

## 2. Porovnání extrémnosti synoptických podmínek během významných srážkových epizod ze srpna 2002 a července 1997

### 2.1. Použitá data a metodika jejich zpracování

Podrobné synoptické hodnocení povětrnostních situací v průběhu povodní lze nalézt ve zprávách ČHMÚ z 1998 a 2002 (I. etapa). Předmětem kapitoly 2 je porovnání extremity synoptických podmínek při obou situacích. Pro toto srovnání jsme provedli obdobné výpočty jako při hodnocení charakteristik atmosféry během povodně v roce 1997 viz *Souhrnná zpráva (1998)*. Extremita je tedy vyjádřena jako relativní četnost hodnot, které byly vyšší (resp. nižší) než zjištěná hodnota meteorologické veličiny. Soubor vstupních dat užitý v této studii je však výrazně rozsáhlejší co do časového rozsahu i množství analyzovaných veličin. Relativní četnost lze proto interpretovat jako dobrý odhad pravděpodobnosti překročení hodnot z obou povodňových situací 2002 a 1997.

Při hodnocení byla užitá data ERA-40 z databáze ECMWF (Evropské středisko pro střednědobou předpověď) za 34 letních období. Data představují reanalýzy ECMWF z 00 UTC a 12 UTC. Poznamenejme, že projekt ECMWF ERA-40 není ještě ukončen a pro tuto studii jsme získali možné maximum reanalyzovaných termínů. Pro rok 2002, který ještě není zahrnut do dat ERA-40, jsme užili soubor analýz ECMWF ze srpna 2002 00 UTC i 12 UTC, který má identickou strukturu jako data reanalyzovaná. Reanalyzovaná data užitá v historickém souboru zahrnují celkem 10 404 datových souborů, viz tab. 2.1. Reanalyzovaná data z roku 1997 nebyla zahrnuta do souboru historických dat a termíny z povodňové epizody z července 1997 byly užitý pouze pro odpovídající výpočty extremity.

*Tab.2.1 Rozsah vstupních dat užitých pro hodnocení extremity, vyjádřený jako počet datových souborů (00 UTC, resp. 12 UTC) převedených z ECMWF. Jednotlivá období zahrnují data ERA-40, která jsou v ECMWF v současnosti k dispozici.*

| Roky      | N let | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | V-IX  | VII-VIII |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|-------|----------|
| 1958-1969 | 12    | 744  | 720  | 744  | 744  | 720  | 3672  | 1440     |
| 1973-1982 | 10    | 620  | 600  | 620  | 620  | 600  | 3060  | 1200     |
| 1986      | 1     | 62   | 60   | 62   | 62   | 60   | 306   | 120      |
| 1989-1996 | 8     | 496  | 480  | 496  | 496  | 480  | 2448  | 960      |
| 1998-2000 | 3     | 186  | 180  | 186  | 186  | 180  | 918   | 360      |
| Suma      | 34    | 2108 | 2040 | 2108 | 2108 | 2040 | 10404 | 4216     |

Jednotlivé soubory obsahují hodnoty meteorologických veličin v síti zeměpisných souřadnic s rozlišením  $2,5^\circ$  v oblasti, která pokrývá velkou část Evropy. Hodnocená oblast byla vymezena zeměpisnými souřadnicemi  $30^\circ$  z. d. až  $40^\circ$  v. d. a  $30^\circ$  s. š. až  $70^\circ$  s. š. a při daném rozlišení tedy představuje celkem  $17 \times 29 = 493$  gridových bodů.

Datové soubory, vztahující se k jednotlivým termínům, obsahují základní meteorologické veličiny v 5 izobarických hladinách (925, 850, 700, 500 a 300 hPa) a ve 2 izentropických hladinách (300 a 330 K). Nabídka dat ERA-40 obsahuje i několik veličin odvozených, z nichž některé jsme do souborů zařadili. Několik veličin, které nebyly v nabídce ERA-40, jsme dopočítali sami. Přehled veličin, které byly zařazeny do výpočetní procedury, poskytuje tab. 2.2.

Tab. 2.2 Přehled veličin, které tvoří základní soubory historických dat. Veličiny A byly převedeny z ECMWF, veličiny B byly počítány ze souboru A. Označení hladiny  $p$  znamená, že veličina byla stanovena v izobarických hladinách 925, 850, 700, 500, 300 hPa, označení  $\Theta$  udává veličinu stanovenou v izentropických hladinách 300 a 330 K. Výpočet advekce dané veličiny byl proveden odděleně pro advekci zonální i meridionální složkou proudění v dané hladině a odděleně byla stanovena také zonální a meridionální složka toku uvažované veličiny.

| A: Veličiny ze souboru ERA-40 |                                     |          |   |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------|---|
| No                            | Název veličiny (ECMWF kód)          | Hladina  | Rozměr  |
| 1                             | Geopotenciál (129)                  | $p$      | gpm   |
| 2                             | Teplota (130)                       | $p$      | K   |
| 3                             | Spec.vlhkost (133)                  | $p$      | kg.kg <sup>-1</sup>                                 |
| 4                             | Vertikální rychlost (135)           | $p$      | Pa.s <sup>-1</sup>                                  |
| 5                             | Relativní vlhkost (157)             | $p$      | %   |
| 6                             | Potenciální vorticity (60)          | $p$      | m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> .K.kg <sup>-1</sup> |
| 7                             | Zonální složka větru (131)          | $p$      | m.s <sup>-1</sup>                                   |
| 8                             | Meridionální složka větru (132)     | $p$      | m.s <sup>-1</sup>                                   |
| 9                             | Spec.vlhkost (133)                  | $\Theta$ | kg/kg   |
| 10                            | Potenciální vorticity (60)          | $\Theta$ | m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> .K.kg <sup>-1</sup> |
| 11                            | Zonální složka větru (131)          | $\Theta$ | m.s <sup>-1</sup>                                   |
| 12                            | Meridionální složka větru (132)     | $\Theta$ | m.s <sup>-1</sup>                                   |
| 13                            | Teplota povrchu moře (34)           | -        | K   |
| 14                            | Celková voda ve sloupci (136),      | -        | kg.m <sup>-2</sup>                                  |
| 15                            | Celková vodní pára ve sloupci (137) | -        | kg.m <sup>-2</sup>                                  |
| 16                            | Půdní teplota hlad.1 (139)          | 7 cm     | K   |
| 18                            | Celkové pokrytí oblačností (164)    | -        | desetiny (0–1)                                      |
| 17                            | Rosný bod                           | 2 m      | K   |
| 19                            | Pokrytí nízkou oblačností (186)     | -        | desetiny (0–1)                                      |
| 20                            | Pokrytí střední oblačností (187),   | -        | desetiny (0–1)                                      |
| 21                            | Pokrytí vysokou oblačností (188)    | -        | desetiny (0–1)                                      |
| B: odvozené veličiny          |                                     |          |   |
| No                            | Název veličiny                      | Hladina  | Rozměr  |
| 22                            | Ekvivalentní potenciální teplota    | $p$      | K   |
| 23                            | Index Fausta                        | -        | K   |
| 24                            | K-index                             | -        | K   |
| 25                            | Relativní vorticity                 | $p$      | s <sup>-1</sup>                                     |
| 26                            | Konvergence proudění                | $p$      | s <sup>-1</sup>                                     |
| 27                            | Konvergence vlhkosti                | $p$      | kg.m <sup>-3</sup> .s <sup>-1</sup>                 |
| 28,29                         | Izobarická advekce vorticity        | $p$      | s <sup>-2</sup>                                     |
| 20,31                         | Izobarická advekce vlhkosti         | $p$      | kg.kg <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>                |
| 32,33                         | Izobarická advekce teploty          | $p$      | K.s <sup>-1</sup>                                   |
| 34,35                         | Izentropická advekce PV             | $\Theta$ | m <sup>2</sup> .s <sup>-2</sup> .K.kg <sup>-1</sup> |
| 36, 37                        | Tok vodní páry                      | $p$      | kg.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>                 |
| 38, 39                        | Tok tepla                           | $p$      | J.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>                  |
| 40, 41                        | Tok hmotnosti vzduchu               | $p$      | kg.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>                 |

Odvozené veličiny byly stanoveny na základě veličin základních. V každé izobarické hladině byla ekvivalentní potenciální teplota EPT určena pomocí vztahu:

$$(1) \quad EPT = \Theta_{VKH} \exp \left[ \left( \frac{3.036}{T_{VKH}} - 0.00178 \right) 1000 \frac{Q}{1-Q} \left( 1 + 0.448 \frac{Q}{1-Q} \right) \right],$$

v němž  $Q$  je specifická vlhkost a  $T_{VKH}$ , resp.  $\Theta_{VKH}$  značí teplotu, resp. potenciální teplotu ve výstupné kondenzační hladině. Obě hodnoty byly stanoveny podle následujících vztahů:

$$(2,3) \quad T_{VKH} = 55 + \frac{2840}{3.5 \ln(T) - \ln(e) - 4.805}, \quad \Theta_{VKH} = T \left( \frac{1000}{p-e} \right)^{0.2854} \left( \frac{T}{T_{VKH}} \right)^{0.28 \frac{Q}{1-Q}}.$$

V (2) a (3) značí  $e$  napětí vodní páry,  $T$  teplotu a  $p$  tlak vzduchu. Hodnota napětí vodní páry byla stanovena z definice specifické vlhkosti  $Q$ .

Index Fausta byl určen z definice, viz např. *Faust (1951)*, a  $K$  index z definice:

$$(4) \quad K = T_{850} - T_{500} + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700})$$

kde  $T$  a  $T_d$  je teplota a teplota rosného bodu v izobarických hladinách vyznačených indexem.

Relativní vorticity byla určena v zeměpisných souřadnicích pomocí vztahu:

$$(5) \quad VOR = \frac{1}{r \cos \varphi} \left[ \frac{\partial v}{\partial \lambda} - \frac{\partial(u \cos \varphi)}{\partial \varphi} \right],$$

kde  $r$  je poloměr Země,  $\varphi$  je zeměpisná šířka,  $\lambda$  zeměpisná délka,  $u$  je zonální a  $v$  meridionální složka proudění. Obdobně byla konvergence proudění určena pomocí rovnice

$$(6) \quad DIV = \frac{1}{r \cos \varphi} \left( \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (v \cos \varphi) \right)$$

a konvergence specifické vlhkosti podle vztahu analogického k (6), kde místo rychlosti větru uvažujeme tok specifické vlhkosti, viz dále.

Izobarickou advekci vorticity, teploty, resp. vlhkosti stanovíme pomocí vztahu

$$(7) \quad AV(X) = AVU(X) + AVV(X) = -u \frac{1}{r \cos \varphi} \frac{\partial X}{\partial \lambda} - v \frac{1}{r} \frac{\partial X}{\partial \varphi},$$

kde  $X$  značí odpovídající veličinu. Při výpočtu jsme určovali oba sčítance  $AVU$  a  $AVV$  odděleně. Pro izentropickou advekci potenciální vorticity uijeme také vztah (7) s vektorem proudění v izentropické ploše. Tok dané veličiny  $X$  vyjádříme vztahem

$$(8) \quad \vec{f}(X) \equiv [fu, fv] = [uX\rho, vX\rho],$$

kde  $\rho$  je hustota vzduchu a

$$(9) \quad X = Q, \quad X = c_{pd} \left( 1 + \left( \frac{c_{pv}}{c_{pd}} - 1 \right) Q \right) T, \quad \text{resp. } X = 1$$

pro tok vlhkosti, tepla, resp. hmotnosti. V rovnici (9) označují  $c_{pd}$  a  $c_{pv}$  měrné teplo suchého vzduchu a vodní páry při konstantním tlaku.

Před vlastním hodnocením byly stanoveny veličiny z tab. 2.2 pro všechny termíny a ve všech gridových bodech a uvažovaných hladinách. Odpovídající datové soubory jsou k dispozici pro případné další studium. V dalších částech textu, které se týkají vlastního hodnocení extremity povodňových situací, je pochopitelně diskutována jenom ta část veličin, která se nám jevila pro hodnocení dané situace jako nejpodstatnější.

Pro popis extremity dané situace byl užit podobný postup jako v *Souhrnná zpráva (1998)*. Označme  $X(i,j,h)$  hodnotu veličiny  $X$  v bodě  $[i,j,h]$ , kde  $i = 1,2,\dots,17$ ,  $j = 1,2,\dots,29$  a  $h$  je daná hladina. Pro každý bod uvažované sítě byl na základě historických dat získán soubor  $N = 10404$  hodnot  $X(i,j,h)$ . Pro každý termín z uvažované povodňové epizody (z 1997 a 2002) 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 kvantilu  $X_P(i,j,h)$  rozdělení hodnot  $X(i,j,h)$ . Odhad hodnoty  $PP(i,j,h)$  lze tedy vyjádřit vztahem:

$$(10) \quad PP(i, j, h) = \frac{\text{počet případů, pro něž platí } X(i, j, h) \geq X^*(i, j, h)}{N}.$$

Extrémnost hodnoty  $X^*(i, j, h)$  byla posuzována na základě hodnoty pravděpodobnosti  $PP$ , resp. na základě příslušné hodnoty distribuční funkce  $F = 1 - PP$ . V hladině  $h$  byly potom znázorněny izolinie vybraných hodnot  $F$ .

Byly provedeny 4 varianty výpočtů extremity.

1. Plošné rozložení hodnot  $PP$ , resp.  $F$  bylo stanoveno pro jednotlivé termíny povodňových situací.
2. Plošné rozložení hodnot  $PP$ , resp.  $F$  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. 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.
4. Byly stanoveny hodnoty  $PP$  pro střední hodnotu, standardní odchylku, minimum a maximum veličin ze suboblasti pokrývající střední Evropu.

U všech výpočtů byla extremita vyjádřena kromě hodnot  $PP$ , resp.  $F = 1 - PP$  také pomocí standardní odchylky rozdělení sledované veličiny.

Výsledkem uvedených výpočtů je rozsáhlý soubor dat, ale pouze část z nich bylo možné v čase vymezeném na tuto studii zpracovat. Zaměřili jsme se proto především na hodnocení a porovnání extremity srážkových epizod z hlediska časového vývoje synoptických podmínek a s využitím hodnot  $PP$ , resp.  $F$ . Jelikož se ukázalo, že hodnoty  $PP$ , resp.  $F$  se pro letní polovinu roku v drtivé většině případů téměř shodují s hodnotami pro vrcholné léto, byly po zvážení použity pouze hodnoty opírající se o datový soubor z července a srpna. Zároveň je tím vyloučeno, že by hodnoty  $PP$ , resp.  $F$  byly ovlivněny ročním chodem meteorologických prvků.

## 2.2. Stručná charakteristika posuzovaných srážkových epizod

Extrémní srážky v srpnu 2002 i v červenci 1997 se vyskytovaly vždy během dvou několikadenních srážkových epizod, které 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 ze 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. Podrobný popis synoptických podmínek v jednotlivých epizodách lze nalézt ve zprávách ČHMÚ z 1998 a 2002, viz *Zpráva DÚ1 (1998)* a *Zpráva ČHMÚ (2002)*.

Tab. 2.3 Vymezení posuzovaných srážkových epizod z hlediska zobecněného časového průběhu srážek.

| Epizoda                               | 97/1            | 97/2          | 02/1            | 02/2             |
|---------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|------------------|
| Počátek srážek                        | 5. 7. 12 UTC    | 18. 7. 00 UTC | 6. 8. 12 UTC    | 11. 8. 12 UTC    |
| Vrchol                                | 6. 7. 12 UTC    | 18. 7. 12 UTC | 7. 8. 00 UTC    | 12. 8. 12 UTC    |
|                                       |                 | 19. 7. 12 UTC |                 |                  |
| Srážky při výrazném severním proudění | 7. 7. 12 UTC    | 19. 7. 12 UTC |                 | 13. 8. 00–12 UTC |
|                                       | 8. 7. 00–12 UTC | 20. 7. 00 UTC |                 | 14. 8. 00 UTC    |
| Konec srážek                          | 9. 7. 00–12 UTC | 21. 7. 12 UTC | 8. 8. 00–12 UTC | 14. 8. 12 UTC    |

Analyzovaná pole meteorologických veličin byla studována v těsné souvislosti s časovým průběhem srážek, který je shrnut v tab. 2.3. V tabulce jsou definována jednotlivá stadia vypadávání srážek, jejichž vývoj byl spojen s příčinnou tlakovou níží středomořského původu. Celkem se jedná o čtyři stadia: počátek srážek, vrchol srážek, srážky při výrazném severním proudění a konec srážek. Období trvání kompaktního srážkového pole považujeme za vrchol srážkové epizody. Poté následuje jistá dezintegrace srážkového pole, nikoli však nutně slábnutí srážek. V epizodách 97/1 a 02/2 nadále vypadávaly velmi intenzivní srážky, avšak již v méně kompaktním pásu severojižního směru, který se vyznačoval velmi výrazným severním prouděním v celé své šíři. Za jednotlicí termín byl považován počátek srážek. Většina obrázků i hodnotícího textu byla vztahována k termínům den před počátkem srážek, k počátku srážek a k termínům den a dva dny po počátku srážek.

### 2.3. Extrémnost meteorologických podmínek během srážkových epizod

#### 2.3.1 Podmínky před vznikem extrémních srážek

Pro vypadávání extrémně vysokých a trvalých srážek na našem území je důležité splnění dvou základních předpokladů. Prvním z nich je výskyt výrazně teplého a vlhkého vzduchu nad rozsáhlým územím v severní a východní Evropě. Druhým předpokladem je vznik tlakové níže jižně od Alp a její postup k severovýchodu. Vznik tlakové níže je podmíněn vpádem studeného vzduchu do západního Středomoří, kde se střetává s teplejším vzduchem, nacházejícím se východněji.

Teplotní poměry v hladině 850 hPa jeden den před počátkem srážek, tj. v termínech 4. 7. 1997 12 UTC, 17. 7. 1997 00 UTC, 5. 8. 2002 12 UTC a 10. 8. 2002 12 UTC, jsou znázorněny na obr. 2.5a, obr. 2.6a, obr. 2.7a a obr. 2.8a. Rozložení specifické vlhkosti v téže hladině je na obr. 2.5e, obr. 2.6e, obr. 2.7d a obr. 2.8e. Absolutní topografie hladiny 850 hPa je vyjádřena na obr. 2.1b, obr. 2.2a, obr. 2.3b a obr. 2.4b.

Teplý a vlhký vzduch na severovýchod od našeho území se vyskytoval především u hlavních epizod 97/1 a 02/2. Relativně teplý vzduch s pravděpodobností překročení teploty (dále jen *PP*) kolem 5–10 % pokrýval Skandinávii a oblast Baltského moře (obr. 2.5a a obr. 2.8a). V 97/1 byl teplý vzduch položen celkově východněji než v 02/2. Pole specifické vlhkosti bylo méně kompaktní než pole teploty, avšak v základních rysech podobné (obr. 2.5e a obr. 2.8e). Nejvyšší vlhkost byla v 02/2 nad jižní Skandinávií, zatímco v 97/1 v její severní části. V případě 97/1 dosahovala *PP* pro specifickou vlhkost hodnoty pod 1 %.

Zdroj vlhkosti pro 02/1 ležel nad východní a jihovýchodní Evropou (specifické vlhkosti s  $PP \approx 5\%$ ), zatímco v severovýchodní části Evropy se nacházel studený a suchý vzduch (obr. 2.7a a obr. 2.7d). Na počátku epizody 97/2 byl vzduch nad východní Evropou relativně chladný a suchý. Dokonce i teplý vzduch nad severní Skandinávií měl nízkou specifickou vlhkost (obr. 2.6a a obr. 2.6e).

Vpád studeného vzduchu do západní Evropy a západního Středomoří se odráží v celé řadě hodnocených polí. V poli teploty lze výrazný vpád studeného vzduchu do západní Evropy nejlépe pozorovat na počátku epizod 97/1 a 02/2, a to ve všech posuzovaných hladinách (obr. 2.5a, obr. 2.8a, obr. 2.9a a obr. 2.9e). Nízké teploty vzduchu se zde projevovaly hodnotami  $PP > 95$  %, v jádru studeného vzduchu i  $PP > 99$  % a vyššími. Ve výšce, na rozdíl od nižších hladin, se v důsledku tohoto vpádu vytvořilo uzavřené jádro studeného vzduchu. V epizodě 02/2 bylo toto jádro na západě omezeno značně teplým vzduchem ( $PP$  až 1 %), který se však v nižších hladinách neprojevoval (obr. 2.8a a obr. 2.9a). V dalším průběhu se jádro studeného vzduchu ve vyšších hladinách přesouvalo k východu a sláblo (obr. 2.9b–d, obr. 2.9f–h).

Na počátku epizody 02/1 se v hladině 500 hPa také vyskytovalo jádro studeného vzduchu, ale teploty zde nebyly tak nízké jako v dominantních epizodách ( $PP$  jen kolem 90 %), a v hladině 850 hPa se teploty pohybovaly jen nepatrně pod průměrem (obr. 2.7a). Také v epizodě 97/2 lze pozorovat v hladině 500 hPa výrazné jádro studeného vzduchu ( $PP$  95 %), jeho postup byl však vzhledem k ostatním epizodám opožděn.

Vpád studeného vzduchu se projevoval i v poli proudění. Nápadná oblast se silným severním prouděním se den před počátkem srážek vyskytovala spíše ve vyšších hladinách, a to v oblasti Britských ostrovů a Biskajského zálivu. V hladině 300 hPa existovalo výrazné severní proudění ve všech epizodách, především však před 97/1 a 02/2, kdy hodnoty  $PP$  přesahovaly 99 % (obr. 2.24a a obr. 2.24e). V 02/2 se na významné ploše dokonce vyskytovaly výjimečné hodnoty  $PP > 99,95$  %. Hodnoty  $PP > 99$  % se vyskytovaly též v 97/2, ale na rozdíl od ostatních epizod teprve v době na počátku vypadávání srážek. Oblast s převládající severní složkou větru je viditelná také v nižší hladině 850 hPa (obr. 2.10e, obr. 2.11e, obr. 2.12d a obr. 2.13e), avšak je méně významná než v hladině 300 hPa. Situace se obrací v následujících dnech, kdy severní proudění ve výšce slábne a naopak v nižších hladinách zesiluje.

Celkově lze říci, že se podmínky na počátku epizod 97/1 a 02/2, na rozdíl od epizod 97/2 a 02/1, vyznačovaly extrémně intenzivním meridionálním přenosem vzduchu ve vyšších hladinách.

Jazyk teplého vzduchu můžeme sledovat v poli teploty v hladině 850 hPa. Den před počátkem srážek se vyskytovaly výrazně nadnormální teploty ( $PP < 10$  %) v centrálním Středomoří (obr. 2.5a, obr. 2.6a, obr. 2.7a a obr. 2.8a). Přesná poloha této teplé anomálie se v jednotlivých epizodách lišila. Například v 02/2 se teplý vzduch teprve začínal vysouvat ze severní Afriky (obr. 2.8a), zatímco v 97/1 již pokrýval značnou část Balkánského poloostrova (obr. 2.5a). Během dalšího vývoje se jazyk teplého vzduchu rozšiřoval nad Balkán a dále k severovýchodu. V epizodě 97/2 byl vývoj opožděn (obr. 2.6a–b). V hladině 500 hPa jazyk teplého vzduchu chyběl (obr. 2.9a a obr. 2.9e). V epizodách 97/2 a 02/2 se dokonce v prostoru teplého jazyka nižších hladin nacházel ve výšce vzduch s podprůměrnou teplotou. Jazyk teplého vzduchu se ve své jižní části výrazněji neprojevoval ani zvýšenou specifickou vlhkostí v hladině 850 hPa (obr. 2.5e, obr. 2.6e, obr. 2.7d a obr. 2.8e).

Mezi studeným vzduchem, který se postupně dostával nad západní Středomoří, a teplým vzduchem nad centrálním Středomořím se především v nižších hladinách vytvářelo výrazné teplotní rozhraní. Při epizodách 97/1 a 02/2 byl teplotní rozdíl na tomto rozhraní extrémní (obr. 2.5a–d a obr. 2.8a–d). Teplotní rozhraní se přesouvalo k východu a v době počátku vypadávání srážek se nacházelo přibližně na jih od ČR.

### 2.3.2 Vznik a vývoj příčinné tlakové níže

Vývoj tlakových níží (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 (Hoskins *et al.*, 1985). Další důležitou vlastností je konzervativnost PV při adiabatických pohybech v atmosféře. Výškové anomálie PV (odchylky od průměrných hodnot v příslušných zeměpisných šířkách a 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 vorticity anticyklonální a vzduchová hmota teplá. Přízemní anomálie PV nacházíme ve výškách do 3 km nad zemským povrchem, kde mohou „vznikat“ jak odštěpením od výškové anomálie (advekcí), tak i následkem neadiabatických dějů. Výškové a přízemní anomálie PV spolu vzájemně interagují a mohou významnou měrou ovlivnit cyklogenetické a frontogenetické procesy v celé troposféře. Přízemní pole PV byla analyzována v hladině 850 hPa a výšková pole v izentropické hladině 330 K. Tato izentropická hladina se obvykle vyskytuje ve výškách kolem 9 km a přibližně odpovídá izobarické hladině 300 hPa.

Obr. 2.14–2.17 ukazují časový vývoj pole PV v hladině 330 K pro všechny povodňové epizody. Společným znakem počátku epizod je dobře vyjádřená kladná anomálie PV v horní troposféře nad západní a jižní Evropou. Výskyt anomálie souvisí s advekcí studeného vzduchu od severu až severozápadu, a to zejména ve vyšších hladinách. Anomálie se postupně rozšiřuje dále k jihovýchodu do oblastí západního Středomoří. Naopak v teplém jihozápadním proudění v oblasti východního Středomoří nacházíme slaběji vyjádřenou zápornou anomálii PV. Tato konfigurace pole PV, při které dochází ke styku studeného vzduchu nad západním Středomořím s teplým vzduchem nacházejícím se východněji, dává velmi příhodné podmínky pro cyklogenezi a pro vznik výrazného frontálního rozhraní ve spodních hladinách. V průběhu epizod se kladné výškové anomálie zvolna přemísťují k východu až severovýchodu a slábnou.

Uvedený vývoj byl velmi dobře vyjádřen během epizod 97/1 a 02/2. Shoda v poloze a velikosti kladného extrému den před počátkem srážek (obr. 2.14b a obr. 2.17b) je pozoruhodná. V obou případech oblast velmi vysokých hodnot PV ( $PP$  kolem 1 %) pokrývala území Francie. Rozdíl je patrný ve tvaru tohoto extrému, který byl na počátku 97/1 protažen od jihozápadu k severovýchodu, zatímco na počátku 02/2 se jednalo spíše o koncentrickou oblast.

To odpovídá charakteru tlakového pole v hladině 300 hPa (obr. 2.18a a obr. 2.21a). Na počátku 97/1 se nad západní Evropou nacházela od jihozápadu k severovýchodu protažená výšková brázda nízkého tlaku a s ní spojený jihozápadní jet stream s rychlostmi až  $55 \text{ m.s}^{-1}$  a  $PP < 1 \%$  (obr. 2.18a a obr. 2.18e), zatímco na počátku 02/2 existovala již vyvinutá výšková tlaková níže nad Francií, se kterou byl spojen mimořádně silný jet stream ze severozápadu s rychlostmi větru až  $60 \text{ m.s}^{-1}$  a  $PP < 0,2 \%$  (obr. 2.21a a obr. 2.21e).

Na počátku epizod 97/2 a 02/1 byla oblast vysoké PV (obr. 2.15b a obr. 2.16b) plošně méně rozsáhlá, nacházela se severněji a její postup byl opožděn (zvláště u 97/2), což platilo i pro vývoj výškové cyklony (obr. 2.19a a obr. 2.20a).

Tlaková níže či brázda byla den před počátkem srážek lépe vyjádřena v hladině 300 hPa než na 850 hPa, a to zvláště před epizodami 97/1 a 02/1 (obr. 2.1b, obr. 2.18a, obr. 2.3b a obr. 2.20a). Na počátku 97/1 se nad západní Evropou v hladině 850 hPa vyskytovala dokonce jen nevýrazná brázda nízkého tlaku.

V době počátku vypadávání srážek leželo jádro tlakové níže, resp. jeho „zárodek“ spolu s maximem PV na jihozápad od našeho území. Vzhledem ke své teplotní asymetrii se

zpočátku nacházela tlaková níže ve výšce spolu s kladným extrémem potenciální vorticity na západ od přízemní polohy tlakové níže. Poloha i mohutnost tlakové níže v době počátku srážek byly u jednotlivých epizod výrazně odlišné.

V epizodě 97/1 se v tomto okamžiku vyskytovala v hladině 850 hPa pouze výrazná brázda nízkého tlaku, vybíhající ze střední Evropy nad Janovský záliv. Přibližně do oblasti Janovského zálivu zasahovala také brázda nízkého tlaku v hladině 300 hPa, stejně jako vysoké hodnoty PV v hladině 330 K. Hodnoty PV, resp. AT300 se zde pohybovaly kolem  $PP$  5 %, resp.  $PP$  95 %, zatímco hodnoty AT850 byly jen mírně podprůměrné. Teprve během následujících 24 h se v hladině 850 hPa vytvořila a při postupu k severovýchodu prohlubovala uzavřená tlaková níže (obr. 2.1d, obr. 2.14d a obr. 2.18b).

V epizodě 97/2 došlo přibližně v době počátku srážek ke „splnutí“ nevýrazné tlakové níže postupující z jihozápadu s hlubší tlakovou níží na severozápadě. Tím vznikla mohutná tlaková níže nad střední Evropou, která byla výrazně vyjádřena především v nižších hladinách (v hladině 850 hPa je  $PP > 95$  %, později i  $PP > 99$  %). V poli PV v hladině 330 K stejně jako na AT300 byla vyjádřena pouze severozápadně položená tlaková níže. Maximum PV v hladině 330 K ( $PP < 5$  %) se dostalo do blízkosti našeho území později než v ostatních epizodách (obr. 2.2c, obr. 2.15c a obr. 2.19b).

Na počátku epizody 02/1 se v hladině 850 hPa nacházela jen nevýrazná tlaková níže v oblasti Alp. Teprve v průběhu



Kolem této tlakové níže probíhalo především v nižších hladinách intenzivní proudění, spojené se značným přenosem vlhkosti. Teplý a vlhký vzduch proudil po přední (východní) straně tlakové níže ze Středomoří do východní Evropy a odtud obloukem na západ do severní části střední Evropy. Zde se 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. Při konvergenci docházelo jednak ke značnému zesílení větru v nižších hladinách a současně k silným velkoplošným výstupným pohybům. Kombinace prudkého severního proudění a rozsáhlých výstupných pohybů měla za následek vznik velmi intenzivních velkoplošných trvalých srážek při značném vlivu návětrných efektů. Vzájemné sblížení polohy cyklony v nižších hladinách a ve výšce pak měla za následek stacionarizaci situace, a tedy dlouhé trvání srážek nad stejným územím.

Proud teplého vzduchu ze Středomoří do východní Evropy je viditelný v poli meridionální složky rychlosti větru v hladině 850 hPa (obr. 2.10g–h, obr. 2.11g–h, obr. 2.12f a obr. 2.13g–h), respektive v poli meridionálního toku vlhkosti (obr. 2.23e–f). Nejintenzivnější byl v epizodě 02/2, kdy se zpočátku vyskytovaly hodnoty  $PP < 0,05$  %, v ostatních epizodách převládaly hodnoty kolem  $PP$  1 %. V průběhu situace se proud teplého vzduchu odsouval k východu a teplý vzduch se do střední Evropy dostával stále větší oklikou. V epizodách 97/1 a 02/2 bylo proudění výrazné i v nejvyšších hladinách troposféry (obr. 2.24c–d,g–h).

Přísun teplého vzduchu z východní Evropy do severní části střední Evropy vystihuje zonální složka rychlosti větru (obr. 2.10c–d, obr. 2.11c–d, obr. 2.12c a obr. 2.13c–d), respektive zonální složka toku vlhkosti (obr. 2.23g–h). Jejich hodnoty se pohybovaly kolem  $PP$  95 % až 99 %, pouze během 97/2 se mezi tlakovou níží nad střední Evropou a rozsáhlou tlakovou výší na severu vytvořilo extrémně silné východní proudění s  $PP$  až kolem 99,95 %.

Nejextrémnějším rysem většiny epizod bylo silné proudění severních směrů v prostoru velkého tlakového gradientu mezi tlakovou níží nad střední Evropou a vysokým tlakem na západě. Tato oblast vysokého tlaku nad západní Evropou měla v jednotlivých epizodách rozdílný charakter, nejmohutnější byla v epizodě 97/1 (obr. 2.1e–j, obr. 2.2d–j, obr. 2.3e–f a obr. 2.4e–j). Vyvinutá však byla pouze v nižších hladinách. V hladině 300 hPa se vyskytoval jen nevýrazný hřeben vyššího tlaku vzduchu, který se s výjimkou situace 02/2 nacházel poměrně daleko na západ od střední Evropy (obr. 2.18c–d, obr. 2.19c–d, obr. 2.20c a obr. 2.21c–d). Intenzivní severní proudění proto probíhalo především ve spodní části troposféry, zatímco v její horní části panovaly všeobecně nevýrazné rychlosti větru (obr. 2.18g–h, obr. 2.19g–h, obr. 2.20e–f a obr. 2.21g–h).

Rychlost severního proudění nad střední Evropou v nižších hladinách byla během epizod 97/1 a 02/2 zcela extrémní. Hodnoty meridionální složky rychlosti větru dosahovaly  $PP > 99,8$  % a především v 97/1 i hodnot  $PP > 99,95$  % (obr. 2.10g–h a obr. 2.13g–h). Hodnoty meridionální složky toku vlhkosti byly ještě extrémnější, a to především v 02/2, kdy se vyskytla významná plocha s hodnotami  $PP > 99,95$  % (obr. 2.23e–f). V epizodě 02/2 bylo proudění stočeno k severozápadu a významných hodnot ( $PP$  kolem 1 %) zde proto nabyla i zonální složka rychlosti větru a toku vlhkosti. Vysoké hodnoty severní složky rychlosti větru, resp. toku vlhkosti ( $PP > 95$  % až  $PP > 99$  %) se v prostoru srážek vyskytovaly také v epizodách 97/2 a 02/1 (obr. 2.11g–h a obr. 2.12f).

Obr. 2.25 porovnává hodnoty a extremitu konvergence proudění a vlhkosti v době vypadávání extrémních srážek v epizodách 02/2 a 97/1 v termínech 12. 8. 2002 12 UTC a 6. 7. 1997 12 UTC. Silná velkoprostorová konvergence vzduchu v nižších hladinách se nacházela v prostoru vypadávání srážek a dosahovala  $PP$  kolem 1 %. Mimořádně vysoké hodnoty konvergence vlhkosti ( $PP < 0,05$  %) se vyskytovaly na východním okraji oblasti extrémních srážek a byly kompenzovány mimořádně intenzivní divergencí poněkud západněji. V epizodě 02/2 byly hodnoty extrémnější než v 97/1.

Obr. 2.22 ukazuje pravděpodobnosti překročení časově průměrovaných hodnot PV v hladinách 330 K a 850 hPa spolu s časově průměrovanými hodnotami vertikálních rychlostí v hladině 850 hPa. Pole jsou průměrována za dva dny od 12. 8. 2002 do 13. 8. 2002 pro 02/2 a od 6. 7. 1997 do 7. 7. 1997 pro 97/1, tedy přibližně v období nejintenzivnějších srážek na našem území. Analýza PV v hladině 850 hPa odhaluje dvojici kladných a záporných přízemních anomálií PV v oblasti frontální zóny, která byla pro 97/1 položena 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 přízemní 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 přízemní kladná anomálie PV vyvinula na přední straně (ve směru převládajícího proudění) výškové kladné anomálie. V této konfiguraci dochází v oblasti přízemní 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 podrobně popsán např. v (*Bluestein, 1993*). V místech 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.

## 2.4. Shrnutí výsledků

I. Katastrofální povodně v červenci 1997 a v srpnu 2002 byly způsobeny vždy dvěma extrémními srážkovými epizodami, jejichž synoptické podmínky byly v základních rysech podobné. Navzájem nejpodobnější, a ve většině meteorologických parametrů více extrémní, byly dominantní epizody 97/1 a 02/2 (první epizoda v červenci 1997 a druhá epizoda v srpnu 2002). 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, při zemi slabě vyjádřená, zatímco epizoda 02/2 se od počátku vyznačovala velmi hlubokou tlakovou níží ve všech hladinách. Tato níže v 02/2 byla spojena s mimořádně silným jižním prouděním 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 a intenzitou tlakové výše nad západní Evropou.

Epizody 97/2 a 02/1 (druhá epizoda v červenci 1997 a první epizoda v srpnu 2002) se od dominantních epizod lišily významněji, a to převážně nižší intenzitou extrémů a v některých ohledech i celkovým charakterem synoptické situace.

II. Na základě dat ze souboru ERA-40, převzatého z ECMWF, byla pro obě povodňové situace vypočtena extrimita řady meteorologických veličin (jejich seznam viz tab. 2.3) pro oblast pokrývající převážnou část Evropy. Získané výsledky byly za použití hodnot *PP* (pravděpodobností překročení) vyhodnoceny s důrazem na časový vývoj a extrimitu synoptických podmínek během čtyř srážkových epizod. Extrémní hodnoty *PP* vybraných veličin shrnuje a porovnává tab. 2.4. Pro shrnutí jsme vybrali veličiny, které mají jednoduše interpretovatelný fyzikální význam. Řada extrémních hodnot *PP* se vyskytuje i u ostatních fyzikálně složitějších veličin. Vybrané veličiny jsou uvedeny v prvním sloupci tabulky a vysvětleny v popisu tabulky. Oblast, kde se vyskytly extrémní hodnoty *PP* pro danou veličinu, je uvedena ve druhém sloupci tabulky. Další čtyři sloupce již obsahují hodnoty *PP* pro studované epizody. Pole *PP* aktuálních hodnot vystihují rozhodující synoptické procesy, které vedou k vývoji extrémních velkoplošných srážek a dokumentují extrémnost těchto procesů ve studovaných srážkových epizodách. Současně vystihují rozdíly v extrémnosti pro obě srovnávané situace.

Mezi charakteristické znaky obou situací, které jsou přehledně vyjádřeny v tab. 2.4, patří:

- nadprůměrně teplý a vlhký vzduch nad rozsáhlým územím severní a východní Evropy,
- vpád studeného vzduchu ze severních směrů do západní Evropy a západního Středomoří před počátkem srážek,
- velmi teplý vzduch v nižších hladinách 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,
- intenzivní tok vlhkosti 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 v době trvání srážek,
- silná velkoprostorová konvergence (vtok) vzduchu i vlhkosti v nižších hladinách v prostoru vypadávání srážek,
- intenzivní výstupné pohyby v prostoru vypadávání srážek.

Tab.2.4a Den před počátkem srážek.

| Veličina | Oblast                            | 97/1      | 97/2      | 02/1      | 02/2      | Poznámka   |
|----------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| AT850    | jihozápadní Evropa                |           | > 90,00 % |           | > 99,80 % | 97/1, 02/1: pouze brázda   |
| AT300    | západní Evropa                    | > 99,00 % |           |           | > 99,80 % | 97/1: výrazná brázda;<br>97/2, 02/1: slabě vyjádřená výšková cyklona |
| T850     | centrální a východní Středomoří   | < 1,00 %  | < 5,00 %  | < 5,00 %  | < 1,00 %  | 97/2, 02/2: jazyk teplého vzduchu vysouvající se ze severní Afriky   |
| T500     | západní Evropa                    | > 99,80 % | > 95,00 % | > 90,00 % | > 99,00 % |  |
| V300     | Biskajský záliv a Britské ostrovy | > 99,00 % |           | > 95,00 % | > 99,95 % | 97/2: výrazné severní proudění se vyskytuje až na počátku srážek     |
| V300     | západní Středomoří                | < 0,20 %  | < 10,00 % | < 5,00 %  | < 5,00 %  |  |

Tab.2.4b Počátek srážek.

| Veličina | Oblast              | 97/1     | 97/2      | 02/1      | 02/2      | Poznámka                               |
|----------|---------------------|----------|-----------|-----------|-----------|--|
| AT850    | severní Itálie      |          | > 95,00 % | > 90,00 % | > 99,80 % | 97/1: cyklona zpočátku slabě vyjádřená |
| FQV850   | jihovýchodní Evropa | < 1,00 % | < 1,00 %  | < 5,00 %  | < 0,05 %  |  |

Tab.2.4c Vrchol srážek.

| Veličina | Oblast         | 97/1      | 97/2      | 02/1      | 02/2      | Poznámka   |
|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| V850     | střední Evropa | > 99,95 % | > 95,00 % | > 95,00 % | > 99,95 % | obdobné hodnoty <i>PP</i> pro severní složku toku vlhkosti |
| DIQ850   | střední Evropa | < 0,20 %  | < 0,20 %  | < 1,00 %  | < 0,05 %  |  |
| W850     | střední Evropa | > 99,80 % | > 99,00 % | > 99,00 % | > 99,80 % |  |

Tab.2.4 uvádí extrémní hodnoty pravděpodobnosti překročení (*PP*; vyznačeny jsou pouze hodnoty >90 %, resp. <10 %) pro vybrané veličiny v jednotlivých srážkových epizodách. Oddělena jsou tři stadia vývoje každé srážkové epizody: (a) den před počátkem srážek, (b) počátek srážek a (c) vrchol srážek (viz tab. 2.3).

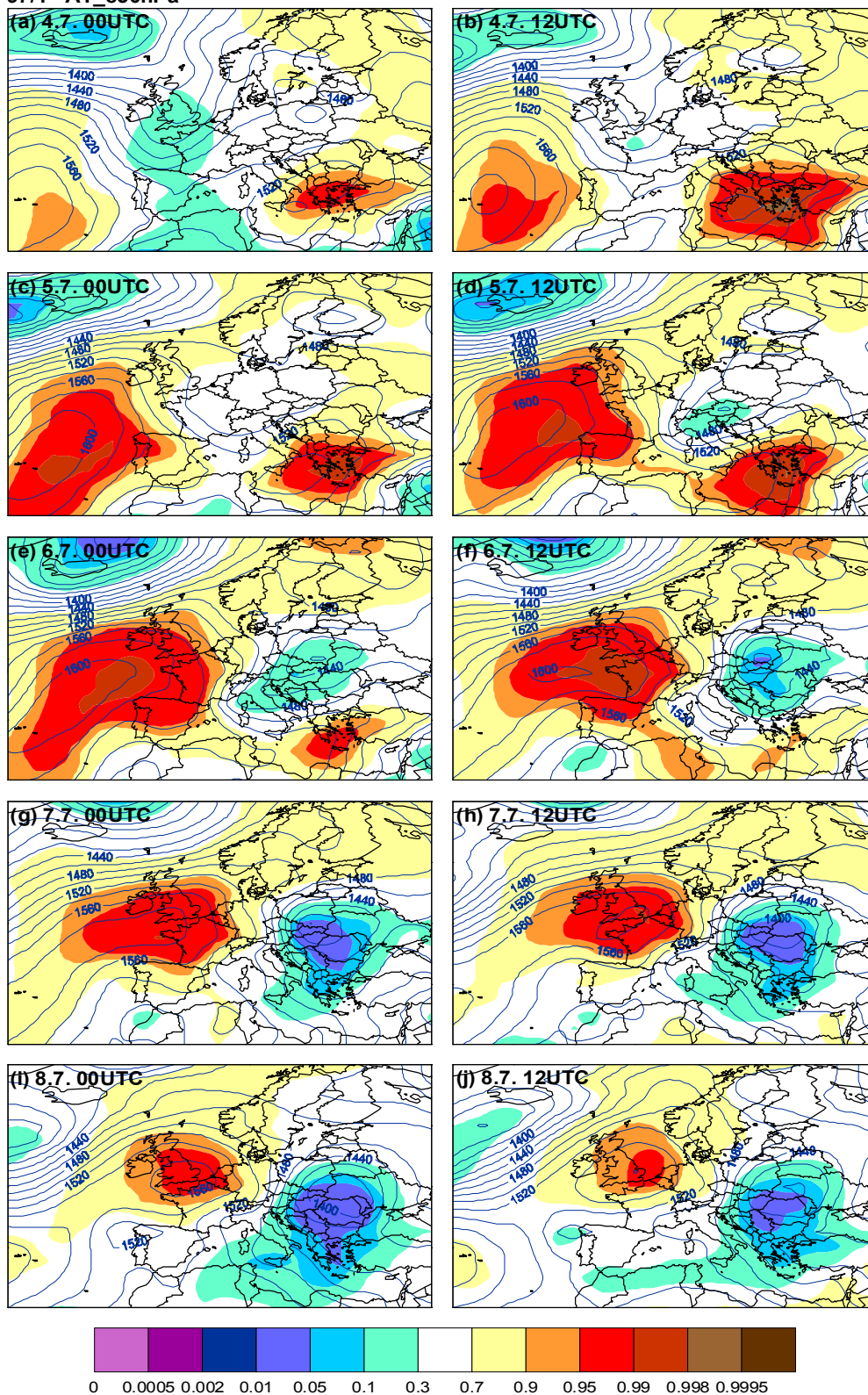
- (a) Vysoké hodnoty *PP* pro absolutní topografii izobarických hladin 850 hPa (AT850) a 300hPa (AT300) indikují nízký tlak vzduchu v oblasti západní Evropy. Extrémně nízké teploty a výrazné severní proudění, obojí s vysokými hodnotami *PP* na jeho zadní straně, dobře postihují mapy teploty v hladinách 500 hPa (T500) a 850 hPa (T850) a meridionální (jižní) složky rychlosti proudění v hladině 300h Pa (V300). Vysokým teplotám s výrazným jižním prouděním na přední straně nízkého tlaku odpovídají malé hodnoty *PP*.
- (b) Na počátku srážek je řídicí cyklona ve většině případů již plně vyvinutá. Tok vlhkosti od jihu do středovýchodní Evropy dosahuje vysokých hodnot, což vyplývá z nízkých hodnot *PP* pro meridionální (jižní) tok vlhkosti v hladině 850 hPa (FQV850).
- (c) V době vypadávání srážek dosahuje extrémních hodnot severní složka proudění, což dokládají vysoké hodnoty *PP* pro meridionální složku rychlosti proudění v hladině 850 hPa (V850). Extrémní jsou též vtok vlhkosti (DIQ850) a vertikální rychlost v p-systému v hladině 850 hPa (W850).

III. Diskutované výsledky tvoří pouze část výsledků získaných studiem dat ze souboru ERA-40. Přesto lze již na základě tohoto zpracování doporučit, aby hodnocení pomocí map extremity bylo uplatněno při synoptickém hodnocení situací, při nichž může dojít k vývoji příčinných velkoplošných srážek, které mohou vyvolat na našem území povodňové situace.

## **Přiložené obrázky**

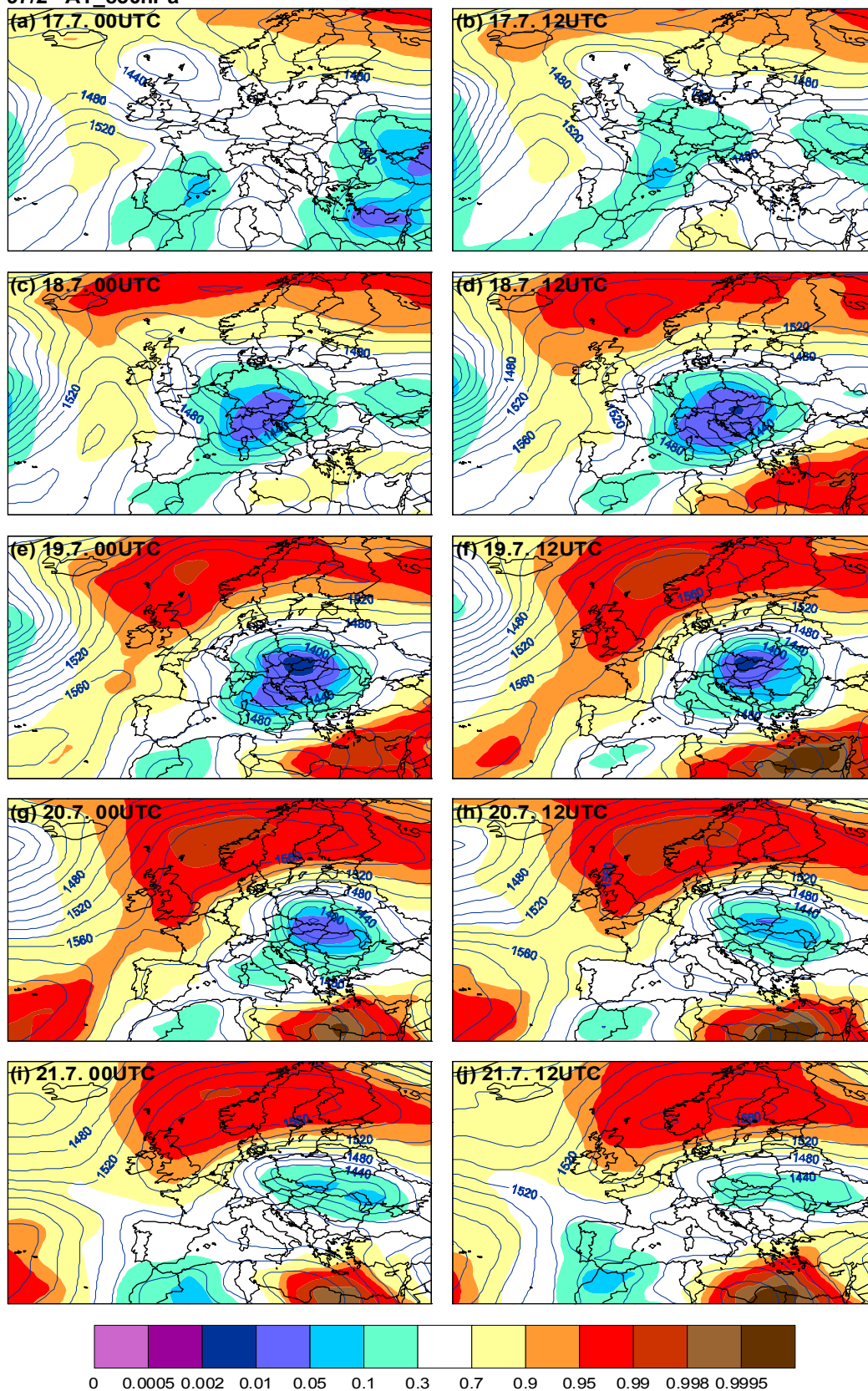


97/1 AT\_850hPa



Obr. 2.1 Časový vývoj pole absolutní topografie [gpm] v hladině 850 hPa (AT850) pro první povodňovou epizodu 1997 (4. 7.–8. 7.). Zakresleny jsou izohypsy AT850 a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda). Vysoké hodnoty  $F$  udávají malou pravděpodobnost překročení (extrémně vysoké termínové hodnoty), nízké hodnoty  $F$  obdobně vyznačují extrémně nízké termínové hodnoty.

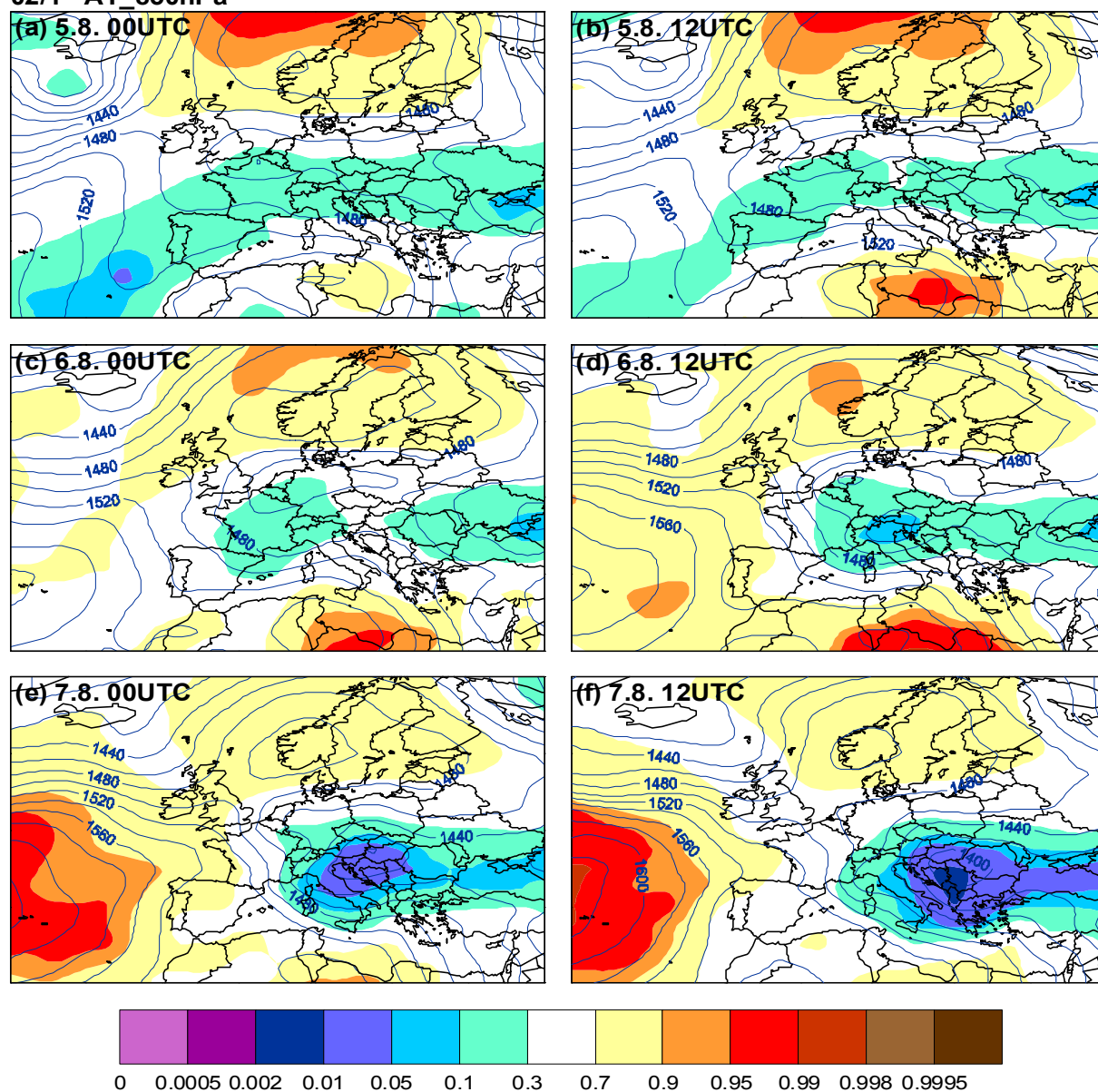
97/2 AT 850hPa



Obr. 2.2 Časový vývoj pole absolutní topografie [gpm] v hladině 850 hPa (AT850) pro druhou povodňovou epizodu 1997 (17. 7.–21. 7.). Zakresleny jsou izohypsy AT850 a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda).

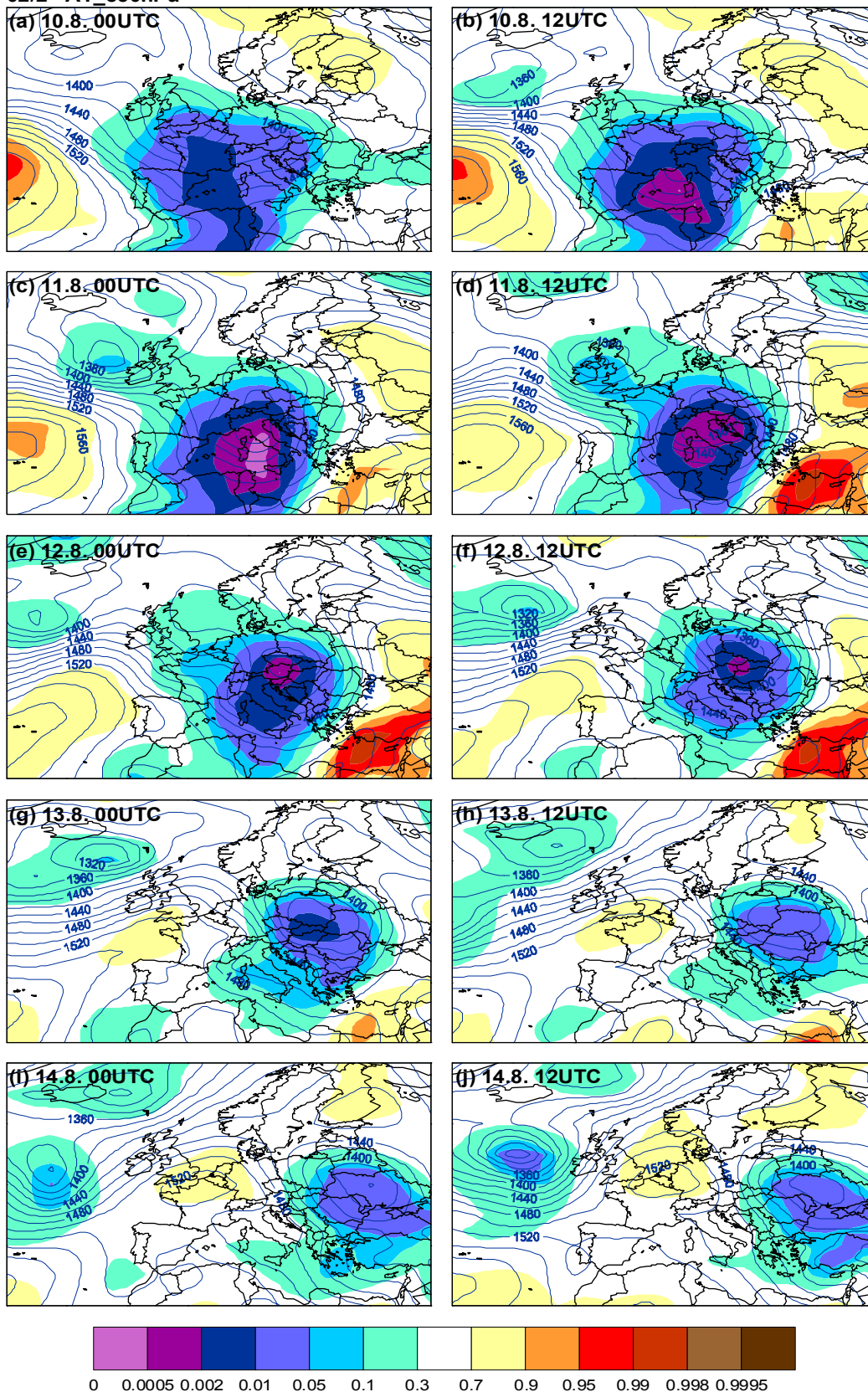


02/1 AT\_850hPa



Obr. 2.3 Časový vývoj pole absolutní topografie [gpm] v hladině 850h Pa (AT850) pro první povodňovou epizodu 2002 (5. 8.–7. 8.). Zakresleny jsou izohypsy AT850 a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

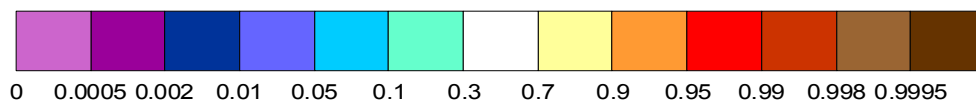
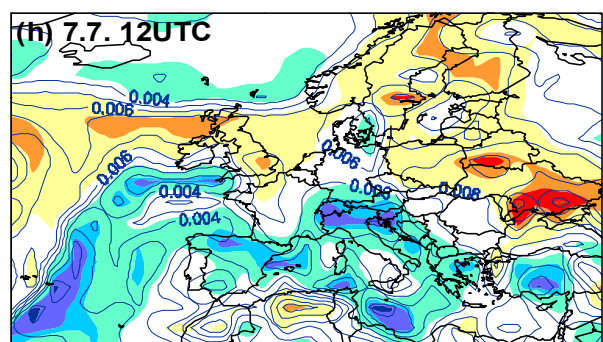
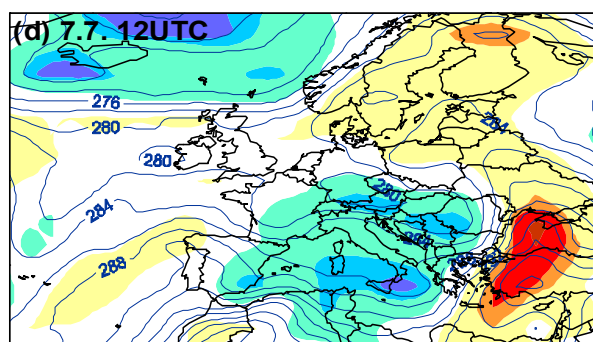
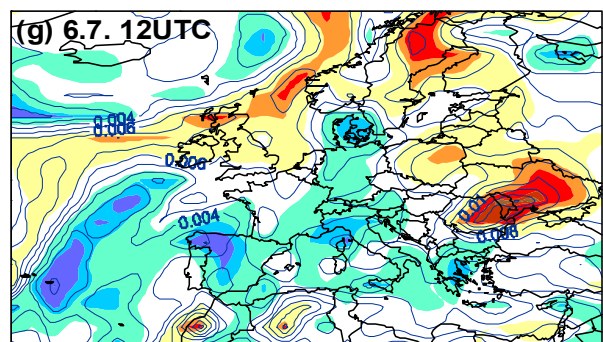
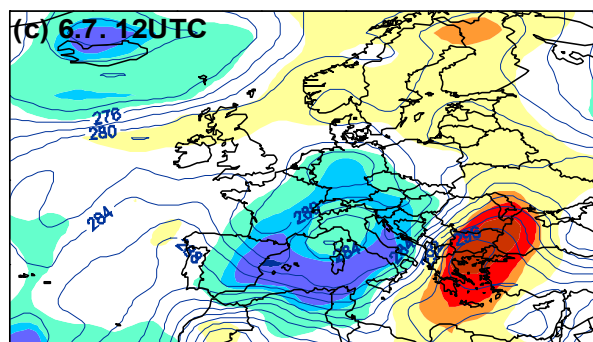
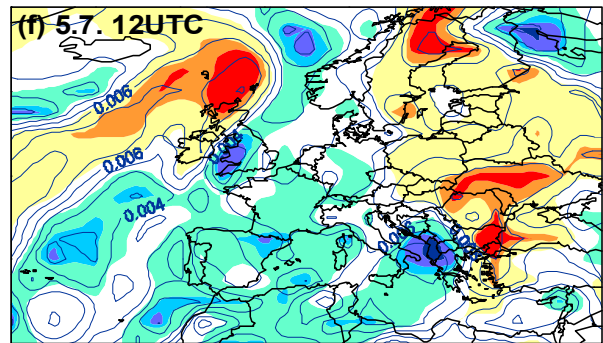
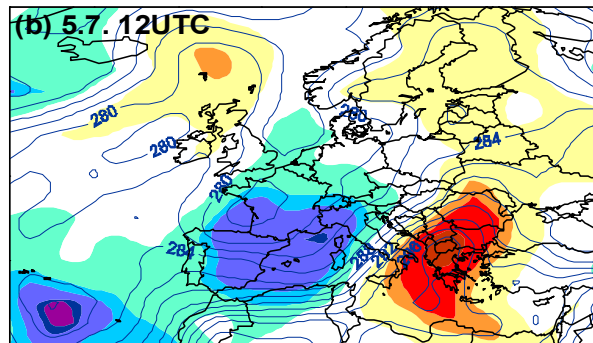
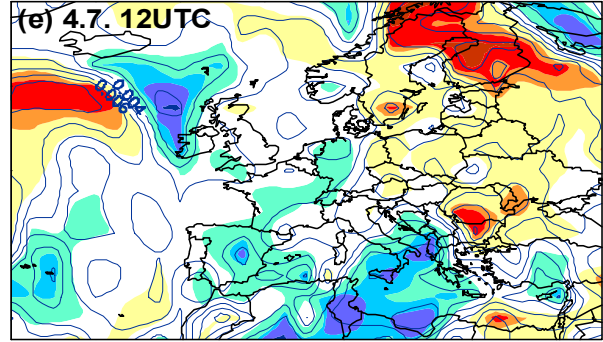
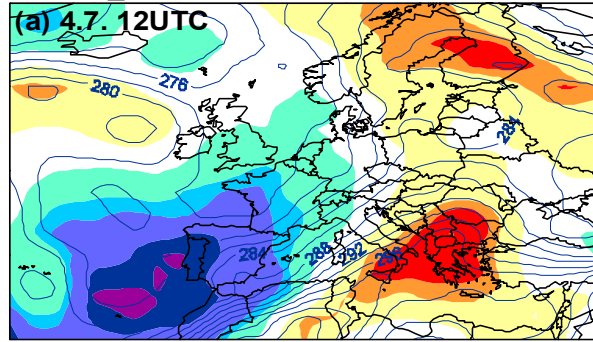
## 02/2 AT\_850hPa



Obr. 2.4 Časový vývoj pole absolutní topografie [gpm] v hladině 850 hPa (AT850) pro druhou povodňovou epizodu 2002 (10. 8.–14. 8.). Zakresleny jsou izohypsy AT850 a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda).

97/1 T\_850hPa

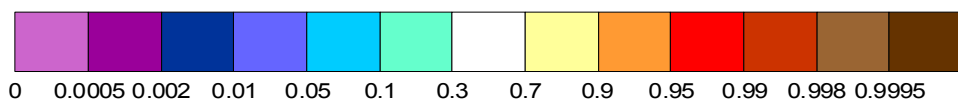
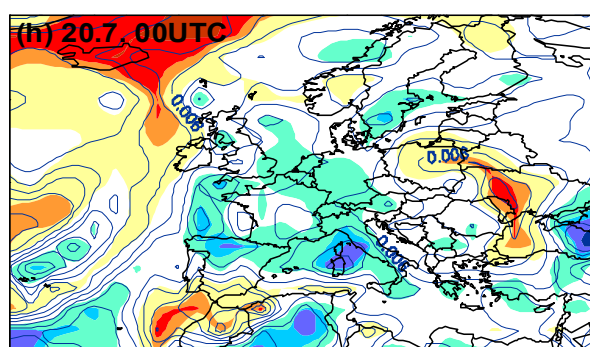
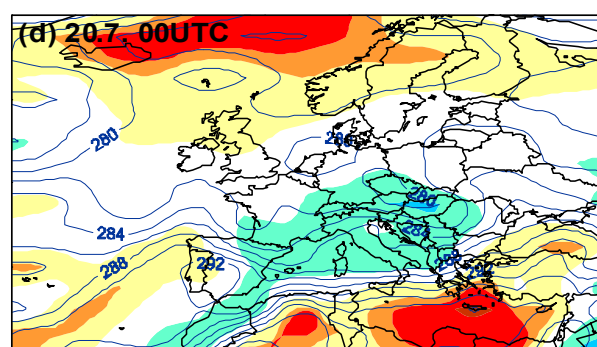
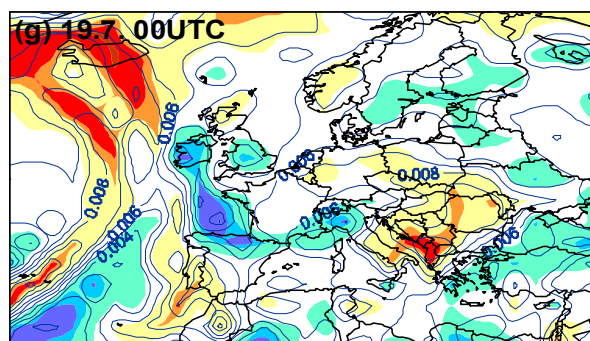
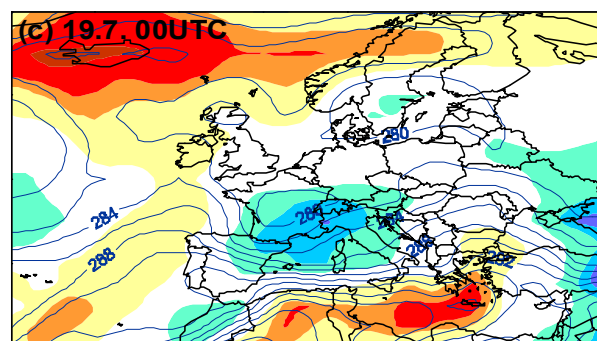
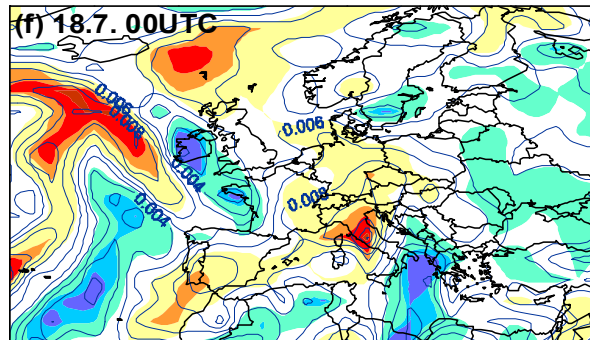
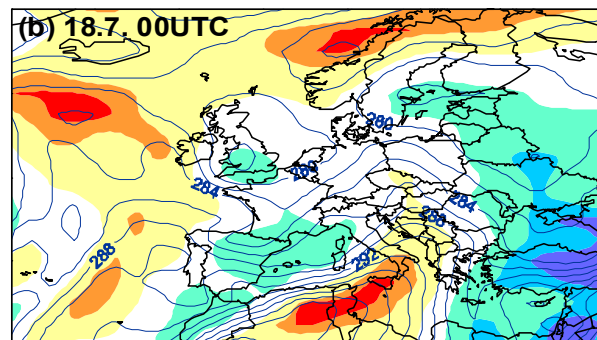
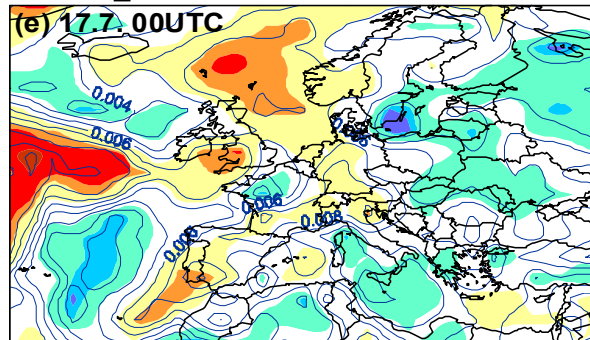
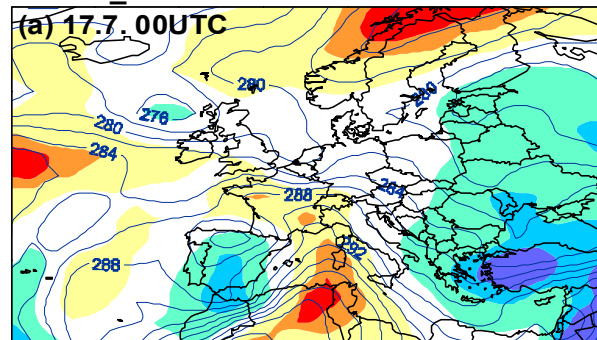
97/1 Q\_850hPa



Obr. 2.5 Časový vývoj pole teploty [K] (levý sloupec) a měrné vlhkosti [kg/kg] (pravý sloupec) v hladině 850 hPa pro první povodňovou epizodu 1997 (4. 7.–7. 7.). Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda).

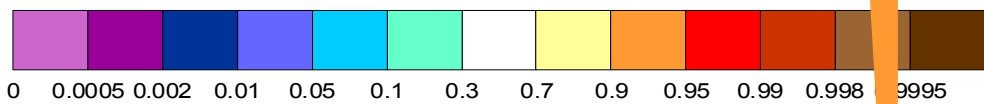
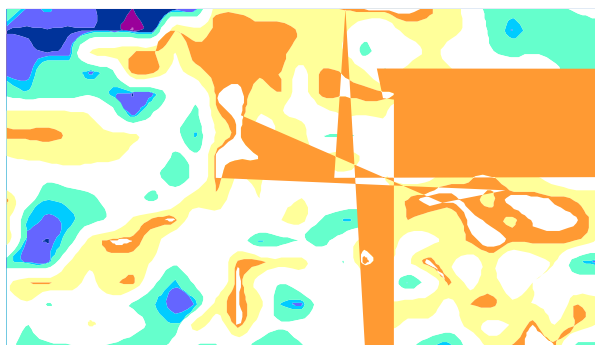
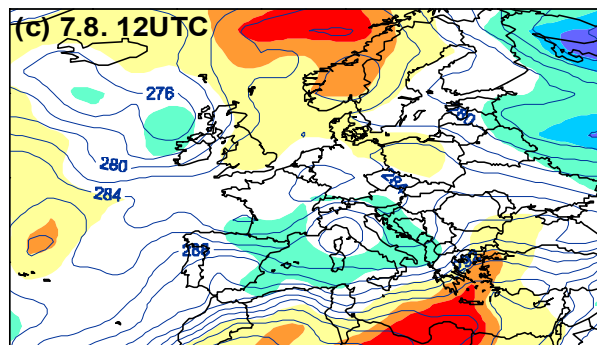
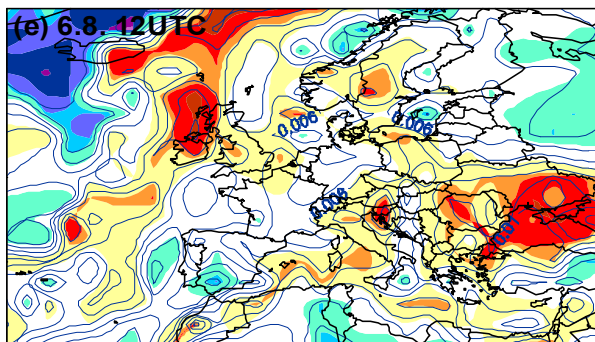
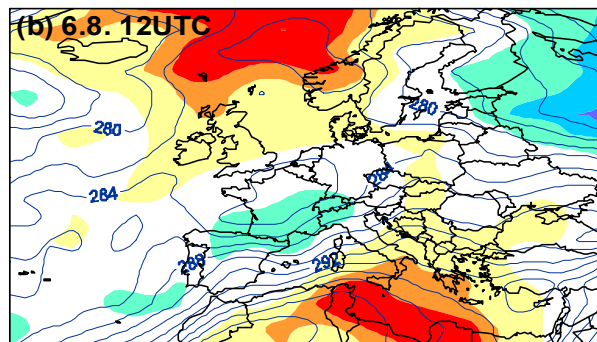
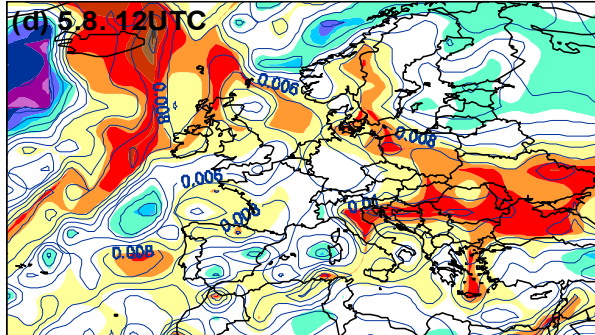
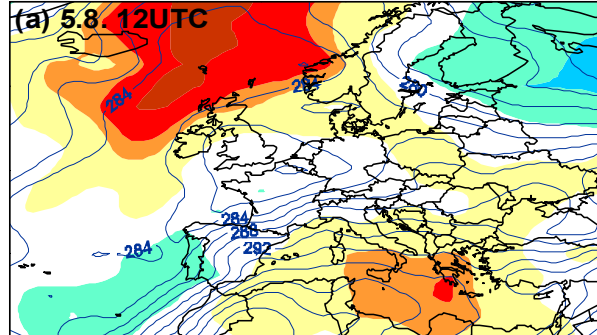
97/2 T\_850hPa

97/2 Q\_850hPa

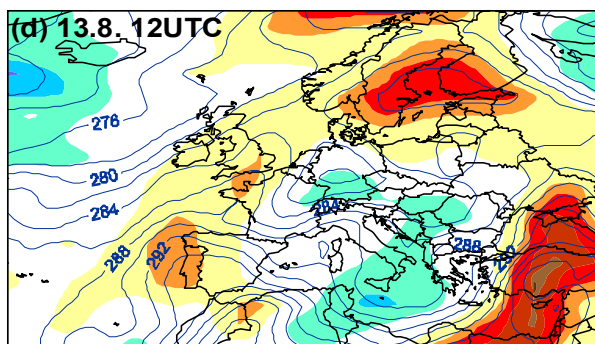
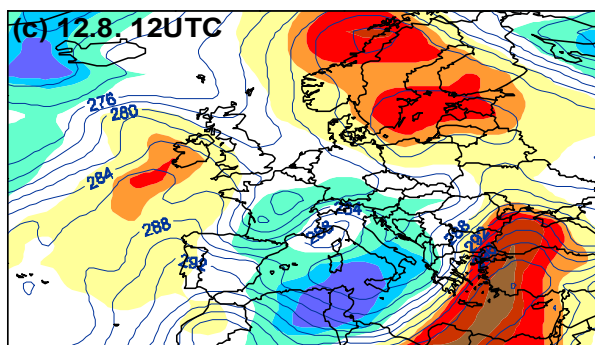
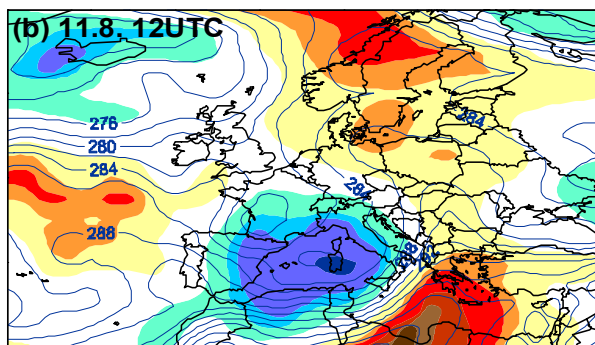
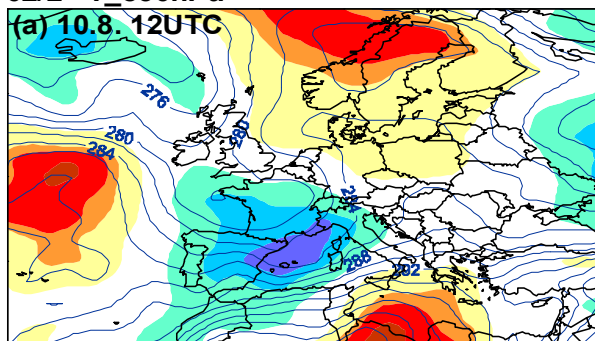


Obr. 2.6 Časový vývoj pole teploty [K] (levý sloupec) a měrné vlhkosti [kg/kg] (pravý sloupec) v hladině 850 hPa pro druhou povodňovou epizodu 1997 (17. 7.–20. 7.). Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda).

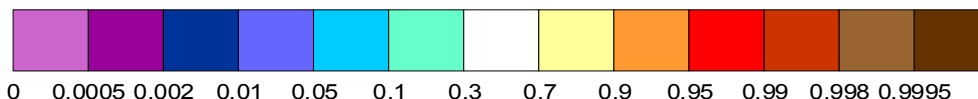
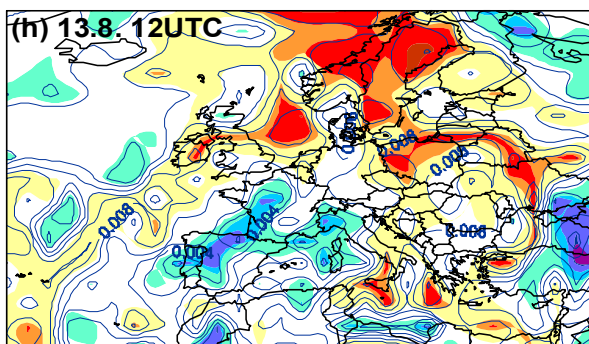
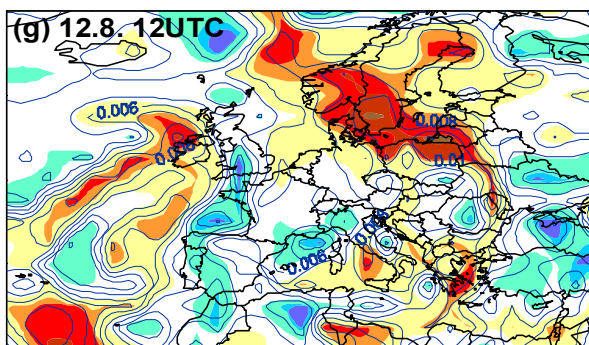
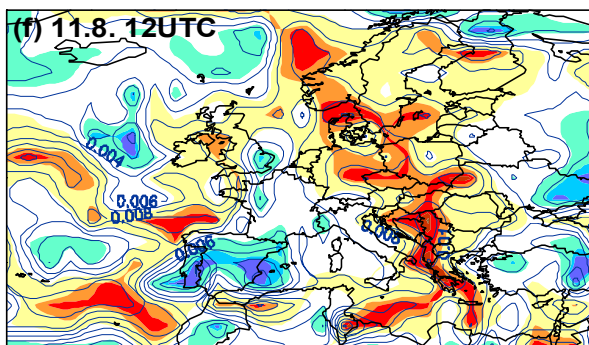
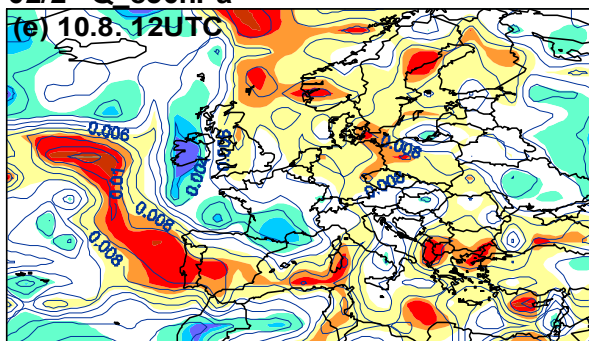
02/1 T\_850hPa



02/2 T\_850hPa



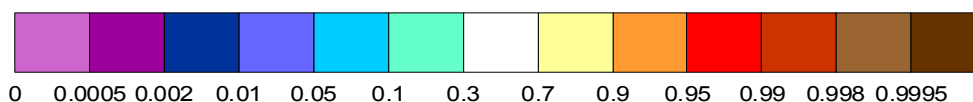
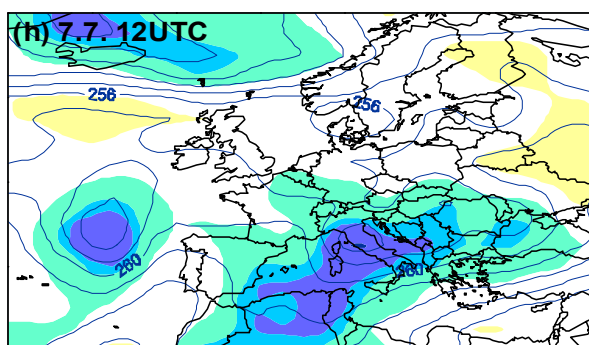
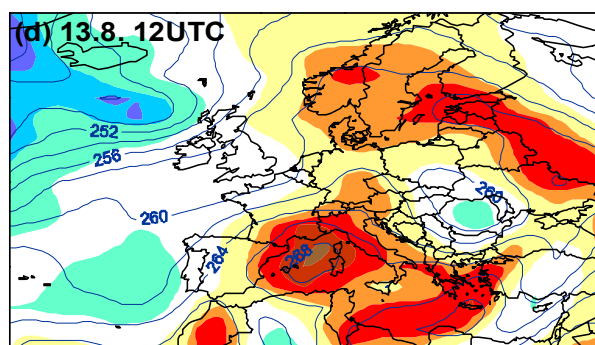
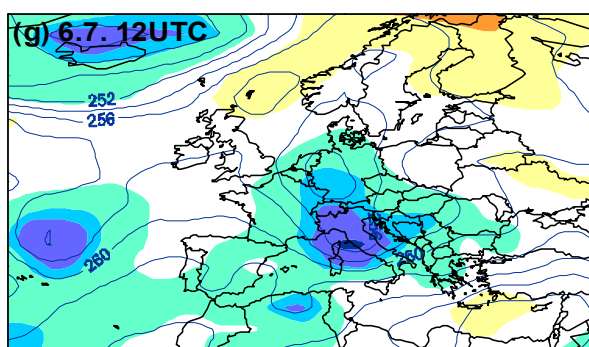
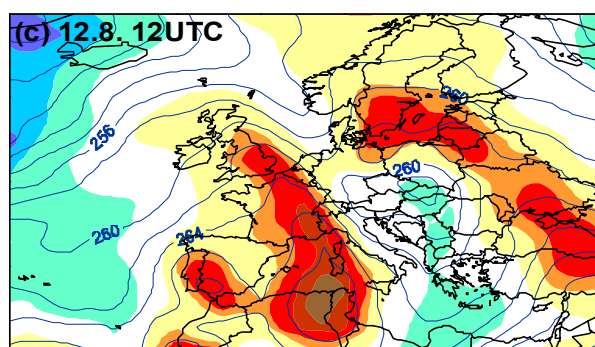
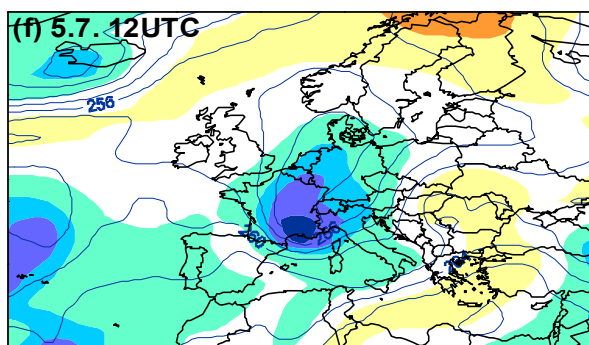
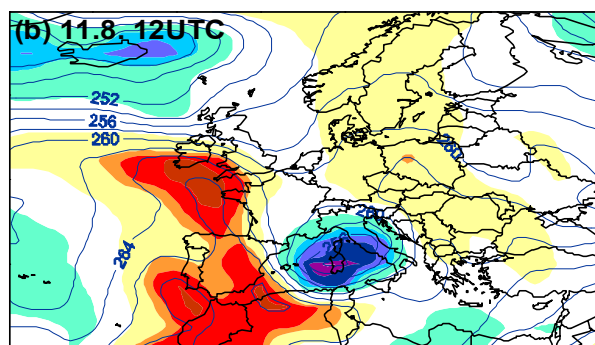
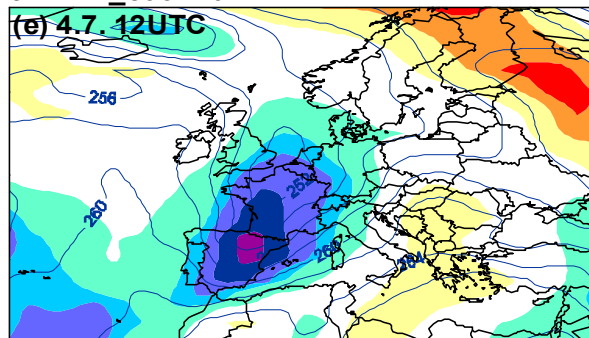
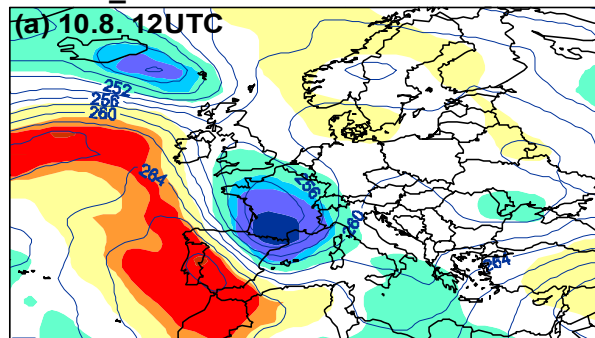
02/2 Q\_850hPa



Obr. 2.8 Časový vývoj pole teploty [K] (levý sloupec) a měrné vlhkosti [kg/kg] (pravý sloupec) v hladině 850 hPa pro druhou povodňovou epizodu 2002 (10. 8.–13. 8.). Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

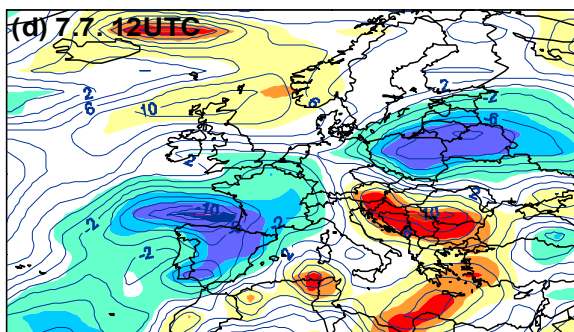
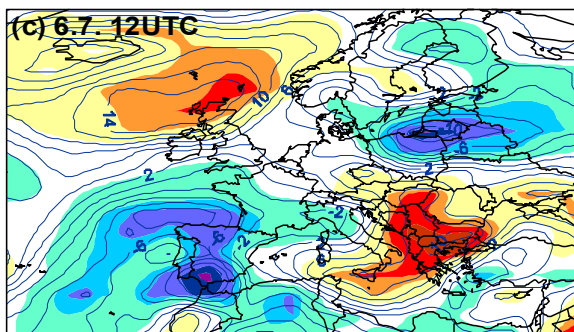
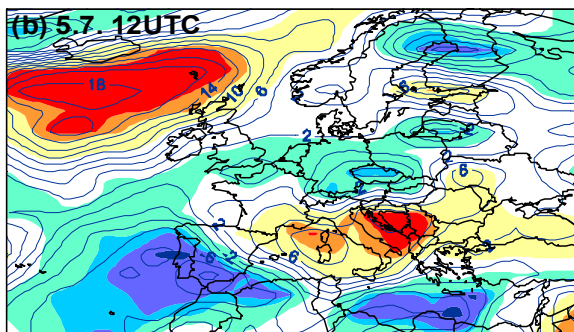
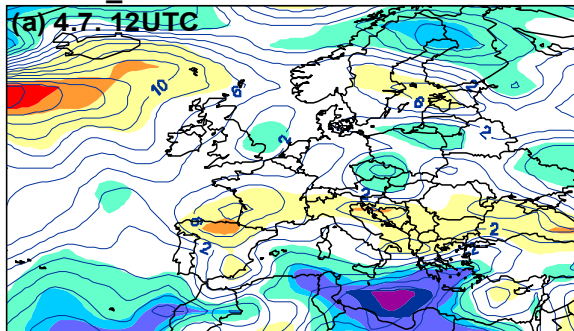
02/2 T\_500hPa

97/1 T\_500hPa

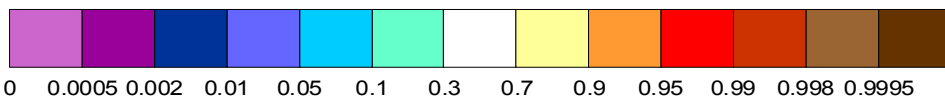
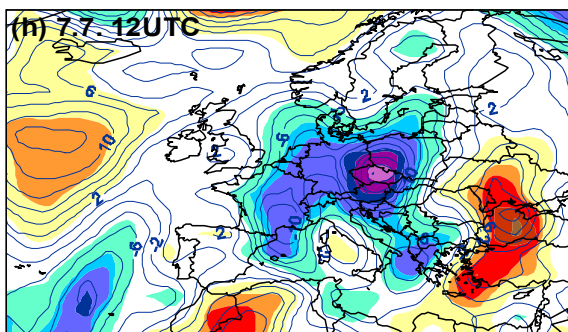
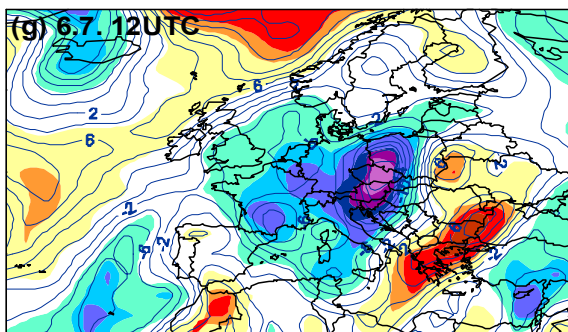
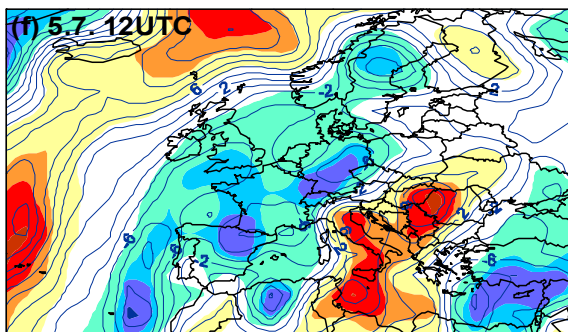
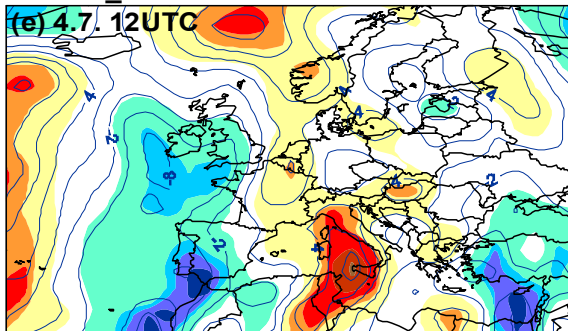


Obr. 2.9 Porovnání časového vývoje pole teploty [K] mezi druhou povodňovou epizodou 2002 (levý sloupec: 10. 8.–13. 8.) a první povodňovou epizodou 1997 (pravý sloupec: 4. 7.–7. 7.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 500 hPa. Zakresleny jsou izotermy a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda).

97/1 U\_850hPa



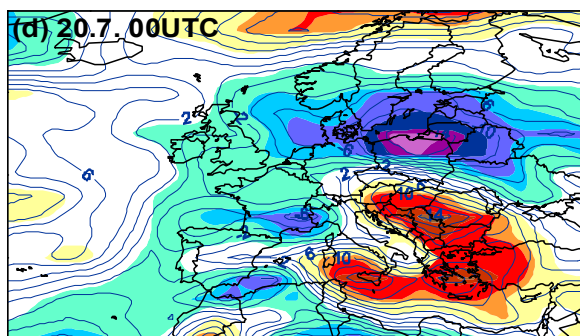
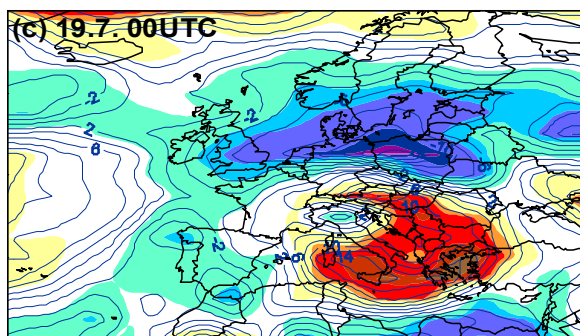
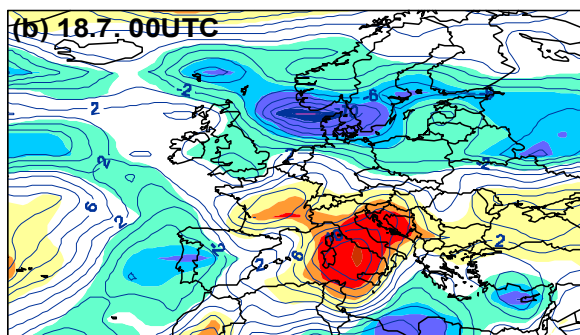
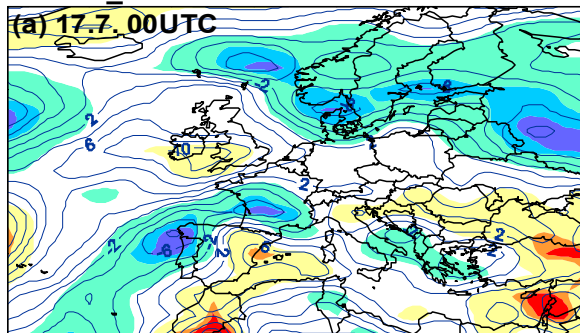
97/1 V\_850hPa



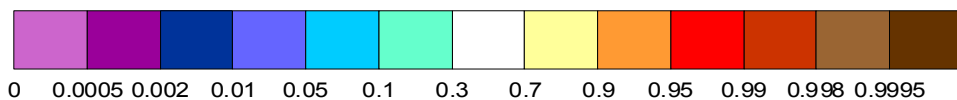
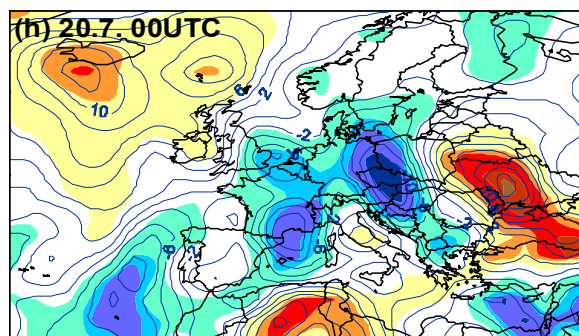
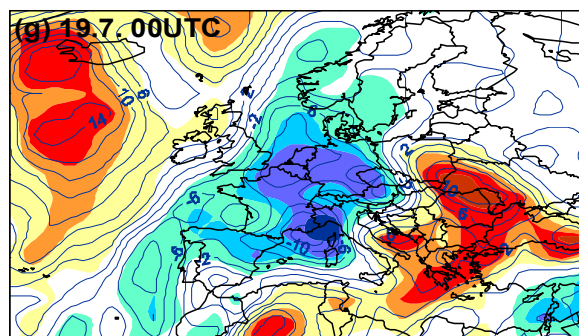
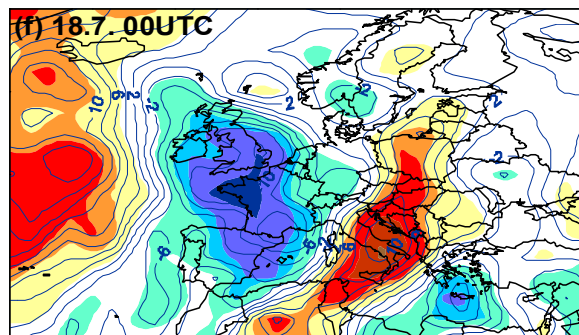
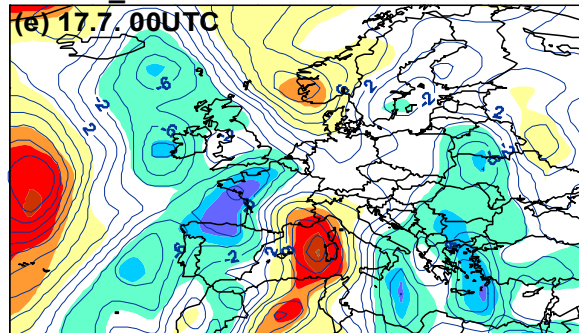
Obr. 2.10 Porovnání časového vývoje pole zonální (levý sloupec) a meridionální (pravý sloupec) složky rychlosti větru [ $m \cdot s^{-1}$ ] pro první povodňovou epizodu 1997 (4. 7.–7. 7.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 850 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda). Záporné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru se severní a východní komponentou a kladné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru s jižní a západní komponentou.



97/2 U\_850hPa

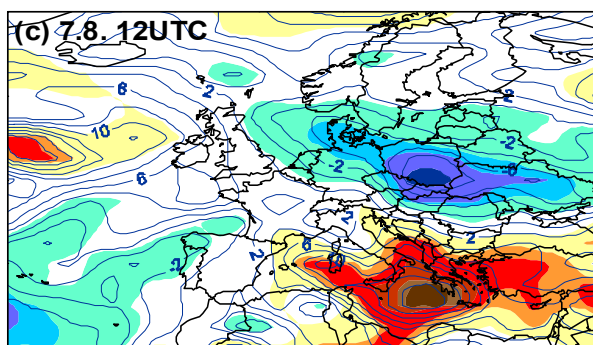
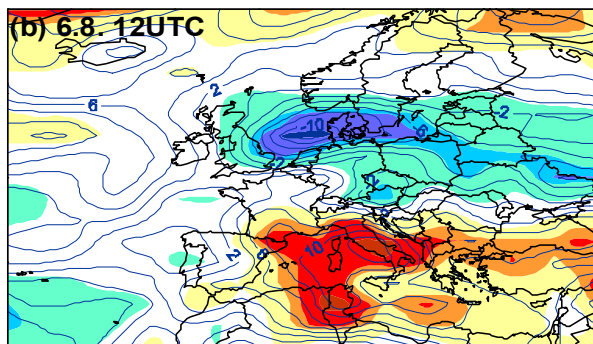
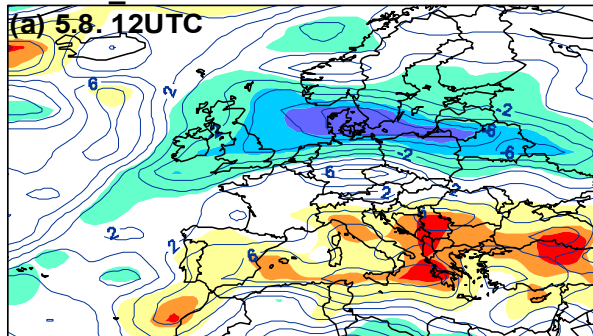


97/2 V\_850hPa

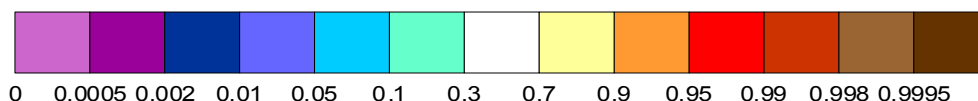
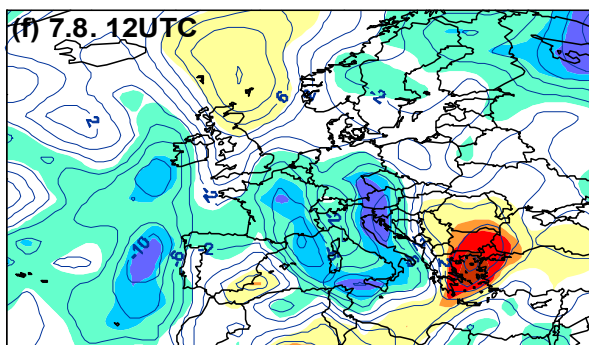
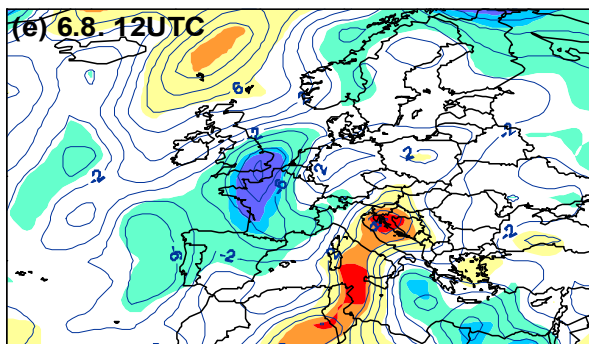
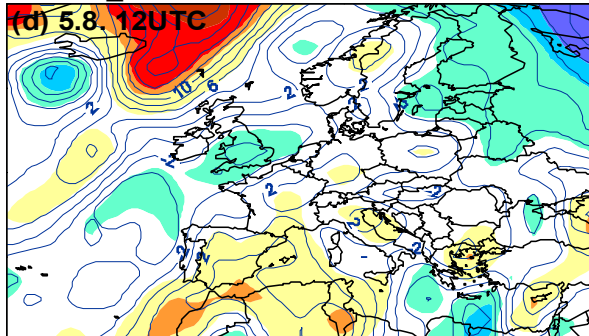


Obr. 2.11 Porovnání časového vývoje pole zonální (levý sloupec) a meridionální (pravý sloupec) složky rychlosti větru [ $\text{m s}^{-1}$ ] pro druhou povodňovou epizodu 1997 (17. 7.–20. 7.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 850 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda). Záporné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru se severní a východní komponentou a kladné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru s jižní a západní komponentou.

02/1 U\_850hPa

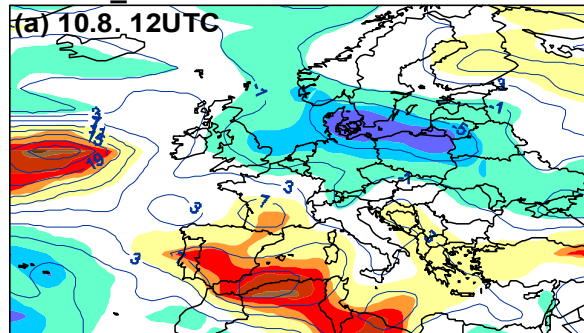


02/1 V\_850hPa

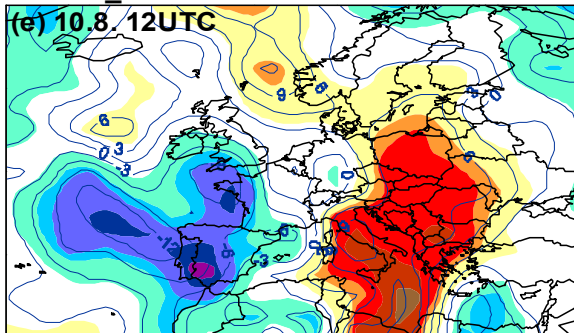


Obr. 2.12 Porovnání časového vývoje pole zonální (levý sloupec) a meridionální (pravý sloupec) složky rychlosti větru [ $m \cdot s^{-1}$ ] pro první povodňovou epizodu 2002 (5. 8.–7.8.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 850 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda). Záporné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru se severní a východní komponentou a kladné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru s jižní a západní komponentou.

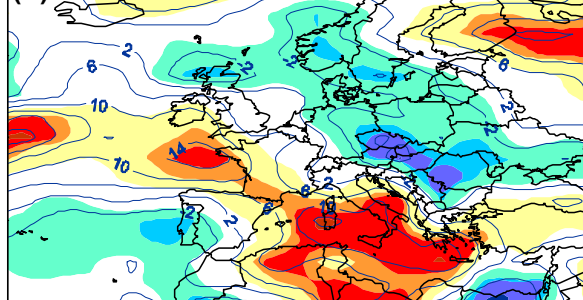
02/2 U\_850hPa



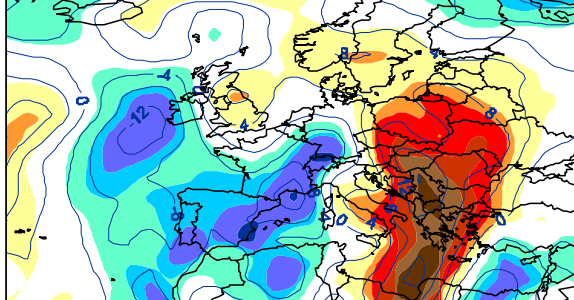
02/2 V\_850hPa



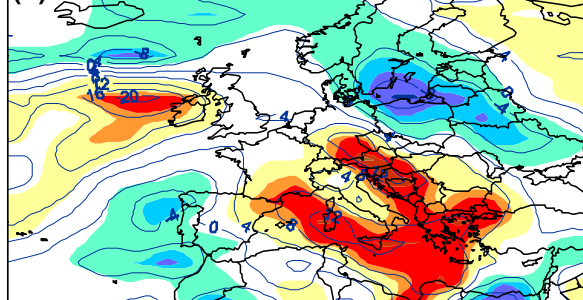
(b) 11.8. 12UTC



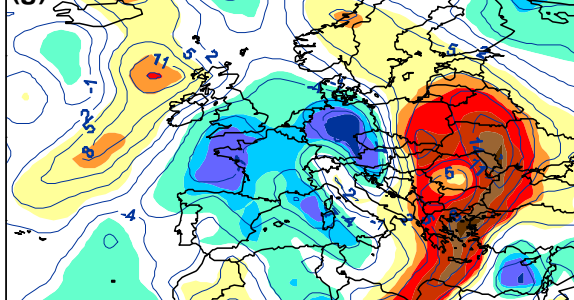
(f) 11.8. 12UTC



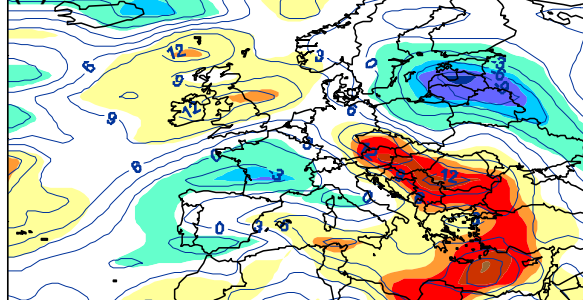
(c) 12.8. 12UTC



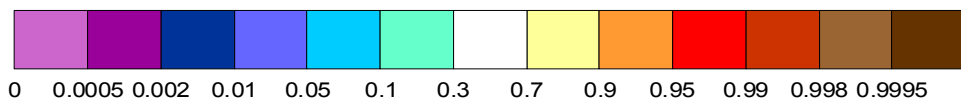
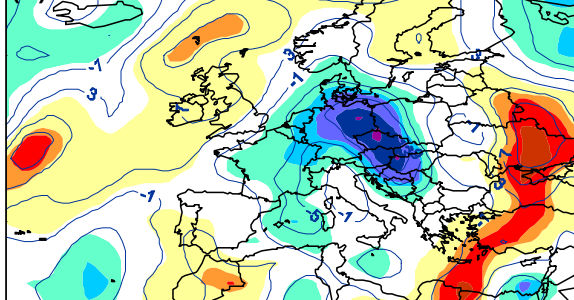
(g) 12.8. 12UTC



(d) 13.8. 12UTC

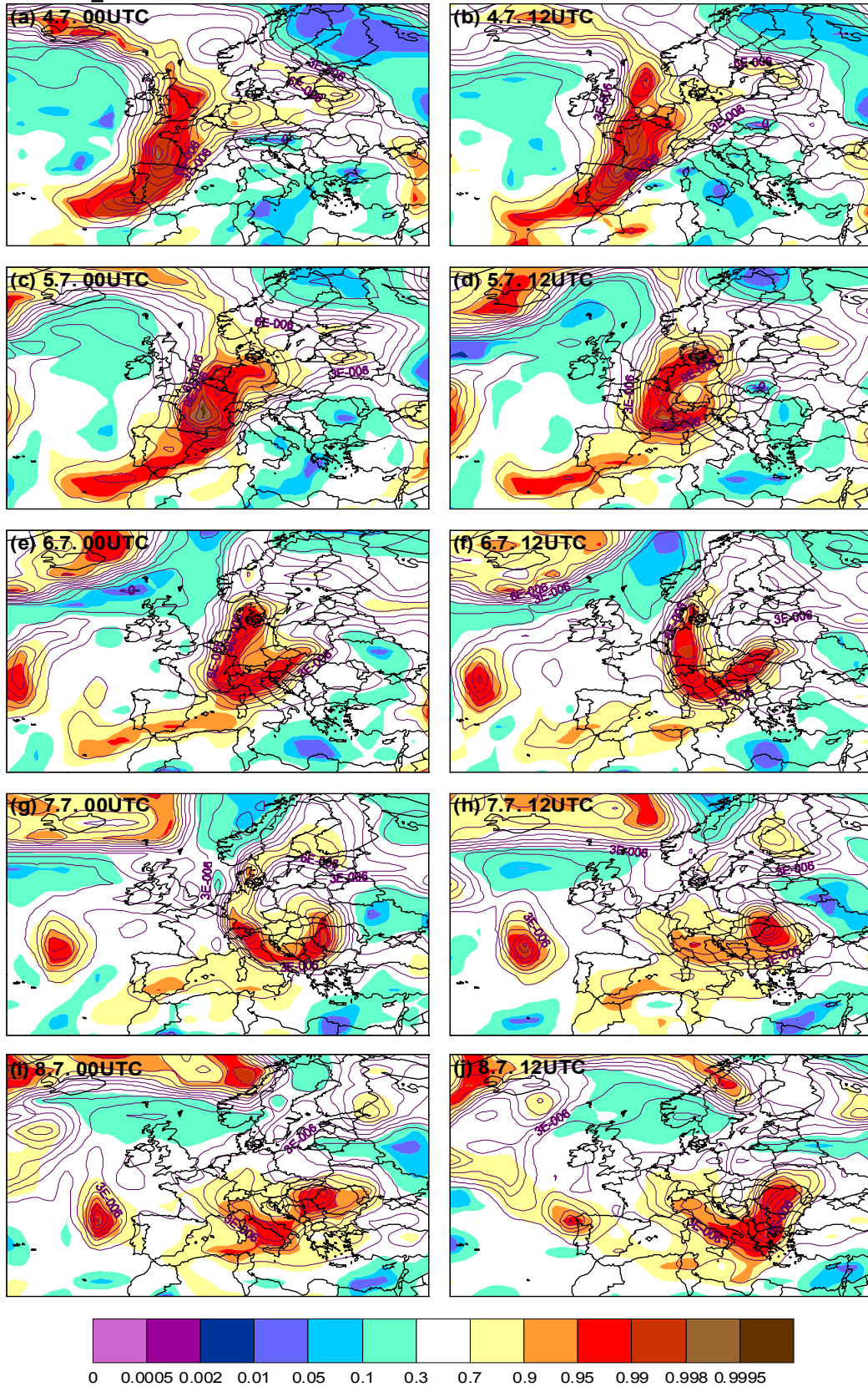


(h) 13.8. 12UTC



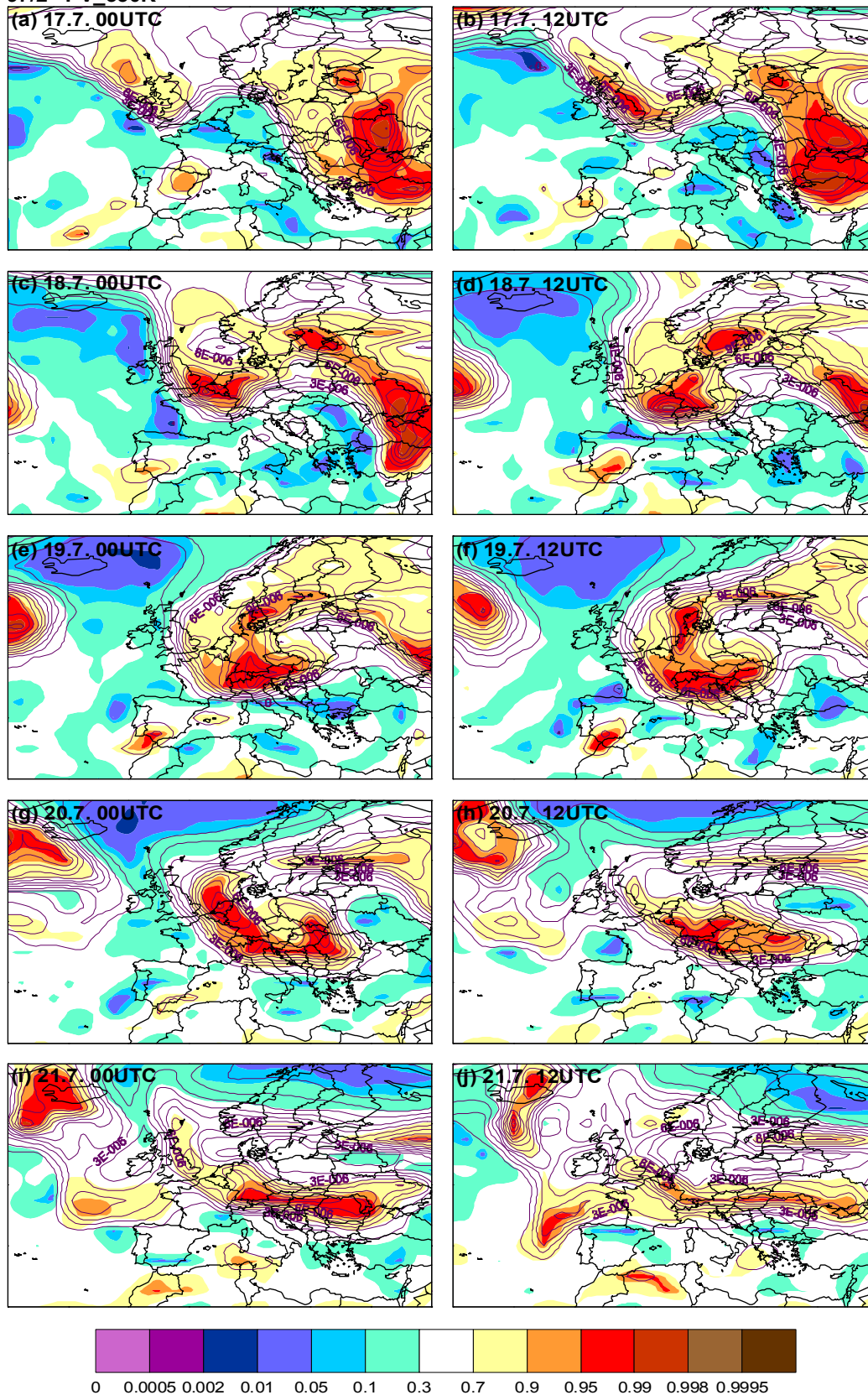
Obr. 2.13 Porovnání časového vývoje pole zonální (levý sloupec) a meridionální (pravý sloupec) složky rychlosti větru [ $m \cdot s^{-1}$ ] pro druhou povodňovou epizodu 2002 (10. 8.–13. 8.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 850 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda). Záporné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru se severní a východní komponentou a kladné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru s jižní a západní komponentou.

97/1 PV 330K



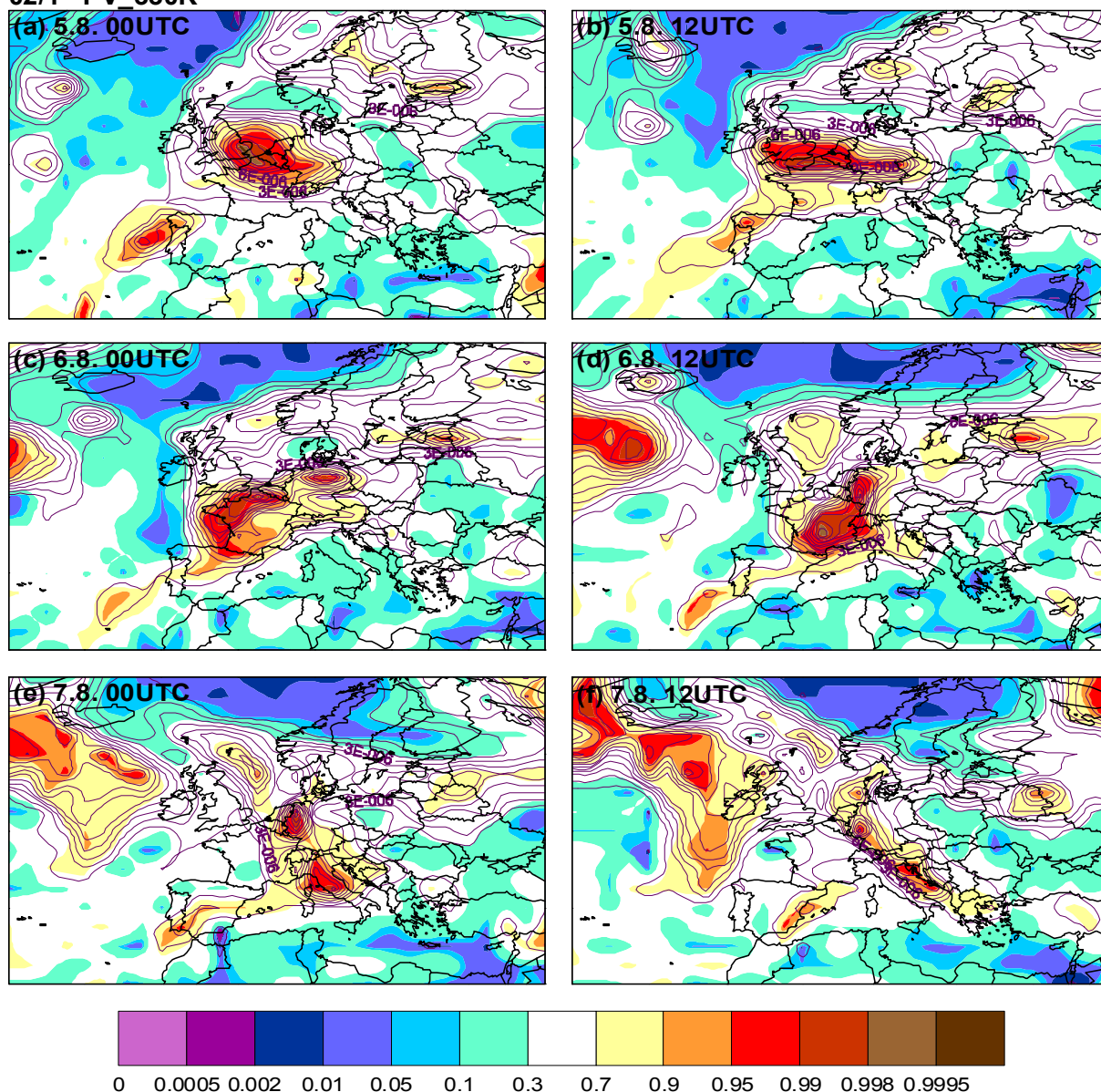
Obr. 2.14 Časový vývoj pole potenciální vorticity [ $m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg^{-1}$ ] v hladině 330 K pro první povodňovou epizodu 1997 (4. 7.–8. 7.). Zakresleny jsou izolinie potenciální vorticity a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

97/2 PV 330K



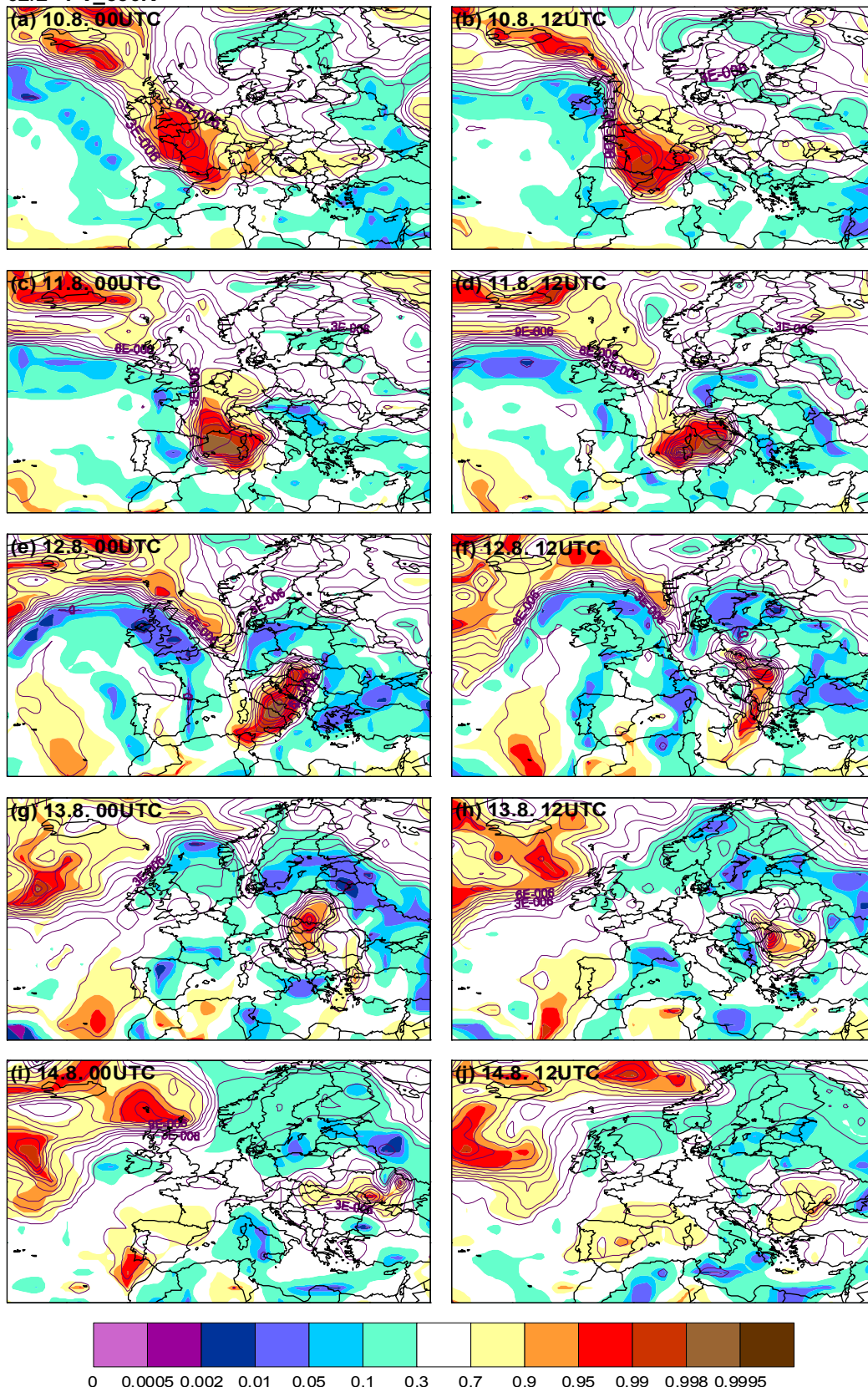
Obr. 2.15 Časový vývoj pole potenciální vorticity [ $m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg^{-1}$ ] v hladině 330 K pro druhou povodňovou epizodu 1997 (17. 7.–21. 7.). Zakresleny jsou izolinie potenciální vorticity a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

02/1 PV\_330K



Obr. 2.16 Časový vývoj pole potenciální vorticity [ $m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg^{-1}$ ] v hladině 330 K pro první povodňovou epizodu 2002 (5. 8.–7. 8.). Zakresleny jsou izolinie potenciální vorticity a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

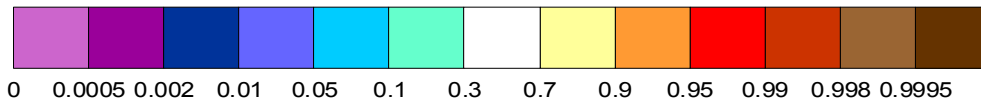
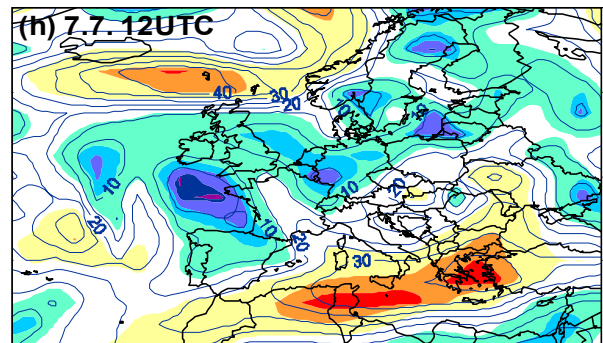
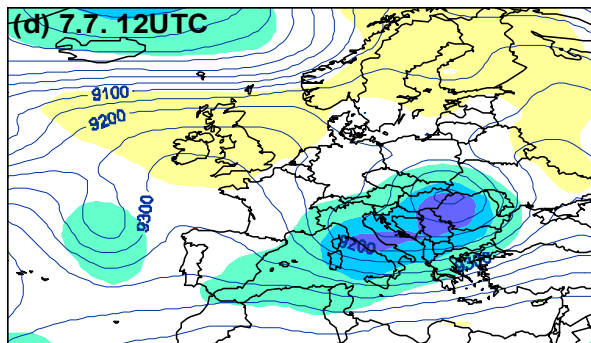
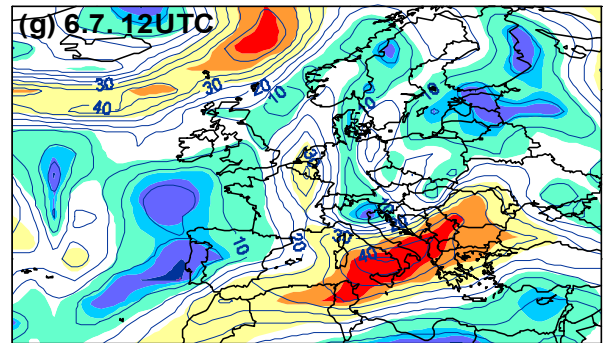
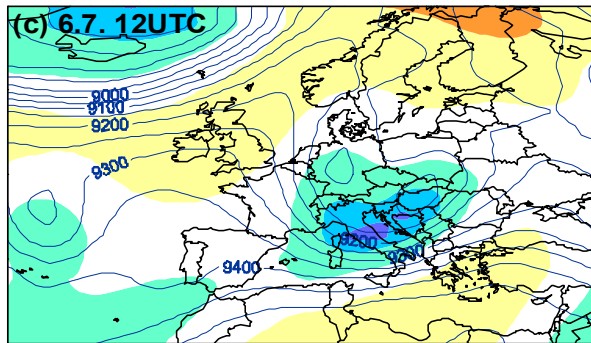
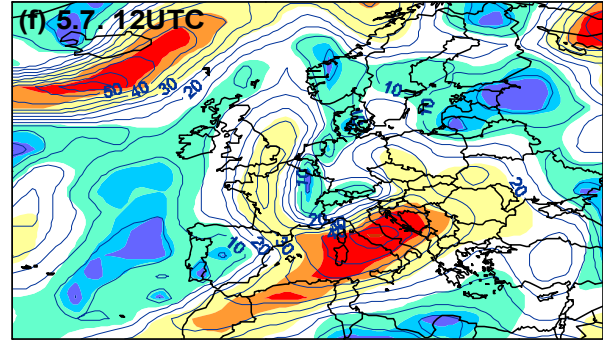
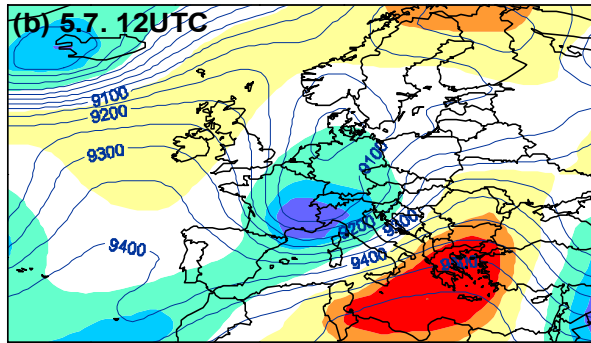
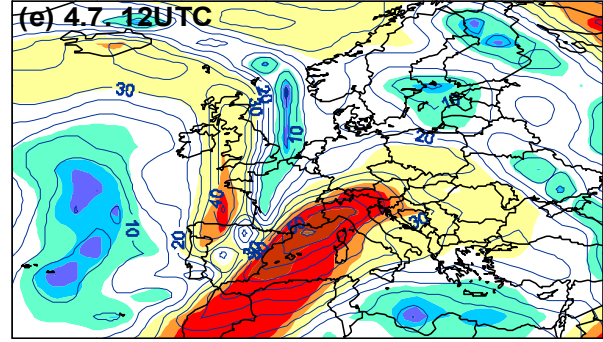
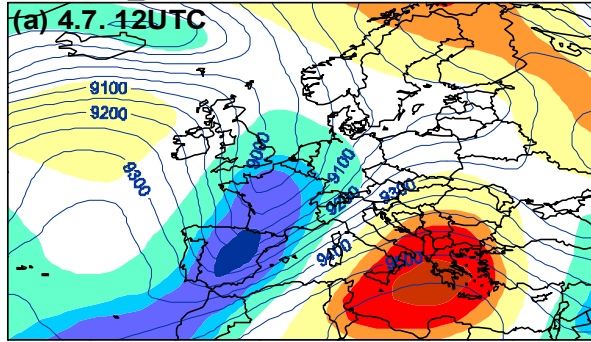
02/2 PV\_330K



Obr. 2.17 Časový vývoj pole potenciální vorticity [ $m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg^{-1}$ ] v hladině 330 K pro druhou povodňovou epizodu 2002 (10. 8.–14. 8.). Zakresleny jsou izolinie potenciální vorticity a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

97/1 AT\_300hPa

97/1 RYV\_300hPa

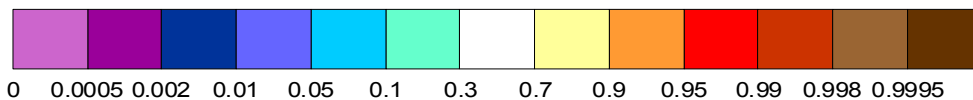
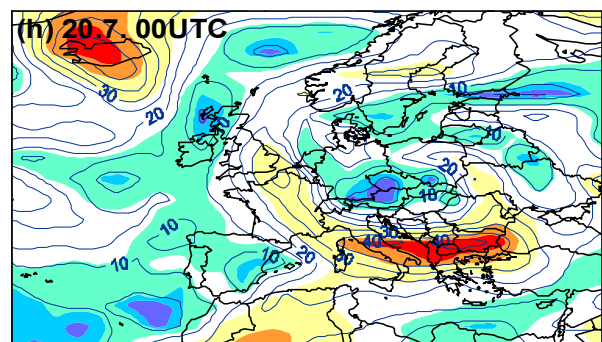
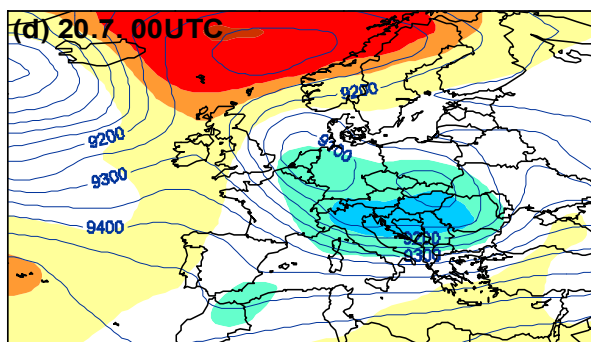
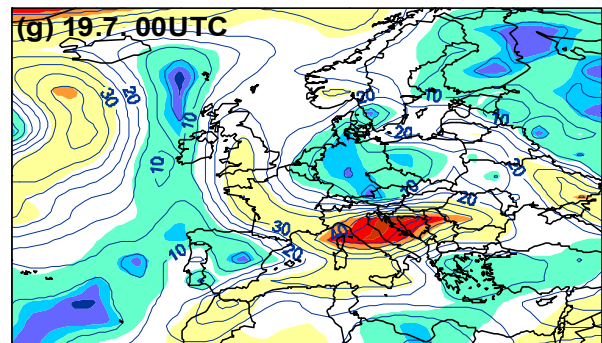
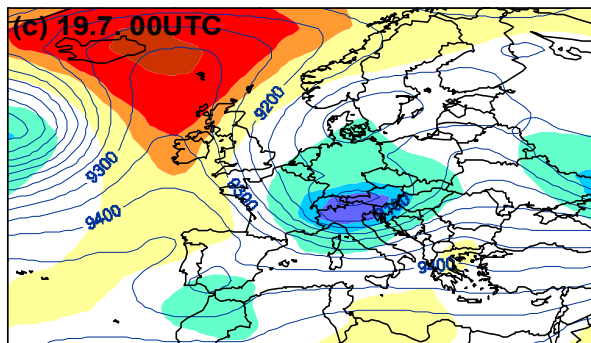
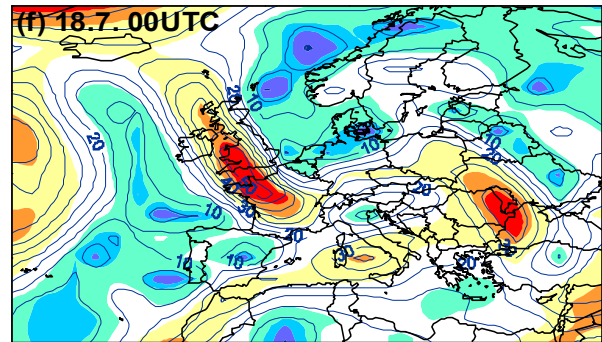
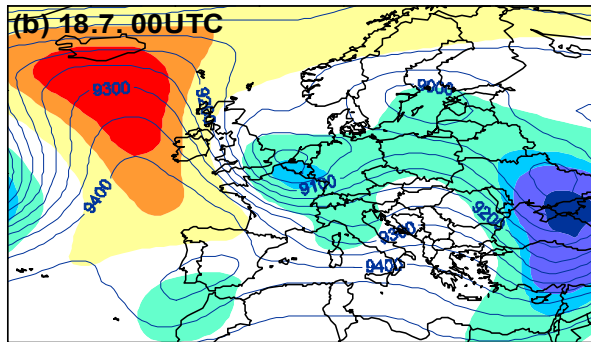
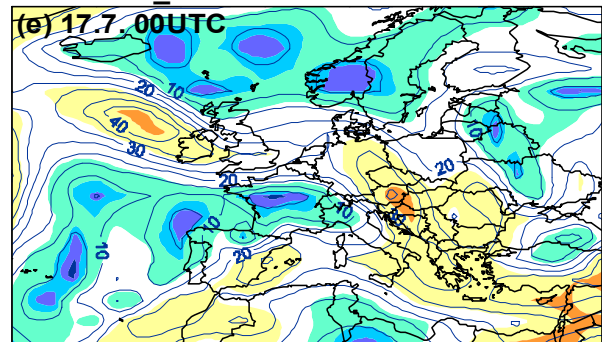
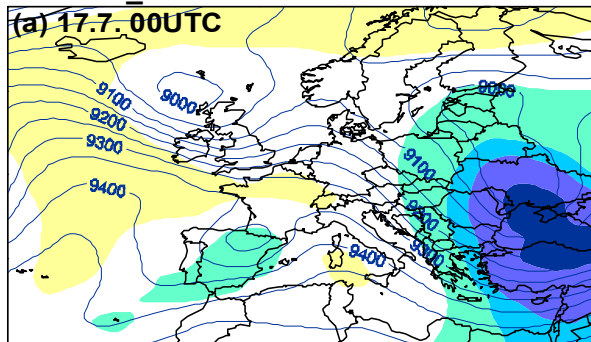


Obr. 2.18 Porovnání časového vývoje pole absolutní topografie [gpm] (levý sloupec) a velikosti rychlosti větru [ $m \cdot s^{-1}$ ] (pravý sloupec) pro první povodňovou epizodu 1997 (4. 7. až 7. 7.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 300 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).



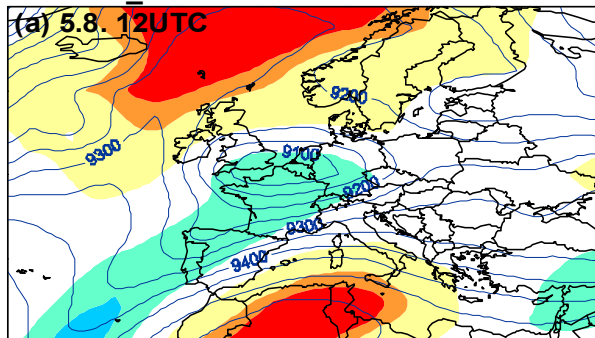
97/2 AT\_300hPa

97/2 RYV\_300hPa

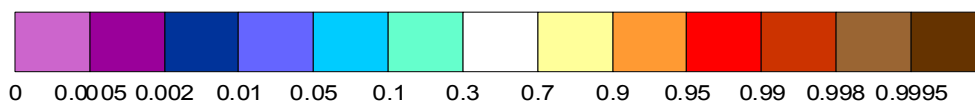
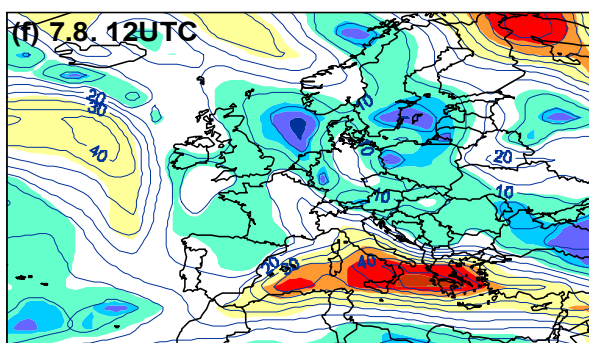
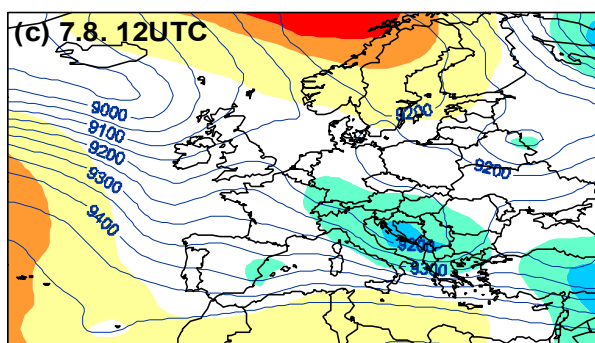
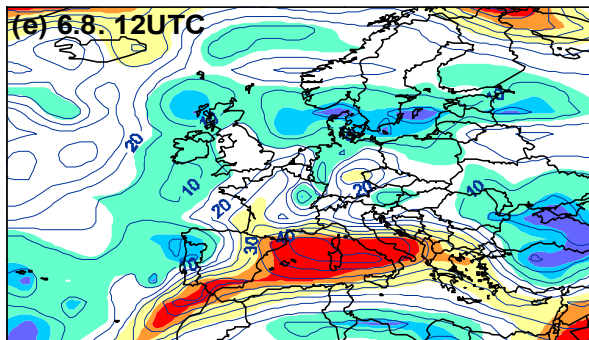
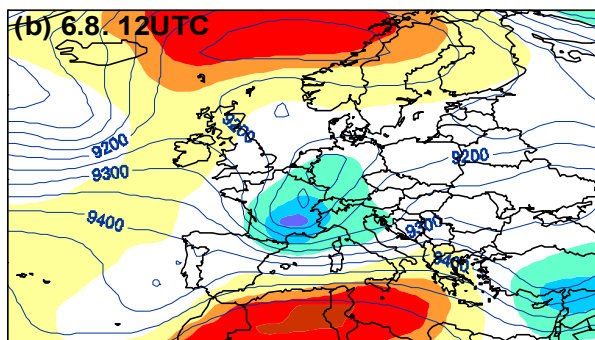
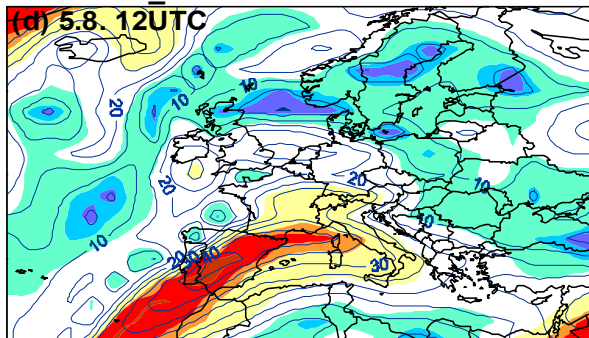


Obr. 2.19 Porovnání časového vývoje pole absolutní topografie [gpm] (levý sloupec) a velikosti rychlosti větru [ $m s^{-1}$ ] (pravý sloupec) pro druhou povodňovou epizodu 1997 (17. 7. až 20. 7.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 300 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

02/1 AT\_300hPa

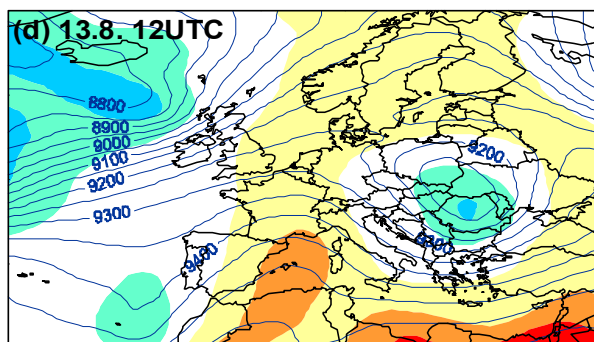
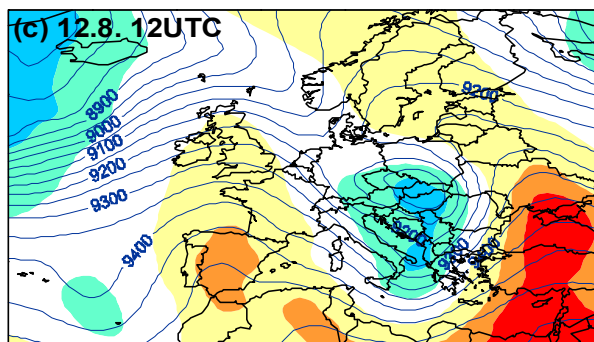
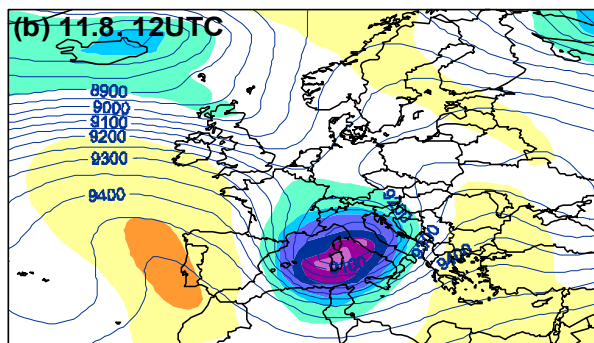
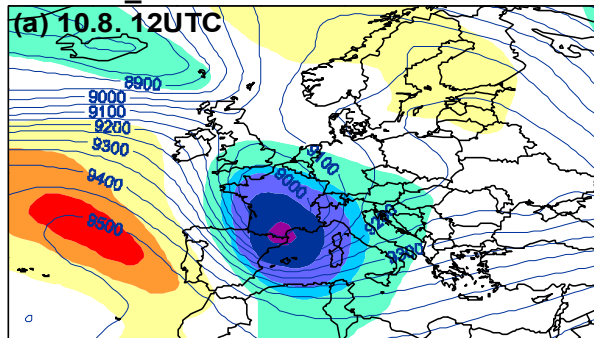


02/1 RYV\_300hPa

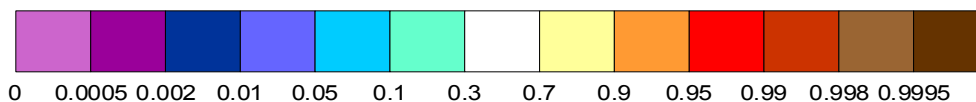
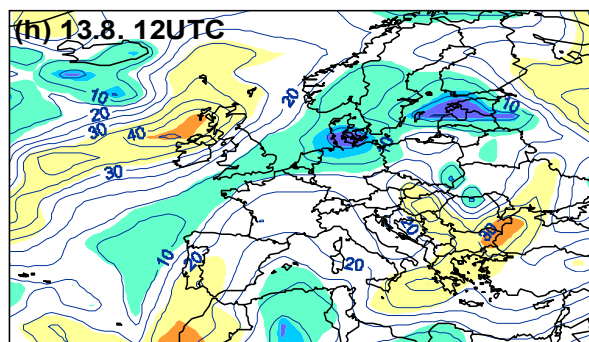
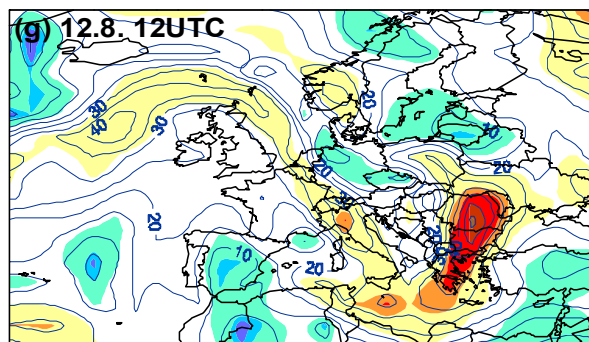
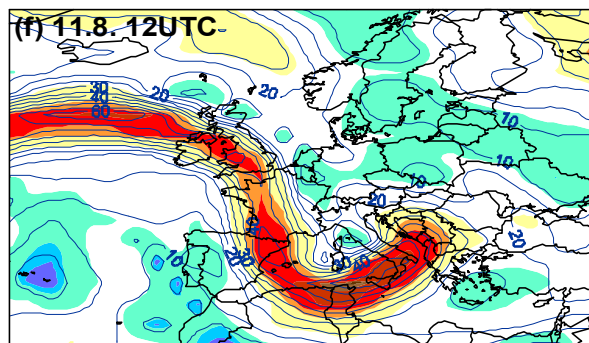
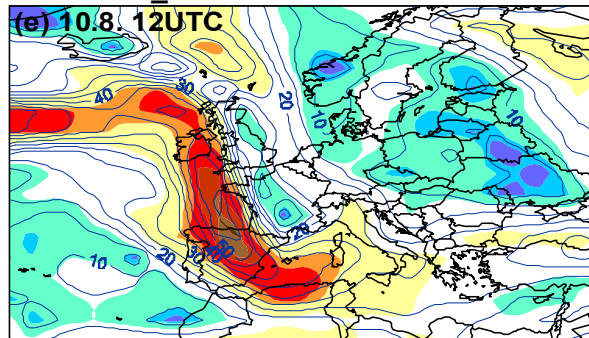


Obr. 2.20 Porovnání časového vývoje pole absolutní topografie [gpm] (levý sloupec) a velikosti rychlosti větru [ $m.s^{-1}$ ] (pravý sloupec) pro první povodňovou epizodu 2002 (5. 8. až 7. 8.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 300 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení terminové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

02/2 AT\_300hPa



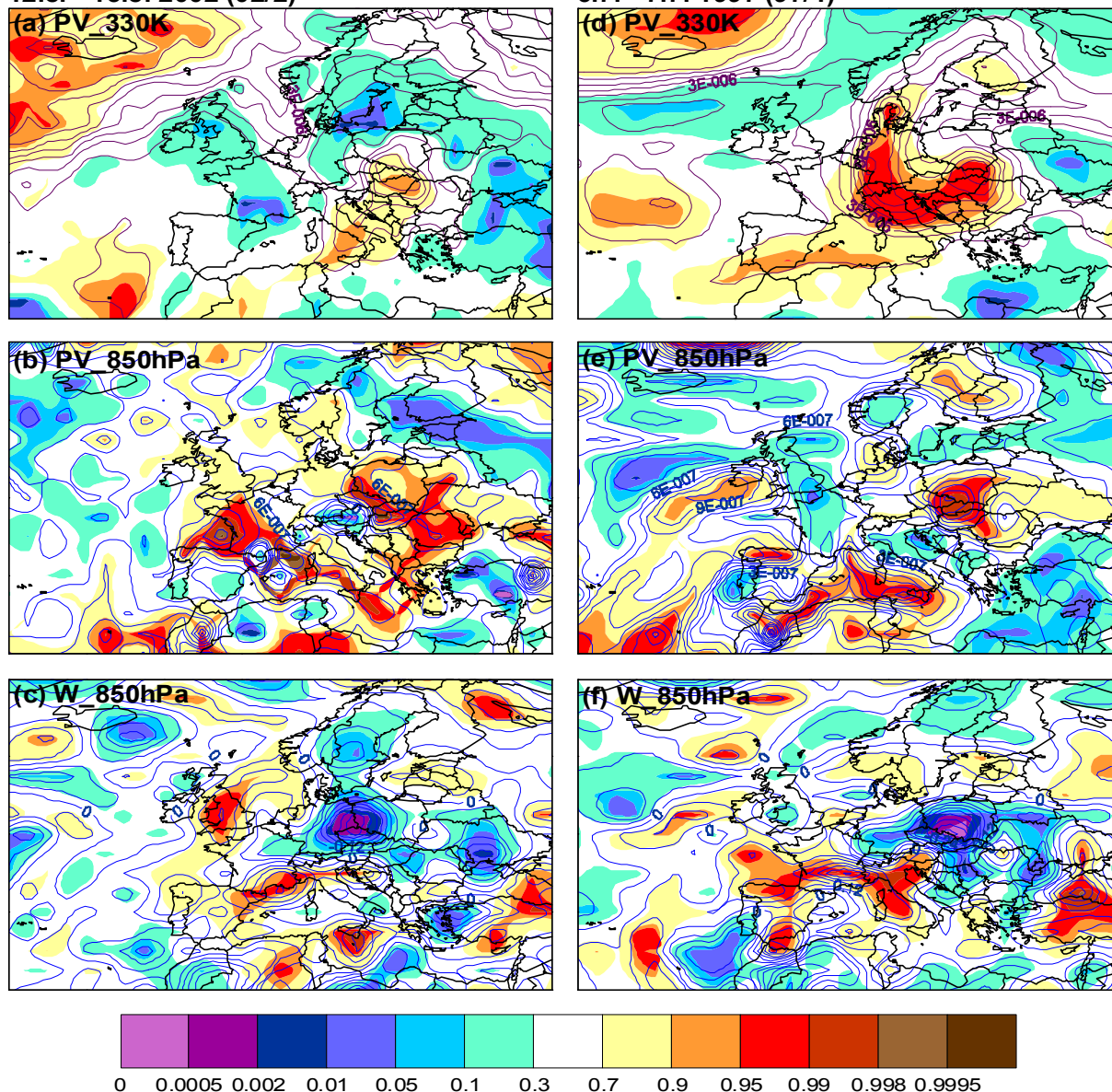
02/2 RYV\_300hPa



Obr. 2.21 Porovnání časového vývoje pole absolutní topografie [gpm] (levý sloupec) a velikosti rychlosti větru [ $m \cdot s^{-1}$ ] (pravý sloupec) pro druhou povodňovou epizodu 2002 (10. 8. až 13. 8.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 300 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde PP je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty F viz legenda).

12.8. - 13.8. 2002 (02/2)

6.7. - 7.7. 1997 (97/1)

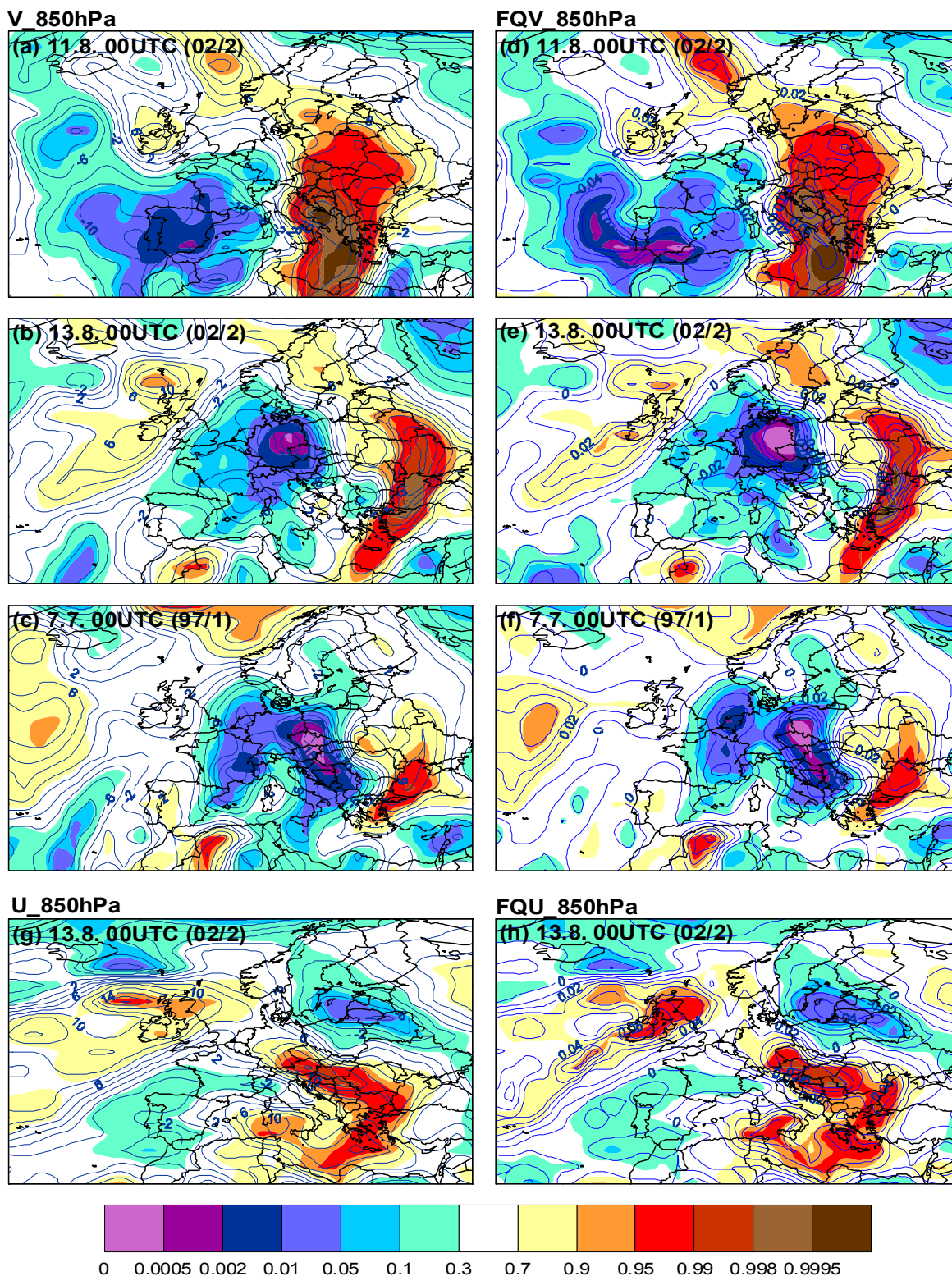


Obr. 2.22 Porovnání časově průměrovaných meteorologických veličin přes dvoudenní období 12. 8.–13. 8. 2002 (levý sloupec) a 6. 7.–7. 7. 1997 (pravý sloupec), která odpovídají období vypadávání rozhodujících srážek na území ČR. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda).

Nahoře: Potenciální vorticity [ $m^2 s^{-1} K kg^{-1}$ ] v izentropické hladině 330 K.

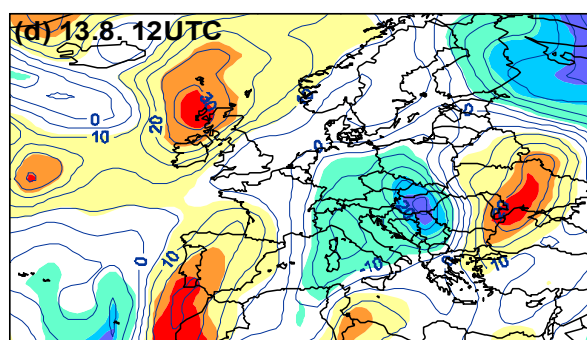
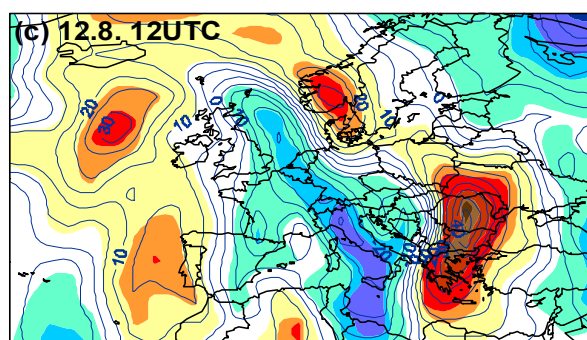
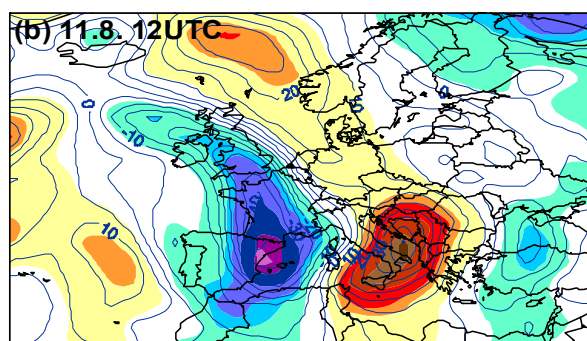
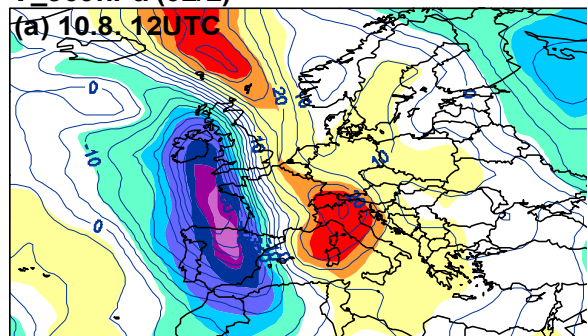
Uprostřed: Potenciální vorticity [ $m^2 s^{-1} K kg^{-1}$ ] v izobarické hladině 850 hPa.

Dole: Pole vertikálních rychlostí [ $Pa \cdot s^{-1}$ ] v izobarické hladině 850 hPa. Záporné hodnoty odpovídají výstupným pohybům a kladné hodnoty odpovídají sestupným pohybům vzduchu.

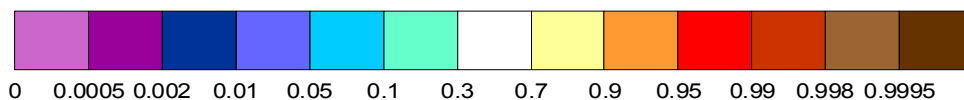
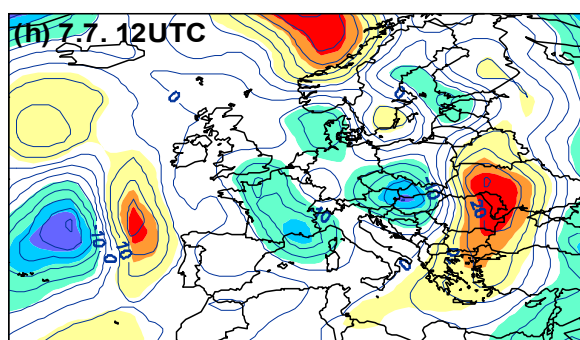
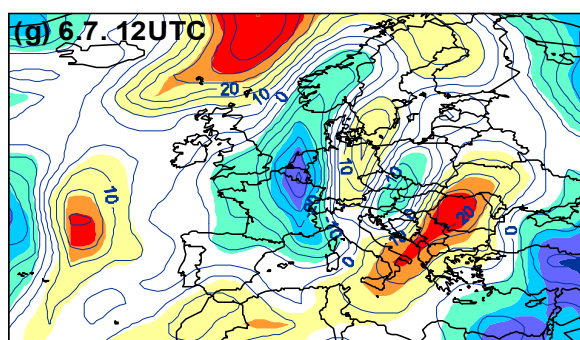
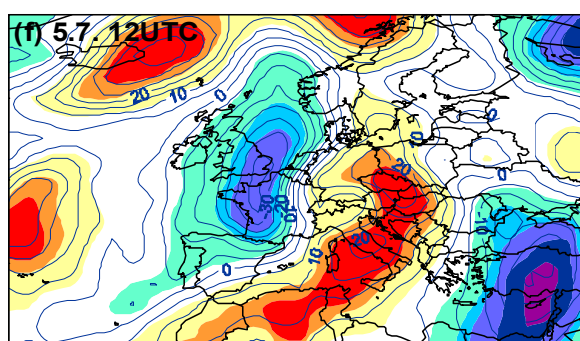
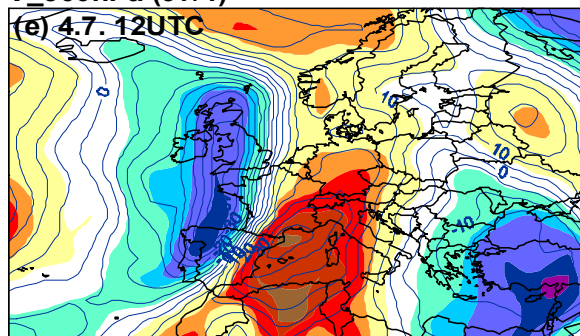


Obr. 2.23 Porovnání meridionálních  $V$  (a) – (f) a zonálních  $U$  (g) – (h) složek rychlosti větru  $[m \cdot s^{-1}]$  (levý sloupec) a toku vlhkosti  $[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$  (pravý sloupec) pro vybrané termíny druhé povodňové epizody 2002 (11. 8. 00 UTC, 13. 8. 00 UTC) a první povodňové epizody 1997 (7. 7. 00 UTC). Grafy se vztahují k izobarické hladině 850 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda). Záporné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru resp. tokům se severní komponentou a kladné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru resp. tokům s jižní komponentou.

V\_300hPa (02/2)

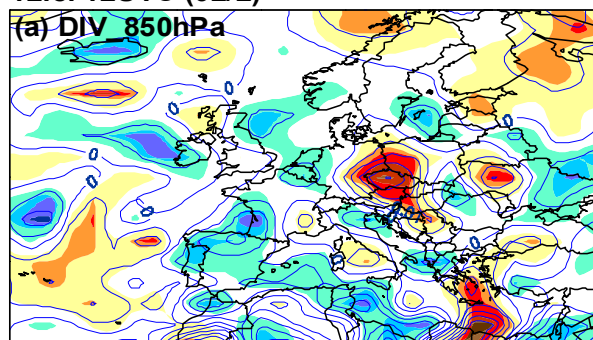


V\_300hPa (97/1)

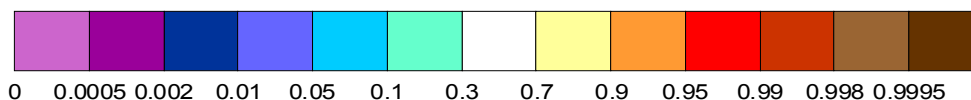
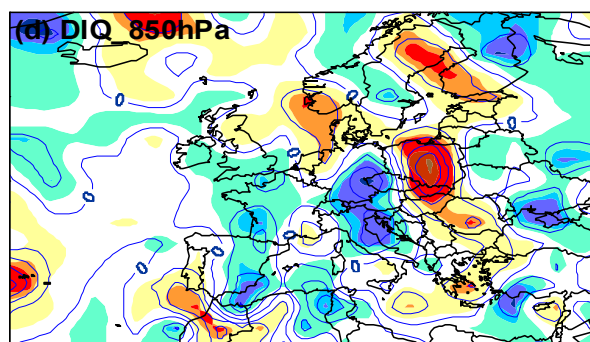
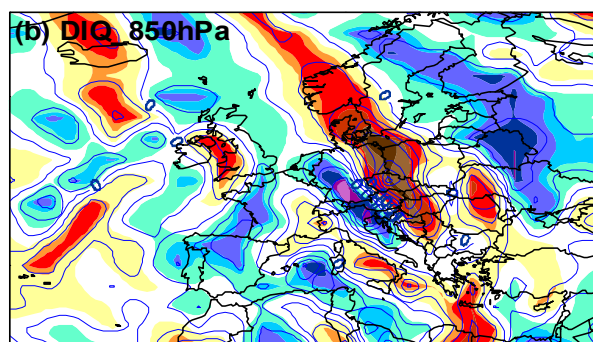
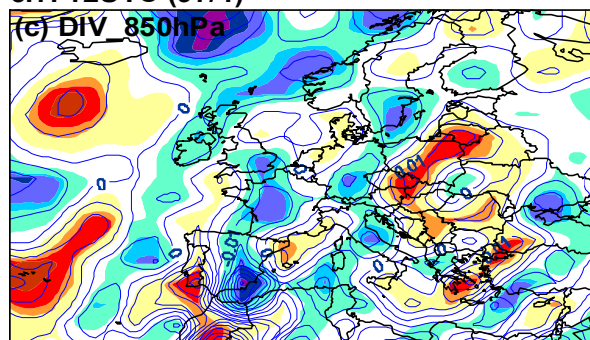


Obr. 2.24 Porovnání časového vývoje meridionální složky rychlosti větru [ $m \cdot s^{-1}$ ] mezi druhou povodňovou epizodou 2002 (levý sloupec: 10. 8.–13. 8.) a první povodňovou epizodou 1997 (pravý sloupec: 4. 7.–7. 7.). Grafy se vztahují k izobarické hladině 300 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda). Záporné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru se severní a kladné hodnoty odpovídají složkám rychlosti větru s jižní komponentou.

12.8. 12UTC (02/2)



6.7. 12UTC (97/1)



Obr. 2.25 Porovnání meteorologických veličin z termínů 12. 8. 2002 12 UTC (levý sloupec) a 6. 7. 1997 12 UTC (pravý sloupec), které odpovídají období vypadávání extrémních srážek. Grafy se vztahují k izobarické hladině 850 hPa. Zakresleny jsou izolinie sledované veličiny a barevně jsou vyznačeny plochy s danou hodnotou  $F=1-PP$ , kde  $PP$  je pravděpodobnost překročení termínové hodnoty (hodnoty  $F$  viz legenda).

Nahoře: Konvergence proudění [ $s^{-1}$ ].

Dole: Konvergence (vtok) absolutní vlhkosti [ $kg \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$ ].

