

POROVNÁNÍ EXTRÉMNOSTI SYNOPTICKÝCH PODMÍNEK BĚHEM POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICE V SRPNU 2002 A V ČERVENCI 1997

The comparison of extremeness of synoptic conditions during the floods in the Czech Republic in August 2002 and July 1997. The article discusses similar and different features in the extremeness of synoptical parameters during the flood events that affected the area of the Czech Republic in July 1997 and in August 2002. Each of both catastrophic floods was characterized by the occurrence of two extreme precipitation episodes, whose synoptic conditions were similar in very basic features. The extremeness of selected meteorological quantities was computed on the basis of the reanalysis data *ERA-40* for the region covering the major part of Europe. The data files were transported from the ECMWF. The files contain the values of quantities for 34 historical summer seasons in total. The extremeness was evaluated with the aid of the values of distribution function for each of four precipitation episodes. Before the precipitation onset the typical features were supernormally warm and moist air over a large area of the Eastern and Northern Europe, penetration of cold air from the north to the Western Europe and Mediterranean, very warm air over the Central or Eastern Mediterranean, and the regeneration of the causal cyclone south of the Alps and its subsequent advancement to the northeast. During the precipitation periods there were the intensive flux of moisture and heat into the Middle Europe around the front side of the cyclone, extraordinary strong flow from the north and strong large-scale convergence of flow and moisture as well as intensive upward motions in the precipitation area. The first episode in 1997 and the second episode in 2002 were the most similar and more extreme in the large-scale fields of basic meteorological quantities. However, they showed also some differences. On the whole, the quantities reached more extreme values during the second episode in 2002. On the other hand, during the first episode in 1997 the high/low values remained for a longer time over the same region. The second episode in 1997 and the first episode in 2002 differed from dominant precipitation episodes more significantly, primarily in the intensity of extremes and in some aspects also in the general characteristics of synoptic situation.

KLÍČOVÁ SLOVA: událost povodňová – epizoda srážková – měřítko synoptické – veličina meteorologická – extrémnost – funkce distribuční – Česká republika

1. ÚVOD

Extrémní srážky v červenci 1997 i v srpnu 2002 vypadávaly vždy během dvou několikadenních srážkových epizod, jejichž synoptické příčiny byly v základních rysech podobné [5, 6, 9, 10]. Rozhodující srážky vypadávaly v oblasti silného proudění severních směrů na zadní straně tlakové níže, která vytvořila podmínky pro transport vlhkého vzduchu na naše území a pro výstupné pohyby, zesílené v orograficky exponovaných oblastech. Odtoková odezva povodí na srážky byla u druhých epizod v roce 1997 a zejména v roce 2002 ovlivněna silnou nasyceností povodí předchozími srážkami. Rozdíly je nutné hledat v procesech, které vedly k výskytu tlakové níže nad střední Evropou a především v rozdílné extrémnosti dílčích charakteristik výsledné situace. Cílem předkládaného článku je porovnat extrémnost synoptických podmínek při povodňových událostech z hlediska meteorologických příčin i průběhu a hodnot několika meteorologických parametrů.

Článek navazuje na výsledky druhé kapitoly zprávy vypracované Ústavem fyziky atmosféry AV ČR (ÚFA AV ČR), která obsahuje posouzení hydrometeorologických podmínek vzniku významných letních povodní na území ČR na základě porovnání situace ze srpna 2002 s vybranými srážkovými epizodami a extrémními podmínkami [8]. Zpráva je příspěvkem k projektu „Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002“, jehož zadavatelem je Ministerstvo životního prostředí ČR. V čase vymezeném na projekt bylo možné zpracovat jenom část rozsáhlého souboru získaných výsledků. Proto byl při sestavování tohoto článku kladen důraz na vyhodnocení i těch výsledků, které nejsou součástí konečné

zprávy. Základní závěry a struktura článku však oproti ní zůstávají neměnné. Snaha byla diskutovat a přehlednou formou shrnout shodné a odlišné rysy v extremitě synoptických parametrů jednotlivých srážkových epizod obou zmiňovaných událostí a zároveň vnést některé nové poznatky do studované problematiky.

Kromě úvodu a závěru je text článku rozdělen do dvou hlavních kapitol a tří podkapitol. Kapitola 2 stručně popisuje strukturu použitých vstupních dat a metodiku jejich zpracování, včetně variant výpočtu extremity jednotlivých termodynamických parametrů. Kapitola 3 se s ohledem na posuzované srážkové epizody zabývá vlastním porovnáním extrémnosti synoptických podmínek před vznikem (podkapitola 3.1) a v průběhu trvání srážek (podkapitola 3.2). Závěr této kapitoly (podkapitola 3.3) je věnován popisu chování řídicích cyklon a s nimi spojených výrazných srážkových pásů s využitím map potenciální vorticity (PV) a příslušných polí extremity. V závěrečné 4. kapitole jsou shrnuty a stručně zhodnoceny získané výsledky.

2. POUŽITÁ VSTUPNÍ DATA A METODIKA JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Jedním ze způsobů, jak stanovit a porovnat extrémnost synoptických podmínek, je vyjádřit ji pomocí distribuční funkce. Ve studiích [8] a [10] byla pro vybrané meteorologické veličiny sledována relativní četnost hodnot, které byly v minulosti na témž místě vyšší, resp. nižší než hodnota v konkrétním termínu povodňových událostí 1997 a 2002. Soubor meteorologických dat, které byly podkladem pro výpočet četnosti, má velký rozsah a relativní četnost lze proto interpreto-

vat jako dobrý odhad pravděpodobnosti překročení dané termínové hodnoty.

Při hodnocení extrémnosti podmínek byly užity reanalýzy ERA-40 [2] z databáze ECMWF (Evropské středisko pro střednědobou předpověď v Readingu) za květen až září pro roky 1958–1969, 1973–1982, 1986, 1989–1996 a 1998–2000, tj. celkem 10 404 datových souborů za 34 letních období. Poznamenejme, že projekt ERA-40 není ještě ukončen a pro tuto studii jsme získali možné maximum reanalyzovaných termínů. Zpracovávaná data zahrnují pole celkem 21 základních meteorologických veličin v síti zeměpisných souřadnic s rozlišením 2.5°, která pokrývá velkou část Evropy (30° z. d. až 40° v. d. a 30° s. š. až 70° s. š.). Veličiny jsou zadány v 5 izobarických hladinách (925, 850, 700, 500 a 300 hPa) a ve 2 izentropických hladinách (300 a 330 K) pro termíny 00 a 12 UTC. Ze základních veličin byla spočtena řada veličin odvozených. Pro rok 2002, který ještě není zahrnut do dat ERA-40, jsme užili soubor provozních analýz ECMWF ze srpna 2002, který má identickou strukturu jako data reanalyzovaná. Podrobný popis rozsahu vstupních dat za jednotlivá období a přehled zpracovaných veličin včetně definičních vztahů odvozených veličin lze nalézt v [8].

Označme $X(i,j,h)$ hodnotu veličiny X v uzlovém bodě $[i,j]$ a hladině h . Pro každý bod uvažované sítě byl na základě historických dat získán soubor N hodnot $X(i,j,h)$. Pro každý termín z uvažované povodňové epizody byly stanoveny analogické hodnoty $X^*(i,j,h)$. Porovnáním $X^*(i,j,h)$ s hodnotami $X(i,j,h)$ seřazenými podle velikosti byl určen odhad pravděpodobnosti překročení $PP(i,j,h)$, pro kterou hodnota $X^*(i,j,h)$ odpovídá hornímu výběrovému kvantilu $X_{pp}(i,j,h)$ rozdělení hodnot $X(i,j,h)$. Odhad hodnoty $PP(i,j,h)$ lze tedy vyjádřit vztahem:

$$PP(i,j,h) = \frac{\text{počet případů, pro něž platí } X(i,j,h) \geq X^*(i,j,h)}{N} \quad (1)$$

Alternativně lze extrémnost hodnoty $X^*(i,j,h)$ vyjádřit pomocí hodnot distribuční funkce $F = 1 - PP$. Extrémně nízké, resp. vysoké hodnoty $X^*(i,j,h)$, pak odpovídají nízkým, resp. vysokým hodnotám F , které tímto dokumentují extrémnost rozhodujících synoptických procesů ve studovaných srážkových epizodách. Současně vystihují rozdíly v extrémnosti pro obě srovnávané situace.

Při přípravě [8] byly provedeny 4 varianty výpočtů extremity:

1. Plošné rozložení hodnot F bylo stanoveno pro jednotlivé termíny povodňových situací.
2. Plošné rozložení hodnot F bylo stanoveno pro časově středované veličiny za 1, 2, 3, 4, 5, 10 a 30 dní, přičemž bylo uvažováno posunutí intervalů vždy o 12 hodin.
3. Byly stanoveny hodnoty F pro střední hodnotu, standardní odchylku, minimum a maximum veličin ze suboblasti pokrývající střední Evropu.
4. Kromě výpočtů opírajících se o datový soubor z letní poloviny roku byla extremita stanovena i na základě omezenějšího datového souboru, který zahrnuje pouze data z července a srpna.

Jelikož se v průběhu práce na výzkumné zprávě [8] ukázalo, že se hodnoty F pro letní polovinu roku ve většině případů téměř shodují s hodnotami pro vrcholné léto, byly použity pouze hodnoty opírající se o datový soubor z července a srpna (celkem $A = 4\,216$ hodnot $X(i,j,h)$ pro každý bod uvažované

sítě $[i,j]$ a hladinu h). Zároveň je tím omezen potenciální vliv ročního chodu meteorologických prvků na hodnoty F .

Předkládaný článek nabízí oproti zprávě [8] alternativní vyhodnocení a následné porovnání extrémnosti synoptických podmínek během čtyř srážkových epizod povodňových událostí 1997 a 2002. Hlavní rozdíl ve vyhodnocení spočívá ve dvou aspektech:

1. Článek se zaměřuje na studium extremity časově středovaných hodnot veličin pro období na počátku a v průběhu trvání srážek, kdežto vyhodnocení v [8] vychází zejména z časového vývoje extremity veličin pro jednotlivé termíny studovaných epizod.
2. Článek se důsledněji zabývá druhou epizodou 1997 a první epizodou 2002, jež byly srážkově méně významné.

Na rozdíl od [8] obsahuje článek také analýzu extremity adiabatické ekvivalentní potenciální teploty v hladině 850 hPa před vznikem srážek, toku tepla v hladině 850 hPa a geopotenciálu hladiny 500 hPa na počátku srážek.

3. POROVNÁNÍ EXTRÉMNOSTI SYNOPTICKÝCH PODMÍNEK

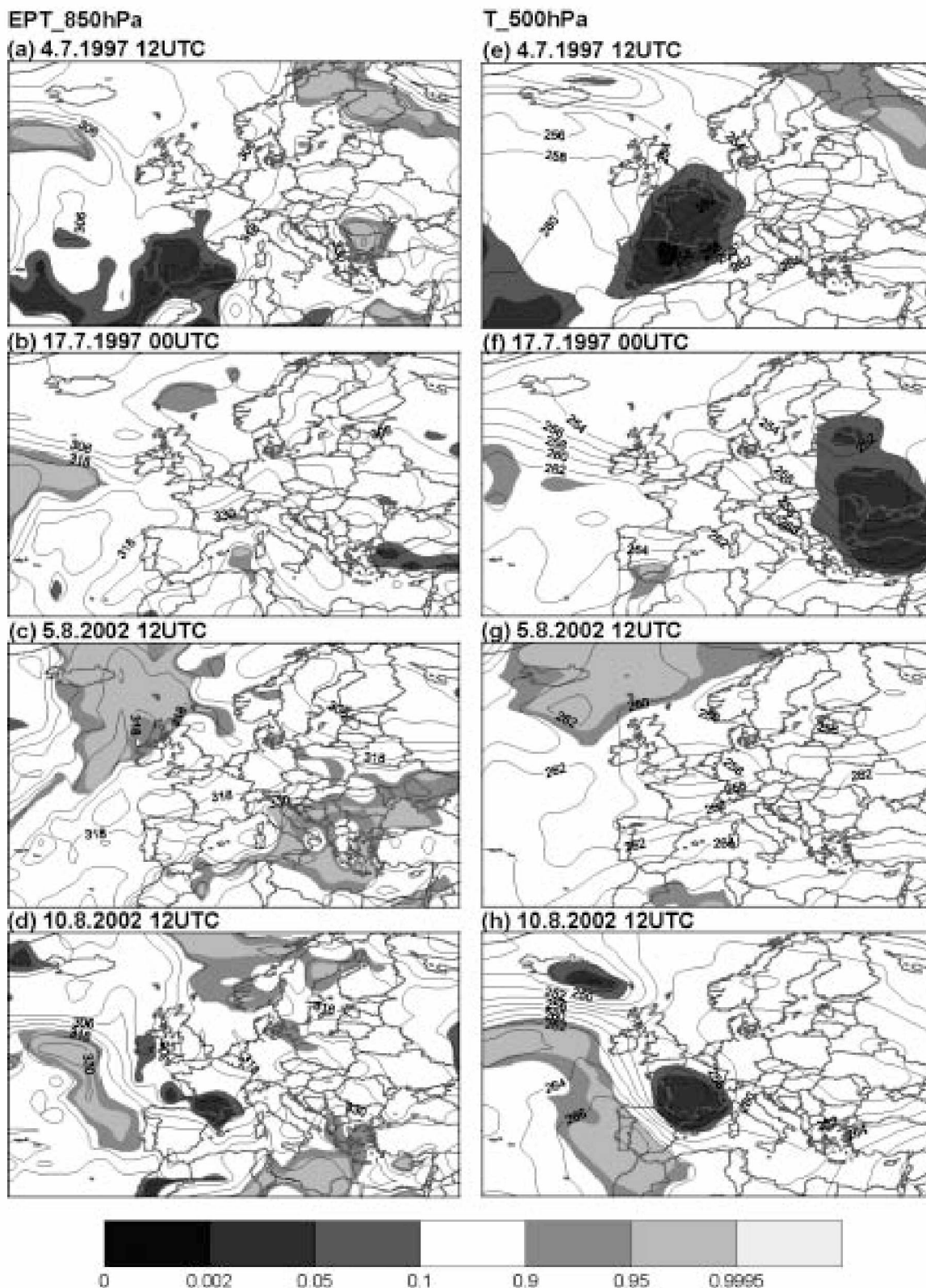
Extrémní srážky, které postihly v červenci 1997 území Moravy a v srpnu 2002 území Čech, se vyskytovaly vždy během dvou několikadenních srážkových epizod (4. 7.–8. 7. 1997, 17. 7.–21. 7. 1997 a 6. 8.–7. 8. 2002, 11. 8.–13. 8. 2002). Jednotlivé epizody budou dále označovány jako 97/1 a 97/2 (první a druhá srážková epizoda v červenci 1997), resp. 02/1 a 02/2 (první a druhá srážková epizoda v srpnu 2002). V srpnu 2002 obě epizody následovaly v rychlém sledu za sebou, zatímco v červenci 1997 byly odděleny delším obdobím s nevýznamnými srážkami. V obou letech byla jedna epizoda výrazně dominantní z hlediska hodnot i rozsahu srážek: v červenci 1997 to byla první srážková epizoda, 97/1, v srpnu 2002 epizoda druhá, tzn. 02/2.

Synoptické podmínky při čtyřech studovaných epizodách byly v základních rysech podobné. Rozhodující srážky vždy vypadávaly v oblasti silného proudění severních směrů na zadní straně tlakové níže středomořského původu. Navzájem velmi podobné byly dominantní epizody 97/1 a 02/2, epizody 97/2 a 02/1 se od nich významněji lišily. V roce 2002 byla při obou epizodách postižena srážkami tatáž dílčí povodí Vltavy. Naopak v červenci 1997 postihly jednotlivé epizody povodí různá (pro 97/1 území Moravy, pro 97/2 severovýchodní pohraničí Čech). Podrobný popis synoptických podmínek v jednotlivých epizodách lze nalézt ve zprávách ČHMÚ z 2002 a 1997 [9] a [10] nebo v [5] a [6].

3.1 Podmínky před vznikem extrémních srážek

Charakter synoptické situace před vypadáváním extrémně vysokých a trvalých srážek na našem území měl u všech čtyřech epizod dva společné rysy. Prvním z nich byl výskyt nadprůměrně teplého a vlhkého vzduchu nad rozsáhlým územím v severní a východní Evropě. Druhým společným rysem byl vznik či regenerace tlakové níže jižně od Alp a její postup k severovýchodu. Vznik tlakové níže byl podmíněn vpádem studeného vzduchu od severu až severozápadu do západního Středomoří, kde se střetával s teplejším vzduchem, nacházejícím se východněji.

Teplotní a vlhkostní poměry v oblasti Evropy přibližně jeden den před vznikem srážek indikuje obr. 1. Je zde znázorněno pole ekvivalentní potenciální teploty [K] v hladině 850 hPa (dále jen *EPT*, obr. 1a-d) a pole teploty v hladině 500 hPa (obr. 1e-h) postupně pro všechny čtyři epizody obou povodňových událostí, tj. pro 97/1 ze 4.7. 12 UTC (obr. 1a,e), pro



Obr. 1 Pole adiabatické ekvivalentní potenciální teploty v izobarické hladině 850 hPa /(a) – (d)/ a pole teploty v izobarické hladině 500 hPa /(e) – (h)/ pro čtyři srážkové epizody z července 1997 a ze srpna 2002. Grafy se vztahují k termínům přibližně jeden den před vznikem srážek na našem území. Zakresleny jsou izotermny a plochy s danou hodnotou distribuční funkce $F=1-PP$ jsou vyznačeny pomocí odstínů šedi, kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

Fig. 1. The fields of equivalent potential temperature [K] at the isobaric level of 850 hPa /(a) – (d)/ and temperature [K] at isobaric level 500 hPa /(e) – (h)/ for four precipitation episodes from July 1997 and August 2002. The graphs correspond to the dates approximately one day before the precipitation onset in the territory of the Czech Republic. Black contours mark the values of quantities and the shades of grey indicate the values of distribution function F (see the scale). F equals the formula $1-PP$, where PP represents the estimation of probability, with which the value of equivalent potential temperature or temperature can be exceeded.

97/2 ze 17. 7. 00 UTC (obr. 1b,f), pro 02/1 z 5. 8. 12 UTC (obr. 1c,g) a pro 02/2 z 10. 8. 12 UTC (obr. 1d,h). Pole veličin jsou kombinována s poli distribuční funkce F pro období červenec až srpen. Z obrázků je patrné, že znázorněné termíny nejsou zcela totožné v rozložení ani extremitě veličin. V základních rysech se však shodují. Hodnoty EPT , které vyjadřují kombinovaný vliv teploty a vlhkosti, potvrzují přítomnost teplého a vlhkého vzduchu v severní a východní Evropě především u epizod 97/1 (obr. 1a), 02/1 (obr. 1c) a 02/2 (obr. 1d). Zde hodnoty EPT místy převyšovaly 95 % až 99 % historických hodnot a v případě 02/1 v oblasti severního Atlantiku dokonce 99,95 % historických hodnot. V 97/1 se teplá vzduchová hmota nacházela celkově východněji než v 02/2 a 02/1. Na rozdíl od ostatních epizod se na počátku epizody 97/2 (obr. 1b) udržoval teplý a vlhký vzduch s F pro EPT kolem 90 % pouze nad severní Evropou. Vzduch nad východní Evropou byl relativně chladný a suchý.

Vpád studeného vzduchu je dokumentován nízkými teplotami v západní Evropě a v západním Středomoří, a to především ve vyšších hladinách (obr. 1e-h). Přítomnost studeného vzduchu byla výraznější pro počátky epizod 97/1 a 02/2 (obr. 1e, 1h). Teploty zde zpravidla dosahovaly 0.2 % až 5 % nejnižších hodnot pro období vrcholného léta. Také v epizodě 97/2 lze pozorovat v hladině 500 hPa výrazné jádro studeného vzduchu ($F \sim 5\%$). Jeho postup byl však vzhledem k ostatním epizodám opožděn, a proto není jeden den před počátkem srážek ještě viditelný v poli distribuční funkce F (obr. 1f). Na počátku epizody 02/1 nebyly teploty v hladině 500 hPa tak nízké jako v dominantních epizodách (obr. 1g, F jen kolem 10 %) a v hladině 850 hPa se EPT pohybovala jen nepatrně pod průměrem (obr. 1c). Na mapách EPT můžeme též sledovat jazyk velmi teplého a relativně vlhkého vzduchu nad centrálním Středomořím a jihovýchodní Evropou s hodnotami F kolem 95 % až 99 % a výrazné teplotní rozhraní nad centrálním a západním Středomořím (obr. 1a-d). Advekce studeného vzduchu na západě na zadní straně výškové brázdě tlaku vzduchu a teplá advekce východněji na přední straně přízemní brázdě tak vytvořila příhodné podmínky pro cyklogenezi.

3.2 Podmínky v průběhu trvání srážek

Významným rysem studovaných epizod v průběhu vypadávání srážek je přítomnost tlakové níže nad střední Evropou. Obr. 2 postihuje pole tlaku pro všechny čtyři epizody na počátku srážek. Obr. 2a-d, resp. obr. 2e-h, obsahují časově průměrované hodnoty AT 850, resp. AT 500, a příslušné hodnoty F . Pole jsou průměrovaná vždy za dva dny, tj. pro 97/1 od 5. 7. do 6. 7., pro 97/2 od 18. 7. do 19. 7., pro 02/1 od 6. 8. do 7. 8. a pro 02/2 od 11. 8. do 12. 8. Z obrázků je dobře identifikovatelná poloha řídící tlakové níže odpovědné za vypadávání extrémních srážek na našem území. Přestože se tato poloha v době počátku srážek u jednotlivých epizod ztlačila, měla níže svůj původ v oblasti západního Středomoří a severní, v případě 97/1, až severovýchodní Itálie. Odtud se postupně přesouvala k severu až severovýchodu a přinášela od jihu do střední Evropy a později i po delší dráze obloukem přes Ukrajinu až nad Polsko a jižní část Baltského moře teplý a vlhký vzduch. Na obrázcích je vidět, že na rozdíl od ostatních epizod byla v 02/2 tato níže již od počátku velmi hluboká a vertikálně mohutná. V průběhu 11. 8. až 12. 8. hodnoty AT 850 patřily mezi 0.2 % nejnižších historických hodnot. Naopak v epizodě 97/1 ve vyšších hladinách (obr. 2e) a v epizodě 02/1 v nižších hladinách (obr. 2c) se na počátku srážek

vyskytovala pouze brázda nízkého tlaku vybíhající ze střední Evropy nad Janovský záliv.

Tlaková níže nad střední Evropou vytvořila podmínky pro tok extrémně vlhkého vzduchu nad naše území zejména pro 97/1, 97/2 a 02/2. Pro 02/1 byl tok nevýrazný s hodnotami F pouze kolem 70 %. Na obr. 3 jsou znázorněny pravděpodobnosti překročení časově průměrovaných hodnot meridionálního (obr. 3a,e) a zonálního (obr. 3c,g) toku vlhkosti, resp. meridionálního (obr. 3b,f) a zonálního (obr. 3d,h) toku tepla v hladině 850 hPa pro dvě dominující srážkové epizody 97/1 a 02/2. Pole jsou průměrovaná za dva dny od 5. 7. do 6. 7. 1997 a od 11. 8. do 12. 8. 2002. Z obr. 3e,f je patrné, že tok vlhkosti a tepla k severu na přední straně tlakové níže na začátku epizody 02/2 dosáhl zcela mimořádné intenzity a přesahoval 99,95 % historických hodnot. Pro 97/1 nebyl tok vlhkosti a tepla k severu tak intenzivní. Přesto dosahoval velmi vysokých hodnot, které překračovaly 95 % a později až 99 % historických hodnot. Obr. 3 dále potvrzuje relativně vysoké hodnoty toku vlhkosti a tepla s východní komponentou severovýchodně od ČR, které překračovaly místy 95 % historických hodnot.

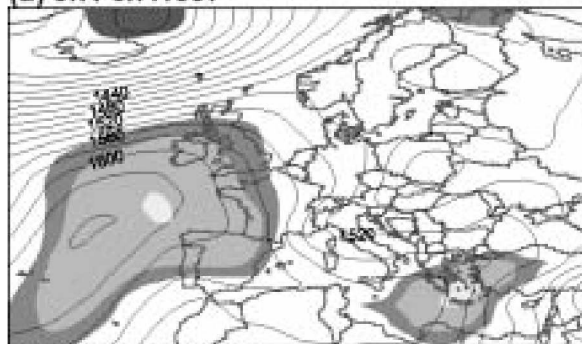
Další vývoj byl pro studované epizody podobný. Střed tlakové níže se přesunul do střední Evropy a pro 97/1, 97/2 a 02/2 dále nad Polsko. V epizodě 02/1 se střed cyklony nacházel jižněji a postupně se odsouval k východu. Nad západní Evropou se při zemi nasunul hřeben vysokého tlaku vzduchu. Ve srovnání se zbývajícími epizodami byl hřeben v 97/1 výrazně vyvinutější a projevoval se hodnotami AT 850 s pravděpodobnostmi překročení pod 1 % (obr. 2a). Tím se v oblasti střední Evropy vytvořil výrazný tlakový gradient, který se projevil mimořádnými rychlostmi větru.

Teplý a vlhký vzduch, který proudil po přední (východní) straně tlakové níže ze Středomoří do východní Evropy a odtud obloukem na západ do severní části střední Evropy, se zde obracel nazpět k jihu a v prostoru střední Evropy konvergoval s teplým vzduchem nasávaným z oblasti Baltského moře a Skandinávie a také se studeným vzduchem, který se na území střední Evropy tlačil na přední straně tlakové výše nad západní Evropou. Mimořádně silné proudění severních směrů ve spodní troposféře v prostoru výrazného tlakového gradientu mezi tlakovou níží nad střední Evropou a vysokým tlakem na západě se vyskytovalo u všech čtyř epizod. Obr. 4 představuje pole časově průměrovaných hodnot meridionální složky větru (obr. 4a,c) a toku vlhkosti (obr. 4b,d) v hladině 850 hPa pro epizody 97/1 a 02/2 v průběhu trvání extrémních srážek. Pole jsou průměrovaná za dva dny od 6. 7. do 7. 7. 1997 a od 12. 8. do 13. 8. 2002. Obr. 4 ukazuje, jak od severu do prostoru střední Evropy vtékal vzduch s vysokým obsahem vodní páry. Severní složka rychlosti větru a toku vlhkosti dosahovala nad naším územím extrémních hodnot s F pod 0.05 %.

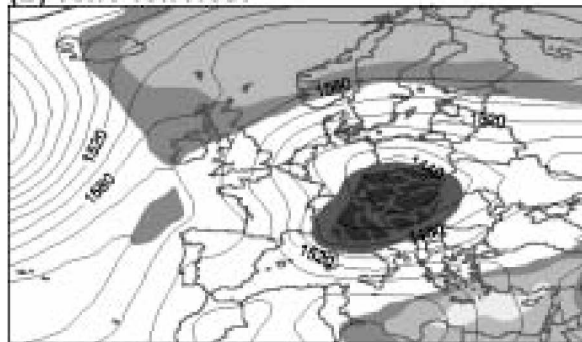
Jedním z nejextrémnějších rysů studovaných epizod byla silná velkoprostorová konvergence proudění vzduchu a vlhkosti ve spodní troposféře v oblasti vypadávání srážek. Obr. 5 porovnává hodnoty a extremitu konvergence proudění (obr. 5a,c) a vlhkosti (obr. 5b,d) v době vypadávání extrémních srážek pro 97/1 a 02/2, tj. v termínech 12. 8. 2002 12 UTC a 6. 7. 1997 12 UTC. Silná velkoprostorová konvergence vzduchu a vlhkosti přesahovala často 99% a pro konvergenci vlhkosti i 99,95 % historických hodnot (02/2). V roce 2002 byly hodnoty extrémnější než v roce 1997. V této fázi si byly situace 97/1 a 02/2 značně podobné rozložením i extremitou většiny parametrů, pouze byly navzájem mírně pootočené. V 97/1

AT_850hPa

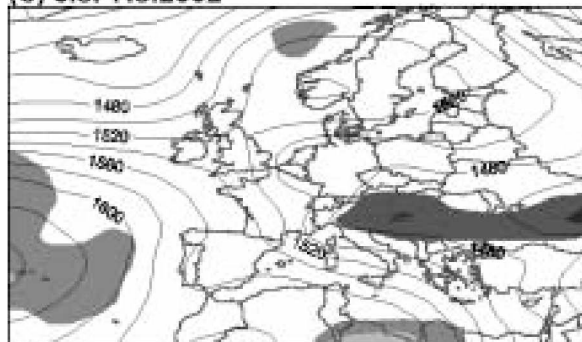
(a) 5.7.-6.7.1997



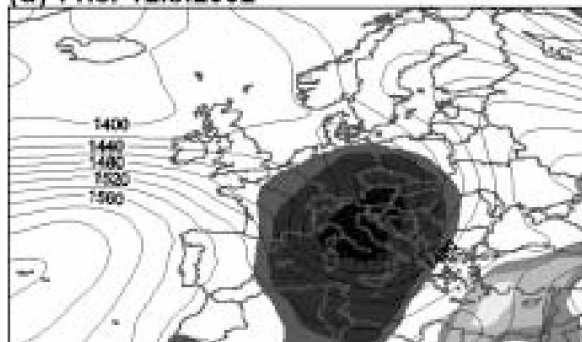
(b) 18.7.-19.7.1997



(c) 6.8.-7.8.2002

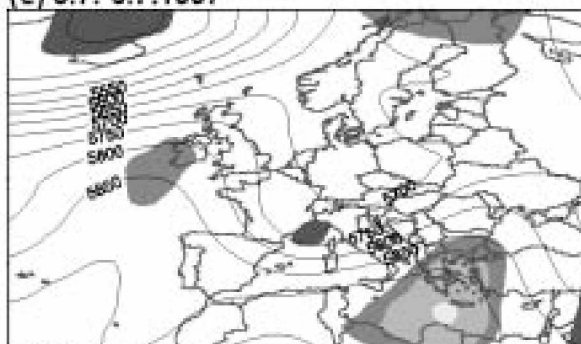


(d) 11.8.-12.8.2002

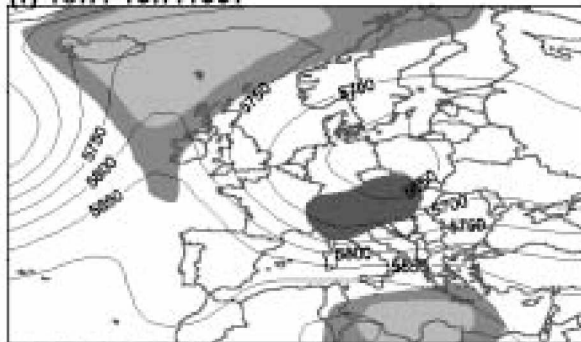


AT_500hPa

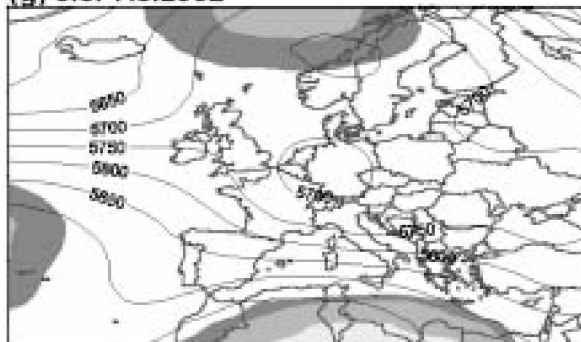
(e) 5.7.-6.7.1997



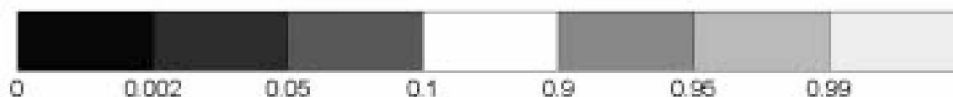
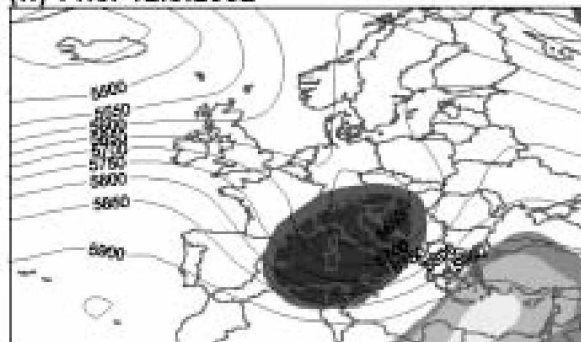
(f) 18.7.-19.7.1997



(g) 6.8.-7.8.2002

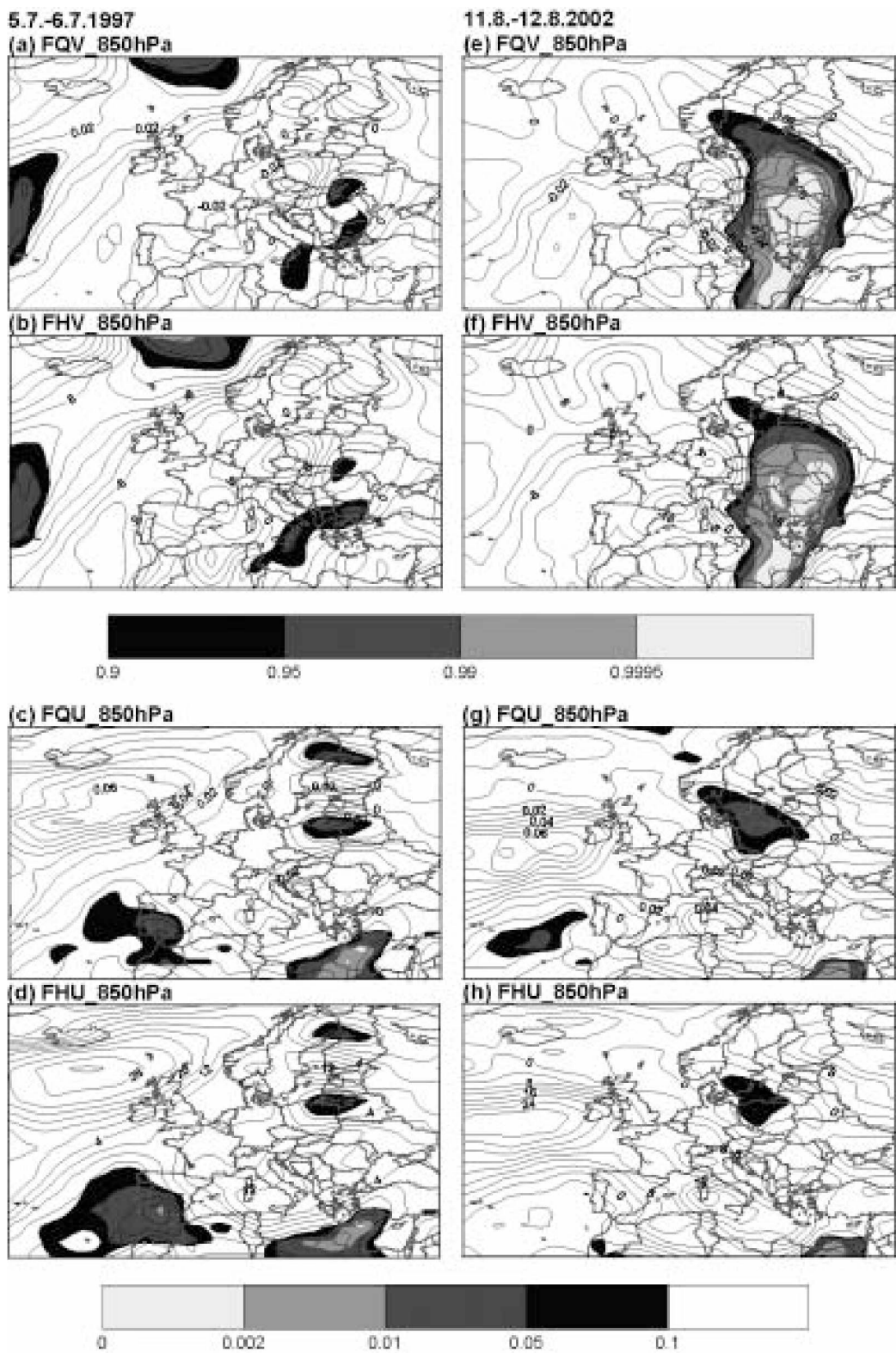


(h) 11.8.-12.8.2002



Obr. 2 Časově průměrovaná pole absolutní topografie [gpm] hladiny 850 hPa (AT_850) / (a) – (d)/ a hladiny 500 hPa (AT_500) / (e) – (h)/ pro čtyři srážkové epizody z července 1997 a ze srpna 2002. AT_850 a AT_500 jsou průměrovány za dva dny pro termíny, které se kryjí s počátkem srážek na našem území. Zakresleny jsou izohypsy a plochy s danou hodnotou distribuční funkce $F=1-PP$ jsou vyznačeny pomocí odstínů šedi (viz legenda).

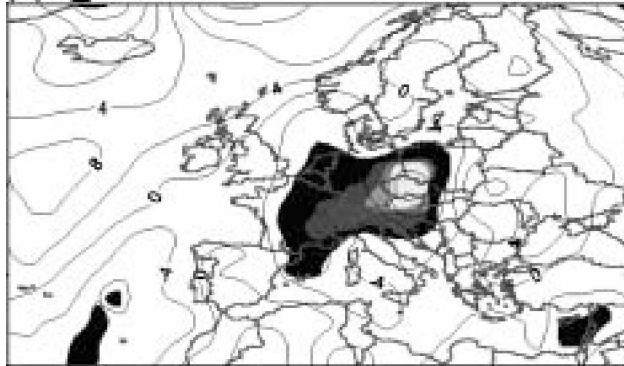
Fig. 2. The time averaged fields of the absolute topography of 850 hPa level [gpm] (AT_850) / (a) – (d)/ and of 500 hPa level [gpm] (AT_500) / (e) – (h)/ for four precipitation episodes from July 1997 and August 2002. AT_850 and AT_500 are averaged for two days that correspond to the periods within which the precipitation starts in the territory of the Czech Republic. Black contours mark the values of quantities and the shades of grey indicate the values of distribution function F (see the scale).



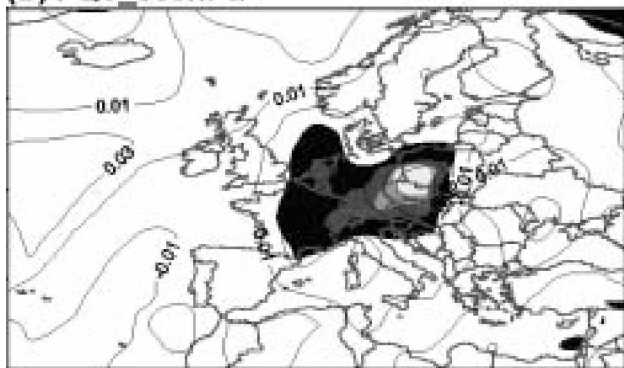
Obr. 3 Časově průměrovaná pole meridionálních $f(a)$, (e) a zonálních $f(c)$, (g) složek toku vlhkosti a meridionálních $f(b)$, (f) a zonálních $f(d)$, (h) složek toku tepla v hladině 850 hPa pro dvě dominantní srážkové epizody z července 1997 (97/1) a ze srpna 2002 (02/2). Toky jsou průměrovány za dva dny pro termíny, které se kryjí s počátkem srážek na našem území (viz obr. 2). Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a plochy s danou hodnotou distribuční funkce $F=1-PP$ jsou vyznačeny pomocí odstínů šedi (viz legendy). Záporné hodnoty veličin odpovídají tokům se severní a východní komponentou a kladné hodnoty odpovídají tokům s jižní a západní komponentou.

Fig. 3. The time averages of meridional $f(a)$, (e) and zonal $f(c)$, (g) water-vapour flux [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$] and meridional $f(b)$, (f) and zonal $f(d)$, (h) heat flux [$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$] at 850 hPa level for two dominant precipitation episodes from July 1997 (97/1) and August 2002 (02/2). The fluxes are averaged for two days that correspond to the periods within which the precipitation starts in the territory of the Czech Republic (see Fig. 2). Black contours mark the values of fluxes and the shades of grey indicate the values of distribution function F (see the scale). The negative values of fluxes correspond to the northern and eastern components. The positive values of fluxes correspond to the southern and western components.

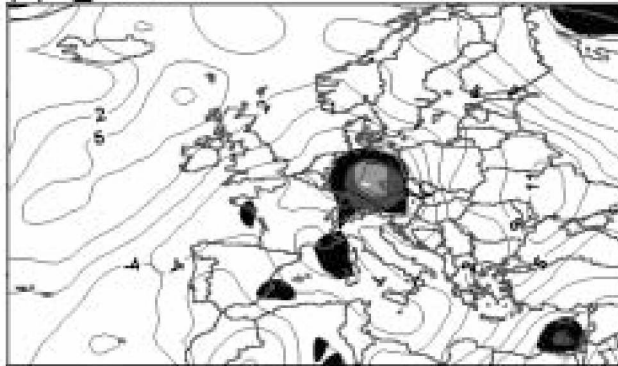
6.7.-7.7.1997
(a) V 850hPa



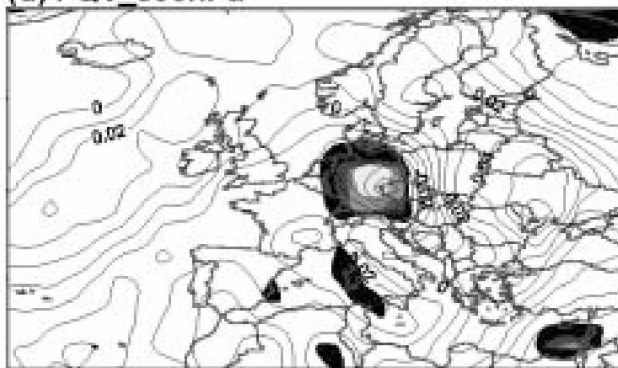
(b) FQV 850hPa



12.8.-13.8.2002
(c) V 850hPa



(d) FQV 850hPa



Obr. 4 Časově průměrovaná pole meridionální složky rychlosti větru [$m s^{-1}$] / (a), (c) a toku vlhkosti [$kg m^{-2} s^{-1}$] / (b), (d) v hladině 850 hPa pro dvě dominantní srážkové epizody z července 1997 (97/1) a ze srpna 2002 (02/2). Meridionální složka rychlosti větru a toku vlhkosti jsou průměrovány za dva dny pro termíny, které se kryjí s vypadáváním rozhodujících srážek na našem území. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a plochy s danou hodnotou distribuční funkce $F=1-PP$ jsou vyznačeny pomocí odstínů šedi (viz legenda). Záporné, resp. kladné hodnoty veličin odpovídají proudění či tokům s jižní, resp. severní komponentou.

Fig. 4. The time averages of meridional wind component [$m s^{-1}$] / (a), (c) and water-vapour flux [$kg m^{-2} s^{-1}$] / (b), (d) at 850 hPa level for two dominant precipitation episodes from July 1997 (97/1) and August 2002 (02/2). Wind components and water-vapour flux are averaged for two days that correspond to the periods with significant precipitation in the territory of the Czech Republic. Black contours mark the values of quantities and the shades of grey indicate the values of distribution function F (see the scale). The negative and positive values of quantities correspond to the northern and southern components, respectively.

převládalo proudění přímo ze severu, zatímco v 02/2 mělo spíše severozápadní směr. Velkoprostorová konvergence společně s vertikálním střihem větru spojeným s dlouhodobým prouděním vzduchových hmot s odlišnými fyzikálními vlastnostmi nad sebou [5, 6, 9, 10], zřejmě přispěla k silným velkoplošným výstupným pohybům v oblasti střední Evropy, které měly za následek vznik velmi intenzivních velkoplošných trvalých srážek při značném vlivu návětrných efektů. Zároveň se střed řídicí níže jen pomalu odsouval dále k východu (v epizodě 97/1 dokonce setrval po několik dní prakticky bez pohybu), což mělo za následek stacionarizaci situace, a tedy dlouhé trvání srážek nad stejným územím.

3.3 Vznik a vývoj příčné tlakové níže

Vývoj tlakových níže (proces cyklogeneze) a s nimi spojených frontálních srážkových pásů (proces frontogeneze) byl analyzován pomocí pole potenciální vorticity (dále jen PV). PV je kombinovanou mírou cyklonality a statické stability v atmosféře a při lineárních dějích popisuje jednoznačně pole

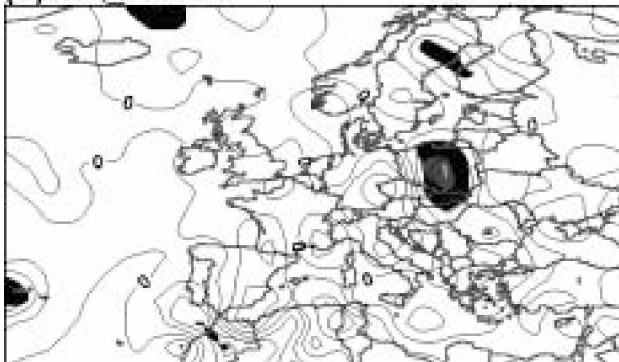
tlaku, proudění a výstupných rychlostí [3]. Další důležitou vlastností je konzervativnost PV při adiabatických pohybech v atmosféře. Výškové anomálie PV (odchytky od průměrných hodnot v příslušných zeměpisných šířkách a výškových hladinách) reprezentují dynamické procesy související se studenou, popř. teplou advekcí, které mají vliv na vznik frontálních zón. Pod kladnými anomáliemi nacházíme oblasti s cyklonální vorticitou a studeným vzduchem. V oblasti záporných anomálií je cirkulace anticyklonální a vzduchová hmota teplá. Nízkohladinové anomálie PV mohou „vznikat“ jak odštěpením od výškové anomálie (advekcí), tak i následkem neadiabatických dějů. Výškové a nízkohladinové anomálie PV spolu vzájemně interagují a mohou významnou měrou ovlivnit cyklogenetické a frontogenetické procesy v celé troposféře. Pro analýzu nízkohladinových anomálií je vhodná izobarická hladina 850 hPa. Pro analýzu výškových anomálií se používá izentropická hladina 330 K. Tato izentropická hladina se v letní polovině roku obvykle vyskytuje ve výškách kolem 9 km a přibližně odpovídá izobarické hladině 300 hPa. Výhody

6.7.1997 12UTC

(a) DIV 850hPa

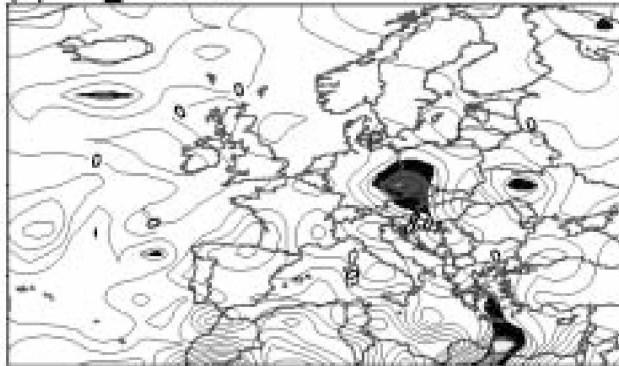


(b) DIQ 850hPa

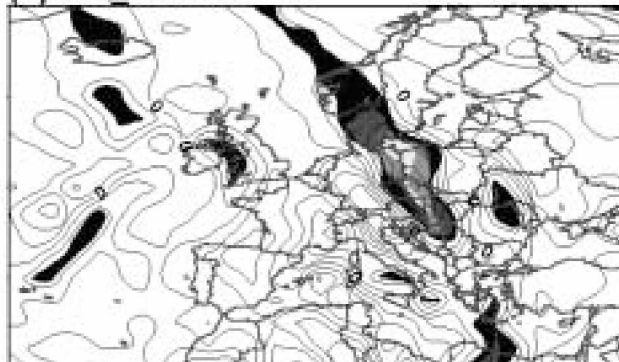


12.8.2002 12UTC

(c) DIV 850hPa



(d) DIQ 850hPa



Obr. 5 Konvergence proudění [s^{-1}] / (a), (c) a konvergence absolutní vlhkosti [$kg\ m^{-3}\ s^{-1}$] / (b), (d) v hladině 850 hPa pro dvě dominantní srážkové epizody z července 1997 (97/1) a ze srpna 2002 (02/2). Grafy se vztahují k termínům 6. 7. 1997 12 UTC a 12. 8. 2002 12 UTC, které odpovídají období vypadávání extrémních srážek na našem území. Zakresleny jsou izolonie sledované veličiny a plochy s danou hodnotou distribuční funkce $F=1-PP$ jsou vyznačeny pomocí odstínů šedi (viz legenda).

Fig. 5. The flow convergence [s^{-1}] / (a), (c) and absolute humidity convergence [$kg\ m^{-3}\ s^{-1}$] / (b), (d) at 850 hPa level for two dominant precipitation episodes from July 1997 (97/1) and August 2002 (02/2). The graphs correspond to July 6, 1997 at 12 UTC and August 12, 2002 at 12 UTC, which are characterized by extreme precipitation amounts in the territory of the Czech Republic. Black contours mark the values of convergence and the shades of grey indicate the values of distribution function F (see the scale).

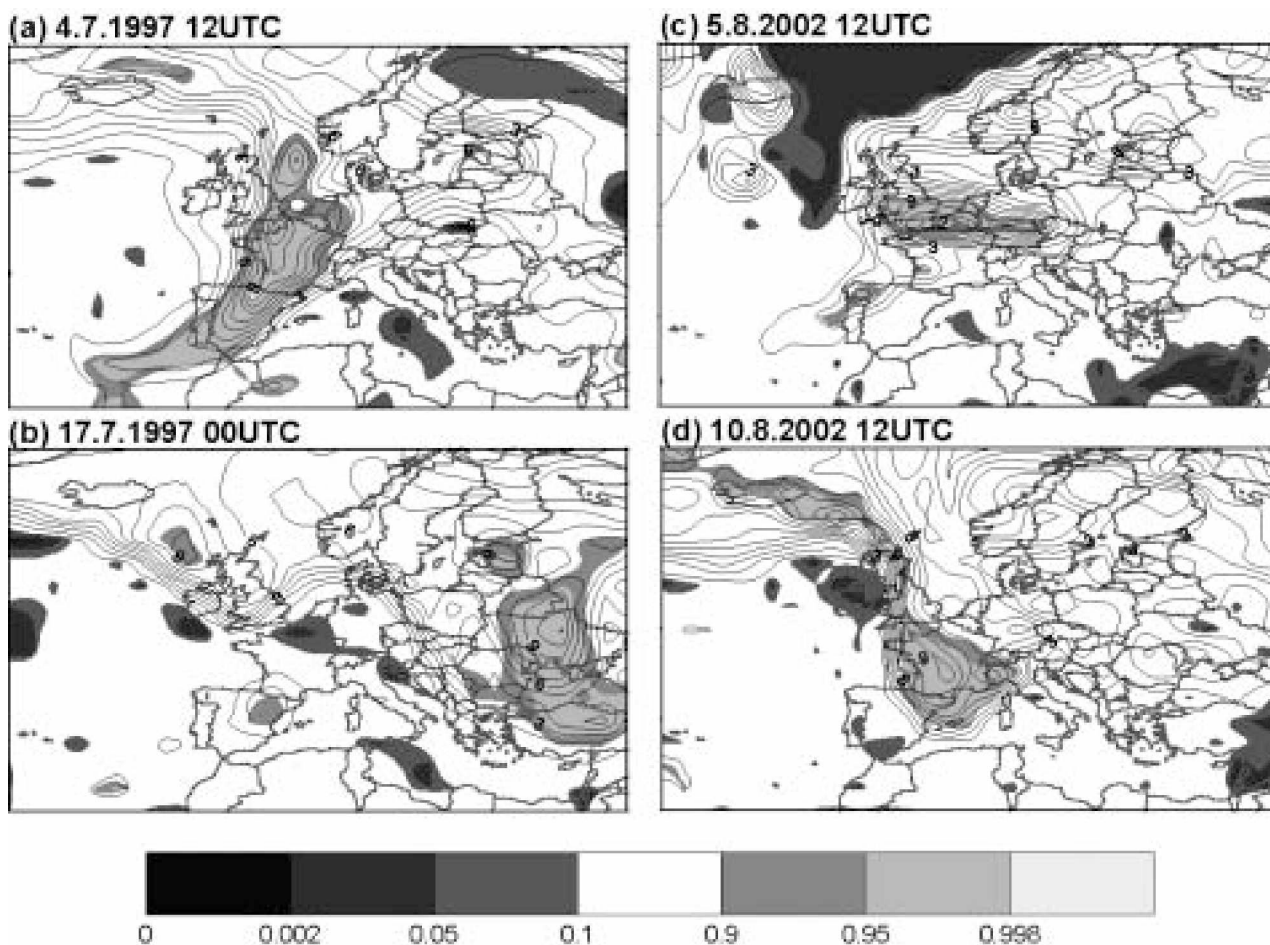
i nevýhody využívání izentropických hladin při analýzách povětrnostní situace shrnul již v roce 1948 prof. Dr. Mikuláš Konček [4]. Popis metod fyzikální interpretace polí PV při termodynamických rozbořech situace a příklady jejich praktického využití pro území ČR a SR lze nalézt v [7].

Společným znakem počátku epizod byla dobře vyjádřená kladná anomálie PV v horní troposféře nad západní a jižní Evropou. Obr. 6 ukazuje strukturu pole PV a příslušných hodnot distribuční funkce F v hladině 330 K postupně pro všechny čtyři epizody obou povodňových událostí. Pole PV se vztahují k termínu zhruba jeden den před vznikem srážek, tj. pro 97/1 k 4. 7. 12 UTC (obr. 6a), pro 97/2 k 17. 7. 00 UTC (obr. 6b), pro 02/1 k 5. 8. 12 UTC (obr. 6c) a pro 02/2 k 10. 8. 12 UTC (obr. 6d). Výskyt anomálie souvisí s advekcí studeného vzduchu od severu až severozápadu, a to zejména ve vyšších hladinách (obr. 1e-h). Anomálie se postupně rozšiřovala dále k jihovýchodu do oblasti západního Středomoří a mohutněla. Naopak v teplém jihozápadním proudění v oblasti centrálního nebo východního Středomoří nacházíme poněkud slaběji vyjádřenou zápornou anomálii PV. Zmíněná konfigurace pole PV, při které se střetával studený vzduch nad

západním Středomořím s relativně teplejším vzduchem nad východním Středomořím, poskytuje velmi příhodné podmínky pro cyklogenezi a pro vznik výrazného frontálního rozhraní ve spodních hladinách. V průběhu epizod se kladné výškové anomálie zvolna přemísťovaly k severovýchodu, kde postupně slably.

Maximální hodnoty PV v oblastech kladných anomálií přesahovaly 95 % historických hodnot z období vrcholného léta. U dominujících srážkových epizod 97/1 a 02/2 dosahovala PV ještě extrémnějších hodnot, které v oblasti západního Středomoří na počátku epizod přesahovaly 99 % až 99,8 % historických hodnot. I zde však lze zaznamenat odlišnosti. Z porovnání obr. 6a a obr. 6d vyplývá, že výšková kladná anomálie PV byla prostorově rozsáhlejší pro 97/1. Naopak pro 02/2 se dostala poněkud hlouběji do Středomoří. Na počátku epizod 97/2 a 02/1 byla oblast vysoké PV (obr. 6b a obr. 6c) plošně méně rozsáhlá, nacházela se severněji a její postup byl opožděn (zvláště u 97/2), což platilo i pro vývoj výškové cyklony.

Dalším z extrémních rysů studovaných epizod byly intenzivní velkoplošné výstupné pohyby v oblasti srážek. Obr. 7



Obr. 6 Pole potenciální vorticity [$\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{K kg}^{-1}$] v izentropické hladině 330 K pro čtyři srážkové epizody z července 1997 a ze srpna 2002. Grafy se vztahují k termínům přibližně jeden den před vznikem srážek na našem území (viz obr. 1). Zakresleny jsou izolonie sledované veličiny a plochy s danou hodnotou distribuční funkce $F=1-PP$ jsou vyznačeny pomocí odstínů šedi (viz legenda).

Fig. 6. The potential vorticity fields [$\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{K kg}^{-1}$] at the isentropic level of 330 K for four precipitation episodes from July 1997 and August 2002. The graphs correspond to dates approximately one day before precipitation onset in the territory of the Czech Republic (see Fig. 1.). Black contours mark the values of potential vorticity and the shades of grey indicate the values of distribution function F (see the scale).

znázorňuje F pro časově průměrované hodnoty PV v hladinách 330 K (obr. 7a,d) a 850 hPa (obr. 7b,e) a pro časově průměrované hodnoty vertikálních rychlostí v hladině 850 hPa (obr. 7c,f). Pole jsou průměrovaná za dva dny od 6. 7. do 7. 7. pro 97/1 a od 12. 8. do 13. 8. pro 02/2. Vybrané termíny odpovídají zhruba období vypadávání rozhodujících srážek na našem území. Analýza PV v hladině 850 hPa odhaluje dvojici kladných a záporných nízkohladinových anomálií PV v oblasti frontální zóny, která byla pro 97/1 položená východněji než pro 02/2. Maximální, resp. minimální hodnoty PV patřily mezi 1 % nejvyšších, resp. nejnižších hodnot z období vrcholného léta. Porovnáním s polem výstupných rychlostí zjistíme, že kladná nízkohladinová anomálie byla spojená s maximem výstupných pohybů, zatímco v případě sousední záporné anomálie najdeme slabší sestupné pohyby. Ze srovnání s polem PV v hladině 330 K vyplývá, že se nízkohladinová kladná anomálie vyvinula na přední straně (ve směru převládajícího proudění) výškové kladné anomálie. V této konfiguraci dochází v oblasti nízkohladinové kladné anomálie k dodatečnému zesílení výstupných pohybů, a to díky preexistenci výstupných pohybů na přední straně výškové kladné anomálie. Fyzikální mechanismus vzniku vertikálních pohybů v oblasti výškové anomálie PV je popsán např. v [1, 7]. V mís-

tech s nejintenzivnějšími výstupnými pohyby překračovaly vertikální rychlosti 99.8 % a místy až 99.95 % historických hodnot a zřejmě tak přispěly ke vzniku extrémních srážek na našem území.

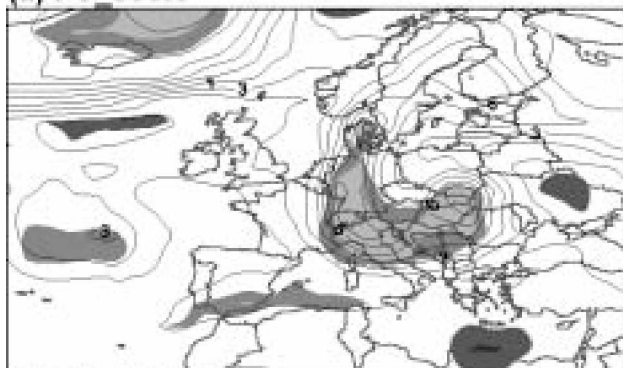
4. ZÁVĚR

Předkládaný článek, který navazuje na podrobnou studii [8] vypracovanou v ÚFA AV ČR, diskutuje a shrnuje shodné a odlišné rysy v extrémně synoptických parametřích během jednotlivých srážkových epizod, které byly meteorologickou příčinou povodní na území ČR v červenci 1997 a v srpnu 2002. Obě katastrofální povodně byly způsobeny vždy dvěma extrémními srážkovými epizodami, jejichž synoptické podmínky byly v základních rysech podobné.

Na základě dat ze souboru *ERA-40*, převzatého z ECMWF, byla pro povodňové události vyjádřena extrémní řada meteorologických veličin pro oblast pokrývající převážnou část Evropy. Získané výsledky byly za použití hodnot distribuční funkce F vyhodnoceny s důrazem na časový vývoj a extrému synoptických podmínek během čtyř srážkových epizod. Pole aktuálních hodnot F vystihují rozhodující synoptické procesy, které vedly k vývoji extrémních velkoplošných srážek. Současně vystihují rozdíly v extrémnosti pro obě srovnávané události. Článek se oproti konečné zprávě [8]

6.7.-7.7.1997

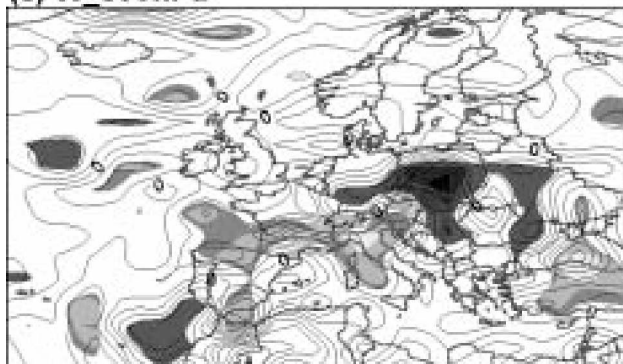
(a) PV 330K



(b) PV 850hPa

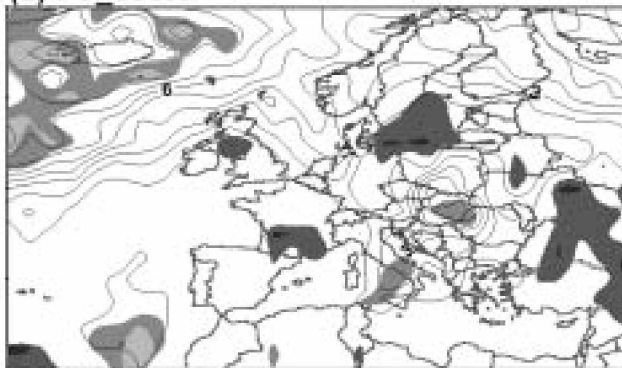


(c) W 850hPa

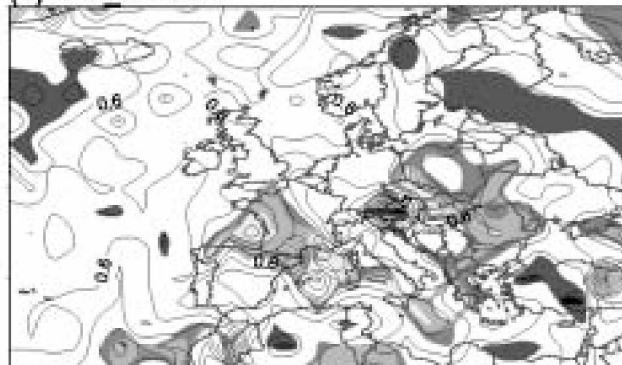


12.8.-13.8.2002

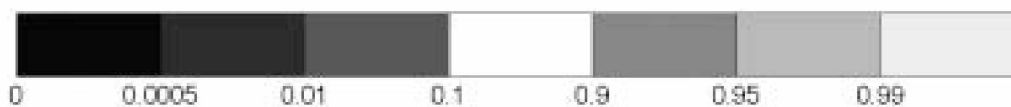
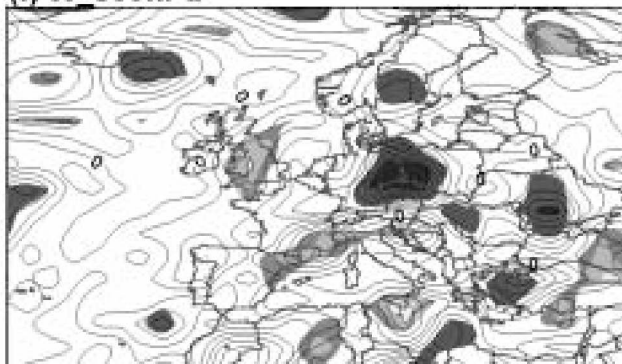
(d) PV 330K



(e) PV 850hPa



(f) W 850hPa



Obr. 7 Časově průměrovaná pole potenciální vorticity [$\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{K kg}^{-1}$] a vertikálních rychlostí [Pa s^{-1}] pro dvě dominantní srážkové epizody z července 1997 (97/1) a ze srpna 2002 (02/2). Horní (a), (d), resp. prostřední (b), (e)/panel obsahují pole potenciální vorticity v hladinách 330K, resp. 850 hPa. Dolní panel (c), (f)/obsahuje pole vertikálních rychlostí v hladině 850 hPa. Potenciální vorticity a vertikální rychlost jsou průměrovány za dva dny pro termíny, které se kryjí s vypadáváním rozhodujících srážek na našem území (viz obr. 4). Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a plochy s danou hodnotou distribuční funkce $F=1-PP$ jsou vyznačeny pomocí odstínů šedi (viz legenda).

Fig. 7. The time averaged fields of potential vorticity [$\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{K kg}^{-1}$] and vertical wind speed [Pa s^{-1}] for two dominant precipitation episodes from July 1997 (97/1) and August 2002 (02/2). Upper (a), (d)/ and middle (b), (e)/ panels contain the fields potential vorticity at the levels of 330K and 850 hPa, respectively. Bottom panel (c), (f)/ contains the fields of vertical wind speed at 850 hPa level. Potential vorticity and vertical wind speed are averaged for two days that correspond to the periods within significant precipitation in the territory of the Czech Republic (see Fig. 4). Black contours mark the values of quantities and the shades of grey indicate the values of distribution function F (see the scale).

zaměřuje na porovnání vícedenních charakteristik extrémnosti synoptické situace, a to hlavně pomocí odvozených termodynamických veličin. Důsledněji se též zabývá epizodami 97/2 a 02/1, které byly srážkově méně významné.

Mezi charakteristické znaky obou událostí, které jsou shrnuty v tab. 1, patří

před vznikem srážek (tab. 1a):

- nadprůměrně teplý a vlhký vzduch nad rozsáhlým územím severní a východní Evropy;
 - vpád studeného vzduchu ze severních směrů do západního Středomoří;
 - velmi teplý vzduch nad centrálním nebo východním Středomořím;
 - výrazné teplotní rozhraní mezi oběma vzduchovými hmotami (viz body b, c);
 - vznik tlakové níže jižně od Alp a její následný postup k severovýchodu;
- v době trvání srážek (tab. 1b):
- intenzivní tok vlhkosti a tepla do střední Evropy na přední straně tlakové níže na počátku srážek, resp. do severovýchodní Evropy v době trvání srážek;
 - mimořádně silné proudění vlhkého vzduchu ze severních směrů nad území ČR;
 - silná velkoprostorová konvergence (vtok) proudění vzduchu i vlhkosti v nižších hladinách v prostoru vypadávání srážek;
 - intenzivní výstupné pohyby v prostoru vypadávání srážek.

Navzájem nejpodobnější a ve většině meteorologických parametrů více extrémní byly dominantní epizody 97/1 a 02/2. Měly však i některé odlišné rysy. Mezi ně patří vývoj tlakové níže před počátkem srážek, neboť v případě 97/1 existovala zpočátku jen brázda nízkého tlaku, zatímco epizoda 02/2 se od počátku vyznačovala velmi hlubokou tlakovou níží ve všech hladinách. Tato níže byla spojena s mimořádně silným jižním prouděním a tokem vlhkosti na své přední straně, mnohem silnějším než v ostatních epizodách. Odlišnosti mezi 97/1 a 02/2 lze nalézt také ve směru proudění nad střední Evropou v době vypadávání srážek a polohou i intenzitou tla-

kové výše nad západní Evropou. Zatímco v 02/2 mělo proudění spíše severozápadní směr, v 97/1 převládalo proudění přímo ze severu a přízemní hřeben vysokého tlaku vzduchu, který se nasouval nad západní Evropu, byl výrazně vyvinutější. Celkově lze říci, že meteorologické charakteristiky dosahovaly v 02/2 extrémnějších hodnot. Na druhou stranu v 97/1 setrvaly vysoké hodnoty po delší dobu nad stejným územím. Epizody 97/2 a 02/1 se od dominantních epizod lišily významněji, a to převážně nižší intenzitou extrémů a v některých ohledech i celkovým charakterem synoptické situace. Zejména poloha a stádium vývoje řídicí tlakové níže v době počátku srážek se u těchto epizod ztelně lišila.

Objektivní předpověď srážek se v posledním desetiletí velmi zlepšila v souvislosti s rostoucí kvalitou numerických předpovědních modelů (NWP modely). Přesto jsou možnosti zpřesnění kvantitativní předpovědi srážek (QPF) lokalizované v čase i prostoru stále otevřené. V souvislosti s tím je QPF v současnosti intenzivně studovaný problém. Obzvláště složitá je QPF pro extrémní srážky obecně, především pak u srážek spojených s konvekcí v teplé polovině roku. Zlepšení QPF spočívá v dalším zdokonalování NWP modelů a zpřesňování vstupních dat. Tento vývoj neustále probíhá, jedná se však o proces dlouhodobý. Vzhledem k tomu můžeme očekávat i důraz na využití postprocessingu výstupů NWP modelů a pravděpodobnostních interpretačních metod. Jelikož příčinné srážky velkoplošných letních povodní se vyvíjejí ve střední Evropě z podobných situací, jaké jsou popsány v tomto článku, lze na základě zpracování dat ERA-40 doporučit, aby hodnocení pomocí extremity bylo uplatněno při synoptickém hodnocení situací, za nichž může dojít k vývoji velkoplošných srážek, které mohou vyvolat na našem území povodňové stavy. Jak ukázal rozbor obou povodňových událostí, je v některých případech důležitá i vzájemná koexistence extremity různých meteorologických veličin v různých oblastech domény. Získané závěry lze proto dále využít pro kombinovaný expertní přístup k hodnocení extremity. Produktem může být např. koncepční model využívající kombinovanou rozhodovací kritéria založená na hodnotách extremity, který by umožňoval

Tab. 1 Extrémní hodnoty distribuční funkce F [%] (vyznačeny jsou pouze hodnoty >90 %, resp. <10 %) pro vybrané veličiny a jednotlivé srážkové epizody před vznikem (tab. 1a) a v průběhu trvání srážek (tab. 1b). EPT 850, AT 850, FQV 850, V 850, DIQ 850 a W 850 označují postupně adiabatickou ekvivalentní potenciální teplotu, absolutní topografii, meridionální tok vlhkosti, meridionální složku proudění, konvergenci vlhkosti a vertikální rychlost v izobarické hladině 850 hPa. Podobně T 500, resp. AT 500 označují teplotu, resp. absolutní topografii pro hladinu 500 hPa.

Table 1. Extreme values of distribution function F [%] (only values $>90\%$ and $<10\%$ are filled) for selected quantities and for each individual precipitation episodes before (tab. 1.a) and during (tab. 1.b) precipitation period. EPT 850, AT 850, FQV 850, V 850, DIQ 850 and W 850 successively mark the equivalent potential temperature, absolute topography, meridional flux of moisture, meridional wind component, large-scale convergence of moisture and vertical velocity at the isobaric level of 850 hPa. Similarly, T 500 and AT 500 mark the temperature and absolute topography for 500 hPa level, respectively.

Tab.1a

Veličina	Oblast	97/1	97/2	02/1	02/2	Poznámka
EPT850	severní a východní Evropa	$>99,00\%$	$>90,00\%$	$>99,95\%$	$>95,00\%$	
T500	západní Evropa	$<0,20\%$		$<10,00$	$<1,00\%$	97/2 vpád studeného vzduchu opožděn
EPT850	centrální a východní Středomoří	$>99,00\%$	$>95,00\%$	$>99,80\%$	$>99,80\%$	
AT850	jihozápadní Evropa	$\sim 10,00\%$	$<1,00\%$	$<5,00\%$	$<0,20\%$	dvoudenní průměr; 02/1: pouze brázda
AT500	západní Evropa	$<10,00\%$	$<10,00\%$	$\sim 10,00\%$	$<1,00\%$	dvoudenní průměr; 97/1: pouze brázda

Tab.1b

Veličina	Oblast	97/1	97/2	02/1	02/2	Poznámka
FQV850	jihovýchodní Evropa	$>95,00\%$	$>99,00\%$		$>99,95\%$	dvoudenní průměr; obdobně pro tok tepla
V850	střední Evropa	$<0,05\%$	$<0,20\%$	$<5,00$	$<0,05\%$	dvoudenní průměr
DIQ850	střední Evropa	$>99,80\%$	$>99,00\%$	$>99,00\%$	$>99,95\%$	
W850	střední Evropa	$<0,05\%$	$<0,05\%$	$<1,00\%$	$<0,20\%$	dvoudenní průměr

odhad pravděpodobnosti výskytu příčinných srážek pro varování před povodněmi typu července 1997 a srpna 2002.

Poděkování:

Meteorologická data potřebná pro vyhodnocení extremity byla dodána z databáze ERA-40 z ECMWF (Reading). Převod dat byl doprovázen konzultační asistencí RNDr. M. Janouška z ČHMÚ. Bez této součinnosti by řešení úkolu nebylo možné. Na zpracování dat se podílel RNDr. Z. Sokol, CSc. a při hodnocení vydatně pomáhal Mgr. D. Hanslian z ÚFA AV ČR. Za cenné náměty a připomínky děkuji též RNDr. D. Řezáčové, CSc.

Literatura

- [1] BLUESTEIN, H. B., 1993. Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Vol. 2. Oxford Univ. Press, New York. s. 199–202. ISBN 0-19-506267-2.
- [2] ERA-40: <http://www.ecmwf.int/research/era/Project/index.html>
- [3] HOSKINS, B. J. – MCINTYRE, M. E. – ROBERTSON, A. W., 1985. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, roč. 111, č. 470, s. 877–946. ISSN 0035-9009.
- [4] KONČEK, M., 1948. Izentropické mapy. *Meteorologické Zprávy*, roč. 2, č.1, s. 20–22. ISSN 0026-1173.
- [5] PAVLÍK, J. – FEREBAUEROVÁ, M. – SANDEV, M. – HAVELKA, J., 2002. Synoptické hodnocení povětrnost-

ních situací v průběhu povodní v srpnu 2002 v České republice. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 6, s. 167–176. ISSN 0026-1173.

- [6] PAVLÍK, J. – SANDEV, M., 1997. Synoptické hodnocení povětrnostních situací v průběhu povodně v červenci 1997. *Meteorologické Zprávy*, roč. 50, č. 6, s. 164–171. ISSN 0026-1173.
- [7] RACKO, S. – SIMON, A. – SOKOL, A., 2002. Niektoré z príčin búrok v zimnom období. *Meteorologické Zprávy*, roč. 55, č. 3, s. 69–81. ISSN 0026-1173.
- [8] ŘEZÁČOVÁ, D. a kol., 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. Závěrečná zpráva o řešení dílčího úkolu projektu MŽP ČR „Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002“. Praha: ÚFA AV ČR. 78 s. (dostupné na <http://www.ufa.cas.cz/html/meteo/povodne2002/index.html>)
- [9] Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002, 2002. 1. etapa. Meteorologické příčiny katastrofální povodně v srpnu 2002 a vyhodnocení extremity příčinných srážek. Praha: ČHMÚ. 160 s.
- [10] Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997, 1998. Dílčí úkol 1: Meteorologické příčiny povodňové situace. Praha: ČHMÚ. 115 s.

Lektor RNDr. A. Simon, rukopis odevzdán v srpnu 2003.