

Meteorologické extrémy a povodně v České republice – Přirozený trend nebo následek globálního oteplování?



Rudolf Brázdil

Meteorological extremes and floods in the Czech Republic – the natural trend or an impact of the global warming? Meteorological extremes and floods cause every year considerable material damage and losses of human lives. The article summarises the present state of the study of this topic in the Czech Republic. It defines the concept of meteorological extremes and discusses problems of the starting data. The fluctuation of extreme daily precipitation totals, drought, floods and strong winds is illustrated on several examples. The results indicate the ambiguity of the observed trends in connection with the process of the global warming, which, according to the present ideas, should cause the increase in frequencies and intensity of many extremes. The importance of historical-climatological data is stressed for extending the information about meteorological extremes and floods to the period before the beginning of systematic observations. The problem of impacts of meteorological extremes is discussed as well as measures aiming at the minimalization of material damage and victims.

KEY WORDS: meteorological extremes – precipitation – drought – floods – gales – Czech Republic

1. Úvod

Výskyt meteorologických a klimatologických extrémů je výsledkem přirozené variability zemské atmosféry. V ní se pod vlivem různých přírodních a antropogenních faktorů odehrává řada složitých a vzájemně se ovlivňujících fyzikálních a chemických procesů, které v interakci s aktivním povrchem mohou vést k výskytu extrémních stavů různého plošného rozsahu a trvání. Zatímco v přírodních ekosystémech jsou takovéto extrémy včetně jejich účinků součástí jejich přirozeného vývoje, v kulturní krajině způsobují při stále složitější infrastruktuře lidské společnosti mnohdy velké materiální škody i ztráty na lidských životech. Jak ukázala statistika mnichovské zajišťovny (Münchener Rück 1999), vzrostl počet velkých přírodních katastrof mezi léty 1950-1959 a 1990-1999 asi čtyřikrát, ekonomické ztráty asi čtrnáctkrát a ztráty pojišťoven (od 60. let) asi patnáctkrát. Jak plyne z tab. 1, zaujímají ve statistice škod vedle zemětřesení zvláště významné místo také vichřice a povodně.

Česká republika (dále jen ČR) byla v posledních letech postižena velkými přírodními katastrofami hned několikrát. Platí to zejména o povodních na Moravě a ve Slezsku v červenci 1997 (52 obětí, škody za 62 miliard Kč), ve východních Čechách v červenci 1998 (6 obětí, škody za 2 miliardy Kč) nebo v Čechách v srpnu 2002 (17 obětí, odhadované škody přes 100 miliard Kč), ale i o suchu na jižní Moravě v dubnu až červnu 2002 (škody za 5 miliard Kč). K tomu přistupují další oběti a škody při bleskových povodních v důsledku příválových dešťů, při vichřicích, krupobitích a dalších meteorologických a klimatologických

extrémech. V souladu s prací Karla a Easterlinga (1999) je tak třeba i v ČR hledat odpovědi na následující otázky:

Promítá se v současnosti pozorovaný proces globálního oteplování do frekvence a intenzity meteorologických extrémů?

Stává se lidská společnost citlivější na dopady meteorologických extrémů?

Je percepce meteorologických extrémů ve větší míře ovlivněna sdělovacími prostředky?

Předložený příspěvek se snaží najít odpověď na tyto otázky charakterizováním současného stavu poznatků ze studia vybraných meteorologických extrémů a povodní v ČR.

2. DATA a metodologické problémy

Statistický přístup chápe meteorologické extrémy jako případy výskytu hodnoty meteorologického prvku či jevu s dostatečně malou pravděpodobností. Jde tedy o stanovení mezních hodnot, při jejichž překročení (nedosažení) lze danou hodnotu či jev považovat za extrémní. Např. teplotně extrémním měsícem se bude rozumět měsíc, jehož průměrná teplota bude nižší (extrémně chladný) či vyšší (extrémně teplý) než určité zvolené kritické hodnoty. Problémem je samozřejmě stanovení takovýchto mezních hodnot. Pomineme-li víceméně subjektivní přístupy, jsou za nejkorektnější způsob jejich stanovení považovány hodnoty percentilů (např. 1, 5, 10, 90, 95 a 99 %) teoretického rozdělení dané klimatologické charakteristiky. Volba kritických hodnot je ovšem velmi poplatná zvolenému teoretickému rozdělení, takže získané výsledky se při použití různých typů rozdělení mohou vzájemně lišit (Brázdil, Štěpánek 2000).

S ohledem na dlouhodobé kolísání dané klimatologické charakteristiky se však mezní hodnoty odpovídající zvoleným percentilům mohou lišit od jednoho referenčního období ke druhému, pro které se odhadují parametry pro výpočet teoretického rozdělení. Dlouhodobé změny v hodnotě průměru a rozptylu dané řady se tak budou nutně promítat i do změn kritických hodnot (obr. 1), což ovlivní následně počty záporných a kladných extrémů ve studovaném období. Tak např. pro Brno v období 1901-1990 rostl podíl extrémně chladných měsíců od 9,1 % (referenční období 1901-1930) přes 11,1 % (1931-1960) do 15,3 % (1961-1990) z jejich celkového počtu, zatímco počet extrémně teplých měsíců postupně klesal z 14,3 % přes 8,1 % na 7,0 % (Brázdil et al. 2001a). To ukazuje na postupný posun percentilů 10 a 90 % k vyšším hodnotám, daným nárůstem průměrných teplot vzduchu ve 20. století.

Druhý možný přístup považuje za extrémy případy výskytu meteorologických prvků a jevů s přímými škodlivými dopady na přírodu a společnost, vyjádřitelné zpravidla materiálními ztrátami či oběťmi na lidských životech.

Základním zdrojem informací o meteorologických extrémech jsou systematická meteorologická měření a pozorování v síti stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), z nichž lze získat řady klimatologických charakteristik meteorologických prvků popř. řady meteorologických jevů. Z nich pak mohou být statisticky určeny příslušné extrémy. Na těchto stanicích však nejsou zaznamenávány jejich dopady, přičemž některé extrémní jevy nemusí být s ohledem na jejich lokální dosah v existující síti stanic vůbec zjištěny (např. krupobití, tornádo).

V některých případech je problémem, jaká klimatologická charakteristika meteorologického prvku nebo jevu má být vybrána pro analýzu meteorologických extrémů. Někdy totiž s ohledem na dopady nemusí být vhodná ani charakteristika měřená na meteorologických stanicích. Tak je tomu např. v případě námrazy, která může způsobit značné škody zejména na lesních porostech (polomy) a na elektrickém vedení. Z pohledu možných škod pak budou užitečnější např. hodnoty maximálních hmotností námrazy (vyjádřené v kg.m^{-1} – Popolanský 1996) než počet dnů s námrazou, byť různé intenzity, zaznamenávané na meteorologických stanicích.

Jiným závažným problémem je homogenita analyzovaných řad, která v případě extrémů může být narušena např. v souvislosti s přemístováním stanice, změnou pozorovatele, přístrojů a pozorovacích předpisů. Dokladem vlivu změny přístrojů na homogenitu pozorování jsou údaje o maximálních nárazech větru a počtu dnů s denními nárazy $\geq 17 \text{ m.s}^{-1}$ (odpovídá přibližně vichřici) na observatoři Praha-Karlovy (obr. 2). Od roku 1921 zde byly nárazy měřeny Dinesovým anemografem. V roce 1960 byl tento přístroj nahrazen anemografem Metra a od 30. října 1964 jeho citlivější verzí. K další záměně tímž typem přístroje došlo v roce 1996. Všechny tyto změny jsou dobře patrné ve skokových změnách obou charakteristik. Jejich smysluplná homogenizace se však s ohledem na velkou časovou a prostorovou variabilitu těchto charakteristik jeví jako problematičtější.

Dokladem prostorové variability extrémů může být výskyt N-letých vod v různých částech daného vodního toku, jak lze dokumentovat na příkladu tří stanic na řece Moravě (obr. 3). Zatímco katastrofální povodeň z července 1997 jako výsledek mimořádných srážek byla více než stoletá v horní a střední části toku (Moravičany, Kroměříž), v dolní části toku (Moravský Ján) byla jen pětiletá. Naopak stoletá povodeň na dolní Moravě z března 1941 po náhlém tání sněhu byla ve střední části toku reflektovaná jako dvacetiletá a v horní části toku jako pětiletá.

Řady meteorologických extrémů a povodní pokrývají zpravidla kratší časové intervaly z období systematických pozorování daného prvku nebo jevu. Písemné dokumentární záznamy (kroniky, paměti, deníky, ekonomické záznamy aj.) umožňují rozšíření takovýchto řad do minulosti. Přitom je však třeba brát v úvahu jistá omezení historicko-klimatologických údajů. Patří k nim zejména jejich prostorová a časová diskontinuita, subjektivní kvalitativní popis událostí a převažující orientace na extrémy, které měly významné dopady v podobě materiálních škod nebo ztrát lidských životů (Brázdil 2000b).

Takto získané řady meteorologických extrémů mohou být předmětem další analýzy se zřetelem na jejich frekvenci, sezonalitu, intenzitu a dopady. Statistické zpracování takovýchto řad vyžaduje i speciální metody analýzy (viz např. Solow 1999). Z praktického hlediska je užitečné stanovit průměrnou periodu opakování extrému dané intenzity, tedy N-letost jeho výskytu. Tato charakteristika je tradičně využívána např. při hodnocení kulminačních průtoků při povodních, ale i při hodnocení extrémních denních či měsíčních srážek (viz např. Šamaj et al. 1995; Hostýnek et al. 1999). S ohledem na tyto hodnoty lze pak např. modelovat rozsah zaplaveného území při N-leté vodě (Hrnčíř, Ingeduldová 1997) a v návaznosti na to budovat ochranné systémy různých objektů před povodněmi.

3. Kolísání vybraných meteorologických extrémů a povodní na území Č4. R

V podmínkách ČR lze za nejvýznamnější meteorologické extrémy považovat zejména teplé a studené vlny, časné a pozdní mrazy, extrémně vydatné srážky a sucha, námrazu, ledovku a náledí, velké množství sněhu, vichřice a konvektivní jevy (silné bouřky, blesky, krupobíjí). V

následující kapitole jsou však s ohledem na omezený rozsah tohoto článku zpracovány pouze ty extrémy, které byly v posledních letech předmětem klimatologických výzkumů na katedře geografie Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, doplněné o povodně.

K zasazení poznatků o kolísání vybraných meteorologických extrémů do celkového klimatického trendu v ČR je uveden chod průměrných ročních teplot vzduchu na sekulární stanici Praha-Klementinum a ročních úhrnů srážek pro Čechy (obr. 4). Víceméně kontinuální vzestup teplot v Praze od poloviny 19. století do současnosti (viz také Brázdil, Macková 1998; Brázdil et al. 2001b) je v souladu s celkovým trendem globálního oteplování na Zemi (Houghton et al. 2001). Navíc je na této typicky městské stanici zvýrazněn zejména zesilováním tepelného ostrova Prahy (viz Brázdil, Budíková 1999). V souladu s uvedeným vzestupným trendem je také významný nárůst počtu extrémně teplých měsíců a pokles počtu extrémně studených měsíců na této stanici během 20. století (Brázdil et al. 2001a). V případě srážkové řady Čech v ní nejsou na rozdíl od teploty vzduchu patrné významné trendy vzestupu či poklesu srážek (obr. 4). Jsou v ní ale dobře patrné cyklické změny se střídáním relativně vlhčích a sušších let.

4.1 Srážky

Extremita srážek může být hodnocena jednak s ohledem na jejich nadbytek (období vydatných srážek), jednak s ohledem na jejich nedostatek (období sucha), a to na základě denních, několikadenních, měsíčních, sezónních či ročních úhrnů srážek.

3.1.1 Extrémní denní úhrny srážek

Absolutní denní maximum srážek 345,1 mm bylo v ČR naměřeno dne 29. července 1897 na stanici Nová Louka (780 m) v Jizerských horách (téhož dne měla stanice Jizerka v nadmořské výšce 870 m 300,0 mm srážek – tab. 2). Nověji se mezi tyto případy vřadil úhrn 312,0 mm naměřený dne 12. srpna 2002 na Cínovci (882 m) v Krušných horách. Ve 20. století bylo absolutní denní maximum 260,9 mm zaznamenáno dne 6. července 1997 na Studniční hoře (1554 m) v Krkonoších.

Štekl et al. (2001) analyzovali 67 případů, kdy denní úhrn srážek na nejméně jedné stanici na území ČR byl $\geq 150,0$ mm v období 1879-2000 (dále označeno jako „extrémní denní úhrn srážek“ - EDÚS). Zatímco v letech 1880-1959 se vyskytlo alespoň 4-6 dnů s EDÚS za dekádu (v letech 1910-1919 11 dnů), od 60. let 20. století variabilita jejich výskytu významně vzrostla. Tak v 70. a 90. letech bylo zaznamenáno vždy osm takových dnů, zatímco v 60. letech se jednalo o dva dny a v 80. letech o jeden den (obr. 5). Naproti tomu v roce 2002 byl jeden takový den v červenci (dne 15. července po přívalem dešti na Blanensku následovala blesková povodeň, která si vyžádala dvě oběti) a čtyři v srpnu. Stěží tak lze hovořit o významném dlouhodobém trendu četnosti EDÚS ve vztahu ke globálnímu oteplování, i když od roku 1991 se vyskytlo 13 ze všech 72 dosud registrovaných případů (tj. 18,1 %).

Z hlediska počtu vyskytnuvších se dnů s EDÚS v jednom roce byl rok 2002 spolu s rokem 1997 vždy s pěti případy zatím nejextrémnější. Počet těchto dnů v ostatních letech nikdy nepřevýšil tři (obr. 5). Další extrém roku 2002 spočívá v délce třídního nepřerušovaného období s EDÚS od 11. do 13. srpna, stejně jako v roce 1997 (6.-8. července). Oba zmiňované případy vyvolaly na vodních tocích až extrémní povodně. Tedy extrém meteorologický způsobil i extrém hydrologický.

EDÚS vypadávají buď ve formě přívalových nebo trvalých srážek, popř. v jejich kombinaci. Přívalové deště jsou charakterizovány relativně malým prostorovým dosahem, krátkým trváním a velkou intenzitou. Často jsou doprovázeny bouřkou a na rozdíl od trvalých srážek jsou rozloženy nahodile na území ČR. Opakované bouřkové lijáky v určité lokalitě se vyskytují většinou v brázdách nízkého tlaku vzduchu nebo poblíž středů cyklon spojených se studenými nebo zvlňnými studenými frontami.

Pokud jde o vydatné srážky trvalého charakteru, patří k nim kolem 2/3 všech zaznamenaných případů EDÚS. Ovlivňují větší území, jsou delšího trvání, ale menší intenzity. Převážně jsou spojeny s postupem teplotně asymetrických cyklon z oblasti Středozemního moře (např. Brázdil, Štekl 1986; Hanslian et al. 2000; Štekl et al. 2001). V případě denních úhrnů nad 200 mm jde zpravidla o cyklony, které zpomalily svůj postup nebo se přímo zastavily (většinou nad územím jižního Polska), popř. v izolovaných případech se pohybovaly retrogradně.

Ze synopticko-klimatologického hlediska jsou případy EDÚS z více než 90 % spojeny se situací brázdy nízkého tlaku vzduchu a centrální cyklony nad střední Evropou a situacemi charakterizovanými cyklonou východně, severovýchodně a severozápadně od území ČR. Území ČR postižené trvalým deštěm zůstává v těchto případech na chladné zadní straně cyklon, které častěji ovlivňují východnější části ČR. V důsledku návětrných efektů, kdy při zemi proudí vzduch převážně ze severního kvadrantu, je patrný vzestup srážek zejména v severním a severovýchodním pohraničí ČR, především v Jizerských horách, Krkonoších. Moravskoslezských Beskydech a Hrubém Jeseníku, kde denní úhrn ≥ 150 mm odpovídá 20-50-leté periodě opakování. V menší míře to platí i o Krušných horách a o Šumavě, k čemuž došlo právě u dvou extrémních srážkových epizod v srpnu roku 2002. Mimo horské oblasti ČR jsou EDÚS poměrně izolované, protože překročení denního úhrnu 150 mm odpovídá 200 a víceleté N-letosti (Šamaj et al. 1985). Takovýto úhrn je pak v naprosté většině případů spojen s bouřkovými lijáky.

3.1.2 Sucha

Suchá období působí v ČR problémy hlavně v zemědělství, ale i ve vodním hospodářství a v lesnictví (Červený a kol. 1984). Tak v teplotně extrémním roce 2000 velká sucha a horka od dubna do června (obr. 6) zapříčinila neúrodu obilovin zvláště na jižní Moravě, přičemž ztráty kompenzované zemědělci ze státního rozpočtu dosáhly asi 5 miliard Kč. Např. u jarní pšenice, která je zvláště citlivá na srážky v uvedeném období, poklesl průměrný hektarový výnos z 3,9 t.ha⁻¹ v roce 1999 na 2,81 t.ha⁻¹ v následujícím roce. V Čechách sucho pokračovalo ještě od srpna do konce roku. V případě lesních porostů byly značné škody suchem způsobeny již v letech 1992-1994 (Brázdil 1998a). Podle Brázdila a Štekla (1986) souvisejí extrémně nízké měsíční úhrny srážek na území ČR s izolovanými, v mnoha případech blokujícími anticyklonami nebo protaženými hřebeny vysokého tlaku vzduchu, jejichž středy popř. osy neleží dále než asi 1500 km od středu ČR. Pokud nejde o centrální části anticyklon, pro výskyt sucha je důležitý směr proudění, způsobujícího advekci relativně suchého vzduchu.

4.2 Povodně

V ČR lze v podstatě rozlišit tři hlavní typy povodní podle následujících meteorologických příčin (Kakos 1978):

krátké intenzivní srážky (lijáky, průtrže mračen)

Vyskytují se výhradně v letním období v lokálním měřítku a mají často katastrofální lokální důsledky. Vznikají v oblasti studených a zvlněných studených front. Při náhlém plošném odtoku srážkové vody způsobují tzv. bleskové povodně.

vydatné trvalé srážky

Jde o srážky frontálního původu většího plošného rozsahu, trvající řádově desítky hodin. Tyto deště jsou způsobeny přechodem jedné nebo více výraznějších a plošně rozsáhlejších cyklon během několika po sobě následujících dní přes střední Evropu. Pro vznik těchto převážně letních povodní je rozhodující množství srážek, často orograficky zesílených, a stupeň nasycenosti povodí.

tání sněhové pokrývky

Povodně z tání sněhu závisejí hlavně na množství a vodní hodnotě sněhové pokrývky, stavu půdy, intenzitě oteplení a ledových jevech na řekách. Efekt tání bývá většinou zesilován vypadávajícími srážkami a vyšší rychlostí větru při kladných teplotách. K povodním dochází také při chodu ledu a vytváření ledových zácp. Území ČR leží v těchto případech zpravidla v teplé části cyklon postupujících k východu, a to v teplém proudění ze západního sektoru.

Tři popsané typy povodní však mohou vykazovat různé přechodné formy, vyskytující se hlavně v jarních měsících, způsobené kombinací uvedených příčinných a dalších fyzicko-geografických faktorů (např. nasycenost povodí, promrznutí půdy). Vznik katastrofálních povodní je pak vázán na výskyt extrémních, popř. rekordních, hodnot těchto faktorů (Kakos 1978), jak ukázaly právě případy z let 1997 a 2002.

Z klimatologického hlediska je nejzajímavější trend ve výskytu povodní na vodočetných stanicích s nejdelšími pozorovacími řadami, tj. na Vltavě v Praze od roku 1825 a na Labi v Děčíně od roku 1851 (Kakos 1996). Pro Vltavu v Praze byly vybrány případy povodní s kulminačním průtokem alespoň $1090 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá dvouletému průtoku Q_2 (Hydrologické charakteristiky 1996). Také pro Labe v Děčíně byly zpracovány dvouleté a vyšší kulminační průtoky ($Q_2 = 1830 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). V případě obou stanic klesal počet povodní od období 1851-1900 (47 v Praze, 36 v Děčíně) přes léta 1901-1950 (26 resp. 21) k padesátiletí 1951-2000 (14 resp. 16) (tab. 3) (Kakos 2001). U obou těchto řad byla provedena od roku 1954 homogenizace na vliv manipulací vltavské kaskády, která snižuje kulminační průtoky o různé velké hodnoty (Kašpárek, Bušek 1990). Ve skutečnosti byl proto pokles počtu povodní i jejich kulminačních průtoků v posledním padesátiletí ještě větší než bylo právě uvedeno. V Praze se tedy počet povodní zmenšil 3,4krát, v Děčíně 2,3krát. Celkovému vzestupu teploty vzduchu tak odpovídá na těchto tocích výrazný pokles počtu povodní. Ten souvisí zejména s výraznějším úbytkem povodní zimního typu, který byl způsoben hlavně teplejšími zimami a tím menšími zásobami vody ve sněhové pokrývce, popř. i pozdějšími nástupy období trvalejších mrazů s převažujícím sněžením. Např. dříve časté únorové povodně se ve 2. polovině 20. století dokonce vůbec nevyskytly, stejně jako povodně dubnové. Výrazně poklesl také počet březnových povodní a na Vltavě v Praze i lednových.

Ve druhé polovině studovaného období 1851-2000 byly vltavské a labské povodně také méně intenzivní než v jeho první části (obr. 7). Z tohoto kontextu se vymyká povodeň ze srpna 2002, která kulminovala dne 14. srpna na Vltavě v Praze a o dva dny později na Labi v Děčíně (Kubát a kol. 2002). V tomto případě se v Čechách jednalo o druhou povodňovou vlnu (první povodňová vlna po vydatných až extrémních srážkách ve dnech 6.-7. srpna

zejména v jižních Čechách se projevila hlavně na tocích v jižní a západní části Čech 2- až 10-letými vodami). Její příčinou byly mimořádně vydatné trvalé srážky ve dnech 11.-13. srpna, doprovázené dne 12. srpna v některých místech extrémními bouřkovými lijáky. Právě tyto dvě extrémní srážkové epizody v průběhu pouhých 8 dnů (6.-13. srpna), jdoucí krátce po sobě jen s malým přerušením srážkové činnosti, nemají v celé studované řadě EDÚS od roku 1879 (Štekl et al. 2001) zdaleka obdoby. Srážky souvisely s tlakovou níží, která začala dne 10. srpna postupovat se svým frontálním systémem z Itálie k severu. Během 11. srpna postoupila nad území ČR a následující den se zvolna přesunovala nad Polsko. Dne 13. srpna začala srážková činnost od jihozápadu slábnout a 14. srpna ustala. V důsledku předchozí mimořádné nasycenosti povodí a stále ještě plných koryt řek došlo k velmi rychlému novému vzestupu hladin, kdy v celé řadě profilů byly zaznamenány historicky nejvyšší vodní stavy a průtoky. Odhadnutý kulminační průtok $5300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na Vltavě v Praze, odpovídající předběžně snad 500-leté vodě, výrazně přesáhl hodnoty průtoků dalších známých stoletých povodní z 19. století, a to z 29. března 1845 ($4500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – blíže viz Kakos, Kulasová 1995), 4. září 1890 ($3980 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – blíže viz Kakos, Kulasová 1990) a 2. února 1862 ($3850 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), ale i z 28. února 1784 (odhadnutý průtok $4580 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Na Labi v Děčíně však srpnová povodeň nedosáhla kulminačního průtoku povodně z 30. března 1845 (odhad $5600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), ale předčila další stoletou vodu z 3. února 1862 ($4820 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Chronologii vltavských a labských povodní lze rozšířit do minulosti na základě historických zpráv (Kotyza et al. 1995; Brázdil 1998b; Brázdil et al. 1999). V Praze byla úroveň povodní hodnocena podle sochy tzv. Bradáče, umístěné původně na pilíři bývalého Juditina mostu, později přenesené na nábrežní zeď mezi zbytek pilíře z tohoto mostu a Staroměstskou mosteckou věž (dnes je na tomto místě kopie, originál je deponován v Muzeu hlavního města Prahy). Podle nivelace mají ústa tohoto Bradáče nadmořskou výšku 188,44 m (Novotný 1963). Na Labi jsou dochovány nejstarší značky velkých vod na zámecké skále v Děčíně. S ohledem na historické povodně je třeba uvést zejména případ z 30.-31. července 1432 (všechna data jsou přepočítána na současný gregoriánský kalendář), považovaný dosud za největší povodeň posledního tisíciletí v ČR. Podle pramenů citovaných v práci Brázdila a Kotyzy (1995) vltavská voda po dešti trvajícím 4 dny a tři noci zaplavila v Praze Staré Město a nižší části Malé Strany, takže se mohlo jezdit jen na loďkách. Byly sebrány mlýny na Vltavě, zničeno mnoho domů, utopeni lidé a dobytek, zaplavena pole atd. Kamenný Juditin most v Praze byl na 5 místech probořen. Historické prameny hovoří explicitně i o povodni v Berouně a v celém povodí Labe, stejně jako o rozliti řek na Moravě, v Rakousku a Uhrách. Porovnání této povodně s pětisetletou povodní ze srpna 2002 v Praze je ale obtížné, neboť díky povodňovým zábranám nedošlo v Praze tentokrát k zaplavení Starého Města, i když jiné části města byly výrazně postiženy. Přitom je třeba brát v úvahu odlišnou situaci při obou událostech jak v povodí Vltavy, tak i v samotné Praze (využití ploch, míra zalesnění, šířka a hloubka koryta Vltavy, vodní díla, možnosti rozlivů aj.). Otevřenou otázkou zůstává, zda s oběma povodněmi není srovnatelný také případ povodně ze září 1118, zmiňovaný kronikářem Kosmasem (Brethoz 1923), podle něhož nebyla taková povodeň od potopy světa a voda sahala 10 loktů (tj. asi 6 m) nad úroveň dřevěného mostu přes Vltavu (předchůdce kamenného Juditina a poté Karlova mostu). Značka této povodně na zámecké skále v Děčíně, o níž se zmiňuje ještě Krolmus v roce 1845 a měla sahat nejvýše ze všech zaznamenaných povodní (Krolmus 1845), je dnes prakticky nečitelná. Otázkou je ale její věrohodnost, neboť byla nepochybně vytesána až v novější době (Kotyza 2002). Při podrobné registraci všech povodňových značek na dolním Labi v 60. letech 20. století (Značky velkých vod na Labi 1966) již značka k roku 1118 uvedena nebyla. Nejvýše sahá na děčínské skále značka velké vody z března roku 1845 se zaměřenou výškou 133,00 m nad mořem. Za ní následují v sestupném pořadí povodně z let 1432, 1805, 1862, 1784, 1655, 1890 a další.

Za jisté kalendářní analogony katastrofální srpnové povodně roku 2002 lze ovšem také považovat velké historické povodně ze srpna 1501 a srpna 1598, doložené celou řadou narativních pramenů (Brázdil et al. 2002). V prvním případě následovala povodeň po vydatných srážkách od 23. do 27. srpna 1501, kterými došlo i k protržení mnoha rybníků. Např. v Praze voda vystoupila 2 lokte (tj. asi 1,2 m) nad Bradáče a sahala k prahu kostela sv. Jiljí, dále ke kostelu sv. Mikuláše a zatopila Staré Město. Mnoho vesnic bylo zaplaveno také na Litoměřicku, analogicky jako v srpnu 2002. Tato povodeň měla podle Starých letopisů českých postihnout vedle Čech i Moravu, Německo a Uhry. Jen o něco menší povodeň (1 a půl lokte nad Bradáčem, tj. asi 0,9 m) nastala v Praze po dvoudenních vydatných deštích a protržení rybníků také 17. srpna 1598, přičemž došlo opět i k rozvodnění Labe. V tomto roce se jednalo již o druhou povodeň, následující po velké březnové povodni z tání sněhu (viz také Munzar, 1998).

4.3 Silné větry

Případy výskytu silných větrů lze v ČR dávat do souvislosti jednak s konvektivními bouřemi, jednak s vichřicemi dostavujícími se při výrazných horizontálních tlakových gradientech. Občas si vyžádají i lidské oběti (např. při vichřici v noci z 21. na 22. srpna 2000 bylo v kempu u Chlumce nad Cidlinou usmrceno padajícím stromem devítileté dítě ve stanu) a často způsobují velké škody, a to zejména na lesních porostech (viz např. Brázdil 1998a; Nekovář, Valter 1998).

Silné větry první skupiny souvisejí s vývojem bouřkových oblaků druhu cumulonimbus. To podmiňuje jejich relativně krátké trvání (obvykle do desítek minut), nejčastější výskyt v teplém půlroce a lokálně omezené škody. Obvykle mají podobu tornáda nebo downburstu (tj. „propadu studeného vzduchu“ – Sobíšek 1993). Tornáda jsou známa především z USA pro jejich ničivý účinek, který lze charakterizovat např. podle šestidílné Fujitovy stupnice (Fujita 1973; Šálek et al. 2002). Výskyt tornád v Evropě nebo v ČR však není ničím neobvyklým (např. Pühringer 1973; Munzar 1995; Paul 1999; Šálek 2001), i když jejich ničivé účinky jsou zde podstatně slabší (Dessens, Snow 1993). Dokladem toho může být nejstarší známý popis tornáda na pražském Vyšehradě ze dne 5. srpna 1119 od kanovníka Kosmy (Bretholz 1923): *„Léta od narození Páně 1119. Dne 30. července ve středu, když se již den chýlil k večeru, prudký vichr, ba sám satan v podobě víru, udeřiv náhle od jižní strany na knížecí palác na Vyšehradě, vyvrátil od základů starou a tedy velmi pevnou zeď, a tak - což jest ještě podivnější zjev - kdežto obojí strana, přední i zadní, zůstala celá a neotřesená, střed paláce byl až k zemi vyvrácen a rychleji, než by člověk přelomil klas, náraz větru polámal hořejší i dolejší trámy i s domem samým na kousky a rozházel je. Tato vichřice byla tak silná, že kdekoli zuřila, v naší zemi svou prudkostí vyvrátila lesy, štěpy a vůbec vše, co jí stálo v cestě.“*

Pokud jde o downburst, jedná se o prudké zesílení sestupného proudu vzduchu spojeného s konvektivní bouří, které vyvolává při zemi silný a nárazovitý vítr a je zpravidla doprovázeno silnými přívalovými srážkami či krupobitím s dobou trvání obvykle v desítkách minut (Šálek et al. 2002). Podle rozsahu horizontálního působení škodlivého větru se rozlišuje macroburst (více než 4 km) a microburst (do 4 km) (Fujita 1985). Microburst, mající charakter obří „kapky“ vzduchu výrazně chladnějšího vůči svému okolí, může na zemském povrchu způsobit škody obdobné tornádům (Šálek et al. 2002). Systematická pozornost věnovaná těmto jevům v ČR v posledních letech pracovníky ČHMÚ se projevila enormním nárůstem počtu registrovaných případů v porovnání s předchozími léty (viz <http://www.chmi.cz/torn/>). Tak např. jen dne 20. července 2001 byla při silných bouřkách pozorována na Moravě tři tornáda: jižně od Brna, mezi Prostějovem a Čechami pod Kosířem a severně od Velké

Bystřice na Olomoucku. Bylo při nich vyvráceno a polámáno mnoho stromů a poškozeny četné střechy (Šálek et al. 2002).

Vichřice, trvající několik hodin nebo dnů a ovlivňující větší oblasti, jsou spojeny s výraznými horizontálními tlakovými gradienty. Podle Štekla (1997) jsou extrémně velké rychlosti větru při proudění ze směrů 10-80° v ČR spíše výjimkou. Je-li směr proudění mezi 190-360°, souvisí vichřice v 93 % případů s výškovou frontální zónou. Ve více než polovině případů se jedná o hluboké cyklony, rychle postupující přes Severní moře, Dánsko a Baltské moře. Největší nárazy větru se vyskytují většinou při přechodech s nimi spojených studených front. Pro extrémně vysoké rychlosti větru ze směrů 90-180°, trvající více než 2-3 dny, je typický velký tlakový gradient mezi koherentními tlakovými útvary – cyklonou nad Severním mořem, západní nebo střední Francií a anticyklonou nad východní nebo severovýchodní Evropou (menší vliv front), popř. významný tlakový gradient na zadní části anticyklony se středem nad Ukrajinou (bez vlivu front). Pro zesílení rychlosti větru je často příznivá i deformace pole proudění v Alpách a na dalších horských překážkách v Evropě.

Brázdil a Dobrovolný (2000, 2001) publikovali poznatky ze studia silných větrů v ČR s použitím dokumentárních údajů od 16. století. Obr. 8 ukazuje dekádové četnosti těchto větrů, a to i z pohledu způsobených škod. Maxima četností silných větrů jsou patrné na přelomu 15. a 16. století, v první polovině 19. století a přibližně mezi léty 1900-1940. Významný vzestup četností po roce 1900 souvisí se systematickým zpracováním novinových zpráv, zatímco do té doby byly použity údaje z tradičních historicko-klimatologických pramenů. Významně nižší počet případů silných větrů zaznamenaných ve 40. letech má příčinu v událostech 2. světové války a v 50. letech v politickém fanatismu souvisejícím s nástupem komunistické strany k moci, kdy zprávy o meteorologických událostech z novin úplně vymizely.

Na základě historicko-klimatologických zpráv lze sestavit nejen chronologii silných větrů, ale také studovat „vichřice století“ (jejich výčet viz Brázdil, Dobrovolný 2001). Mezi nimi zaujímá významné místo případ z 20.-21. prosince 1740, kdy vichřice, která začala v odpoledních hodinách v Čechách, postihla také Moravu a Slezsko (obr. 9), ale je zmiňována i ve Francii, Německu a Rakousku. Jednalo se nepochybně o jeden z případů intenzivního proudění ze směru 190-360°, charakterizovaným ze synoptického hlediska výše popsány typy. Vichřice způsobila obrovské škody na budovách a na stromech v zahradách a lesích. Např. jen na Poděbradsku bylo vyvráceno v panských lesích 5877 stromů (Hellich 1927). Výmluvný je zápis o této události z písemností nalezených v kopuli kostela sv. Michala v Olomouci (Roubic 1993): *„Roku 1740 povstala dne 20. prosince večer kolem 8. hodiny strašná větrná smršť, která trvala do 4. hodiny ráno a řádila téměř po celém Německu. Poškodila všechny budovy ve městě, rozbila všechna okna, strhla střechy a odnesla je o čtvrt míle dále [tj. asi o 2,8 km]; strhla také dolů prostřední kupoli s knoflíkem a křížem, takže konvent věřil, že se tyto škody nebudou již opakovat.“*

5. Dopady meteorologických extrémů a povodní

Na dopady meteorologických extrémů a povodní je třeba pohlížet jako na výsledek vzájemné interakce meteorologických faktorů (tj. příčin extrémů), charakteru přírodního prostředí (tj. prostoru výskytu extrémů) a lidské společnosti (např. hospodářské aktivity, využití půd, varovný systém, záchranné práce). Je zřejmé, že v závislosti na environmentálních a ekonomicko-sociálních změnách budou následky extrémů časově velmi proměnlivé. Tak např. zatímco v letech 1900-1950 se podílely meteorologické faktory na nahodilé těžbě dřeva

v ČR 43,8 %, v letech 1963-1999 to bylo již ze 75 % (vítr 46,4 %, sníh 11,5 %, sucho 7,2 %, znečištění ovzduší 7,0 % a námraza 3,0 %) (Brázdil 1998a, 2000a). Často se konstatuje, že i při přirozeném výskytu meteorologických extrémů bez ohledu na kolísání klimatu by docházelo díky složité infrastruktuře lidské společnosti k růstu materiálních škod.

Při hodnocení impaktů je třeba brát v úvahu rovněž fakt, že v některých případech dochází ke kombinaci vlivu různých extrémů, což je typické v případě konvektivních bouří, kdy se mohou současně vyskytnout škody úderem blesků, silným větrem, krupobitím či lijákem. Stejně tak např. účinky sucha mohou být zesilovány extrémně vysokými teplotami. Např. extrémní srážkový deficit ve vegetačním období roku 1947 (duben až září) v Čechách byl doprovázen rovněž extrémně vysokými teplotami vzduchu, což vyvolalo katastrofální sucho, největší ve 20. století (Kakos 1979; Červený a kol. 1984). Přitom jen některé meteorologické jevy mají významné dopady v podobě materiálních škod a lidských obětí. Podle analýzy provedené pro jižní Moravu v letech 1957-1995 to platí např. pro 6 % všech bouřek a 23 % všech krupobití (Brázdil et al. 1998), což odpovídá také poznatkům z USA (Changnon 1997).

Ukazuje se, že velké meteorologické extrémy a povodně mají i dnes závažné dopady v mnoha oblastech lidské činnosti jako např. ve státní správě, územním plánování, vodním hospodářství, zemědělství, lesnictví atd. V podmínkách ČR není zatím dostatečně doceněn význam informací o těchto extrémech v pojišťovnictví. Jde o zcela opačnou situaci, než panuje v této oblasti v jiných zemích, zejména pak v USA (viz např. Changnon et al. 1997, 1999; Changnon 1999; Nutter 1999). Relativně dlouhá období bez výraznějších katastrof (např. jen lokálního rozsahu) vedou k oslabení aktivit směřujících k organizaci záchranných prací. To se projevilo např. v nepřípravenosti odpovědných institucí při „povodni 20. století“ v červenci 1997 na Moravě a ve Slezsku, která přišla po dlouhém období relativního klidu (viz obr. 3), kdy zejména v počáteční fázi záchranné práce trpěly momentem překvapení a z toho plynoucí chaotičností. Na druhé straně by takovéto události měly být impulsem pro propracování záchranného systému, takže katastrofy, které se objeví následně, jsou zvládány zpravidla podstatně lépe. I když na vyhodnocení situace při katastrofální povodni v srpnu 2002 si budeme muset ještě počkat, zdá se, že v některých směrech si odpovědné orgány a instituce vzaly jen částečné poučení z povodní na Moravě v roce 1997, i když mnohé impulsy ke zlepšení situace, včetně otázky řešení povodňové ochrany Prahy, se objevily již krátce poté a v následujících letech (např. Hrnčír, Ingeduldová 1997; Kovář 1997a, 1997b; Kubát 1997; Punčochář 1998; Cabrnach 2000; Hladný 2001; Punčochář, Pokorný 2001). Dne 19. dubna 2000 schválila vláda dokonce dokument „Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR“. V letech 1997-2000 byl navíc řešen rozsáhlý projekt Ministerstva životního prostředí ČR „Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní“ (2001).

Opatření směřující ke snížení negativních dopadů meteorologických extrémů a povodní lze obecně shrnout do následujících oblastí:

a) klimatologická

Cílem je poznat časovou a prostorovou variabilitu extrémů, jejich intenzitu, sezonalitu, N-letost a dopady. Regionalizace extrémů umožňuje vytipovat oblasti, které jsou náchylnější k jejich výskytu popř. k výskytu určitého typu extrému.

b) meteorologická

Klíčovou otázkou je možnost dalšího druhového, prostorového a časového zkvalitňování předpovědí. Např. v případě povodní letního typu jde zejména o kvantitativní předpověď srážek, u povodní z tání sněhu navíc i teplot vzduchu a rychlosti větru v různých nadmořských výškách.

společensko-sociální

Do této oblasti patří široký komplex problémů rozhodovacího, řídicího a organizačního charakteru, které zahrnují aktivity před, během a po výskytu daného extrému. V období před výskytem extrému jde o všestrannou přípravu a kontrolu připravenosti odpovídajících řídicích a záchranných složek popř. o jejich včasnou aktivaci v případě nebezpečí (např. vyhlášení tří stupňů povodňové aktivity). Sem patří i činnosti, které směřují k přímému snížení potenciálních dopadů extrémů jako je např. budování ochranných systémů, rozumné plánování prostorových aktivit (tj. např. racionální využívání údolních niv), osvěta mezi obyvatelstvem s výchovou k individuální zodpovědnosti (např. pojištění majetku proti meteorologickým extrémům), příprava varovného systému atd. V době nástupu extrému již jde o organizaci záchranných prací směřující k ochraně lidských životů (např. evakuace obyvatelstva) a minimalizaci přímých materiálních ztrát. Neprofesionální přístup na všech stupních řízení může mít v této fázi za následek znásobení potenciálních škod popř. ztráty na lidských životech. Po skončení extrému je třeba zpravidla na úrovni státní správy a samosprávy usilovat o likvidaci škod, pomoc postiženým a o nastolení normálního fungování lidské komunity v postižené oblasti. Významnou roli v této době může sehrát solidarita s poškozenými.

5. Závěr

Dosavadní poznatky ze studia meteorologických extrémů a povodní a jejich dopadů v ČR lze shrnout do následujících bodů:

Meteorologické extrémy a povodně jako projev přirozené variability atmosférických procesů jsou nedílnou součástí vývoje přírodního prostředí na Zemi. Jejich četnost, intenzita a dopady se mění v prostoru a čase, přičemž dopady jsou významně ovlivněny interakcí s lidskou společností.

Pokračování antropogenně podmíněného procesu globálního oteplování může výrazně ovlivnit změny ve výskytu, intenzitě a dopadech meteorologických extrémů a povodní. I relativně malé pozvolné změny v průměrné hodnotě meteorologických prvků se mohou projevit ve větší variabilitě klimatu a nárůstu extrémů (Katz, Brown 1992; Houghton et al. 2001). Poznatky o vývojových trendech extrémů v ČR však nejsou zatím jednoznačné. Významný je nárůst počtu extrémně teplých a úbytek extrémně studených měsíců ve 20. století. Od poloviny 19. století do konce 20. století klesal počet velkých labských a vltavských povodní. S výjimkou katastrofální povodně ze srpna 2002 však nejvýznamnější povodně na obou tocích připadly již na 19. století. Od 90. let ale došlo patrně k nárůstu přívalových srážek a častějším bleskovým povodním, což bude ale třeba teprve prokázat systematickým výzkumem.

Studium vztahu „globální oteplování – meteorologické extrémy“ vyžaduje další zkvalitnění existující datové základny zejména se zřetelem na homogenitu a délku řad. Existující řady z období pravidelných pozorování je třeba rozšířit o údaje z historicko-klimatologického výzkumu. Systematickou pozornost je třeba věnovat dopadům

meteorologických extrémů a povodní, kde je široký prostor pro uplatnění geografických metod výzkumu.

Je třeba vytvářet a zdokonalovat efektivní mechanismy k ochraně obyvatelstva a majetku před meteorologickými extrémami a povodněmi a k minimalizaci případných škod na úrovni orgánů státní správy a samosprávy. Jde o opatření předcházející výskytu extrémů (např. technická opatření, změny ve využívání krajiny), organizaci činností v době výskytu extrémů a následnou likvidaci přímých a nepřímých škod.

Společnost a její subjekty musí být vědomě připravovány na činnosti související s průběhem extrémů a následné období likvidace škod, stejně jako na realizaci preventivních opatření směřujících k minimalizaci škod (např. omezení aktivit v údolních nivách). Důležitá je osvěta k uvědomělé činnosti jednotlivce během extrémů (např. připravenost na evakuaci z ohrožených oblastí) a jeho podílu na zmírnění případných škodlivých dopadů (např. pojištění proti živelným pohromám).

Poděkování: Příspěvek byl vypracován díky finanční podpoře Grantové agentury ČR pro řešení grantu č. 205/01/1067. Za cenné doplňky a připomínky k textu patří dík především RNDr. Vilibaldu Kakosovi (Praha), PhDr. Oldřichu Kotyzovi (Okresní vlastivědné muzeum Litoměřice) a RNDr. Ivanu Sládkovi, CSc. (Přírodovědecká fakulta UK Praha), za poskytnutí dat o srážkách RNDr. Radimu Tolaszovi (ČHMÚ Ostrava), za přípravu obrázků RNDr. Petru Dobrovolnému, CSc. a Mgr. Jarmile Mackové (Masarykova univerzita Brno).

Literatura:

Brázdil, R. (1998a): 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. Springer, Berlin, Heidelberg, s. 19-47.

Brázdil, R. (1998b): The history of floods on the rivers Elbe and Vltava in Bohemia. Erfurter Geographische Studien, č. 7, s. 93-108.

Brázdil, R. (2000a): Climate fluctuations and meteorological extremes in the Czech Lands since the 16th century. In: Proceedings of International Symposium on Climate Change and Variability, and their Impacts. Konkuk University, Seoul, s. 21-30.

Brázdil, R. (2000b): Historical climatology: definition, data, methods, results. Geografický časopis, 52, č. 2, s. 99-121.

Brázdil, R., Budíková, M. (1999): An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, the Czech Republic. Atmospheric Environment, 33, č. 24-25, s. 4211-4217.

Brázdil, R., Bukáček, M. (2000): Chronology of floods in the catchment area of the river Morava (the Czech Republic) since the 16th century. In: Mikami, T., ed.: Proceedings of the International Conference on Climate Change and Variability – Past, Present and Future. Tokyo Metropolitan University, Tokyo, s. 139-144.

Brázdil, R., Dobrovolný, P. (2000): Chronology of strong wind events in the Czech Lands during the 16th-19th centuries. Instytut Geografii UJ, Prace Geograficzne, č. 107, s. 65-70.

Brázdil, R., Dobrovolný, P. (2001): History of strong winds in the Czech Lands: causes, fluctuations, impacts. *Geographia Polonica*, 74, č. 2, s. 11-27.

Brázdil, R., Glaser, R., Pfister, C., Dobrovolný, P., Antoine, J.-M., Barriendos, M., Camuffo, D., Deutsch, M., Enzi, S., Guidoboni, E., Kotyza, O., Rodrigo, F. S. (1999): Flood events of selected European rivers in the sixteenth century. *Climatic Change*, 43, č. 1, s. 239-285.

Brázdil, R., Kakos, V., Kotyza, O., Valášek, H., Štekl, J. (2002): History of Weather and Climate in the Czech Lands VI. Floods. Rukopis, Brno, nestr.

Brázdil, R., Kotyza, O. (1995): History of Weather and Climate in the Czech Lands I. Period 1000-1500. *Zürcher Geographische Schriften*, Zürich, 260 s.

Brázdil, R., Macková, J. (1998): Řada průměrných ročních teplot vzduchu pro Českou republiku v období 1828-1995. *Meteorologické zprávy*, 51, č. 1, s. 17-21.

Brázdil, R., Písek, J., Luterbacher, J., Tolasz, R., Květoň, V. (2001a): Fluctuations of extremely cold and warm months in the Czech Republic during the period of instrumental records and their relation to the atmospheric circulation. In: *Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Meteorologen-Tagung. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Wien, č. 27, CD-ROM.

Brázdil, R., Štekl, J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 298 s.

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.

Brázdil, R., Štěpánek, P., Květoň, V. (2001b): Temperature series of the Czech Republic and its relation to Northern Hemisphere temperatures in the period 1961-1999. In: Brunet India, M., López Bonillo, D., eds.: *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, s. 69-80.

Brázdil, R., Štěpánek, P., Vais, T. (1998): Časová a prostorová analýza bouřek, krupobití a extrémních srážek v jižní části Moravy v období 1946-1995. *Meteorologické zprávy*, 51, č. 2, s. 45-52.

BRETHOLZ, B. (1923): *Die Chronik der Böhmen des Cosmas von Prag*. Weidmann, MGH SRG NS II, Berlin, 393 s.

Cabrnoch, J. (2000): Protipovodňová opatření na ochranu hlavního města Prahy. Vodař – Zprávy české vědeckotechnické hospodářské společnosti. Příloha časopisu *Vodní hospodářství*, 50, č. 12, s. II-III.

ČERVENÝ, J. A KOL. (1984): *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 416 s.

Dessens, J., Snow, J. T. (1993): Comparative description of tornadoes in France and the United States. In: Church, C., Burgess, D., Doswell, C., Davies-Jones, R., eds.: The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards. Geophysical Monograph, č. 79, s. 427-434.

Fujita, T. T. (1973): Tornadoes around the world. Weatherwise, 26, s. 56-83.

Fujita, T. T. (1985): The Downburst. Microburst and Macrobust. Reports of Projects NIMROD and JAWS, University of Chicago, 148 s.

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, 53, č. 2, s. 33-41.

Hellich, J. (1927): Zlé povětrí r. 1740 na Poděbradsku. Časopis pro dějiny venkova, 14, č. 1, s. 79-80.

HLADNÝ, J. (2001): Vodohospodářských 50 let aneb ochrana před povodněmi a suchem ve 20. století. Vodní hospodářství, 51, č. 2, s. 43-44.

Hostýnek, J., Lepka, Z., Sosna, V. (1999): Zpracování N-letých ročních a měsíčních maxim denních úhrnů srážek v západních Čechách. Meteorologické zprávy, 52, č. 3, s. 73-77.

Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Xiaosu, D., eds. (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, 944 s.

Hrnčíř, V., Ingeduldová, E. (1997): Povodňový model Prahy. Vodní hospodářství, 47, č. 11, s. 348-350.

Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic České republiky. Český hydrometeorologický ústav, Praha 1996, 134 s.

Changnon, D. (1997): Damaging storms in the United States: selection of quality data and monitoring indices. In: Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes. NCDC, NOAA, Asheville, 24 s.

CHANGNON, S. A. (1999): Factors affecting temporal fluctuations in damaging storm activity in the United States based on insurance loss data. Meteorological Applications, 6, č. 1, s. 1-10.

Changnon, S. A., Fosse, E. R., Lecomte, E. L. (1999): Interactions between the atmospheric sciences and insurers in the United States. Climatic Change, 42, č. 1, s. 51-67.

Changnon, S. A., Changnon, D., Fosse, E. R., Hoganson, D. C., Roth, R. J., Totsch, J. M. (1997): Effects of recent weather extremes on the insurance industry: major implications for atmospheric sciences. Bulletin of the American Meteorological Society, 78, č. 3, s. 425-435.

KAKOS, V. (1978): Hydrometeorologická charakteristika povodní na území ČSR. VTEI, č. 4, s. 127-131.

KAKOS, V. (1979): Sucho v ČSR ve vegetačním období roku 1976. Meteorologické zprávy, 32, č. 4, s. 108-110.

Kakos, V. (1996): Klimatické změny ve vztahu k povodním na Labi v Děčíně. In: Tradice a pokrok v meteorologii. ČHMÚ, Praha, s. 226-233.

Kakos, V. (2001): Přehled povodní na Vltavě v Praze a na Labi v Děčíně v období přístrojových měření. Rukopis.

Kakos, V., Kulasová, J. (1990): Povodeň v září 1890 na Vltavě v Praze. Vodní hospodářství, 40, č. 7, s. 267-273.

Kakos, V., Kulasová, J. (1995): Povodeň v březnu 1845 v povodí českého Labe. In: Povodňová ochrana na Labi. Povodí Labe a. s., Hradec Králové, s. 24-55.

Karl, T. R., Easterling, D. R. (1999): Climate extremes: selected review and future research directions. Climatic Change, 42, č. 1, s. 309-325.

Kašpárek, L., Bušek, M. (1990): Vliv vltavské kaskády na povodňový režim Vltavy v Praze. Vodní hospodářství, 40, č. 7, s. 280-286.

Katz, R. W., Brown, B. G. (1992): Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. Climatic Change, 21, č. 3, s. 289-302.

Kotyza, O. (2002): "Skutkům předků svých zahynouti nedají." Ocenění významu vyprávěcích pramenů severočeské provenience pro výzkum kolísání klimatu v minulosti. In: Česká beseda II – O vyprávěcích pramenech. Příspěvky z konference Katedry pomocných věd historických a archivního studia FF UK v Praze a Katedry historie PedF UJEP v Ústí nad Labem 9. listopadu 2001 v Ústí nad Labem (<http://pf.ujep.cz/~PATKOVA/beseda2/kotyza.htm>).

Kotyza, O., Cvrk, F., Pažourek, V. (1995): Historické povodně na dolním Labi a na Vltavě. Okresní muzeum, Děčín, 169 s.

KOVÁŘ, M. (1997a): Ochrana obyvatelstva, objektů, hmotných statků a životního prostředí před povodněmi. Státní správa a samospráva, 8, č. 15, s. VII-VIII.

KOVÁŘ, M. (1997b): Ochrana Prahy před povodněmi. Státní správa a samospráva, 8, č. 24, s. 28.

KROLMUS, W. (1845): Kronyka čili dějepis všech povodní posloupných let, suchých i mokrých, úrodných i neúrodných na obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v království Českém. Tiskem Karla Wetterla, Praha, 261 s.

Kubát, J. (1997): Předpovídání povodní v České republice. Planeta, 5, č. 11, s. 34-37.

KUBÁT, J. A KOL. (2002): Předběžná souhrnná zpráva o hydrometeorologické situaci při povodni v srpnu 2002. Rukopis. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 22 s.

Měsíční přehled počasí. Leden 2000 – prosinec 2000. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

- Munzar, J. (1995): Atmospheric hazards in the Czech Republic: spouts (tornadoes) as a case study. *Studia Geographica*, č. 98, s. 57-64.
- Munzar, J. (1998): Historické povodně v Čechách a na Moravě na příkladu roku 1598. *Meteorologické zprávy*, 51, č. 6, s. 169-174.
- Münchener Rück (1999): Topics 2000. Natural Catastrophes – the Current Position. Münchener Rück, München, 126 s.
- Nekovář, J., Valter, J. (1998): Vybrané kalamitní polomy a jejich meteorologické vyhodnocení. *Meteorologické zprávy*, 51, č. 4, s. 106-112.
- NOVOTNÝ, J. (1963): Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách. Sborník prací Hydrometeorologického ústavu ČSSR, sv. 2, 116 s.
- Nutter, F. W. (1999): Global climate change: Why U.S. insurers care. *Climatic Change*, 42, č. 1, s. 45-49.
- Paul, F. (1999): An inventory of tornadoes in France. *Weather*, 54, č. 7, s. 217-219.
- Popolanský, F. (1996): Měření námrazy ve Studnicích. *Meteorologické zprávy*, 49, č. 6, s. 182-186.
- PUNČOCHÁŘ, P. (1998): Ekologicky orientovaná ochrana proti povodním – potenciál, možnosti, limity. *Vodní hospodářství*, 48, č. 8, s. 230-231.
- Punčochář, P., Pokorný, D. (2001): Strategie povodňové ochrany v ČR a její naplňování. *Vodní hospodářství*, 51, č. 3, s. 81-83.
- Pühringer, A. (1973): Windhosen in Österreich. *Wetter und Leben*, 25, č. 1, s. 15-22.
- Roubic, A. (1993): Pamětní záznamy v matrikách okresu olomouckého (3. část). *Ročenka Státního okresního archivu v Olomouci*, 1(20), s. 119-225.
- SOBÍŠEK, B., ed. (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 594 s.
- SOLOW, A. R. (1999): On testing for change in extreme events. *Climatic Change*, 42, č. 1, s. 69-87.
- Strategie ochrany před povodněmi pro území ČR. Ministerstvo zemědělství ČR, Agrospoj, Praha 2000, 16 s.
- Šálek, M. (2001): Výskyt tornáda v obci Studnice dne 19. dubna 2000. *Meteorologické zprávy*, 54, č. 1, s. 8-15.
- Šálek, M., Setvák, M., Sulan, J., Vavruška, F. (2002): Významné konvektivní jevy na území České republiky v letech 2000-2001. *Meteorologické zprávy*, 55, č. 1, s. 1-8.

Šamaj, F., Valovič, Š., Brázdil, R. (1985): Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901-1980. Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu, Bratislava, sv. 24, s. 9-112.

Štekl, J. (1997): Meteorologie ve větrné energetice. Větrná energie, 4, č. 1, s. 3-48.

ŠTEKL, J., BRÁZDIL, R., KAKOS, V., JEŽ, J., TOLASZ, R., SOKOL, Z. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny. Národní klimatický program České republiky, Praha, č. 31, 140 s.

Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní. Syntéza výsledků za řešitelské období 1997-2000. Souhrnná závěrečná zpráva grantového projektu MŽP ČR VaV/510/3/97. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha 2001, 38 s.

Značky velkých vod na Labi v úseku od státní hranice u Hřenska po ústí Vltavy. Ředitelství vodních toků v Praze. Správa vodohospodářského rozvoje, Praha 1966, 49 s.

Seznam obrázků:

Obr. 1 – Histogram rozdělení průměrných srpnových teplot vzduchu v Brně v období 1901-1990 a odpovídající normální rozdělení s vyznačením hranic percentilů 10 a 90 % pro různá referenční období: a) 1901-1930, b) 1931-1960, c) 1961-1990 (Brázdil et al. 2001a)

Obr. 2 – Kolísání maximálních měsíčních nárazů větru v m.s^{-1} (a) a ročního počtu dnů s nárazy větru $\geq 17 \text{ m.s}^{-1}$ (b) na stanici Praha-Karlovy v období 1921-2001. Šipky značí roky, v nichž došlo k výměně anemografu

Obr. 3 – Kolísání N-letých ročních kulminačních průtoků na vybraných stanicích v povodí Moravy v období 1917-1997. Šipka značí počátek pozorování v Moravském Jáně. Plné sloupce se vztahují ke květnu až říjnu, prázdné sloupce k listopadu až dubnu (Brázdil, Bukáček 2000)

Obr. 4 – Kolísání průměrných ročních teplot vzduchu na stanici Praha-Klementinum v období 1775-2001 (horizontální čára – dlouhodobý průměr) a anomálií ročních úhrnů srážek v Čechách v období 1876-2001. Shlazeno Gaussovým filtrem pro 10 let

Obr. 5 – Kolísání ročního počtu dnů s úhrnem srážek $\geq 150,0 \text{ mm}$ na území ČR v období 1879-2002

Obr. 6 – Roční chod teploty vzduchu a srážek v Čechách (1) a na Moravě a ve Slezsku (2) v roce 2000 vyjádřený teplotními anomáliemi (a) a srážkovými úhrny v % dlouhodobého normálu (b) (údaje podle Měsíčního přehledu počasí)

Obr. 7 – Chod povodní s alespoň dvouletým kulminačním průtokem na řece Vltavě v Praze a na řece Labi v Děčíně v období přístrojových pozorování (doplňeny údaje podle Kakose 2001)

Obr. 8 – Kolísání dekadových četností výskytu silných větrů v ČR souvisejících s konvektivními bouřkami (a), vichřicemi (b) a případy silného větru se škodami (c) v období 1500-1999. Roky značí vždy první rok odpovídající dekády (doplněno podle Brázdil, Dobrovolný 2001)

Obr. 9 – Přehled charakteru škod způsobených vichřicí dne 20.-21. prosince 1740 na území ČR: 1 – lesní polomy a škody na budovách, 2 – lesní polomy, 3 – škody na budovách, 4 – bez specifikace druhu škod (doplněno podle Brázdil, Dobrovolný 2001)

Tab. 1 – Statistika velkých přírodních katastrof na Zemi (%) v letech 1950-1999 (Münchener Rück 1999). Velkou přírodní katastrofou se rozumí extrém s takovými škodami, že schopnost postižené oblasti pomoci si sama je významně ohrožena a je nezbytná mezioblastní nebo mezinárodní pomoc

Charakteristika	Zemětřesení	Vichřice	Povodně	Ostatní
Počet	29	38	27	6
Oběti	47	45	7	1
Ekonomické ztráty	35	28	30	7
Ztráty pojišťoven	18	70	6	6

Tab. 2 – Nejvyšší denní úhrny srážek ($\geq 200,0$ mm) naměřené na území ČR v období 1879-2002 – doplněno podle Štekla et al. (2001): H – nadmořská výška, * - účelové stanice ČHMÚ v povodí řeky Jizery

Poř.	Úhrn (mm)	Datum	Stanice	H (m)	Oblast
1.	345,1	29.7.1897	Nová Louka	780	Jizerské hory
2.	312,0	12.8.2002	Cínovec	882	Krušné hory
3.	300,0	29.7.1897	Jizerka	970	Jizerské hory
4.	278,0	13.8.2002	Knajpa*	967	Jizerské hory
5.	271,1	13.8.2002	Smědavská hora*	1006	Jizerské hory
6.	266,2	29.7.1897	Pec pod Sněžkou	812	Krkonoše
7.	260,9	6.7.1997	Studniční hora	1554	Krkonoše

8.	240,2	9.7.1903	Nová Červená Voda	310	Hrubý Jeseník
9.	239	29.7.1897	Sněžka	1602	Krkonoše
10.	233,8	6.7.1997	Lysá hora	1324	Moravskoslezské Beskydy
11.	230,2	6.7.1997	Šance	509	Moravskoslezské Beskydy
12.	226,8	12.8.2002	Český Jiřetín – Fláje	740	Krušné hory
13.	226,5	25.7.1960	Řečica	(510)	Moravskoslezské Beskydy
14.	223,4	19.7.1997	Studniční hora	1554	Krkonoše
15.	221,0	9.7.1903	Rejvíz	757	Hrubý Jeseník
16.	220,7	12.8.2002	Klíny	820	Krušné hory
17.	220,5	5.9.1915	Jizerka	970	Jizerské hory
18.	217,8	13.8.2002	Kristiánov*	800	Jizerské hory
19.	217,7	9.7.1903	Šumný potok	559	Hrubý Jeseník
20.	215,3	31.5.1940	Staré Hamry	428	Moravskoslezské Beskydy
21.	215,0	21.8.1972	Nýdek	410	Slezské Beskydy
22.	214,5	27.6.1919	Jizerka	970	Jizerské hory
23.	214,4	9.7.1903	Radhošť	1130	Moravskoslezské Beskydy
24.	214,2	6.7.1997	Rejvíz	757	Hrubý Jeseník
25.	214,0	21.8.1972	Šance	445	Moravskoslezské Beskydy
26.	212	17.7.1882	Labská bouda	1284	Krkonoše
27.	211,7	21.8.1972	Lysá hora	1324	Moravskoslezské Beskydy
28.	210,0	12.8.2002	Petrovice – Krásný Les	600	Krušné hory
29.	209,0	8.7.1927	Adolfov	750	Krušné hory
30.	208,5	25.7.1960	Podolánky	(686)	Moravskoslezské Beskydy
31.	207,3	8.7.1997	Šance	509	Moravskoslezské Beskydy
32.	206,8	8.8.1978	Josefův Důl	600	Jizerské hory
33.	205,7	6.7.1997	Frenštát pod Radhoštěm	408	Moravskoslezské Beskydy
34.	205,6	19.5.1940	Staré Hamry	428	Moravskoslezské Beskydy
35.	204,9	9.8.1930	Radhošť	1130	Moravskoslezské Beskydy
36.	203,6	22.7.1998	Deštné v Orlických horách	635	Orlické hory
37.	202,4	13.8.2002	Černá hora*	981	Jizerské hory
38.	200,0	9.7.1903	Jeseník	625	Hrubý Jeseník

39.	200,0	19.7.1949	Lysá hora	1317	Moravskoslezské Beskydy
40.	200	23.5.1897	Čistá	430	Okr. Semily

Tab. 3 – Měsíční četnosti povodní přesahujících dvouletý kulminační průtok (sestaveno podle údajů Kakose 2001)

Vltava – Praha ($Q_2 = 1090 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), období 1825-2000

Období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1825-1850	3	4	3	0	1	2	1	0	0	0	0	1	15
1851-1900	5	11	10	4	3	2	1	4	3	1	1	2	47
1901-1950	1	8	6	3	2	1	0	1	1	1	0	2	26
1951-2000	1	0	4	0	0	2	3	1	0	0	0	3	14
1825-2000	10	23	23	7	6	7	5	6	4	2	1	8	102

Labe – Děčín ($Q_2 = 1830 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), období 1851-2000

Období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1851-1900	3	8	10	5	2	1	0	2	2	0	2	1	36
1901-1950	3	5	5	3	0	2	0	0	0	1	0	2	21
1951-2000	3	0	5	0	0	1	4	1	0	0	0	2	16
1851-2000	9	13	20	8	2	4	4	3	2	1	2	5	73

Summary

Meteorological extremes and floods in the Czech Republic – the natural trend or an impact of the global warming?

Meteorological extremes and floods in the Czech Republic cause almost every year considerable material damage and losses of human lives. The most tragic balance in the recent period was above all that due to the floods in July 1997 in Moravia and Silesia (52 victims, damage in the value of 62 billion Kč) and in August 2002 in Bohemia (17 victims, estimated damage about 100 billion Kč).

Meteorological extremes are defined either as cases of the occurrence of the value of the meteorological element or phenomenon with a sufficiently small probability, defined from the thresholds of the corresponding theoretical distribution, or as cases of the occurrence of the given element or phenomenon with direct noxious impacts on the environment and society. Problems of underlying data are discussed, above all from the view of the choice of characteristics of extremes, the determination of thresholds from different reference periods (Fig. 1), the homogeneity of series about extremes (Fig. 2) and spatial variability of extremes (Fig. 3). The importance of historical and climatological data is stressed for the extension of information about meteorological extremes and floods before the beginning of systematic observations.

In accord with the global warming a rising temperature trend also appears in the territory of the Czech Republic, the frequency of extremely warm months increasing during the 20th century and the frequency of extreme cold months dropping. The fluctuation of annual precipitation, on the other hand, has a rather cyclical character (Fig. 4). The objective of a more detailed analysis was the fluctuation of extreme daily precipitation with the total ≥ 150.0 mm in the period 1879-2002 (Table 2, Fig. 5) and drought in 2000 (Fig. 6) with the damage on agricultural crops in the value of 5 billion Kč. In the case of floods, since the latter half of the 19th century the drop in the number and intensity of the Vltava floods at Prague and the Elbe floods at Děčín has been observed (Table 3). That is put above all with decrease of floods of the winter type in February to April, conditioned by warmer winters and the later onset of frosts and lower reserves of water in the snow cover. The flood of August 2002 in Prague, estimated as a 500-year flood, surpassed markedly the level of the 19th century hundred-year floods (March 1845, February 1862, September 1890), whereas on the Elbe at Děčín it did not reach the discharge rate of March 1845 (Fig. 7). The August flood is compared to the extraordinary flood of July 1432 and with possible calendar analogues of August 1501 and August 1598. Since the 1990s there have been evidently an increase in spate precipitation and more frequent flash floods in the Czech Republic. In the case of strong winds their 500-year chronology is presented (Fig. 8), suffering by unequal data density in different periods. The potential of documentary data for the study of historical extremes is shown on the example of a destructive "gale of the century" of 20-21 December 1740 (Fig. 9).

Results of the analysis of selected extremes show on differences of the observed trends in relation to the process of global warming which should cause, according to the present ideas, an increase of frequency and intensity of many extremes.

The impacts of meteorological extremes and floods are the result of the interaction of meteorological factors, the character of the natural environment and the human society, which conditions their great temporal and spatial variability. The measures pertaining at the protection of the population and the minimalization of material damage put heavy demands on the activity of the bodies of state and local administration, but also the conscious activity of the individual both at the time of quiet and at the time of the occurrence of the extreme, but also afterwards.

Fig. 1 – The empirical distribution (columns) of mean August air temperatures at Brno for the period 1901-1990 in comparison with normal distributions calculated for the reference periods: a) 1901-1930, b) 1931-1960, c) 1961-1990. Arrows mark limits of 10% and 90% percentiles (Brázdil et al. 2001a)

Fig. 2 – Fluctuations of maximum monthly wind gusts (m.s^{-1}) (a) and annual number of days with wind gusts $\geq 17 \text{ m.s}^{-1}$ (b) at the station Prague-Karlovy in the period 1921-2001. Arrows mark the years in which the anemographs were exchanged

Fig. 3 – Fluctuations of N-year annual maximum peak discharges at selected stations on the Morava river in the period 1917-1997 (arrow marks the beginning of measurement at Moravský Ján; empty columns – occurrence of flood in Nov.-Apr., full columns – May-Oct.) (Brázdil, Bukáček 2000)

Fig. 4 – Fluctuations of mean annual air temperatures at Prague-Klementinum in the period 1775-2001 (horizontal line – long-term mean) and of anomalies of annual precipitation totals in Bohemia in the period 1876-2001. Smoothed by a Gaussian filter for 10 years

Fig. 5 – Fluctuation of the annual number of days with precipitation total $\geq 150.0 \text{ mm}$ on the territory of the Czech Republic in the period 1879-2002

Fig. 6 – Annual variation of air temperature and precipitation in Bohemia (1) and in Moravia and Silesia (2) in 2000 expressed by temperature anomalies (a) and precipitation totals in % of the long-term normal (b) (data according to Měsíční přehled počasí)

Fig. 7 – The variation of floods with at least a two-year annual maximum peak discharges on the river Vltava in Prague and on the river Elbe at Děčín in the instrumental period (data according to Kakos 2001, completed)

Fig. 8 – Fluctuations of decadal frequencies of the occurrence of strong winds connected with convective storms (tornadoes and others) (a), gales (strong gales and gales) (b) and cases of strong winds with damage (c) in the Czech Republic over the period AD 1500-1999. Years indicate the first year of the respective decade (according to Brázdil, Dobrovolný 2001, completed)

Fig. 9 – An overview of the character of damage due to the gale of 20-21 December 1740 on the territory of the Czech Republic: 1 – wind breakage and damage to buildings, 2 – wind breakage, 3 – damage to buildings, 4 – without damage specification (according to Brázdil, Dobrovolný 2001, completed)

(Pracoviště autora: katedra geografie Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 602 00 Brno; brazdil@sci.muni.cz)