzik první poloviny 18. století, se nejprve proslavil pracemi v termice a později experimenty z nauky o elektřině, které prováděl jako první na ruské půdě. V historii fyziky se bohužel jeho jméno stalo všeobecně známé tragickou smrtí, které podlehl při pokusech s atmosférickou elektřinou.

Richmann, jehož předkové pocházeli z Německa, se narodil 11. července 1711 v estonském městě Pjarnu (tehdy Pernově). Jeho otec zemřel na morovou epidemii ještě před synovým narozením, matka se znovu provdala a celá rodina se v roce 1715 přestěhovala do Tartu (Estonsko), kde chlapec prožil své dětství. V letech 1725–1729 navštěvoval gymnázi-



Obr. 1 G. W. Richmann (1711–1753) [2].

Fig. 1. G. W. Richmann (1711-1753).

um v Tallinu (Estonsko) a v letech 1729–1732 studoval na německých univerzitách v Halle a v Jeně. V r. 1732 se vrátil do Petrohradu a stal se domácím učitelem dětí v rodině hraběte A. I. Ostermanna. V r. 1735 začal studovat na univerzitě při petrohradské Akademii věd, na níž se brzy stal asistentem Georga Wolfganga Kraffta (1701–1754), zakladatele první fyzikální laboratoře v Rusku. V r. 1740 se stal adjunktem a v 1741 byl jmenován mimořádným profesorem na této univerzitě, což bylo rovnocenné s členstvím v Akademii věd, v r. 1744 ředitelem fyzikální laboratoře a konečně v r. 1747 řádným profesorem akademické univerzity. Třeba poznamenat, že petrohradská Akademie věd, založená v r. 1724 carem Petrem I. Velikým (1672–1725), se stala velmi brzy významným střediskem evropské vědy. Sem byli zváni věhlasní přírodovědci z celé Evropy. V letech 1727–1741 a ještě po r. 1766 zde působil žák Johanna Bernoulliho (1667–1748), slavný švýcarský matematik, fyzik a astronom, jedna z nejvýznamnějších vědeckých osobností 18. století, Leonhard Euler (1707–1783), mezi lety 1741–1766 člen berlínské Akademie věd.

STUDIUM TEPELNÝCH JEVŮ

Richmann se stal v tehdejší Evropě nejprve známý svými pracemi z termometrie a kalorimetrie, tj. v disciplínách, u nichž právě v polovině 18. století dochází k systematickému zkoumání. Na tomto rozvoji měl spolu se svými spolupracovníky z petrohradské Akademie věd nemalý podíl. Zkonstruoval řadu meteorologických přístrojů a podílel se na zdokonalování teploměrů. Zkoumal vliv vlhkosti vzduchu na údaje teploměrů a objevil podstatu atmosférické teplotní inverze. Výparoměrem vlastní konstrukce, tzv. „atmomet-

rem“ měřil rychlost odpařování vody v závislosti na teplotě a velikosti povrchu, což bylo velmi důležité pro poznání cirkulace vody v atmosféře.

V kalorimetrii navázal na práce významného anglického matematika Brooka Taylora (1685–1731, s jeho jménem je spojen rozvoj spojitých funkcí do mocninných řad - 1715) z roku 1723 a na práce petrohradského akademika, dříve profesora matematiky a fyziky v Tübingenu, G. W. Kraffta z let 1744–1746. Richmann prokázal, že Krafftův empirický vzorec pro určení teploty směsi dvou různých množství a různých teplot téže kapaliny, např. vody, předložený v r. 1744 na zasedání petrohradské Akademie věd a zveřejněný v r. 1751, neodpovídá měření, poukázal na příčiny nesrovnalostí a na základě teoretických úvah, vycházejí z principu tepelné bilance, podal svůj vztah, který podle něho lépe odpovídá naměřeným údajům:

$$„teplo směsi“ = \frac{am + bn + co + dp + \dots}{a + b + c + d + \dots}$$

kde a, b, c, d, \dots jsou různé hmotnosti téže kapaliny, např. vody; m, n, o, p, \dots teploty příslušných hmotností. V uvedeném vztahu, proti Krafftovu zobecněnému na libovolný počet dílů kapaliny, známém všeobecně jako Richmannův vzorec (rovnice), zveřejněném v r. 1750, má být místo „teplo směsi“ správně uvedeno teplota směsi. V 18. století se tyto dva pojmy: teplo a teplota velmi často zaměňovaly, dlouho nebylo zřejmé, co měří teploměr, mnozí se domnívali, že měří „absolutní“ množství tepla. Teprve rozvoj kalorimetrických měření přispěl k rozlišení obou pojmů. Uvedený Richmannův vzorec může považovat za první verzi kalorimetrické rovnice.

Na Richmannovy úvahy a pokusy navázal v r. 1772 švédský fyzik Johann Wilcke (1732–1796) a zejména skotský fyzik a chemik Joseph Black (1728–1799), profesor na univerzitách v Glasgowě a v Edinburgu, jehož dvousvazkové Přednášky o základech chemie vydal posmrtně v r. 1803 jeho žák John Robinson, profesor chemie na univerzitě v Edinburgu. Black mezi prvními poukázal na rozdíl mezi pojmy teplo a teplota (1762). Ve svých lekcích z chemie zdůrazňoval, že „když hovoříme o rozdělení tepla, vždy musíme rozlišovat množství tepla a sílu tepla a tyto dvě veličiny nesměšovat“ [8]. Zavedl do nauky o teple nové pojmy: tepelná rovnováha, tepelná kapacita (1770), skupenské teplo tání, skupenské teplo vypařování, varu (1762, v těchto případech mluvil o „skrytém teple“). Předtím v letech 1754–1755 objevil konstantní teplotu tání ledu a vyvrátil do té doby platný názor, že na roztažení ledu je potřebné nepatrné množství tepla, což plynulo z nesprávného ztotožňování pojmů teplo a teplota. Blackova teorie skupenského tepla vysvětlila, proč vhodnými základními teploměrnými body jsou teplota směsi vody a ledu a teplota vroucí vody. Blackův současník Richard Kirwan (1733–1812) navrhl jednotku tepla. Za takovou považoval množství tepla potřebné k zahřátí jednotkové hmotnosti vody o jeden stupeň. Jean Hyacinthe de Magellan (1722–1790) jako první zavedl termín měrné teplo, uveřejnil tabulku měrných tepelných kapacit některých látek. Teprve až v r. 1852 francouzští chemici P. A. Favre (1813–1880) a J. T. Silbermann (1806–1865) definovali ve společném článku jednotku tepla s názvem kalorie (na počest tepelného fluida - kalorika) jako množství tepla potřebného na zahřátí jednoho gramu vody o jeden stupeň Celsia. Pro zajímavost poznamenejme, že ještě Rudolf Clausius (1822–1888) hovoří jen o jednotce tepla a nepoužívá termín kalorie. Avšak uvedenou jednotku tepla již předjímal v r. 1783 ve svých Memoárech o teple Antoine

Laurent Lavoisier (1743–1794) a Pierre Simon Laplace (1749–1827), kteří pomocí ledového kalorimetru (1777) určili měrné tepelné kapacity mnohých pevných těles a kapalín (1783) a zjistili jejich závislost na teplotě. Ve zmíněné stati shrnuli dosažené výsledky nauky o teple a zavedené pojmy, jako teplota, teplo, tepelná kapacita aj. již považují za pevně určené.

V r. 1784 předložil finský fyzik Johann Gadolin (1760–1852), vycházejí z měrných tepelných kapacit těles zjištěných J. Wilckem v r. 1781, následující vztah, známý jako kalorimetrická rovnice, který byl později často experimentálně prověřován v mnoha fyzikálních laboratořích:

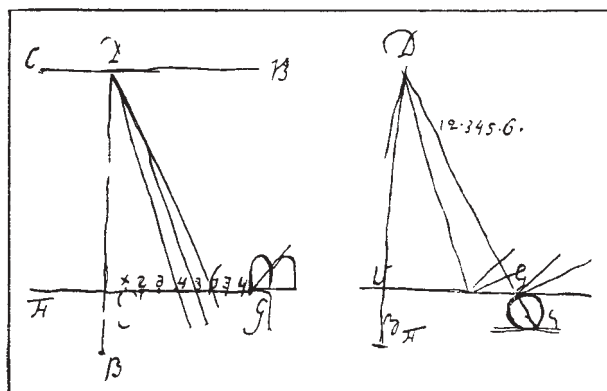
$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{m_2(t - t_2)}{m_1(t_1 - t)}$$

kde c_1, c_2 jsou měrné tepelné kapacity dvou látek o hmotnostech m_1, m_2 a teplotách t_1, t_2 ; t je výsledná teplota směsi. Třeba poznamenat, že když se předtím J. Wilcke pokusil rozšířit Richmannův vzorec na směs dvou látek, různých podle složení, jako např. sníh a vodu, obdržel nesprávné výsledky.

Závěrem této kapitoly ještě dodejme, že Richmann byl zpočátku zastáncem hypotézy o tepelném fluidu – kaloriku, jako řada jiných badatelů v té době (Ch. Wolff, J. Black, A. L. Lavoisier, P. S. Laplace aj.). Avšak postupně akceptoval molekulárně kinetickou teorii tepla, jejímž přesvědčeným zastáncem byl od r. 1750 jeho blízký přítel Michail Vasiljevič Lomonosov (1711–1765) a která v souvislosti s objevem zákona zachování energie v polovině 19. století definitivně vystřídala fluidovou teorii, jejíž koncepce v předešlém období přispěla k popisu mnoha kalorimetrických skutečností.

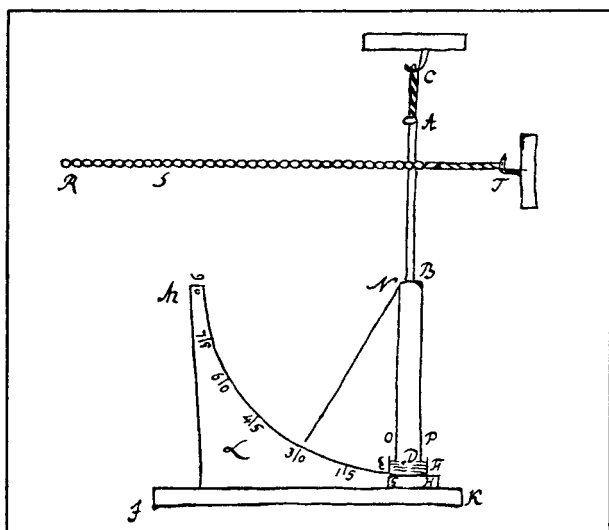
STUDIUM ELEKTRICKÝCH JEVŮ

Od druhé poloviny čtyřicátých let 18. století Richmann začal intenzivně studovat elektrické jevy, jejichž výzkum byl velmi populární v západní Evropě. Určitým impulzem k jejich zkoumání v Rusku byl Eulerův dopis ze 4. srpna 1744, v němž tento učenec informoval petrohradskou Akademii věd o tom, že pruská Akademie věd v Berlíně vypsala každoroční cenu 50 dukátů tomu, kdo přispěje k objasnění podstaty a vlastností elektřiny a zároveň doporučoval začít i v této zemi v tomto směru s experimentálními pracemi. Poněvadž Richmann projevoval zájem o zkoumání těchto jevů již dříve, byl pověřen tímto úkolem. Za tím účelem zkonstruoval velkou třecí elektriku (průměr skleněné koule 254 mm), baterie leidských láhví a v r. 1745 indikátor elektřiny – „elektrický ukazovatel“, jeden z prvních elektrometrů. Podobně jako v r. 1746



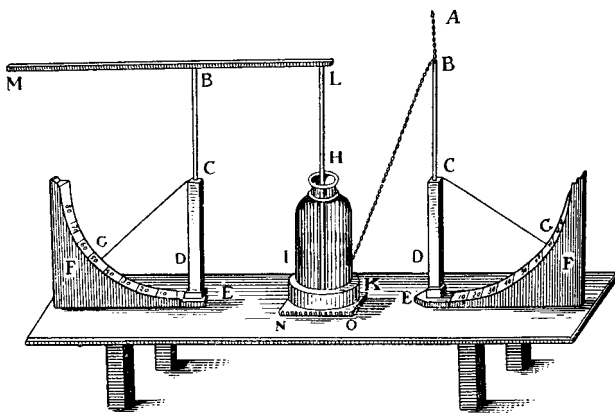
Obr. 2 První Richmannův náčrt indikátoru elektřiny [16].

Fig. 2. The first Richmann's draft of an electricity indicator.



Obr. 3 Richmannův náčrt indikátoru elektřiny [16].

Fig. 3. Richmann's draft of an electricity indicator.



Obr. 4 Richmannův indikátor elektřiny [23].

Fig. 4. Richmann's electricity indicator.

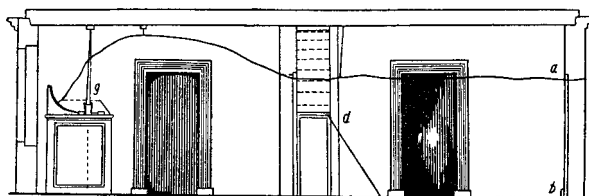
John Ellicott (? –1772), pokoušel se dokonce sestavit elektrometr založený na principu přesných vah pro měření elektrostatických sil, a tím vlastně předjímá pozdější Coulombovy pokusy z let 1785–1789 pro měření elektrických a magnetických sil. Experimentálně prozkoumal elektrickou vodivost různých druhů látek a přitom zjistil nápadnou podobnost mezi elektrickou a tepelnou vodivostí a v letech 1748–1751 se zabýval elektrostatickou indukcí. Získané poznatky uveřejnil v r. 1751 v článku *Nové experimenty o elektrických jevech*, který byl vůbec první ruskou vědeckou prací o elektřině.

Velmi brzo pronikly do Ruska zprávy o pokusech s atmosférickou elektřinou, které prováděli: Benjamin Franklin (1706–1790) v americké Filadelfii, Jean Francois D'Alibard (1703–1779), Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707–1788), De Lor, L. G. Le Monier (1715–1779) a De Romas v Marly-la-Ville nedaleko Paříže a Guiseppa Veratti a Tomasso Marino v Bologni v Itálii. Domněnka, že blesk je mohutná elektrická jiskra se prosazovala velmi pomalu, i když ji vyslovili někteří učenci již v počátečních fázích bádání o elektřině, jako např. James Wall v r. 1708, Isaac Newton (1643–1727) v r. 1716, Charles Francois Du Fay de Cisternay (1698–1739) v r. 1735, Jean Antoine Nollet (1700–1770) v r. 1743, Johann Winkler (1703–1770) v r. 1746 aj. Jak známo, rozhodující důkaz, že

blesk je mohutná elektrická jiskra podal v červnu 1752 B. Franklin legendárním, avšak velmi nebezpečným pokusem, když pomocí draku upoutaného na částečně vodivém konopném motouzu svedl elektrický náboj z bouřkového mraku přímo k zemi a přitom prokázal, že má stejné vlastnosti jako elektrický náboj získaný třením. Výsledky svých četných pokusů a pozorování elektrických jevů a úvah o nich z let 1747–1755 Franklin postupně sděloval v dopisech londýnskému příteli Peteru Collinsonovi (1694–1768), který je pak předkládal na zasedáních Královské společnosti nauk a pokoušel se je zveřejnit v *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Byl však odmítnut, a proto je vydal na svůj náklad v r. 1751 v Londýně pod názvem *Pokusy a pozorování o elektřině z Filadelfie v Americe* (*Experiments and observations on electricity, made at Philadelphia in America* [6]). Zásługou Buffonovou a D'Alibardovou byly v r. 1752 přeloženy do francouzštiny (*Expériences et observations sur l'électricité*), v r. 1758 do němčiny, pak i do jiných jazyků, dokonce i do latiny a dostalo se jim značného ohlasu. V literatuře se uvádí, že Franklinův anglický spis nebo jeho francouzský překlad prokazatelně studovali jak G. W. Richmann, tak i M. V. Lomonosov.

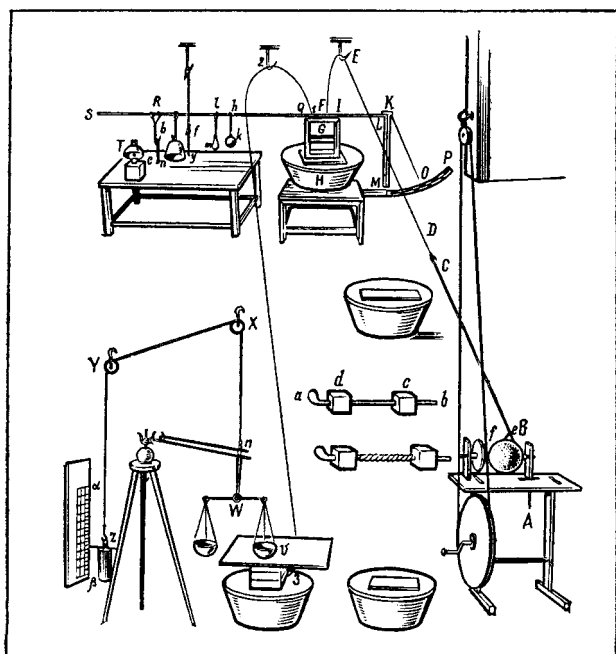
V červnu 1752 Sankt-Petěrburgskije vědomosti poprvé informovaly širokou veřejnost o Franklinových pokusech ve Filadelfii a dne 18. července téhož roku psaly o Richmannových pokusech prováděných v jeho domě s tzv. „bouřkovým (hromovým, bleskovým) strojem“. Sestával ze svislé, neuzemněné, nahoře zahrocené železné tyče asi 1,8 m vysoké a izolovaně připojené ke krovům střechy. K dolnímu konci tyče připevnil jako svodič železný drát, který izolovaně vedl širokou a dlouhou chodbou k indikátoru elektřiny, umístěnému na nevysoké skříňce, aby mohl měřit velikost atmosférického náboje za bouřky. Stejný „bouřkový stroj“ si postavil ve svém domě i Lomonosov. Oba učenci si sdělovali výsledky svých pozorování, avšak jinak pracovali nezávisle na sobě. Z dochovaných písemností je zřejmé, že si byli vědomi rizik, které v zájmu pokroku vědy podstupují. Několik měsíců před svou tragickou smrtí Richmann napsal: „*Je vůbec možné provádět tato pozorování, aniž by se člověk vystavoval nebezpečí? Není tomu tak, že tělesa nabitá atmosférickou elektřinou se budou chovat jako blesk a ohrozí tak pozorovatele? ...Je zřejmé, že v této chvíli musí fyzikové projevit určitou odvahu a smělost při těchto riskantních pokusech. Je však mou povinností provádět fyzikální výzkum těchto jevů a nic mne od toho nemůže odradit*“ [2, 25].

V pondělí dne 26. července 1753 (6. srpna podle dnešního kalendáře) byli Richmann i Lomonosov na zasedání petrohradské Akademie věd. Poněvadž k poledni se blížila letní bouře, spěchali oba domů ke svým „bouřkovým strojům“, aby změřili velikost atmosférického náboje. Richmann vzal sebou I. A. Sokolova, oficiálního měřirytce akademie, aby mohl



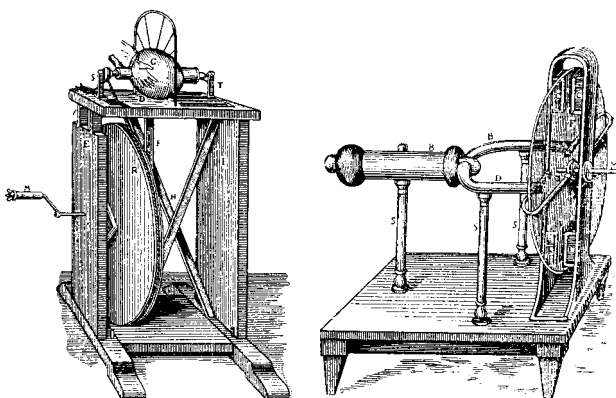
Obr. 5 Uspořádání Richmannova pokusu pro výzkum atmosférické elektřiny (náčrt M. V. Lomonosova) [23].

Fig. 5. Arrangement of Richmann's experiment for the atmospheric electricity research (M. V. Lomonosov's draft).



Obr. 6 Elektrické přístroje používané v Richmannově laboratoři [16].
Fig. 6. Electric instruments used in Richmann's laboratory.

podle vlastního zážitku zhotovit obrázek pro tisk. Pomocí železného drátu spojil indikátor elektřiny s vodivou tyčí na střeše. Poněvadž přístroj neukázal žádnou výchylku, prohlásil, že bouře je ještě daleko. Pak náhle udeřil blesk, který Richmanna zasáhl a Sokolova povalil na zem. Později Sokolov popsal celou událost takto: „Když se Richmann přiblížil k přístroji asi na vzdálenost jedné stopy a pozoroval indikátor elektřiny, aniž se ho dotkl, od tyče se oddělila modrobílá ohnivá koule velikosti lidské pěsti a pohybovala se vzduchem přímo k čelu pana profesora. Ten padl na znak na truhlici u zdi, nevydav ani hlásku. Současně následoval zvuk, jako by bylo vystřeleno z menšího děla“ [2, 25]. Oživovací pokusy přivolaného Lomonosova byly již bezvýsledné. Ten si také všiml, že Richmannův střevíc byl rozerván, nikoli sežehnut, že papírové bankovky v hodnotě 70 rublů, které měl v levé kapse, zůstaly netknuty, že popel z kamen byl rozmetán po celé místnosti, že z dveří byly odlámány třísky a že hodiny na stěně se zastavily. Tak se Richmann stal, jak se často uvádí, „první



Obr. 7 Třecí elektriky používané na začátku a ve druhé polovině 18. století [23].
Fig. 7. Friction electricity machines used in the beginning and in the second half of the 18th century.



Obr. 8 Richmannova smrt podle obrázku ve Flammarionově knize L' Atmosphère [2].

Fig. 8. Richmann's death according to the picture of Flammarion's book L'Atmosphère.

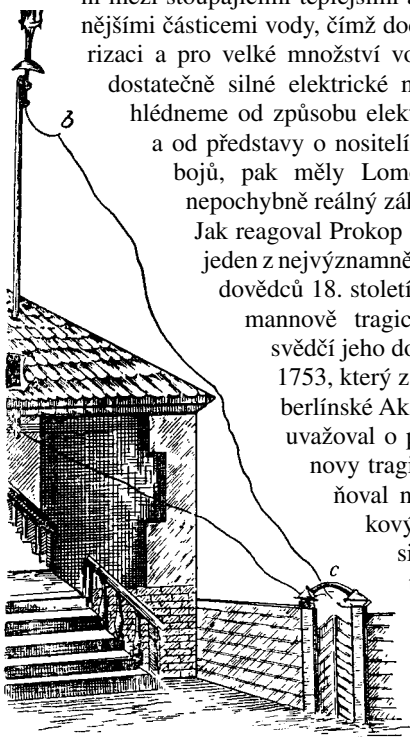
obětí v historii nově se rozvíjející nauky o elektřině“. Je jen s podivem, že při tehdejší aktivitě učenců na tomto poli, byl obětí jedinou.

Dne 26. listopadu 1753 přednesl Lomonosov zajímavou přednášku o atmosférické elektřině v petrohradské Akademii věd pod názvem: Pojednání o atmosférickém jevu vyvolaném elektrickou silou. V ní říká: „Vypravování starých příběhů i zprávy nedávných očitých svědků nás přesvědčují o tom, že z bouřkových mraků padá na zem oheň. Tento oheň je třeba pokládat za zvláštní, za jiný, než je oheň způsobený bleskem, a to pro jeho nepřilíš velkou rychlost. A tak je zde dosti zřejmé, že mastné páry se pádem shlukují, vzněcují se a padají na zem. Je nemálo starých i nových důkazů, že hřmělo za jasné oblohy. Nešťastný osud stihl pana profesora Richmanna za podobných okolností“ [2, 25]. Tak Lomonosov dal přímo podnět k tvrzení, které bylo v dalších obdobích podrobně rozebíráno a diskutováno, že Richmann nebyl zabit obyčejným bleskem, ale pomalu se pohybující ohnivou koulí, „mastnou parou“, čili kulovým bleskem, a to dokonce uměle přivolaným.

Samozřejmě Richmannova tragická smrt vyvolala ihned v Evropě velkou pozornost a odezvu. Veřejnost byla touto událostí zděšena a řada badatelů zanechala v tomto směru činnosti, jak např. dosvědčuje i L. Euler, když napsal: „Asi v téže době zesnulý doktor Liberkuhn a doktor Ludolf zde (v Berlíně, pozn. aut.) chtěli dělat podobné pokusy, a proto také upevnili na domy železné tyče, ale jak uslyšeli o Richmannově smrti, tak je rychle sňali a mně se zdá, že rozumně učinili“ [3]. O tragédii referoval nejen denní tisk, ale i některé západoevropské

vědecké časopisy. Pražské noviny Prager-Post-Zeitungen (Pražské poštovní noviny) psaly o této události dne 4. září 1753 na základě zprávy odeslané z Petrohradu dne 31. července 1753, dva dny po Richmannově pohřbu. V ní se psalo: „Pan profesor Richmann měl ve zvyku provádět za bouřky elektrické experimenty, aby ověřil výsledky pokusů navržených panem Franklinem. Když si Richmann k poledni připravoval své obvyklé zařízení, došlo náhle k prudkému úderu blesku, který zasáhl pana profesora Richmanna. Ten byl na místě mrtev. V současné době probíhá podrobné vyšetřování okolností této tragické události, o jehož výsledku vás budeme informovat“ [2, 9]. A skutečně k podrobnější informaci v týchž novinách došlo poměrně brzy, dne 15. září 1753 (datovanou v Petrohradě 3. srpna 1753), která na třech stranách a 12 řádcích podávala dosti přesný obraz Richmannovy tragické smrti včetně stručného popisu použitého experimentálního zařízení. Z popisu bylo zřejmé, že Richmannovo uspořádání bylo podobné tomu, které navrhl Franklin a které realizovali francouzští badatelé v pokusu se „strážní budkou“ v Marley-la-Ville nedaleko Paříže v květnu 1752, jímž byla poprvé experimentálně potvrzena přítomnost elektřiny v oblacích, podobně jako o měsíc později provedeným Franklinovým pokusem s drakem. Richmann a Lomonosov ovšem francouzské pokusy z května 1752 nejen dobře znali, chtěli pokročit dále, zajímali se o kvantitativní údaje, chtěli zjistit množství elektřiny v atmosféře.

Avšak existovali i badatelé, které tragická Richmannova smrt neodradila od dalšího zkoumání atmosférické elektřiny. Mezi ně patřil i samotný Lomonosov, který se svým „bouřkovým strojem“ provedl mnoho dalších pozorování a na jejich základě a také na základě předcházejících atmosférických výzkumů předložil svou teorii bouřky, kterou vyslovil v přednášce: Slovo o vzdušných jevech, pocházejících od elektrické síly z r. 1756. Podle této teorie existují v atmosféře vzestupné a sestupné proudy vzduchu. V důsledku toho dochází ke tření mezi stoupajícími teplejšími a klesajícími chladnějšími částicemi vody, čímž dochází k jejich elektrizaci a pro velké množství vodních par vznikají dostatečně silné elektrické náboje. Jestliže odhlédneme od způsobu elektrizace vodních par a od představy o nositelích elektrických nábojů, pak měly Lomonosovy představy nepochybně reálný základ [23].



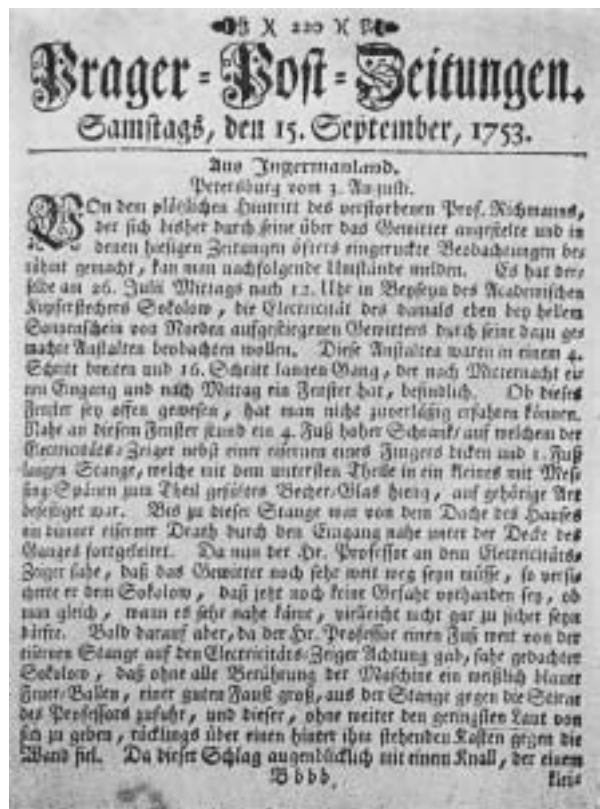
Obr. 9 Lomonosoviův „bouřkový stroj“ (nákras M. V. Lomonosova) [23].
Fig. 9. Lomonosov's „storm machine“ (Lomonosov's draft)

Jak reagoval Prokop Diviš (1698–1765), jeden z nejvýznamnějších českých přírodovědců 18. století, na zprávu o Richmannově tragické smrti? O tom svědčí jeho dopis ze dne 24. října 1753, který zaslal L. Eulerovi do berlínské Akademie věd, v němž uvažoval o příčinách Richmannovy tragické smrti. Upozorňoval na nebezpečnost takových pokusů a poprvé si uvědomil důležitost uzemnění a před pokusy s neuzemněnými tyčemi, jak se např. prováděly ve Francii, o nichž měl



Obr. 10 První pražská zpráva o smrti G. W. Richmanna ze dne 4. září 1753 [9].

Fig. 10. The first Prague report on Richmann's death from 4 September 1753.



Obr. 11 Druhá pražská zpráva o smrti G. W. Richmanna ze dne 15. září 1753 [9].

Fig. 11. The second Prague report on Richmann's death from 15 September 1753.

informace z Prahy a z Vídně, důtklivě varoval. V zmíněném dopise Diviš připomíná Eulerovi, že mu již 5. září 1753 zaslal „epistolii“ s rozbořením „smrtného pokusu Richmannova“, a protože nedostal odpověď, tak se znovu obrací na berlínskou Akademii věd se svými úvahami. V nich mimo jiné uvádí, že kdyby Richmannův indikátor elektřiny byl spojen se zemí a nebyl izolován, pak k hrozné události nemuselo dojít [3]. Tak v análech elektrotechniky se poprvé setkáváme s konkrétním poukazem na nevyhnutelnost uzemnění. Dále v dopise Diviš sděloval, že má v úmyslu v zimě sestrojít „povětrnostní stroj“ a během „příštího léta“ jej vyzkoušet. O tom máme také další důležité svědectví od Johanna Ludwiga Frickera, studenta tübingenské univerzity, žáka Christopha Oetingera, superintendanta ve Württembersku. Oetinger byl Divišovým přítelem a pro svého žáka, který koncem léta 1753 cestoval ke dvoru do Vídně, dojednal návštěvu v Příměticích u Znojma. O své návštěvě pak Fricker napsal: „*Před mým odjezdem pan doktor Diviš besedoval se mnou o zesnulém panu profesoru Richmannovi. Pak mně sdělil svou myšlenku sestrojít elektrický „meteorologický stroj“ (Wettermaschine), zcela jiný od obyčejných konstrukcí se železnými tyčemi*“ [3]. Jak známo, Diviš svůj záměr uskutečnil 15. června 1754 na farské zahradě v Příměticích a jeho uspořádání bylo vskutku odlišné [9, 13].

I v pozdějších desetiletích se o příčinách Richmannovy smrti hodně diskutovalo a mnoho psalo. Často bylo a dodnes je popisováno rozporuplné chování kulových blesků, které se přičítá lidskému chápání, kdy snadno zápalné předměty se nevnítí, nedochází ani k ožehu, ale pouze k jejich destrukci, v místnosti je rozmetán popel z kamen, se stěn jsou shozeny obrazy a odloupena omítka, nábytek je rozštípan na třísky a přítomné osoby zůstávají často nezraněny. Bohužel profesor Richmann byl nešťastnou výjimkou. Podrobný popis Richmannovy tragédie, včetně obsáhlé analýzy pitevního nálezu spolu s dalšími četnými příklady záhadného chování kulových blesků, najdeme např. v naší starší literatuře v knize Jaroslava Simonidese: *O bouřkách a elektřině atmosférické*, která vyšla v r. 1904 [19]. Bohužel dodnes není podstata kulového blesku, i přes různá mezinárodní vědecká sympozia (Tokio 1988, Budapešť 1990, Los Angeles 1992, Salzburg 1993, Hessdalen, Norsko 1994), dostatečně vysvětlena [2, 25].

Literatura

- [1] BEDNÁŘ, J., 1989. Pozoruhodné jevy v atmosféře. Atmosférická optika, akustika a elektřina. Praha, Academia. 240 s., 8 příl.
- [2] Beginnings of electricity research. Acta historiae rerum naturalium necnon technicarum. Prague Studies in the History of Science and Technology. New Series. Vol. 4. Editor Jaroslav Folta. Národní technické muzeum v Praze. Oddělení dějin techniky a exaktních věd. Praha 2000, 110 s. [Anglicko-německý sborník příspěvků přednesených na mezinárodním sympoziu, uspořádaném v roce 1998 na počest 300. výročí narození Prokopa Diviše, které zasedalo 15. června v Národním technickém muzeu v Praze a 17. června v Jihomoravském muzeu ve Znojmě].
- [3] CVERAVA, G. K., 1965. Prokop Diviš (1698–1765). Moskva – Leningrad, Izdatel'stvo Nauka. 102 s.

- [4] CVERAVA, G. K., 1977. Georg Wilhelm Richmann (1711 – 1753). Leningrad, Izdatel'stvo Nauka. 160 s.
- [5] DORFMAN, Ja. G., 1974. Vsemirnaja istoria fiziki I. Moskva, Izdatel'stvo Nauka. 350 s.
- [6] FRANKLIN, B.: Experiments and Observations on Electricity Carried out at in Philadelphiae, London 1751. Expériences et observations sur l' électricité, Paris 1752. Briefe von der Electricität, Leipzig 1758.
- [7] FRANKLIN, B., 1956. Opyty i nabludjenja nad električestvom. Moskva, Izdatel'stvo Nauka.
- [8] GLIOZZI, M., 1965. Storia della fisica. Torino. Překlad z italštiny: Istorija fiziki. Moskva, Izdatel'stvo Mir 1970. 464 s.
- [9] HAUBELT, J., 1982. Život a dílo Václava Prokopa Diviše. Vysoké Mýto, Okresní muzeum. Textová část 70 s., obrazová část 20 s.
- [10] HLAVÁČ, A., 1986. Bojíte sa blesku? Bratislava, Alfa. 208 s.
- [11] CHRAMOV, Ju. A., 1983. Biografija fiziki. Chronologičeskij spravčnik. Kiev, Izdatel'stvo Těchnika. 342 s.
- [12] CHRAMOV, Ju. A., 1983. Fiziki. Biografičeskij spravčnik. Moskva, Izdatel'stvo Nauka. 399 s.
- [13] KOLOMÝ, R., 1998. Prokop Diviš a počátky výzkumu atmosférické elektřiny. *Meteorologické Zprávy*, roč. 51, č. 6, s. 161–168. ISSN 0026–1173.
- [14] KOLOMÝ, R., 2002. Benjamin Franklin a jeho přínos k nauce o elektřině. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, 2002, č. 4, s. 119–124.
- [15] KRŠKA, K. – ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha, Univerzita Karlova, Nakladatelství Karolinum. 568 s.
- [16] KUDRJAVCEV, P. S., 1974. Kurs istorii fiziki. Moskva, Izdatel'stvo Prosveščenie. 311 s.
- [17] RICHMANN, G. W., 1956. Trudy po fizike, ed. Grigorjan A. T. et al., Moskva.
- [18] ŘIHÁNEK, L. V. – POSTRÁNECKÝ, J., 1957. Bouřky a ochrana před bleskem. Praha, NČSAV. 516 s., 5 příl.
- [19] SIMONIDES, J., 1904. O bouřkách a elektřině atmosférické. Praha. 192 s.
- [20] SMOLKA, J., 1957. Příspěvky k bádání o Prokopu Divišovi. Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky III. Praha, NČSAV, s. 122–152.
- [21] SMOLKA, J., 1963. Divišova korespondence s L. Eulerem a petrohradskou Akademií věd. Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky VIII. Praha, NČSAV, s. 139–162.
- [22] SMOLKA, J. 1965. Prokop Diviš and His Place in the History of Atmospheric Electricity. Acta historiae rerum naturalium necnon technicarum. Prague, s. 149–169.
- [23] SPASSKIJ, B. I., 1963. Istorija fiziki I. Izdatel'stvo Moskovskovo universitěta. 330 s.
- [24] ŠTOLL, I., 1988. Tajemství kulového blesku. Praha, Horizont. 192 s.
- [25] ŠTOLL, I., 1998. Profesor Richmann a kulový blesk. *Rozhledy matematicko-fyzikální*, roč. 75, č. 6, s. 285–289.
- [26] ZAJAC, R. – ŠEBESTA, J., 1990. Historické pramene súčasnej fyziky I. Od Aristotela po Boltzmana. Bratislava, Alfa. 396 s.
- [27] ZAJAC, R. – CHRAPAN, J., 1982. Dejiny fyziky. Bratislava, MFF UK. 264 s. [Scriptum].

Lektor prof. RNDr. J. Bednář, CSc., rukopis odevzdán v listopadu 2002.

XIV. KONGRES SVĚTOVÉ METEOROLOGICKÉ ORGANIZACE

XIV. kongres Světové meteorologické organizace, probíhající v Ženevě za předsednictví prezidenta organizace Dr. J. Zillmana (Austrálie) ve dnech 5. – 24. 5. 2003, přijal program na další čtyřleté období, jehož základem jsou tyto priority:

- prevence v oblasti zmírňování přírodních katastrof
- vyhodnocení a ocenění stavu vodních zdrojů
- výzkum v oblasti změny klimatu
- vědeckotechnický výzkum zaměřený na snížení negativních dopadů na životní prostředí
- rozvoj technického a kapacitního potenciálu národních hydrometeorologických služeb (NHMS)

Kongresu se zúčastnilo více než 800 delegátů reprezentujících 171 členských zemí SMO a dalších 36 mezinárodních organizací. Po přistoupení Bhutanu a Kiribati zahrnuje SMO již 187 zemí.

Podle generálního tajemníka SMO prof. G. O. P. Obasiho Kongres potvrdil odhodlání podílet se odpovídajícími aktivitami na sociálněekonomickém rozvoji všech zemí světa. Kongres zformuloval zásady vědeckotechnických přístupů a přijal usnesení o nových strategických programech (viz priority na další období). Na kongresu byl dosažen soulad v posuzování a řešení velmi složitých problémů na základě vzájemného pochopení společného zájmu SMO. Při poděkování za pomoc a spolupráci během svého dvacetiletého funkčního období vyslovil přesvědčení, „že význam SMO bude ještě větší, pokud bude sloužit jako opravdová mezinárodní vědeckotechnická organizace, jež se podílí na rozvoji hmotného zabezpečení současného a budoucího pokolení.“

Odstupující prezident SMO J. Zillman specifikoval nové priority a plán jejich zabezpečení. Kongres schválil založení Kosmického programu a přijal osnovu zmírňování přírodních pohrom meteorologického a hydrologického původu. Nejdůležitější role NHMS jak rozvinutých, tak i rozvíjejících se zemí bude spočívat v účinném seznamování svých vlád s programy SMO.

Kongres inicioval realizaci nového programu SMO zaměřeného na prevenci a zmírňování dopadů přírodních katastrof. Tento program je svojí podstatou předurčen k rozšíření v rámci mezinárodní spolupráce. Vždyt 80 % přírodních pohrom a s nimi spojených 90 % lidských obětí je způsobeno meteorologickými nebo hydrologickými příčinami. Na celosvětovém summitu v Johannesburgu v roce 2002, věnovaném otázkám životního prostředí, bylo konstatováno, že ve značném počtu rozvíjejících se zemí lidské oběti a materiální ztráty způsobené těmito pohromami jsou jedněmi z hlavních překážek na cestě ke skutečnému rozvoji. Účastníci tohoto setkání na vysoké úrovni jednali o tom, jaká opatření je nutné přijmout v oblasti pozemního monitoringu i optimálního využívání dat z distančních pozorování, aby se zdokonalil systém včasného varování i předpovědi před extrémními meteorologickými jevy. Při uskutečňování svého nového programu bude SMO spolupracovat s dalšími organizacemi i mezinárodními programy, zejména s Mezinárodní strategií pro omezování katastrof (ISDR) v Ženevě.

Kongres vyzval k rozvoji aktivit vztahujících se k hydrologii a ocenění stavu vodních zdrojů. Závěr o nevyhnutelnosti posílení tohoto programu vychází z narůstajícího deficitu vody, potíží se zachování její kvality i zvyšující se nadměrné

spotřeby sladké vody. Pohromy vyvolané vodou, jejichž počet v poslední době stoupá, způsobují oběti na životech i materiální ztráty. K lepšímu využití stávajících vodních kapacit je zapotřebí, aby jednotlivé země komplexně posoudily a ocenily svoje vodní zdroje a měly k dispozici přesné a správné informace. Kolik vody máme? Kde se nachází? Je vodní zásobování stabilní? S jakým stupněm přesnosti a v jakém časovém měřítku můžeme dostat předpověď povodní a vyhnout se pohromám? Na všechny tyto otázky mohou SMO a NHMS odpovědět.

Kongres rozhodl, že se SMO bude aktivně podílet na realizaci závěrů z celosvětového summitu v Johannesburgu, týkajících se zejména zdrojů sladké vody. Toto rozhodnutí je odpovědí na výzvu „podpořit rozvojové země i země s přechodovou ekonomikou v jejich úsilí o monitorování kvantity a kvality vodních zdrojů, včetně vytvoření a rozvoje národních monitorovacích sítí i příslušných databází.“

Světová meteorologická organizace již v roce 1976 upozornila mezinárodní společenství na problém dopadů klimatické změny a zajistila vědecké podklady pro mezinárodní jednání o omezení globálního oteplování se zdůrazněním ve třech oblastech své působnosti. Zejména jde o pravidelné a vyčerpávající informace o vlastnostech a vývoji klimatického systému Země. Kongres přijal opatření k posílení jednoho z hlavních programů sponzorovaného SMO – Globálního klimatického pozorovacího systému (GCOS) – a zvláště pak vyzval členské země k opatřením na podporu vytvoření kapacit v rozvojových zemích zaměřených na shromažďování, výměnu a využívání dat pro národní, regionální a mezinárodní potřeby. Členské země byly také požádány, aby posílily mezinárodní a mezivládní programy, které by pomáhaly těmto zemím ve sběru a shromažďování dat.

Vzhledem k absolutní důležitosti dosažení vysoké kvality klimatologických pozorování a úrovně datových souborů pro určení a monitoring proměnlivosti a změny klimatu, vyzval Kongres členské země k maximální spolupráci v péči o klimatické pozorovací sítě s cílem zvýšení klimatického potenciálu, a tím i dosažení vyšší kvality předpovědi a nových typů produktů a služeb.

V stěžejním programu – Světová služba počasí – byla zdůrazněna nutnost pomoci rozvojovým zemím na úseku zlepšování přístrojové techniky a pozorovacích metod. Byl také založen nový interdisciplinární Kosmický program (Space programme), zaměřený na efektivní využití satelitních systémů v rámci dalších programů.

SMO pomáhá v boji proti degradaci životního prostředí jak na úseku výzkumu, tak i atmosférického monitoringu. Aktivní je účast na Vídeňské konvenci na ochranu ozonové vrstvy, včetně Montrealského protokolu. Kongres požádal o další periodické přesné vyhodnocování skleníkových plynů a aerosolů. Tyto podklady tvoří důležité informace pro Mezivládní panel pro klimatickou změnu (IPCC) a také pro země Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o klimatické změně.

Bylo také rozhodnuto vytvořit speciální program pro nejméně rozvinuté země (WMO Programme (LDCs)).

Na čtyřleté období, počínaje od roku 2004, zvolil Kongres generálním tajemníkem Michela Jarrauda (Francie) a prezidentem SMO se stal Alexander I. Bedrickij (Ruská federace).

Kongres udělil G. O. P. Obasimu honorární titul emeritního generálního tajemníka SMO.

V příštím čísle Meteorologických zpráv přineseme specializované informativní články od delegátů České republiky, jimiž byli Ing. I. Obrusník, DrSc (ředitel ČHMÚ), RNDr. R. Tolasz (náměstek pro meteorologii a klimatologii, ČHMÚ) a Ing. J. Kubát (náměstek pro hydrologii, ČHMÚ).

(Zpracováno z tiskových podkladů Světové meteorologické organizace.)

Zdeněk Horký

WORKSHOP AROME-ALADIN V PRAZE

Ve dnech 11. a 12. dubna se v Praze konal na úrovni ředitelů meteorologických služeb speciální workshop, který měl za cíl řešit budoucí vývoj modelu ALADIN či jeho konvergenci s novým modelem AROME vyvíjeným v Météo-France. Výsledkem projektu AROME (Application of Research to Operations at Mesoscale) má být nový předpovědní model s vysokým rozlišením (1 až 2,5 km), zaměřený na zpřesnění lokalizace a intenzity jevů i zlepšení detekce extrémů. Jeho zaměření na detailní informace pro meteorologii umožní jeho využívání i v čistotě ovzduší, hydrologii a dalších oblastech. První aplikace se předpokládá v roce 2008.

Francouzská služba si uvědomila důležitost tohoto kroku zejména s ohledem na to, že k cílovým parametrům se nebude možné přiblížit pouhým postupným zlepšováním rozlišení dosavadního modelu ALADIN, dosahovaného zejména zvýšením výkonu používané výpočetní techniky, ale na základě zcela nového přístupu. Předpokládá se, že nový model bude kombinací toho nejlepšího, co je v Météo-France v současné době k dispozici: dynamika nehydrostatické verze modelu ALADIN, fyzikální základy z francouzského modelu MESONH a zároveň asimilace dat z modelu ALADIN.

Vzhledem k dobré zkušenosti Météo France (MF) se spoluprací se střeoevropskými zeměmi (Česko, Chorvatsko, Maďarsko, Rakousko, Slovensko, Slovinsko) v rámci dosud běžícího projektu LACE (vývoj, počítání a využívání modelu ALADIN) i s ostatními zeměmi sdružení ALADIN Assembly (Belgie, Bulharsko, Maroko, Moldavsko, Polsko, Portugalsko, Rumunsko, Tunisko) byl z iniciativy vedení MF a ČHMÚ uspořádán zmíněný workshop s cílem seznámit ředitele a vedoucí odborníky v modelování ze zemí využívajících ALADIN s projektem AROME a možnostmi jeho postupné realizace. Setkání mělo vyústit v rozhodnutí ředitelů meteorologických služeb uvedených zemí, zda se na vývoji AROME budou spolu s Météo France podílet a v případě pozitivního přístupu jakou strategii a postup bude třeba zvolit. Pražské setkání tedy znamenalo velmi důležitý milník v rozvoji numerického modelování počasí s vysokým rozlišením jak ve střeoevropském regionu, tak v dalších zemích využívajících ALADIN a pochopitelně i v České republice.

Během prvního dne jednání byly prezentovány informace o výsledcích vývoje nehydrostatické dynamiky pro model ALADIN (Brožková, Smolíková), asimilaci 3D variačních asimilací dat pro ALADIN, (Boloni, Fischer), stavu a hlavních parametrech projektu AROME (Bouttier), konvergenci projektu ALADIN a AROME (Courtier), specifických problémech zejména s ohledem na novou „fyziku“ modelu (Geleyn, Gerard) a o celkovém chápání konvergence modelů AROME a ALADIN a vytváření podmínek pro jeho realizaci z hlediska Météo France (Bouttier, Fischer, Geleyn). A. Horanyi podal zprávu o výsledcích jednání o konvergenci mezi

koordináčními skupinami jednotlivých částí „širšího“ projektu ALADIN. V závěru jednání prvního dne byly specifikovány hlavní okruhy problémů a otázek, které bude třeba řešit a k nimž se jednotlivé země v následující diskusi vyjádří. V následující diskusi ředitelů se objevily ještě některé další otázky a problémy, avšak většina ředitelů včetně ředitele ČHMÚ nutnost konvergence modelů ALADIN a AROME podpořila.

Druhý den jednání byl věnován diskusi jednotlivých okruhů problémů konvergence a přípravě závěrů, které později do výsledné podoby upravil J.-F. Geleyn. Ze závěrů lze uvést tyto podstatnější body:

- Jméno „nového“ projektu. - Účastníci se shodli na tom, že by mělo být jméno ALADIN používáno dál, – proto bude pro něj prozatím používán název ALADIN-2 a sdružení zemí bude dále nazýváno ALADIN.
- Předpokládá se, že než bude možné nový model využívat, bude dále v určité míře pokračováno ve vývoji modelu ALADIN, neboť většina služeb jej potřebuje pro operativní využívání.
- Členské služby by měly zvýšit kapacitu specialistů během prvních 3 let (přechodné období) na numerické modelování s ohledem na nové úkoly ca o 15%. Délka druhého období přechodu se patrně bude pro jednotlivé země lišit.
- Météo France je připravena uvolnit na 3 roky J.-F. Geleyna pro koordinaci procesu konvergence s tím, že jeho sídlo bude v ČHMÚ v Praze (vedení ČHMÚ s tím souhlasí). To bude znamenat významnou pomoc a zároveň to ukazuje, jak velký význam spolupráci na novém projektu Météo France přikládá.
- Pro právní rámec spolupráce bude vhodné využívat dosavadní „Memorandum of Understanding“ (MoU) sdružení ALADIN. Protože však bude třeba některé kapacity zvyšovat a časem MoU upravit, předpokládá se, že na příštím setkání sdružení v říjnu 2003 v Krakově bude vytvořena pracovní skupina pro řešení právních a ekonomických aspektů spolupráce.
- Bude vypracován harmonogram přechodu pod vedením J.-F. Geleyna, který odpoví na jednotlivé problémové okruhy otázek. Některé otázky spojené zejména se „sítovou“ spoluprací budou navrženy a aplikovány co nejdříve. Jedním z prvních kroků k realizaci byl návrh vedení projektu LACE financovat několik nových stáží v Toulouse se zaměřením na přípravu nové „fyziky“ modelu.
- Pro vytvoření dlouhodobé vědecké strategie projektu bylo navrženo 12 členů nové koordinační skupiny, která vznikla vyčleněním nejlepších odborníků z dosavadních struktur AROME a ALADIN. Za českou stranu v ní budou R. Brožková a P. Smolíková.
- V projektu nebudou opomenuty ani otázky možností využití nového modelu pro obranu a NATO, krizové situace apod.

Dubnové jednání zástupců sdružení ALADIN o přechodu z modelu ALADIN na principiálně nový model počasí s cílovým rozlišením 2,5 km bylo skutečným předělem a zároveň i příslibem do budoucnosti, že země střední Evropy a především ČR nezůstanou stranou a naopak budou držet krok s posledním vývojem modelování počasí ve světě i v Evropě. Organizace celého setkání ze strany ČHMÚ byla velice dobrá a právě příznivá atmosféra pražského setkání přispěla k úspěchu celé akce. Rostoucí počet přírodních katastrof způsobených hydrometeorologickými jevy i na poměrně malém území si skutečně vyžádá co nejdříve nové modely počasí, které vezmou v úvahu i jevy na malé ploše (např. konvekce)

a povedou k celkovému zkvalitnění výstražné služby i dalších aplikací meteorologie, hydrologie i ochrany čistoty ovzduší. Nový projekt ALADIN 2 je cestou k tomuto cíli.

Ivan Obrušník

JUBILUJÍCÍ DANA ŘEZÁČOVÁ OČIMA PROSTÉHO INŽENÝRA

*RNDr. Daniela Řezáčová, CSc., *31. 7. 1943, v roce 1965 ukončila Matematicko-fyzikální fakultu UK, obor meteorologie a klimatologie. V letech 1969–1970 pracovala v Ústavu meteorologie Univerzity v Karlsruhe (Německo). Dizertační práci na téma Spektra dešťových kapek obhájila na UK v roce 1973.*

V současné době pracuje jako vedoucí Oddělení meteorologie Ústavu fyziky atmosféry AV ČR (ÚFA AV ČR), kde také zastupuje ředitele. Na UK externě přednáší (Přírodovědecká fakulta, Matematicko-fyzikální fakulta), je členkou redakční rady časopisu Meteorologické zprávy, vede diplomové a dizertační práce. Odborně se věnuje hlavně mezosynoptické meteorologii, fyzice oblaků a srážek, využití mezosynoptického modelování v meteorologických předpovědích. Vedla řadu grantových projektů a bibliografie jejích publikací a výzkumných zpráv obsahuje 101 položek. Další informace o jejich aktuálních odborných aktivitách lze nalézt na web stránce www.ufa.cas.cz.

Nasměrovan kolegy z mého tehdejšího pracoviště, Výzkumného ústavu spojů Praha, nyní TESTCOM, jsem na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let jako výzkumný inženýr jezdil konzultovat meteorologické otázky k Dr. D. Podhorskému, CSc. a Dr. M. Wolekovi na pracoviště Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislavě na Malém Javorníku. Zajímal (a zajímá) mě vliv atmosféry na šíření rádiových vln. Po několika konzultacích se mě Dr. Podhorský zeptal, proč, když jsem z Prahy, nechodím vlastně na konzultace do ÚFA AV ČR, kde je odbornice na slovo vzatá – RNDr. Daniela Řezáčová, CSc. Vzal jsem tedy telefonní seznam a objednal se ke zmíněné „odborné dámě“.

Překvapil mě hned napoprvé její neformální přístup, zaujatost a erudice v odborné problematice a ... lebka na stole místo popelníku. Je to přes dvacet let, a teprve nyní začínám chápat, jak muselo pro Danu být těžké „snížit“ se na úroveň inženýra, který potřeboval vysvětlit základní meteorologické děje na úrovni „mateřské školy“ a umět použít meteorologickou vědu ve velmi zjednodušené, avšak v technické praxi dostatečně přesné formě. A oceňuji, jak to Dana pochopila.

Naše spolupráce začala velmi cennými konzultacemi k mé dizertační práci, kde jsem musel řešit složitou diferenciální rovnici výparu dešťové kapky během pádu na zemi ... nesmírně jsem ocenil, jak úžasně mně Dana pomohla. V odborných knížkách, ať už od Masona či Pruppachera a Kletta, je sice zmíněná rovnice uvedena, ale třeba nebyl uveden vztah pro některé parametry, např. pro ventilační faktor. Naštěstí jsem konzultoval právě u Dany – zapátrala v paměti a sáhla po nějaké brožurce z Leningradského institutu, kde našla vše potřebné. V mém počítači se tak díky Daně mohly kapky deště s chutí vypařovat. ... a dizertaci jsem obhájil.

Spolupracovali jsme pak na několika grantech a Dana mě překvapila podruhé. Ač meteoroložka, aktivně se zapojila do problematiky řešené v projektu COST 255 o šíření vln v atmosféře. Nechala si se zájmem vysvětlit, jak se rádiové vlny šíří v reálné atmosféře, která se k nim nechová příliš mateřsky. Dokázala se perfektně vcítit do potřeb rádiových inženýrů, tedy osob, pro které je meteorologie jenom servísem.

Teď už jako přímý podřízený Dany Řezáčové obdivuji spolu s kolegy její další vlastnost. Jakoby na Daně nepracoval zub času. Nikdo z nás mladších se nenaučí tak rychle a perfektně nový software. Často Danu „otravujeme“ s otázkami, jak např. v grafu změnit tloušťku čáry, když standardními metodami to nejde. Dana nám vždy nezištně pomůže, a to i když neví, kam dřív pro nával vlastní práce skočit. Však si také bere práci domů i na chalupu, nic neošidí, pilná včelička by se mohla u Dany učit.

Všichni obdivujeme její pracovní nasazení. Dokáže se „stopro“ soustředit a během několika hodin zplodit hodnotné a vysoce erudované odborné příspěvky či zprávy .

Všichni jsme Daně vděční za cenné odborné rady, za praktickou pomoc; připomínkuje nám publikace, kontroluje angličtinu, půjčuje kafe, vozí nás občas svým autem domů. Jsme-li v časové tísní, pomůže nám i grafy vytisknout. Na cestách autem se s námi střídá v řízení i za hranicemi všedních dnů, jako třeba v Bruselu, Nice..., kde se výborně domluví anglicky, německy, rusky, a dokonce ovládá i řeč posunkovou... A kromě toho všeho se k nám Dana chová velmi přátelsky (pokud teda nezlobíme, že jo...) a zpřijemňuje nám akademický život svým optimizmem a smyslem pro humor.

K desátému výročí oslav padesátých narozenin přeje Daně hodně úspěchů a radosti z práce, zasloužené uznání vědeckou komunitou i občanskou společností, pevné zdraví, zachování smyslu pro humor a spokojenosti v osobním životě.

Ondřej Fišer

TYPY POVĚTRNOSTNÍCH SITUACÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2002

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
I	Nc	Nc	NEa	NEa	NEa	Cv	Cv	A	A	A	A	Cv	Cv	Ea	Ea	Wa	Wa	Wa	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Wa	Wa	SWa
II	SWa	SWa	SWa	SWa	SWa	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Bp	Ap ₂	Ea	Ea	Bp	Bp	Bp	Bp	Bp	Bp	NWc	NWc	Wc	Wc	Wcs	Wcs			
III	SWc ₃	SWc ₃	Wa	Wa	Wa	Wc	Wc	Ap ₂	Ap ₂	Ap ₂	Ap ₂	SWa	SWa	SWc ₃	SWc ₃	SEa	SEa	Wc	Wc	Wc	Vfz	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEa	A	A	A	
IV	A	SEa	SEa	SEa	NEc	NEc	NEc	Ea	Ea	SEc	SEc	B	B	B	C	C	Ap ₁	Cv	Cv	Cv	Ap ₃	Ap ₃	NWc	NWc	Ap ₂	Bp	Ap ₂	Bp	Bp	Bp	
V	Sa	Sa	Sa	B	B	Ec	Ec	SEa	SEa	SEc	SEc	Bp	Bp	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	Vfz	Vfz	Vfz	SEa	SEa	SWc ₁	SWc ₁	SWc ₁	B	B	B	NEc	NEc	NWa	
VI	NEc	NEc	NEc	NEc	SEc	SEc	C	C	C	NEc	NEc	Wa	Wa	Wa	SWc ₂	SWc ₂	A	A	A	A	Bp	Ap ₂	Bp	Bp	Ap ₂	Ap ₂	Bp	Bp	Bp	Ap ₂	
VII	Ap ₂	Bp	Bp	Bp	Ap ₂	Bp	Bp	Sa	Sa	Bp	Bp	Ap ₁	Ec	Ec	Ec	Ec	NEc	NEc	NEc	NEc	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Ea	Ea	Ea	Ec	Ec
VIII	Ec	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	C	C	C	SEc	SEc	C	C	C	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc	SEa	SEa	Bp	Bp	Ea	Ea	Ea	Ea	Ec	Ec	Ec	Ec	Bp
IX	Bp	Ea	Ea	Ea	Bp	SWa	SWa	SWc ₁	SWc ₁	Vfz	NEa	NEa	NEa	Nc	Nc	Nc	NWc	NWc	NWc	NWc	NWc	B	B	B	B	B	Nc	Nc	A	A	
X	A	A	Bp	Bp	Bp	C	C	NEc	NEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	Bp	Bp	Bp	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	
XI	Wc	Wc	Wcs	Wcs	Ea	Ea	Bp	Bp	Bp	Bp	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	Sa	Sa	Sa	B	B	B	B	Wcs	Wcs	Sa	Sa	Sa	Bp	Bp	B	B	B	
XII	B	SEc	SEc	SEc	Ec	Ec	Ea	Ea	Ea	NEa	NEa	SEa	SEa	SEa	SEc	SEc	SEc	Nc	Nc	Ap ₃	Vfz	Vfz	Vfz	SEa	SEa	SWc ₂	SWc ₂	Bp	Bp	Vfz	Vfz

TYPY POVĚTRNOSTNÍCH SITUACÍ NA ÚZEMÍ SLOVENSKÉJ REPUBLIKY V ROKU 2002

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
I	Nc	Nc	NEa	NEa	NEa	Cv	Cv	A	A	A	A	Cv	Cv	Ea	Ea	Wa	Wa	Wa	Wa	Wc	Wc	Wc	Wc	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Wa	Wa	SWa
II	SWa	SWa	SWa	SWa	SWa	Bp	Bp	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Bp	Ap ₂	Ea	Ea	Bp	Bp	Bp	Bp	Bp	Bp	NWc	NWc	Wc	Wc	Wcs	Wcs			
III	SWc ₃	SWc ₃	Ap ₂	Ap ₂	Ap ₂	Wc	Wc	Ap ₂	Ap ₂	Ap ₂	Ap ₂	SWa	SWa	SWa	SEa	SEa	SEa	SEa	Wc	Wc	Vfz	Vfz	NEc	NEc	NEa	NEa	NEa	A	A	A	
IV	A	NEa	NEa	NEa	NEc	NEc	NEc	Ea	Ea	SEc	SEc	B	B	B	C	C	Ap ₁	NEa	NEa	NEa	NEc	NEc	NWc	NWc	Ap ₂	Bp	Ap ₂	Ap ₂	Bp	Bp	Bp
V	Sa	Sa	Sa	B	B	Ec	Ec	SEa	SEa	SEc	SEc	Bp	Bp	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	Vfz	Vfz	Vfz	SEa	SEa	SEa	SWc ₁	SWc ₁	B	B	B	NEc	NEc	NWa	
VI	NEc	NEc	NEc	NEc	SEc	SEc	C	C	C	NEc	NEc	Wa	Wa	Wa	SWc ₂	SWc ₂	A	A	A	A	SWa	SWa	SWa	Bp	Bp	Ap ₂	Ap ₂	Bp	Bp	Ap ₂	
VII	Ap ₂	Bp	Bp	Bp	Ap ₂	Bp	Bp	Sa	Sa	Bp	Bp	Ap ₁	Ec	Ec	Ec	Ec	NEc	NEc	NEc	NEc	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Wal	Ea	Ea	Ea	Ec	Ec
VIII	Ec	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	C	C	C	SEc	SEc	C	C	C	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc	SEa	SEa	SEa	SEa	Ea	Ea	Ea	Ea	Ec	Ec	Ec	Ec	Bp
IX	Bp	Ea	Ea	Bp	Bp	SWa	SWa	Sa	Sa	Vfz	NEa	NEa	NEa	Nc	Nc	Nc	NWc	NWc	Wc	Wc	Wc	B	B	B	B	B	Nc	Nc	A	A	
X	A	A	Bp	Bp	Bp	C	C	NEc	NEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	Bp	Bp	Bp	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	SWc ₃	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	
XI	Wc	Wc	Wcs	Wcs	Ea	Ea	Bp	Bp	Bp	Bp	SWc ₂	SWc ₂	SWc ₂	Sa	Sa	Sa	B	B	B	B	Wcs	Wcs	Sa	Sa	Sa	Bp	Bp	B	B	B	
XII	B	SEc	SEc	SEc	Ec	Ec	Ea	Ea	Ea	NEa	NEa	SEa	SEa	SEa	SEc	SEc	SEc	Nc	Nc	Ap ₃	Vfz	Vfz	Vfz	SEa	SEa	SEa	SEa	Bp	Bp	Vfz	Vfz

Pozn.: Celý kalendář typizací je na internetové adrese: <http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/kalendar.html>



EDIČNÍ PLÁN NAKLADATELSTVÍ ČHMÚ NA ROK 2003

EDICE

TITUL

Práce a studie

Seš. 32 R. Tolasz – M. Stříž: Prostorová analýza srážkového pole za období 1961–1990
Seš. 33 P. Štěpánek: Homogenizace teploty vzduchu v České republice v období přístrojových pozorování

Mimo ediční řady

J. Šantroch et al.: Přízemní ozon
J. Kubát et al.: Poznatky a poučení z povodně 2002
K. Krška – V. Vlasák: Historie a současnost hydrometeorologické služby na jižní Moravě
J. Rožnovský – M. Kohut – M. Hradil: Agroklimatické podmínky jižní Moravy
V. Květoň – H. Květoňová: Charakteristiky teploty vzduchu v České republice 1961–2000
J. Daňhelka et al.: Posouzení vhodnosti aplikace srážkoodtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území České republiky (koedice s Českou zemědělskou univerzitou)

Seriálové publikace

Výroční zpráva ČHMÚ 2002
Hydrologická ročenka České republiky 2002
Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika 2002
Znečištění ovzduší na území České republiky. Grafická ročenka 2002
Společná zpráva o kvalitě ovzduší v oblasti Černého trojúhelníku 2002



MIMOŘÁDNÁ NABÍDKA PUBLIKACE

V nakladatelství Karolinum vyšla za finančního přispění Českého hydrometeorologického ústavu dlouho očekávaná kniha Karla Kršky a Ferdinanda Šamaje

DĚJINY METEOROLOGIE V ČESKÝCH ZEMÍCH A NA SLOVENSKU

V publikaci jsou poprvé v ucelené podobě zachyceny dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku od nejstarších dob až do roku 1992. Součástí díla, rozloženého do tří částí a 26 kapitol, jsou informace o významných objektech meteorologické služby, důležitých přístrojích a vynikajících osobnostech.

V první části je zachycen vývoj meteorologie od nejstarších dob do roku 1918, druhá část mapuje dějiny meteorologie mezi oběma světovými válkami (1919–1938) a závěrečný oddíl je věnován období 1939–1992.

Kromě seznamu použité literatury na konci každého oddílu obsahuje kniha jmenný rejstřík, seznam zkratek a odborných výrazů a 36stránkové anglické resumé.

Vydáním této původní monografické práce se česká meteorologická služba zařazuje mezi několik málo zemí, které se mohou takovým dílem pochlubit.

Kniha obsahuje celkem 568 stran, 61 černobílých fotografií v textu a na 36 samostatných stranách je 53 barevných snímků. **Cena knihy je 190,- Kč při přímém odběru v ČHMÚ, při zasílání poštou se účtuje poštovné a balné.**

Publikaci lze objednat na adrese:

Český hydrometeorologický ústav, SIS, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany.

Tel./fax: 02/44032721. E-mail: jiratova@chmi.cz

Na objednávce uvádějte svoje IČO.