EXTREMITA METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ JAKO PREKURZOR VZNIKU DEŠŤOVÝCH POVODNÍ V ČR

Miloslav Müller, Marek Kašpar

Výskyt silných srážek trvalého charakteru je silně podmíněn synoptickou situací. V případě extrémních dešťových povodní, jaké postihly mj. povodí Vltavy a dolního Labe v srpnu 2002, tak lze předpokládat i výskyt extrémních hodnot meteorologických prvků, které se vznikem srážek souvisejí. Podrobným studiem reanalýz meteorologických dat za období 1958 – 2002, čerpaných z databáze ERA-40, byly v době před vybranými dešťovými povodněmi v ČR zjištěny značně extremní hodnoty některých meteorologických prvků v určitých oblastech Evropy. Z tohoto hlediska se jako nejvhodnější ukázala skupina veličin, které popisují přenos vlhkosti. Bylo poukázáno na existenci víceméně souvislého systému mimořádně mohutného toku vlhkosti kolem „srážkotvorné" cyklony, jehož počátek je nutné hledat již nad Atlantským oceánem. V době vypadávání srážek se pak v oblasti ČR vyskytovaly mimořádně vysoké hodnoty konvergence vlhkosti a v souvislosti s vypadáváním srážek i výrazné sestupné pohyby vzduchu. Podstatným aspektem je také vícedenní přítomnost anomálií v uvedeném prostoru. V současnosti jsou dále studovány možnosti využití těchto poznatků pro určení nebezpečnosti synoptické situace z hlediska povodňového rizika v ČR.

Klíčová slova: extremita, dešťová povodeň, tok vlhkosti, předpověď povodní

***The extremity of meteorological quantities as a precursor of rain flood emergence in the Czech Republic**. The occurrence of heavy continuous precipitation is strongly influenced by the synoptic situation. When extreme rain floods arise like those in August 2002 that affected e.g. the Vltava and Labe river basins, there can be also expected the presence of extreme values of those meteorological quantities, which are connected with precipitation onset. A detailed research was made with the aid of the European data reanalyses database ERA-40 from the period of 1958 – 2002 when extreme values of some meteorological quantities were found in some specific parts of Europe before several rain flood emergences in the Czech territory. From this point of view, the quantities representing a humidity transfer were found as the most useful. An almost continuous humidity flow was shown around the cyclone producing heavy precipitation afterward. The origin of this flow can be found over the Atlantic. Extraordinary high values of convergence of humidity were located over the Czech territory during the precipitation episodes. Connected with the precipitation, significant downdrafts were detected in the same area. An important aspect is also the several days remaining anomaly in the same region. Nowadays, a possibility of using these conclusions is studied for the evaluation of actual flood risks in the Czech Republic.*

Key words: extremity, rain flood, humidity flux, flood forecasting

---

ÚVOD

Z hodnocení předpovědi srážek v případě katastrofálních povodní v srpnu 2002 (např. Šopko, 2003) je zřejmé, že deterministická předpověď mimořádně silných srážek vykazuje podstatné nepřesnosti. V rámci vyhodnocení téže události byla studována extremita povětrnostních podmínek v době před a během události (Kašpar, 2003, Řezáčová et al., 2005). U některých meteorologických prvků, které prokazatelně souvisejí se srážkotvornými procesy, byly zjištěny extrémní hodnoty. To se stalo podnětem dalšího výzkumu, zaměřeného na možnosti využití této metody při předpovědi dešťových povodní (Řezáčová et al., 2004).

Nejrůznější studie, věnované velkoprostorovým dešťovým povodním v ČR, ukazují určitou podobnost synoptických podmínek před jednotlivými událostmi tohoto druhu s delší dobou opakování (viz následující kapitolu). Tyto podmínky jsou pro takové události charakteristické, v případě extrémních událostí pak prakticky nezbytné. Vzhledem k podobnosti těchto podmínek při jednotlivých událostech je možné předpokládat i existenci určitého prostorového vzorce rozložení extremit některých meteorologických prvků v atlanticko-evropském prostoru, obdobného pro různé epizody mimořádně silných srážek v ČR. Následující příspěvek přináší předběžné výsledky výzkumu, věnovaného extremitě meteorologických prvků při historických případech dešťových povodní v ČR.

PROBLEMATIKA SILNÝCH SRÁŽEK A DEŠŤOVÝCH POVODNÍ VE STŘEDNÍ EVROPĚ

V letním hydrologickém pololetí (od května do října) se ve střední Evropě na vodních tocích, jejichž povodí nezasahuje do velehorských oblastí, vyskytují výhradně dešťové povodně. Ty je možné dále dělit podle charakteru příčinných srážek na povodně z trvalých srážek a na přívalové povodně, spojené se silnou konvekcí. Především v případě povodní z trvalých srážek je zřejmá těsná souvislost mezi hydrometeorologickými podmínkami před povodní a průběhem povodně. Kromě předchozí nasycenosti povodí, ovlivňované povětrnostními podmínkami v období řádově několika týdnů před povodňovou událostí, je rozhodující množství a intenzita tzv. příčinných srážek, vázaných na specifické synoptické situace. Oba tyto faktory zásadně ovlivňovaly průběh i dosud největších dešťových povodní v Čechách (Müller, Kakos, 2003).

Silné srážky trvalého charakteru vypadávají v prostoru tlakových depresí (cyklon, popř. brázd nižšího tlaku). Pro prostor Evropy byly vymezeny dvě základní kategorie situací, které sem přinášejí silné srážky. Podle oblasti, kde je poprvé detekován střed tlakové níže, lze odlišit atlantické, resp. středomořské cyklonální systémy (Porkú et al., 2003). Ve střední Evropě je z hlediska nejvyšších jedno- a vícedenních srážkových úhrnů obzvlášť nebezpečná druhá jmenovaná kategorie, kde střed cyklony postupuje do této oblasti z jižního sektoru (Ustrnul, Czekierda, 2001). Vzhledem k orografickému efektu zesilování srážek v týlové části cyklony v silném proudění ze severního kvadrantu je nejvyšších úhrnů dosahováno v oblastech hor (na severní straně Alp, v nejvyšších pohořích Českého masivu a v Karpatech). Těsnou souvislost mezi těmito situacemi, především pak postupem cyklony po tzv. dráze Vb, a silnými srážkami na území ČR dokládá celá řada prací, např. Štekl et al. (2001).

HODNOCENÍ EXTREMITY METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ

Pro hodnocení extremity meteorologických prvků byla využita databáze ERA-40, vytvořená v ECMWF (Evropském středisku pro střednědobou předpověď). Databáze obsahuje reanalýzy meteorologických dat z let 1958 – 2002. Z ní byl vybrán soubor celkem 4140 dní, který zahrnuje všechny dny června, července a srpna během uvedených 45 let. Sledována byla oblast mezi 30° a 70° severní šířky, resp. 30° západní a 40° východní délky, což při rozlišení 2,5 zeměpisného stupně činí 17 x 29 = 493 gridových bodů.

Podle databáze ČHMÚ bylo vytipováno celkem 19 epizod silných srážek trvalého charakteru na území ČR z daného období, které zde vyvolaly dešťové povodně. Nechyběly mezi nimi nejextrémnější případy z července 1997 a srpna 2002, stejně jako další významné události tohoto druhu, jako např. ze srpna 1972, z přelomu července a srpna 1977 nebo z července 1981. Na základě Denních přehledů počasí (DPP) a práce Štekla et al. (2001) byl pro jednotlivé události stanoven první den silných srážek, dále označovaný jako D. Sledována pak byla extremita jednotlivých meteorologických prvků ve dnech kolem dne D.

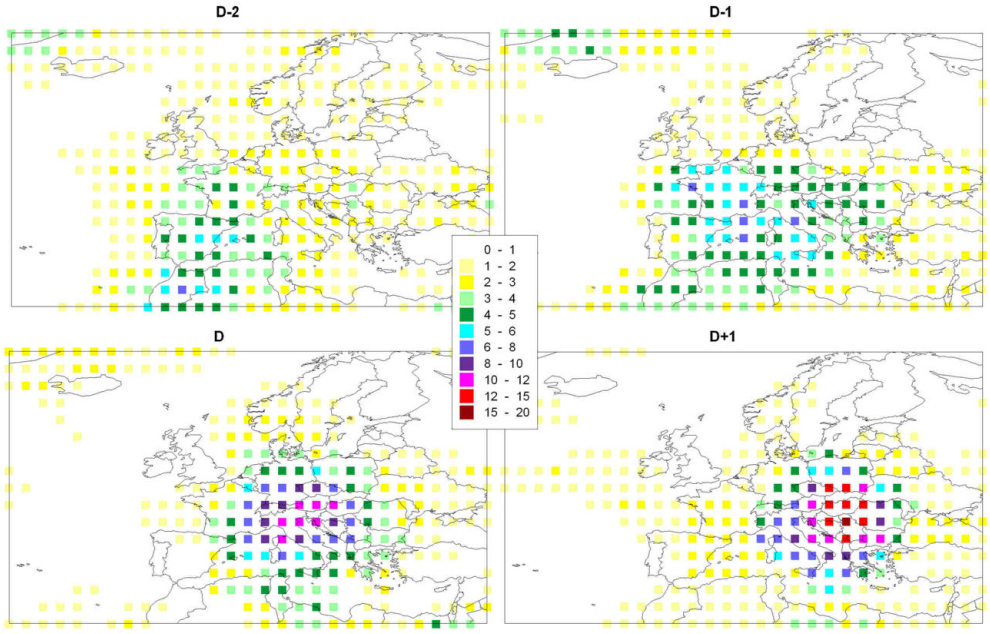
Byla navržena řada ukazatelů, pro něž bylo zjišťováno, zda, případně v které oblasti daný ukazatel dosahuje mimořádných hodnot při povodňových událostech na území ČR. Ukazatele byly vymezovány pomocí základních i odvozených veličin (pro jejich odvození viz Řezáčová et al., 2003). Za ukazatel lze považovat hodnoty určitého meteorologického prvku ve zvolené hladině a ve výše vymezené oblasti, a to s danou dobou průměrování. Jako nejvhodnější se ukázaly denní průměry, určované z analýz pro 0h a 12h světového času daného dne. Z celého souboru 4140 termínů pak byly pro každý gridový bod spočteny hodnoty vybraných kvantilů všech ukazatelů tak, aby pro kterýkoli termín bylo možné stanovit extremitu ukazatele v každém gridovém bodě porovnáním s příslušnými kvantily (Řezáčová et al., 2004).

EXTREMITA METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ PŘED DEŠŤOVÝMI POVODNĚMI V ČR

Vzhledem k dynamice vývoje synoptické situace v době před povodňovou událostí je zřejmé, že extremitu meteorologických prvků je třeba hodnotit zvlášť pro různé dny relativně ke dni D. Bylo třeba vytipovat vhodné ukazatele pro jednotlivé dny a určit podoblasti, v nichž lze předpokládat výskyt extrémních hodnot těchto ukazatelů v případě epizody silných srážek. Za tímto účelem bylo sledováno, kolikrát v rámci souboru vybraných 19 povodňových událostí došlo v jednotlivých gridových bodech oblasti k překročení vybraných kvantilů ve dnech D-2, D-1, D a D+1. Výsledky pro libovolný ukazatel bylo možno zobrazit do map, v nichž bylo vyznačeno, při kolika z 19 událostí došlo v jednotlivých gridových bodech k překročení stanoveného kvantilu.

Bylo zjištěno, že k největší koncentraci mimořádných hodnot některých ukazatelů do specifické podoblasti dochází nejčastěji ke dni D+1, směrem dozadu pak míra shody výrazně klesá. Nejlepší shoda výskytu extrémů se vyskytla v případě ukazatelů vyjadřujících hloubku „srážkotvorné“ cyklony, především v případě AT850 (obr. 1). Naopak jako nevhodné se z hlediska posuzování extremity projevily veličiny jako teplota vzduchu, ekvivalentní potenciání teplota a měrná vlhkost. U těchto meteorologických prvků zřejmě dochází ke snížení extremity při událostech silných srážek vlivem výskytu extrémů rovněž za odlišných situací, které s vypadáváním silných srážek nesouvisejí (např. vysoké teploty při letních anticyklonálních situacích).

Pro výběr vhodných ukazatelů byl dále důležitý poznatek, že relativně největších extremit dosahují během srážkových epizod veličiny, které vyjadřují přenos vlhkosti, a to jak před začátkem srážek, tak především v době jejich vypadávání. Jde hlavně o meridionální složku toku vlhkosti, konvergenci vlhkosti a vertikální rychlost. Těmto meteorologickým prvkům se proto budeme věnovat podrobněji.

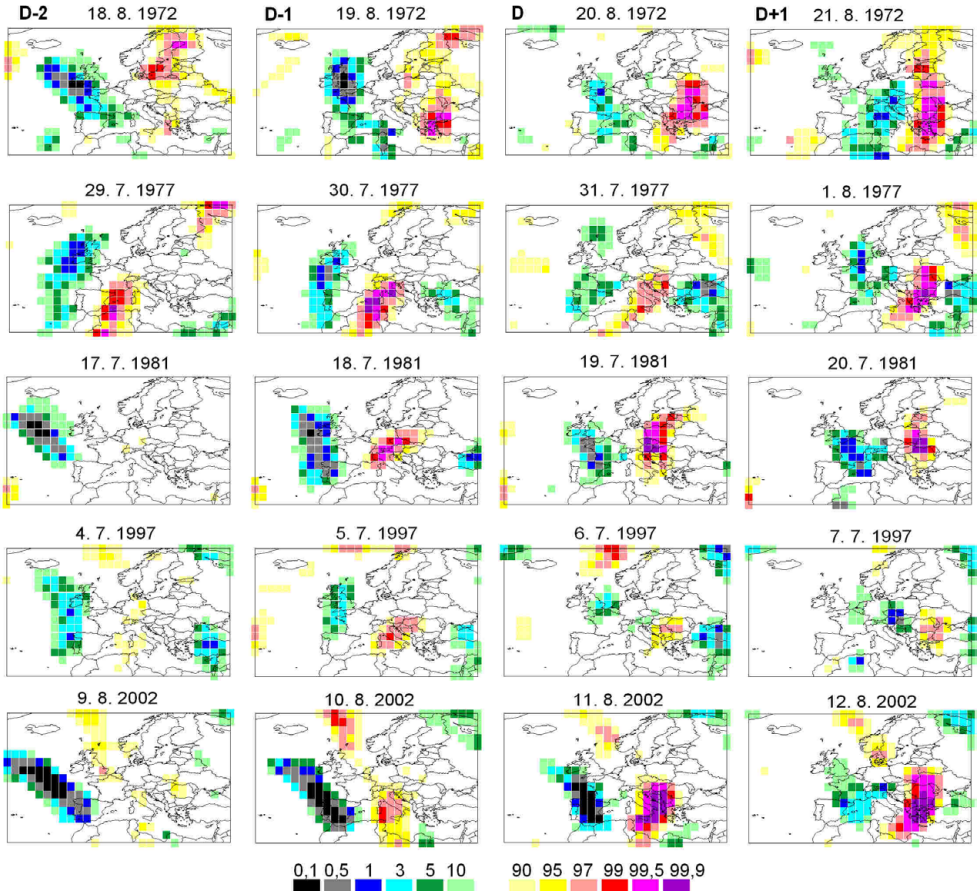


Obr. 1 Počet povodňových událostí z celkového souboru 19 vybraných případů, při nichž byla ve dnech D-2 až D+1 v příslušném gridovém bodě AT850 nižší než hodnota 95% kvantilu pro příslušný bod. Uvažovány jsou průměrné hodnoty z 00 UTC a 12 UTC daného dne.

Fig. 1 The number of flood events from the set of 19 events when the value of AT850 was less than the 95% percentile at given grid point from the day D-2 till D+1 where D means the first day of heavy precipitation in the territory of the Czech Republic. The average values from 00 UTC and 12 UTC are considered.

EXTREMITA UKAZATELŮ VYJADŘUJÍCÍCH PŘENOS VLHKOSTI

Vybrané ukazatele byly dále sledovány z hlediska extremity dosažené při několika nejvýznamnějších povodňových událostech. Pro zjištění míry extremity, dosažené v jednotlivých dnech těchto událostí, byly hodnoty ukazatelů, zjištěné v příslušném dni v každém gridovém bodě, porovnávány s hodnotami jednotlivých kvantilů dané veličiny v příslušných bodech. V případě ukazatelů, u nichž jsou z hlediska nebezpečí vzniku silných srážek zajímavé minimální hodnoty, byly tyto v každém gridovém bodě porovnávány s kvantily 0,1%, 0,5%, 1%, 3%, 5˘% a 10% rozdělení daného ukazatele pro příslušný bod, v případě maximálních hodnot analogicky s kvantily 99,9%, 99,5%, 99%, 97%, 95% a 90%. Extremita ukazatele v každém bodě pak byla vyjádřena nejvíce odlehlým kvantilem, pro nějž byla aktuální hodnota nižší (v případě minimálních hodnot), resp. vyšší (v případě maximálních hodnot) než tento kvantil. Vzhledem k počtu dní v souboru dosahují v každém bodě čtyři termíny extremity vyšší než kvantil 0,1%, resp. 99,9%, v případě kvantilu 0,5%, resp. 99,5% je to 20 termínů atd.



Obr. 2 Extremita průměrné hodnoty meridionálního toku vlhkosti z 00 UTC a 12 UTC příslušného dne (D-2 až D+1) na AT500. Barvy jednotlivých gridových bodů vyjadřují překročení příslušného kvantilu v daném bodě; minimální hodnoty – severní složka, maximální hodnoty – jižní složka.

Fig. 2 The extremity of values of the meridional humidity flux at AT500 averaged from the data from 00 UTC and 12 UTC on the given day. The colour means that the value was more extreme than the relevant quantil at given grid point; minimal values – the north component, maximal values – the south component.

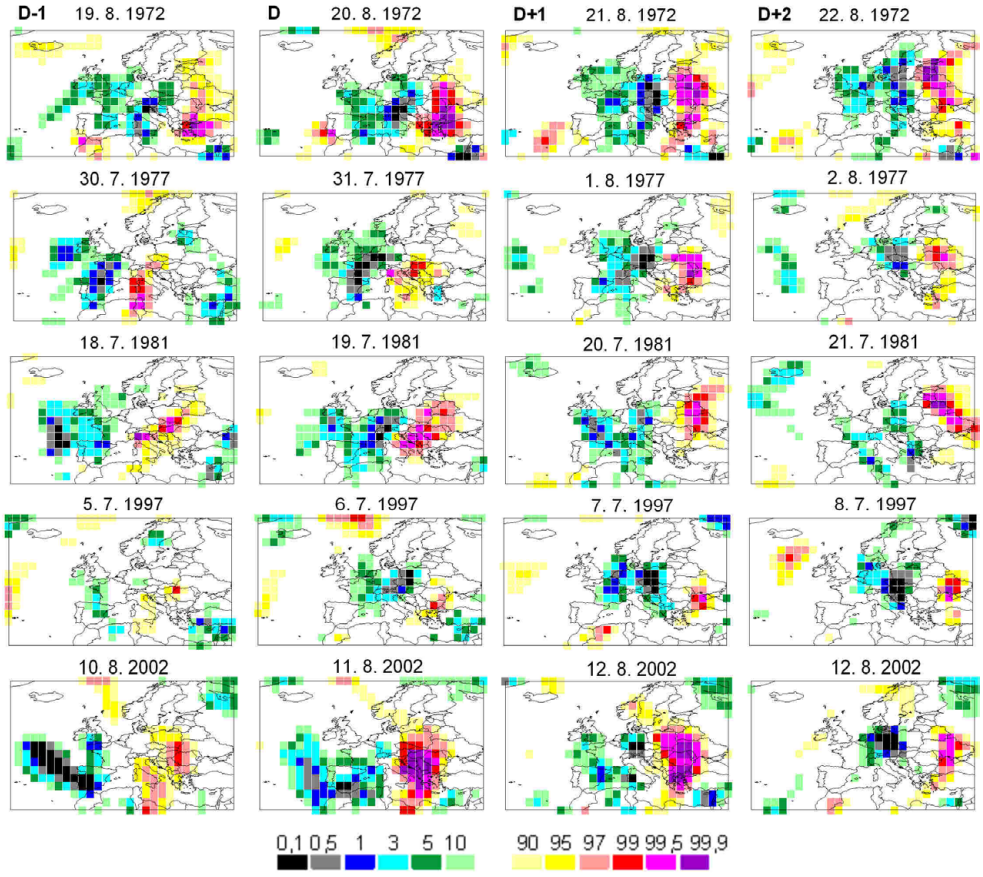
Meridionální tok vlhkosti

Meridionální tok vlhkosti se jeví jako veličina, jejíž využití pro zjišťování extremity podmínek před srážkovou epizodou a během ní je velmi vhodné, neboť mimořádné hodnoty se při událostech vyskytovaly v rozmezí D-2 až D+2. Přitom docházelo v posunu extrému přibližně podle tohoto schématu:

- ve dnech D-2 až D mimořádné až extrémní hodnoty severní složky toku vlhkosti především ve vyšších hladinách (AT500, AT300) v prostoru atlantského pobřeží (obr. 2);
- ve dnech D-1 až D+1 mimořádné až extrémní hodnoty jižní složky toku vlhkosti v hladinách AT850 a AT500 v prostoru jižní či východní Evropy (obr. 2 a 3);
- ve dnech D až D+2 mimořádné až extrémní hodnoty severní složky toku vlhkosti v hladině AT850 v prostoru ČR a v jejím bezprostředním okolí (obr. 3).

Vzhledem k výskytu extrémů i u zonální složky toku vlhkosti, která spojuje extrémy meridionální složky, je zřejmé, že v případě mimořádně silných srážkových epizod jde o ucelený systém přenosu vlhkosti kolem tlakové níže, jejíž střed se přesunuje do prostoru středovýchodní Evropy. Tento přísun vlhkosti má zdroj nejen v prostoru Středozemí, nýbrž může začínat již nad východním Atlantikem.

Z porovnávaných událostí byl systém přenosu vlhkosti podle uvedeného schématu prokazatelně nejlépe vyvinut 9. – 13. srpna 2002, kdy hodnoty v různých fázích dosahovaly skutečně extrémních hodnot. Naopak relativně nejslabší byl 4. – 8. 7. 1997, kdy extremitu události musíme hledat v dalším okolnostech, především v ojediněle dlouhé době setrvání systému v prakticky neměnné poloze v kombinaci s orografickým efektem Beskyd a Jeseníků (viz následující kap.).



Obr. 3 Extremita průměrné hodnoty meridionálního toku vlhkosti z 00 UTC a 12 UTC příslušného dne na AT850. Barvy vyjadřují překročení příslušného kvantilu v daném bodě; minimální hodnoty – severní složka, maximální hodnoty – jižní složka.

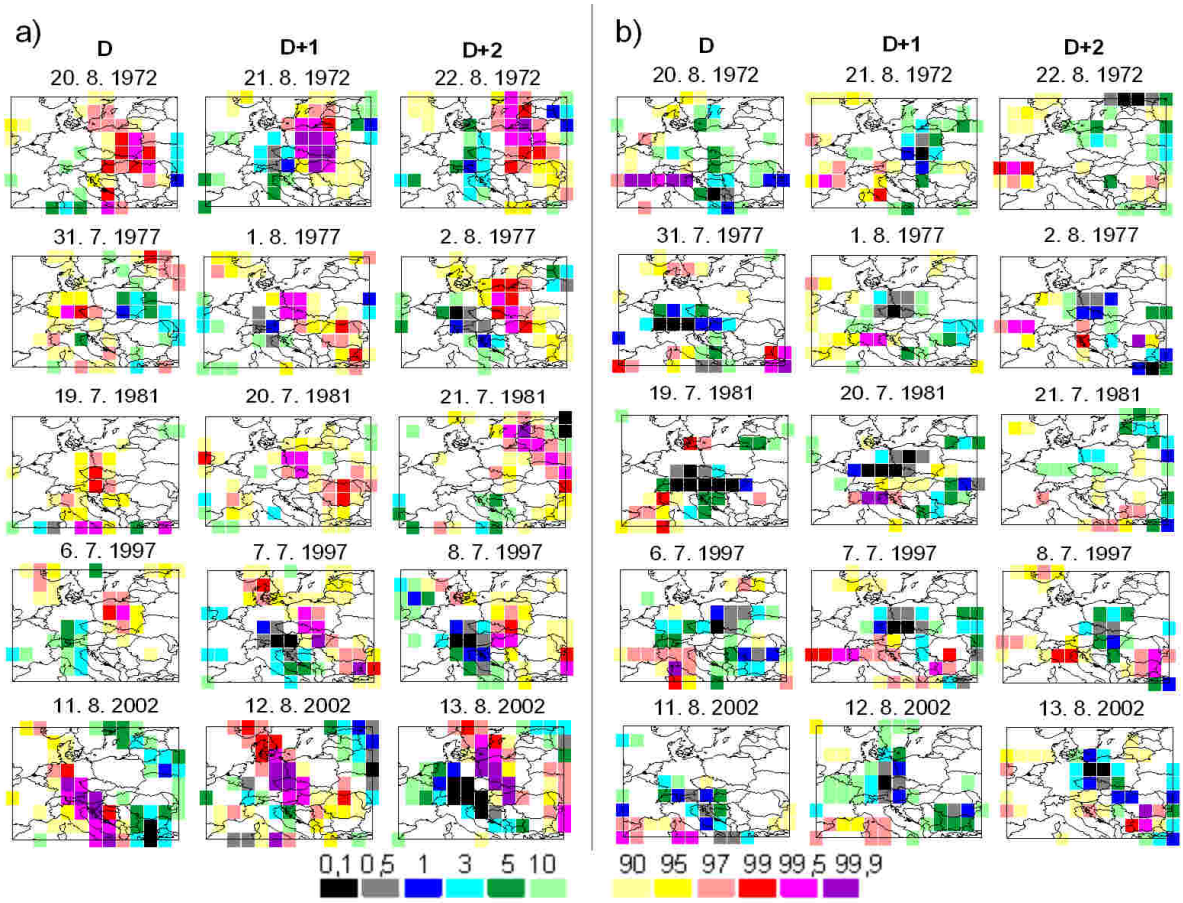
Fig. 3 The extremity of values of the meridional humidity flux at AT850 averaged from the data from 00 UTC and 12 UTC on the given day. The colour means that the value was more extreme than the relevant quantil at given grid point; minimal values – the north component, maximal values – the south component.

Konvergence vlhkosti a vertikální rychlost

Konvergence vlhkosti v hladině AT850 se jeví jako jeden z ukazatelů, jehož extremita se projevuje v prostoru ČR a jejího okolí, a to v době vypadávání srážek, tedy ve dnech D až D+1, případně až D+2 (obr. 4a). Na základě sledovaných událostí lze předpokládat, že pro vznik mimořádně silných srážek musí být dostatečně mohutný proud vlhkosti ukončen konvergencí vlhkosti v prostoru ČR.

Časoprostorové rozdělení extrémních záporných hodnot vertikální složky rychlosti větru, vyjádřené v p-systému na AT850 (obr. 4b), které odpovídají sestupům vzduchu v souvislosti s vypadáváním srážek, se zhruba shoduje s extrémy konvergence vlhkosti. Pro dny vypadávání srážek lze proto usuzovat na možnou mimořádnou intenzitu srážek i na základě sledování extrémů tohoto ukazatele.

Právě dlouhodobý výskyt extrému obou těchto ukazatelů v červenci 1997 v souvislosti s přechodnou stacionarizací „srážkotvorné“ cyklony se jeví jako jeden z indikátorů nebezpečnosti tehdejší synoptické situace.



Obr. 4 Extremita průměrné hodnoty konvergence vlhkosti (a), resp. vertikální rychlosti v p-systému (b) z 0 a 12 hodin UTC příslušného dne na AT850. Barvy jednotlivých gridových bodů vyjadřují překročení příslušného kvantilu v daném bodě; v části a: minimální hodnoty – divergence vlhkosti, maximální hodnoty – konvergence vlhkosti; v části b: minimální hodnoty – výstupné pohyby vzduchu, maximální hodnoty – sestupné pohyby vzduchu.

Fig. 4 The extremity of values of the convergence of humidity (a) and of the vertical velocity in isobaric coordinates (b) at AT850 averaged from the data from 00 UTC and 12 UTC on the given day. The colour means that the value was more extreme than the relevant quantil at given grid point; minimal values: (a) – the divergence of humidity, (b) – updraft; maximal values (a) – the convergence of humidity, (b) - downdraft .

ZÁVĚR

Příspěvek byl věnován sledování extremity řady meteorologických prvků před a během vybraných případů velkoprostorových dešťových povodní na území ČR. Bylo prokázáno, že některé z těchto prvků vykazují určitou časoprostorovou koncentraci extremity při jednotlivých událostech. Platí to především pro veličiny, které vyjadřují přenos vlhkosti. Bylo poukázáno na existenci víceméně souvislého systému mimořádně mohutného toku vlhkosti kolem „srážkotvorné“ cyklony, jehož počátek je nutné hledat již nad Atlantickým oceánem. V době vypadávání srážek se pak v oblasti ČR vyskytovaly mimořádně vysoké hodnoty konvergence vlhkosti a v souvislosti s vypadáváním srážek i výrazné sestupné pohyby vzduchu. Podstatným aspektem je také vícedenní přítomnost anomálií v uvedeném prostoru.

Poznatky budou dále využity při vytváření indexu extremity, který by měl sloužit jako pomocný nástroj vedle modelů numerické předpovědi počasí k určení nebezpečnosti synoptické situace z hlediska nebezpečí vzniku velkoprostorových dešťových povodní.

Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou grantů VaV 650/4/03, GAČR 205/04/0114 a GA AVČR B3042404.

Literatura

DPP: Denní přehledy počasí, periodická publikace ČHMÚ.

ERA-40: http://www.ecmwf.int/research/era/Project/index.html

Kašpar, M. (2003): Porovnání extrémnosti synoptických podmínek během povodní v České republice v srpnu 2002 a v červenci 1997, Meteorologické zprávy, 56, č. 6, 166-177.

Müller, M. a Kakos, V. (2003): Hydrometeorologické srovnání povodní v srpnu 2002 s vybranými historickými případy dešťových povodní na Vltavě v Praze, Meteorologické zprávy, 56, č. 5, 129-136.

Porcú, F., Caracciolo, C., Prodi, F., 2003: Cloud systems leading to flood events in Europe: an overview and classification, Meteorological Applications 10, 217-227.

Řezáčová, D., Hanslian, D., Kakos, V., Kašpar, M., Müller, M., Pešice, P. a Sokol, Z. (2003): Posouzení hydrometeorologických podmínek vzniku významných letních povodní na území ČR na základě porovnání situace ze srpna 2002 s vybranými srážkovými epizodami a extrémními podmínkami, Výzkumná zpráva, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 79 s.

Řezáčová, D., Kakos, V., Kašpar, M., Müller, M., Sokol, Z. (2004): Výzkum vztahů mezi meteorologickými příčinami vývoje silných srážek a hydrologickou odezvou povodí; dílčí úkol 1: Výzkum meteorologických příčin vývoje silných srážek a povodní, vývoj metod pro zpřesnění předpovědi plošných srážek, Zpráva za rok 2004, Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 21 s. (dostupné na ÚFA AV ČR nebo na ČHMÚ).

Řezáčová, D., Kašpar, M., Müller, M., Sokol, Z., Kakos, V., Hanslian, D., Pešice, P. (2005): Comparison of flood precipitation in August 2002 with historical extreme precipitation events from the Czech territory, Atmospheric research, v tisku.

Šopko, F. (2003): Model predictions of the floods in the Czech Republic during August 2002: the forecasters' perspective, ECMWF Newsletter 97, 2-6.

Štekl, J., Brázdil, B., Kakos, K., Jež, J., Tolasz, R. a Sokol, Z. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území České republiky v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny, Národní klimatický program ČR, ČHMÚ, Praha, sv. 31, 128 s.

Ustrnul, Z. and Czekierda, D. (2001): Circulation background of the atmospheric precipitation in Central Europe (based on the Polish example), Meteorologische Zeitschrift 10, 103-111.

Miloslav Müller, Marek Kašpar

Miloslav Müller, Praha 4, Boční II./1401, 143 31, Česká republika, muller@ufa.cas.cz