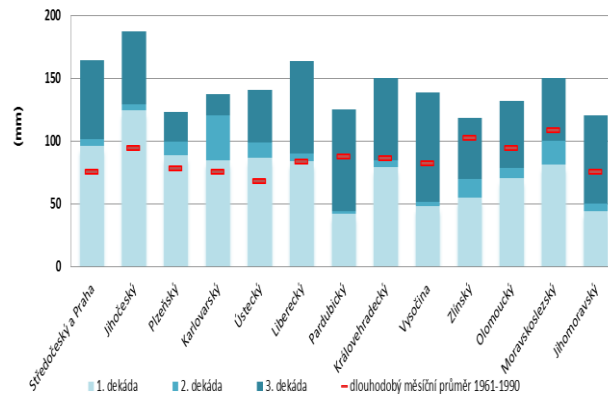
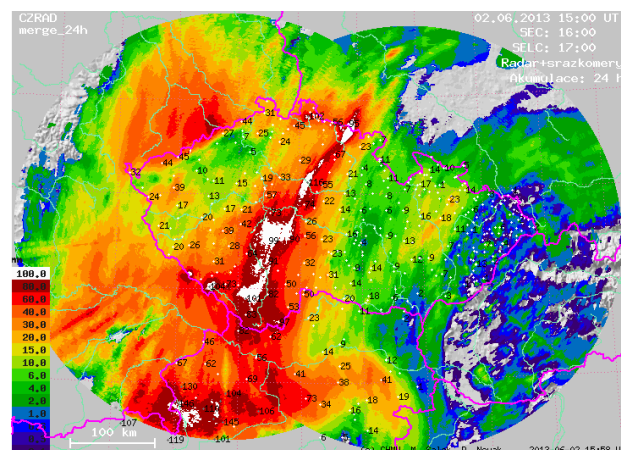
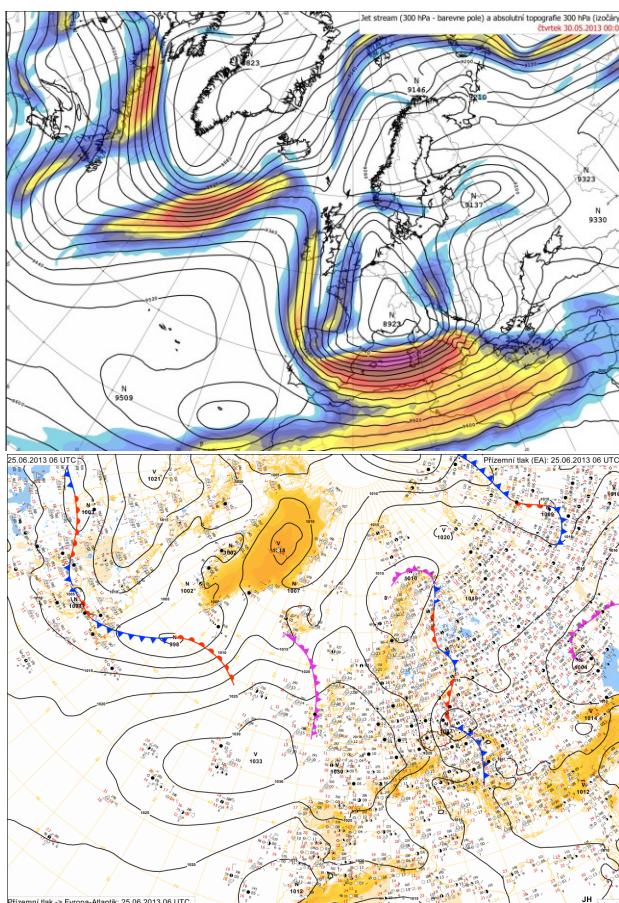


VYHODNOCENÍ POVODNÍ V ČERVNU 2013



METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY POVODNÍ

Dílčí zpráva



ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

Zadavatel: Ministerstvo životního prostředí
odbor ochrany vod
Vršovická 65
100 00 Praha 10

Projekt: **VYHODNOCENÍ POVODNÍ V ČERVNU 2013**

Nositel projektu: Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
143 06 Praha 4

Koordinátor projektu: Ing. Jan Kubát, RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D.

Doba řešení projektu: 9/2013–12/2013

Část: **METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY POVODNÍ**

Nositel části: Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
143 06 Praha 4

Odpovědný řešitel: Mgr. Marjan Sandev

Řešitelé: Mgr. Miloš Dvořák, RNDr. Anna Valeriánová,
Mgr. Eva Holtanová, Ph.D., Mgr. Lenka Crhová,

Místo uložení zprávy: MŽP, odbor ochrany vod
ČHMÚ, středisko informačních služeb - knihovna
nositel části projektu

OBSAH

1. VYHODNOCENÍ CÍRKULAČNÍCH PODMÍNEK V ATMOSFÉŘE	4
1.1 Úvod	4
1.2 Průběh některých meteorologických prvků na území ČR.....	4
1.3 Atmosférická cirkulace	6
1.3.1 Leden až Duben.....	6
1.3.2 Květen	9
1.3.3 Červen	13
1.4 Mechanismus cirkulace vedoucí k vydatným srážkám ve střední Evropě.....	32
1.5 Závěr	38
2. ANALÝZA SRÁŽKOVÝCH ÚHRNŮ A VYHODNOCENÍ JEJICH EXTREMITY.....	40
2.1 Měsíční srážkové úhrny v květnu a červnu 2013.....	40
2.2 Časové a prostorové rozložení srážek ve dnech od 29. května do 3. června 2013.....	45
2.2.1 Časový průběh hodinových úhrnů srážek.....	49
2.3 Srážky od 9. do 10. června 2013.....	52
2.4 Časové a prostorové rozložení srážek ve dnech 24. a 25. června 2013	53
2.5 Závěr	55
3. LITERATURA.....	56

1. VYHODNOCENÍ CIRKULAČNÍCH PODMÍNEK V ATMOSFÉŘE

1.1 Úvod

V první polovině roku 2013 převládal v širším okolí střední Evropy neobvyklý průběh počasí. Období bylo, kromě výrazných změn v teplotách, charakterizováno i velkou rozmanitostí srážkového režimu. Byly zaznamenávány jak teplotní extrémy, tak na četných místech vydatné srážky působící sněhové kalamity a na jaře a začátkem léta i povodně, ČR nevyjímaje. Intenzivní srážková činnost, zejména v druhé polovině května, nasýtila půdu ve střední a západní Evropě a srážky v průběhu června způsobily výskyt povodní ve střední Evropě. Cílem této části dílčího úkolu je vyhodnotit cirkulační podmínky, které vedly k výskytu anomálií meteorologických prvků a prozkoumat podmínky pro vznik následné povodně na území ČR na jaře a v létě roku 2013. Vzhledem k evidentnímu nárůstu povodní v letní polovině roku ve střední Evropě od roku 1997 byla provedena i analýza mechanismu cirkulace atmosféry vedoucí k těmto povodním.

1.2 Průběh některých meteorologických prvků na území ČR

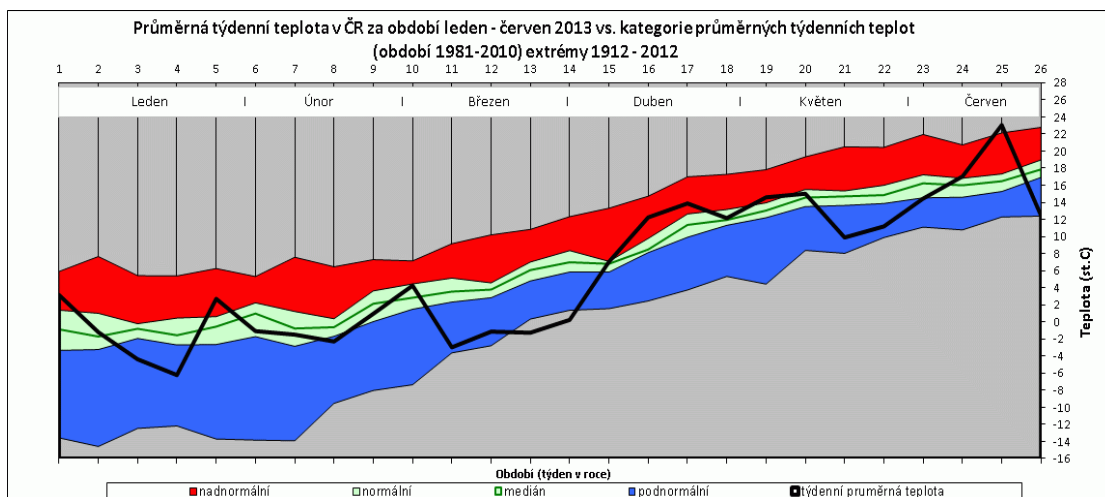
První polovina roku 2013 byla na území ČR charakteristická četnými anomáliemi meteorologických prvků. Z grafů na Obr. 1.1 a Obr. 1.2 je vidět neobvyklý průběh teplotních a srážkových charakteristik s výraznými odchylkami, které v některých případech dosáhly až extrémních hodnot.

Leden a větší část února byly na území ČR srážkově průměrné nebo nadprůměrné. Závěr února a první polovina března naopak přinesly suché počasí. Od 11. března následovaly čtyři týdny s ohledem na roční dobu velmi studeného počasí. Koncem března a v prvním dubnovém týdnu se vyskytla řada teplotních extrémů. Z hlediska dlouhodobých průměrných týdenních teplot se jednalo o nejchladnější období od roku 1912.

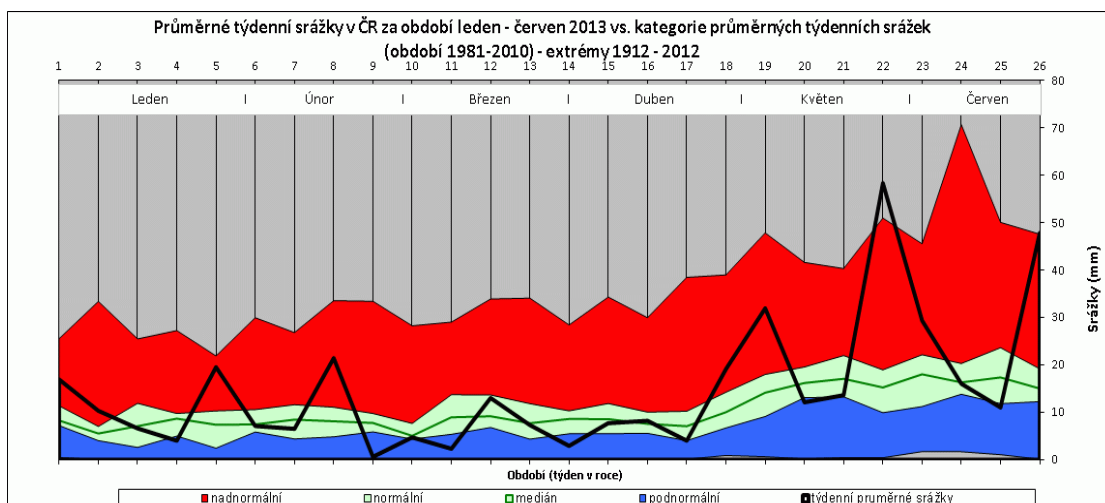
První tři měsíce roku 2013 jsou také charakteristické velmi malým množstvím slunečního svitu (Obr. 1.3). Během celého období převládalo počasí s velkou oblačností, ať už doprovázené srážkami (při cyklonálním počasí), nebo beze srážek. Týdenní průměrné množství oblačnosti většinou přesahovalo 8/10 pokrytí oblohy, což je i z dlouhodobého hlediska neobvyklé.

Po srážkově sušším březnu, a zejména dubnu, se v květnu a červnu vyskytlo několik období s výraznými nadprůměrnými srážkami. První bylo zaznamenáno začátkem května, další dvě období přinesly z dlouhodobého hlediska extrémní srážky. Výrazně srážkové bylo období na konci května a začátkem června, kdy spadlé srážky spolu s nasycenými povodními [1] vedly k rozsáhlým povodním na území střední Evropy včetně ČR. Další vlna povodní přišla po vydatných srážkách v posledním červnovém týdnu. Všechna tato období vzhledem k cyklonální cirkulaci byla doprovázena i výrazným úbytkem slunečního svitu.

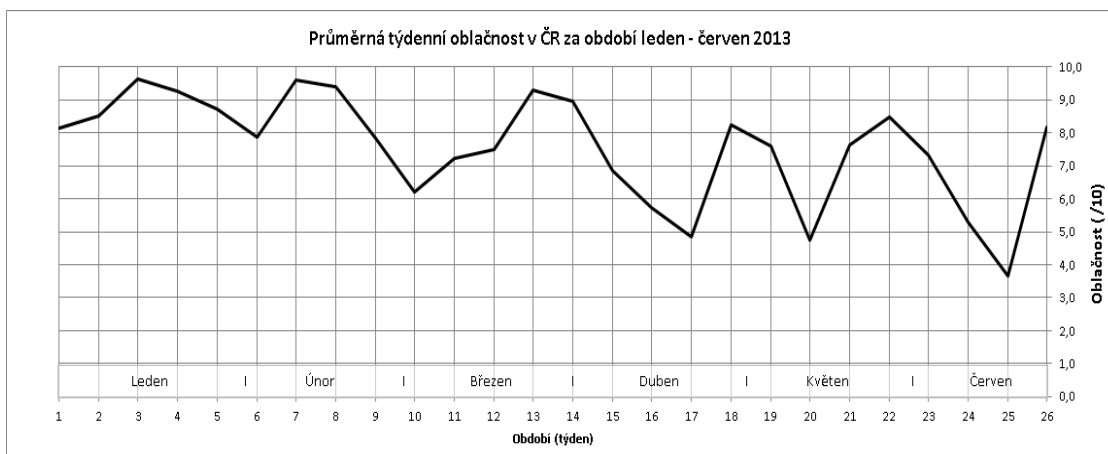
Období od 20. května do 5. června bylo výrazně teplotně podprůměrné. Týden před vlnou vydatných srážek, které spadly koncem června, přišla do ČR vlna veder, během které byly překonávány teplotní extrémy na řadě meteorologických stanic. Tento 25. týden v roce s průměrnou týdenní teplotou kolem 23 °C byl nejteplejší za posledních minimálně 100 let.



Obr. 1.1 – Průměrná týdenní teplota v ČR za období leden až červen 2013 v porovnání s dlouhodobými hodnotami (srovnávací období 1981–2010, extrémy za období 1912–2012).



Obr. 1.2 – Průměrné týdenní srážky v ČR za období leden až červen 2013 v porovnání s dlouhodobými hodnotami (srovnávací období 1981–2010, extrémy za období 1912–2012).

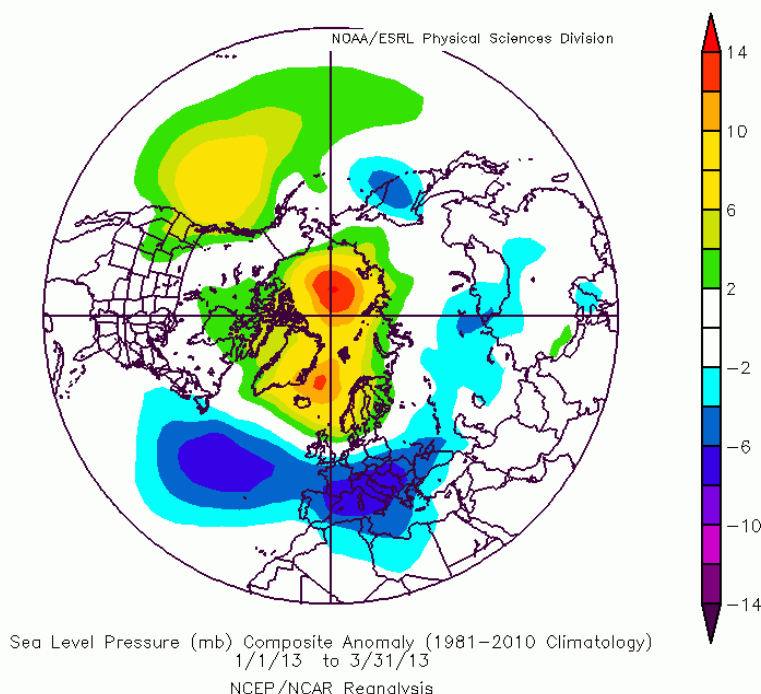


Obr. 1.3 – Průměrná týdenní oblačnost v ČR za období leden až červen 2013.

1.3 Atmosférická cirkulace

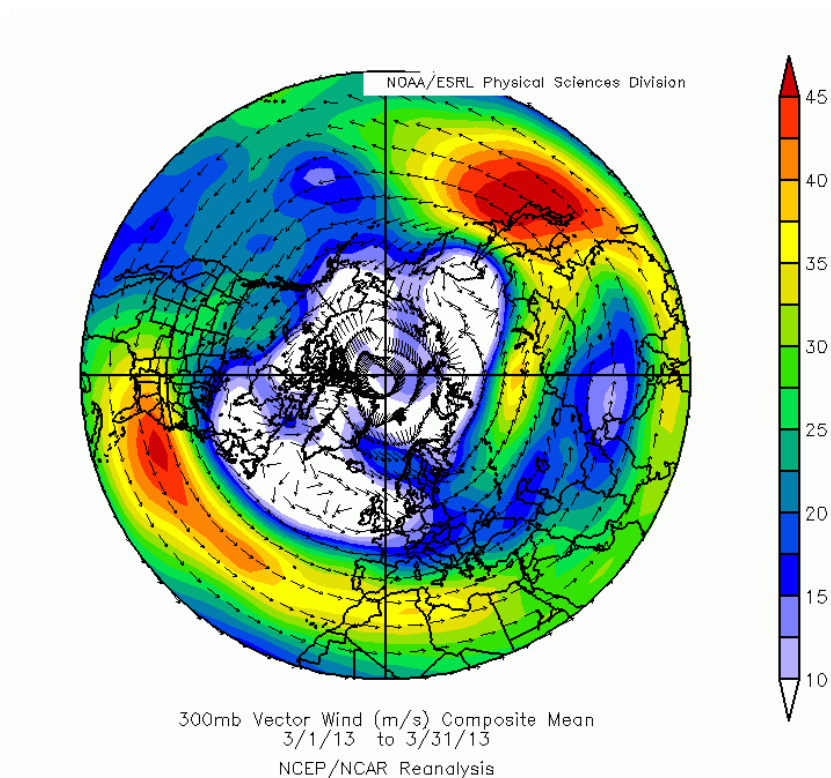
1.3.1 Leden až Duben

Cirkulace v atmosféře v prvních třech měsících roku 2013 způsobila neobvyklý průběh počasí nejen v ČR, ale téměř v celé Evropě. Od ledna do začátku dubna se do západního Středomoří dostal, nebo se zde přímo vytvořil neobvykle vysoký počet tlakových níží. Tyto níže nad mořem nabíraly vlhkost a obvykle postupovaly dále k východu až severovýchodu přes Balkánský poloostrov, Maďarsko a Slovensko. Když se tyto oblasti nízkého tlaku vzduchu dostaly východně od našeho území, strhávaly do střední Evropy studený vzduch z vyšších zeměpisných šířek, tedy z oblasti Skandinávie a Ruska a zároveň přinášely i srážky. Ty však byly nejvýraznější východně a jihovýchodně od ČR a v některých zemích způsobily sněhové kalamity. V lednu nastala taková situace šestkrát, obdobně i v únoru, v březnu dokonce desetkrát a středy čtyř těchto tlakových níží těsně míjely naší východní hranici. Odchylku od normálu v přízemním tlakovém poli nad severní polokoulí za období leden až březen 2013 ilustruje Obr. 1.4. Kdyby se podobná cirkulace opakovala v létě, přinesla by na četných místech evropského kontinentu výrazné povodně.

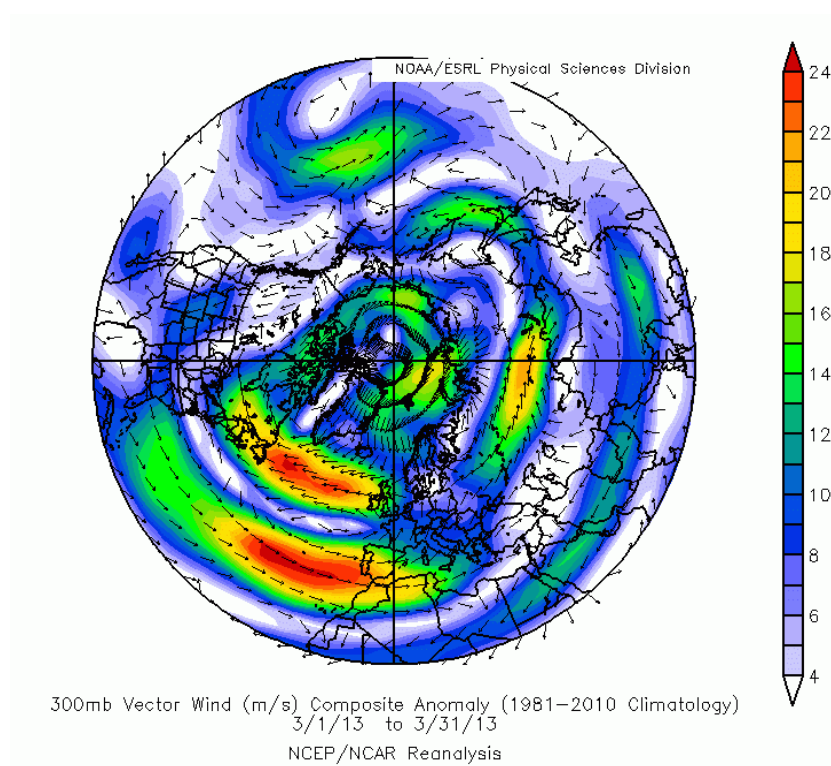


Obr. 1.4 – Odchylka přízemního tlakového pole od normálu (1981–2010) v mb (mb=hPa)-na severní polokouli za období leden až březen 2013 (zdroj: NOAA/ESRL).

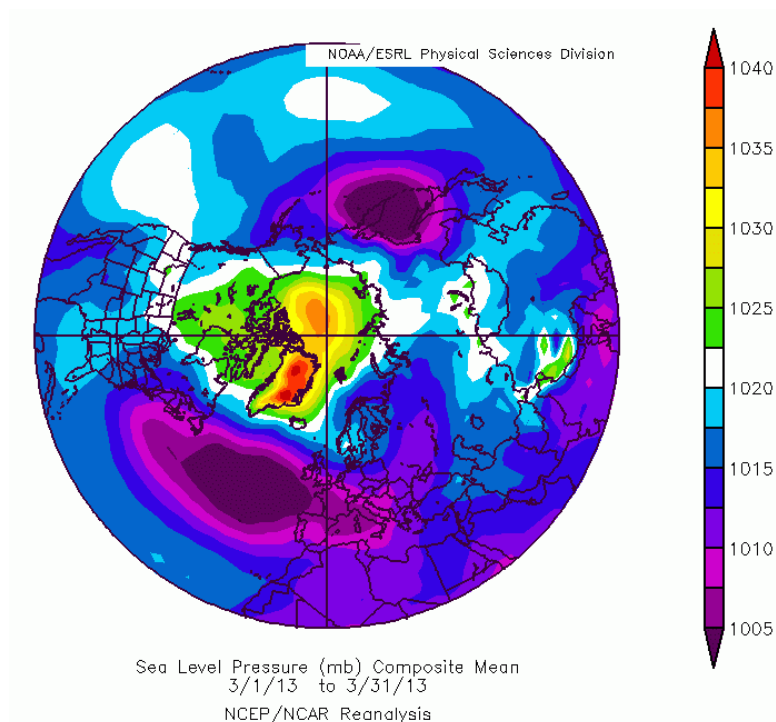
Příčiny těchto cirkulačních anomálií musíme hledat v širším okolí evropského kontinentu, zejména nad severním Atlantikem. Jet stream (tryskové proudění) nad severním Atlantikem bylo nadprůměrně silné a posunuté daleko na jih oproti běžnému stavu (Obr. 1.5 a Obr. 1.6). Toto vyvolalo výraznou zápornou severoatlantickou oscilaci (NOA), což se projevilo změnou proudění nad centrální částí severního Atlantiku. Na místě, kde se obvykle nachází oblast vysokého tlaku vzduchu, tedy v oblasti Azorských ostrovů, byla rozsáhlá oblast nízkého tlaku (Obr. 1.7). Na okraji této řídicí oblasti nízkého tlaku se vytvářely frontální vlny, které v západním proudění směřovaly do západní Evropy, resp. západního Středomoří. Toto trvalé zásobování studeným vzduchem a potenciální vorticitou [2] způsobovalo prohlubování již stávajících, nebo opakovaný vznik nových tlakových níží v západním Středomoří.



Obr. 1.5 – Průměrný jet stream (300 hPa) v ms^{-1} na severní polokouli v březnu 2013 (zdroj: NOAA/ESRL).

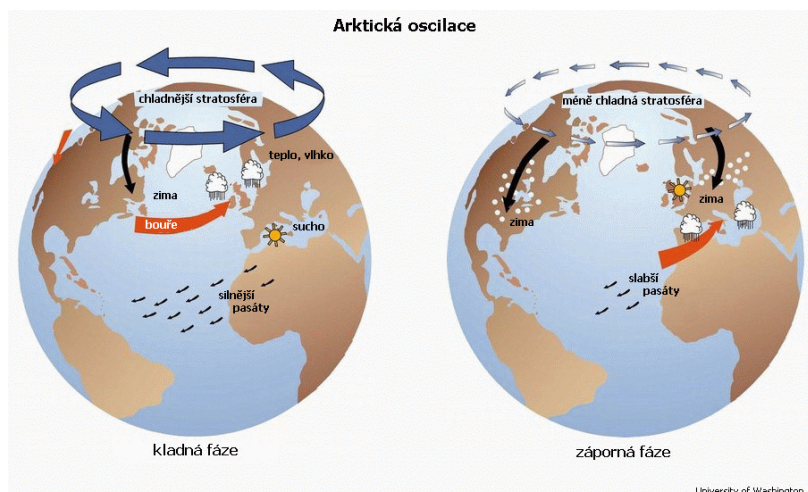


Obr. 1.6 – Odchylka průměrného jet streamu (300 hPa) v ms^{-1} od normálu (1981–2010) na severní polokouli v březnu 2013 (zdroj: NOAA/ESRL).

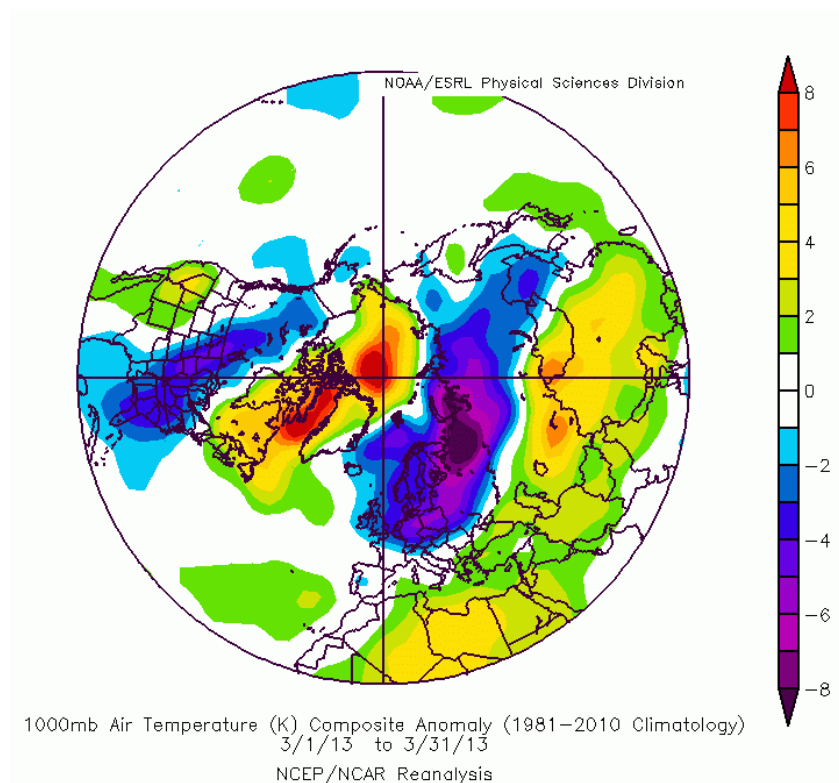


Obr. 1.7 – Průměrné přízemní tlakové pole v mb (mb=hPa) na severní polokouli v březnu 2013 (zdroj: NOAA/ESRL).

Záporná fáze arktické oscilace (AO – viz Obr. 1.8) [3] způsobená zmíněnou cirkulací měla v březnu za důsledek i vznik další výrazné anomálie nad Islandem. V této oblasti, která je jinak kolébkou tlakových níží, panovala v březnu tlaková výše. Při obvyklé cirkulaci se evropský kontinent ochlazuje buď vpádem studeného vzduchu z arktické oblasti (severozápadní až severní proudění), nebo rozšířením výběžku sibiřské tlakové výše. Studené počasí, které postihlo v několika vlnách větší část evropského kontinentu v březnu a začátkem dubna, ilustruje Obr. 1.9. Toto ochlazení spojené s aktivitou ve Středozemním moři není neobvyklé pro tuto roční dobu, ale v minulosti netrvalo tak dlouho a nevyskytovalo se opakovaně.



Obr. 1.8 – Schéma fungování arktické oscilace (zdroj: University of Washington, převzato z internetového magazínu gnosis9.net).



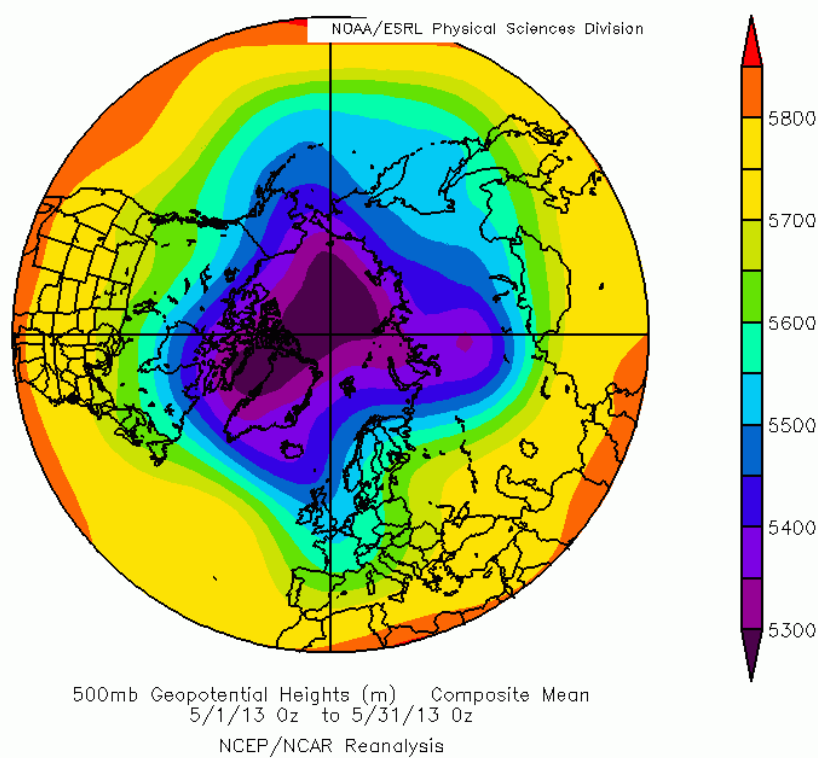
Obr. 1.9: Odchylka teploty vzduchu v 1 000 hPa v °K od normálu (1981–2010) na severní polokouli v březnu 2013 (zdroj: NOAA/ESRL).

1.3.2 Květen

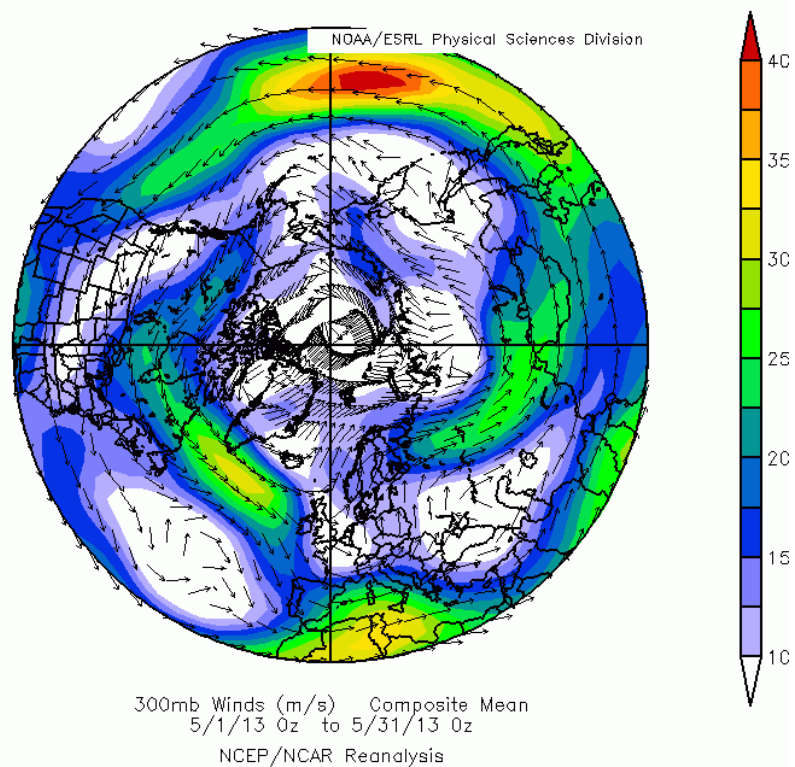
Z cirkulačního hlediska byl měsíc květen charakteristický výraznou cyklonální činností nad oblastí Britských ostrovů a západní, resp. jihozápadní Evropou, kde se po většinu měsíce udržovala brázda nízkého tlaku vzduchu. Toto je patrné i z průměrných hodnot geopotenciální výšky v hladině 500 hPa na Obr. 1.10.

V první polovině května postupovaly fronty přes střední Evropu většinou od západu, při svém postupu k východu zpomalovaly a obvykle se vlnily.

Druhá polovina května byla ve znamení výrazného meridionálního proudění v oblasti Evropy, které způsobovalo, že se studený vzduch při zemi často dostával daleko na jih až nad severní Afriku. V přílivu studeného vzduchu a v interakci mezi polárním a subtropickým jet streamem nad severní Afrikou a jihem centrálního Středomoří docházelo k tvorbě tlakových níží na sever od tohoto proudění, tedy nad západním a centrálním Středomořím (Obr. 1.11). Takto vytvořené tlakové níže pak postupovaly ve směru výškového proudění (po přední straně brázdy nízkého tlaku) do vnitrozemí evropského kontinentu. Při jejich postupu k severu až severovýchodu nabíraly obrovské masy vlhkého vzduchu ze Středomoří. Naopak v jejich týlu byl stále obnovován příliv studeného vzduchu od severozápadu a severu, což přispívalo k jejich neustálé regeneraci.



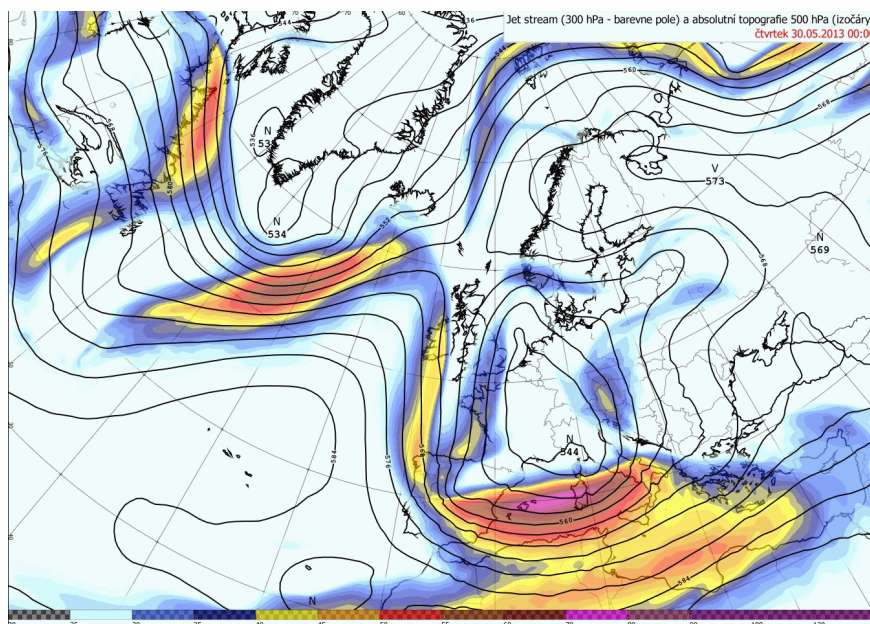
Obr. 1.10 – Průměrná geopotenciální výška v hladině 500 hPa na severní polokouli v květnu 2013 (zdroj: NOAA/ESRL).



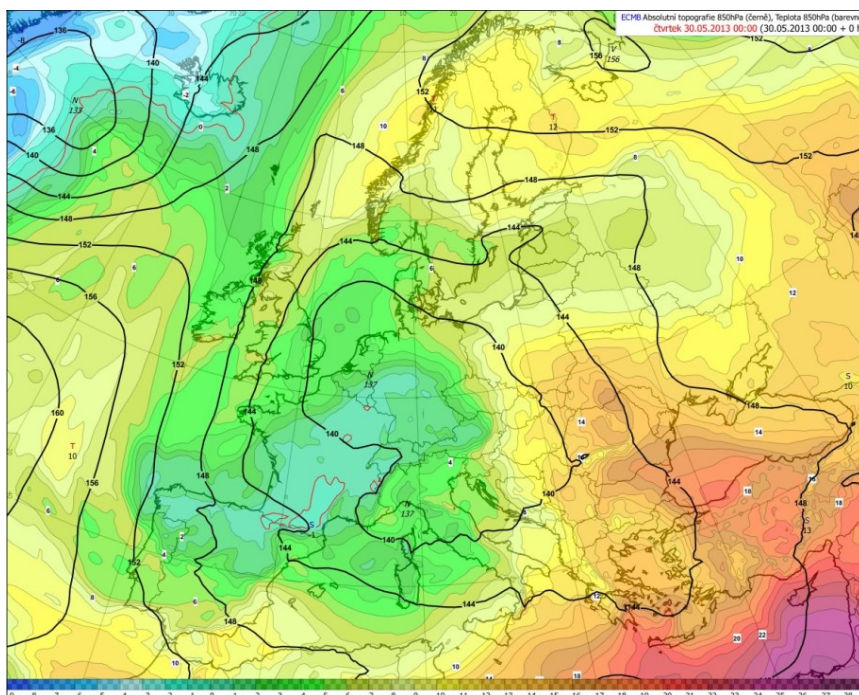
Obr. 1.11 – Průměrný jet stream (300 hPa) v ms^{-1} na severní polokouli v květnu 2013 (zdroj: NOAA/ESRL).

Tato cirkulace způsobila, že v závěrečné dekádě května, která bezprostředně předcházela první vlně záplav v červnu, bylo počasí v ČR výrazně teplotně podprůměrné, s velkou oblačností a četnými, místy i vydatnými srážkami. Občasné deště a přeháňky byly ojediněle doprovázeny i bouřkami, ale maximální denní úhrny na stanicích nepřevýšily 40 mm.

V samotném závěru května se nad větší částí evropského kontinentu udržovala rozsáhlá oblast nízkého tlaku vzduchu se středem nad západní Evropou (JV Francie, Švýcarsko, severní Itálie), a to v celém průřezu atmosféry, kolem které se obnovovala jednotlivá jádra nízkého tlaku vzduchu (Obr. 1.12 a Obr. 1.13).



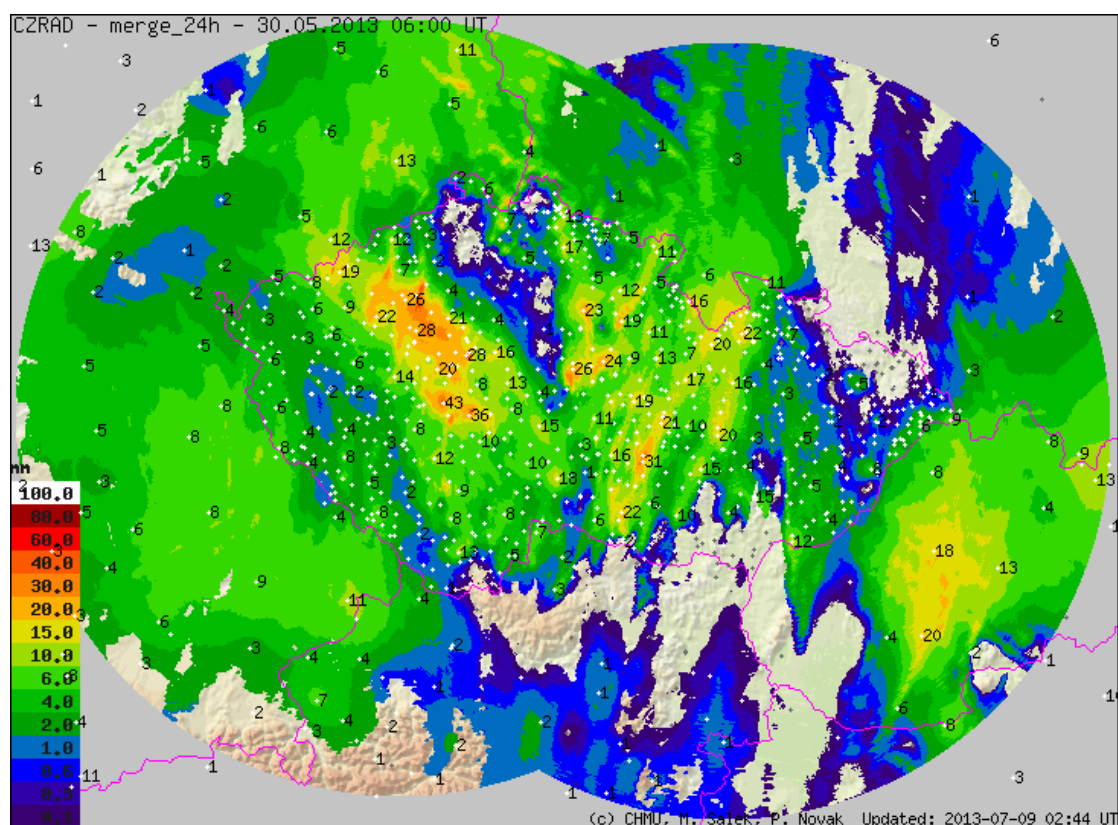
Obr. 1.12 – Jet stream (hladina 300 hPa – barevné pole) v ms^{-1} a geopotenciální výška v hladině 500 hPa (izočáry) v oblasti Evropa – Atlantik dne 30. 5. 2013 v 02 SELČ.



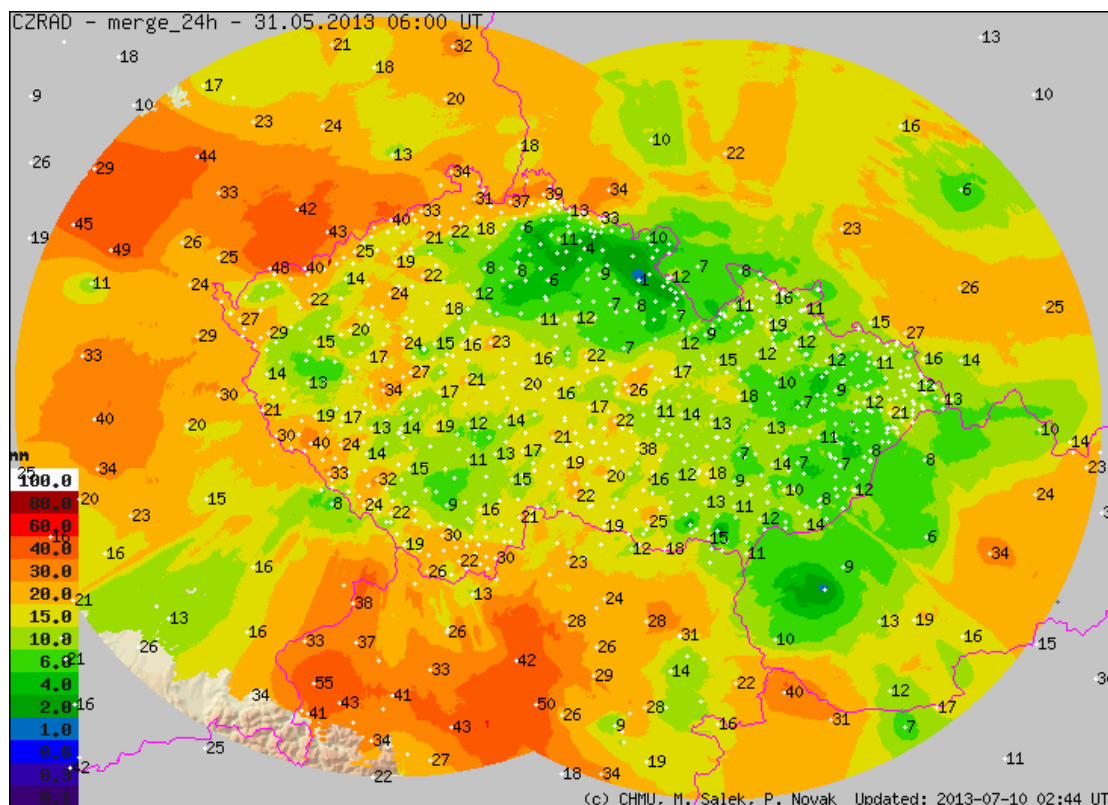
Obr. 1.13 – Geopotenciální výška (izočáry) a teplota ve $^{\circ}\text{C}$ (barevné pole) v hladině 850 hPa nad Evropou dne 30. 5. 2013 v 02 SELČ.

Významné srážky spadly 26. května, kdy v průměru napršelo kolem 5 mm, a to zejména v Čechách. Nejvyšší úhrny, až 59 mm, zaznamenala stanice Špičák. Dalším významným srážkovým dnem byl 29. květen (Obr. 1.14), kdy pršelo na většině území ČR a místy se vyskytovaly i bouřky. V průměru spadlo kolem 6 mm a nejvíce srážek spadlo v centrální části Čech, s maximálním úhrnem 43 mm v okolí Příbrami. Vůbec nejdeštivějším dnem měsíce byl 30. květen (Obr. 1.15), kdy spadlo na území ČR v průměru 12 mm srážek, a to celkem rovnoměrně po celém území ČR. Maximum srážek zaznamenala stanice Kdyně na jihozápadě Čech a Cínovec v Krušných horách, kde spadlo shodně kolem 40 mm srážek.

Jednou z příčin povodňové situace v červnu 2013 byl velmi vlhký květen, který byl jako celek na území ČR srážkově nadnormální, s průměrným srážkovým úhrnem 113 mm, což odpovídá 152 % normálu (1961 až 1990). V Čechách bylo v průměru naměřeno 115 mm (174 % normálu), na Moravě a ve Slezsku 97 mm (137 % normálu). Rozložení srážek za měsíc květen je znázorněno na Obr. 2.1 v části 2 *Analýza srážkových úhrnů a vyhodnocení jejich extremity*, extrémní hodnoty srážek spadlých během května 2013 na stanicích v ČR jsou v Tab. 2.1 v části 2.



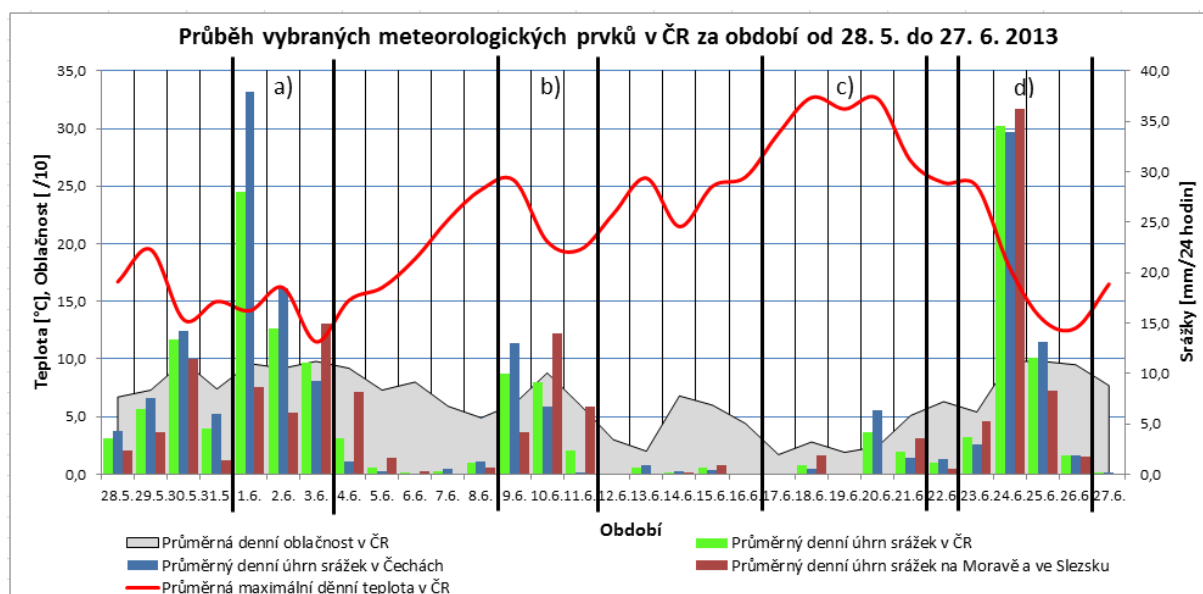
Obr. 1.14 – Množství spadlých srážek za období od 29. 5. 08 SELČ do 30. 5. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.



Obr. 1.15 – Množství spadlých srážek za období od 30. 5. 08 SELČ do 31. 5. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

1.3.3 Červen

Z hlediska srážkové činnosti a následné hydrologické odezvy se během června vyskytla čtyři významná synoptická období. Průběh vybraných meteorologických prvků v tomto období je znázorněn graficky na Obr. 1.16.



Obr. 1.16 – Průběh vybraných meteorologických prvků na území ČR za období od 28. 5. do 27. 6. 2013.

Konec května a začátek června 2013 byly na území ČR ve znamení cyklonálního počasí s velkou oblačností a četnými srážkami. Srážky, které se vyskytly v období od 1. do 3. června (období a), způsobily povodně na části území ČR, extrémní srážky byly zaznamenány hlavně 1. června a to v Čechách, kde oproti území Moravy a Slezska napršelo až 4krát více srážek. Toto období bylo charakteristické i poměrně nízkými teplotami vzduchu. Další významné srážkové období nastalo od 9. do 11. června (období b), kdy převládalo instabilní počasí, místy s výraznou bouřkovou činností. Ve druhé polovině června začal do střední Evropy proudit tropický vzduch od jihu a následovalo slunečné a velmi teplé počasí (období c). V posledním srážkově výrazném období se na území ČR opět vyskytly povodně. Od 23. do 26. června (období d) převládalo opět cyklonální počasí doprovázené velkou oblačností a srážkami, přechodně i extrémními (24. 6.), které byly tentokrát rozloženy rovnoměrně na území celé ČR. Teploty opět výrazně klesly.

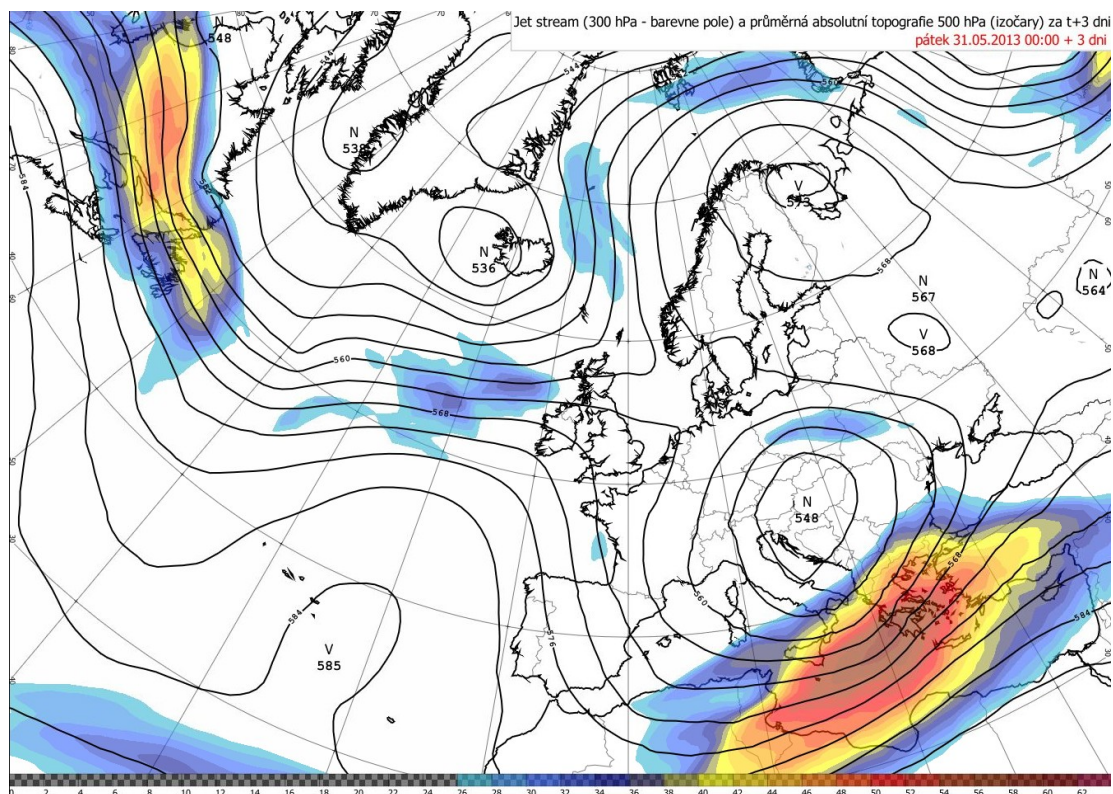
Měsíc červen 2013 jako celek byl na území ČR srážkově nadnormální, s průměrným srážkovým úhrnem 146 mm, což odpovídá 174 % normálu (1961 až 1990). V Čechách bylo v průměru naměřeno 154 mm (186 % normálu), na Moravě a ve Slezsku 119 mm (137 % normálu). Rozložení srážek za měsíc červen je znázorněno na Obr. 2.4 v části 2., extrémní hodnoty srážek spadlých během června 2013 na stanicích v ČR jsou v Tab. 2.2 v části 2.

Srážkové období od 1. do 3. června 2013 – období a)

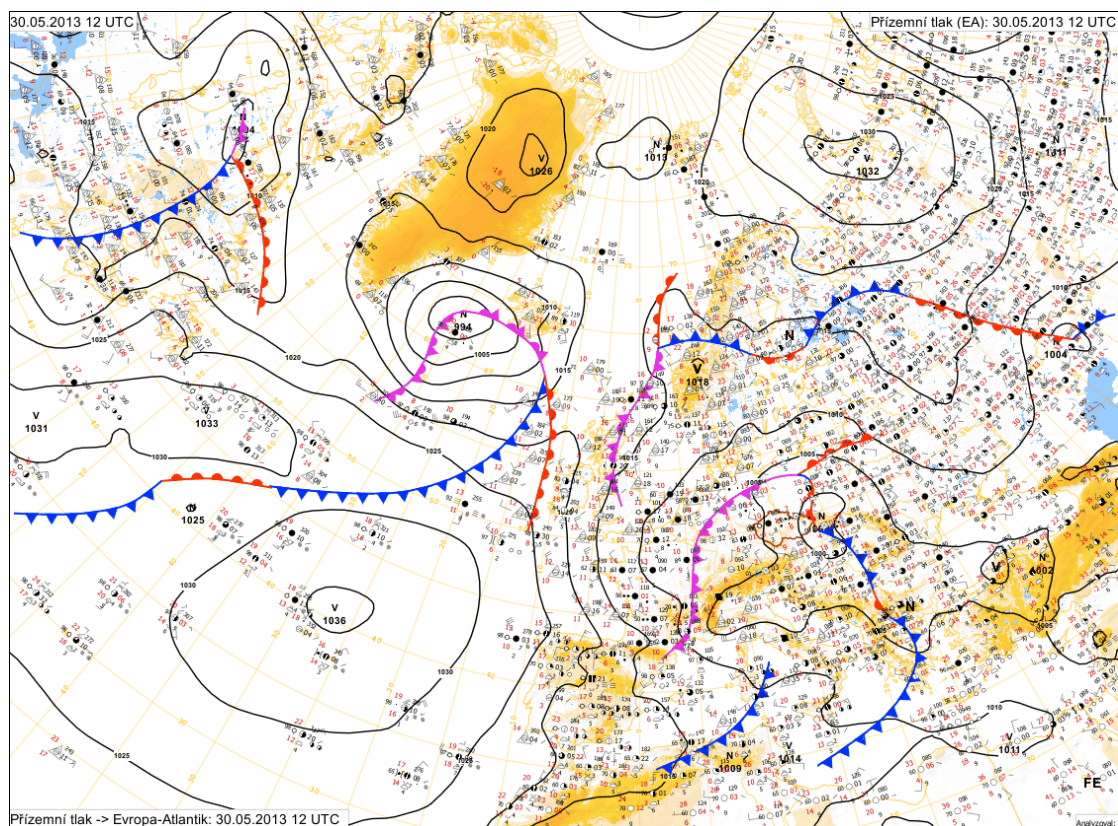
Cirkulace ze závěru května pokračovala i na začátku června. Střed mohutné tlakové níže ve vyšších hladinách atmosféry postupoval z jihozápadní Evropy k severovýchodu a při svém postupu byl blokován rozsáhlou tlakovou výší nad severovýchodní Evropou (Obr. 1.17). Rozhodující pro výraznou srážkovou epizodu 1. a 2. června byla tlaková níže, která se vytvořila 30. května na frontální vlně východně od ČR a zvolna postupovala nad naše území (Obr. 1.18). Nad severní Evropou se udržovala tlaková výše a zároveň nad západní Evropou mohutněl výběžek azorské tlakové výše. Oba útvary postupně zablokovaly postup níže dále na sever a západ, což způsobilo její setrvání nad centrální částí evropské pevniny. Nad naším územím se vlnilo frontální rozhraní (Obr. 1.19) a bylo téměř 20 hodin bez výraznějšího pohybu.

Tato synoptická situace způsobila, že se během 1. června vytvořil nad naším územím pás cyklonální anomálie potenciální vorticity (PV) na spodní hranici troposféry, překrývající se s propadem tropopauzy (Obr. 1.20a), která navíc odpovídá poloze pásu extrémních srážek. Potenciální vorticitou lze popsat dynamické procesy v atmosféře. PV popisuje jednoznačně pole tlaku vzduchu (geopotenciálu) a zároveň i horizontální a vertikální proudění. Kladné anomálie (kladné odchylky od průměrných hodnot) jsou spojené s cyklonálním zakřivením. Čím je tato anomálie větší, tím jsou dynamické procesy, jako jsou výstupná proudění nebo stříh větru, které podporují tvorbu srážek, intenzivnější. Teoretické odvození a podrobnější rozbor tohoto parametru přesahuje rámec tohoto vyhodnocení a lze jej nalézt v [2].

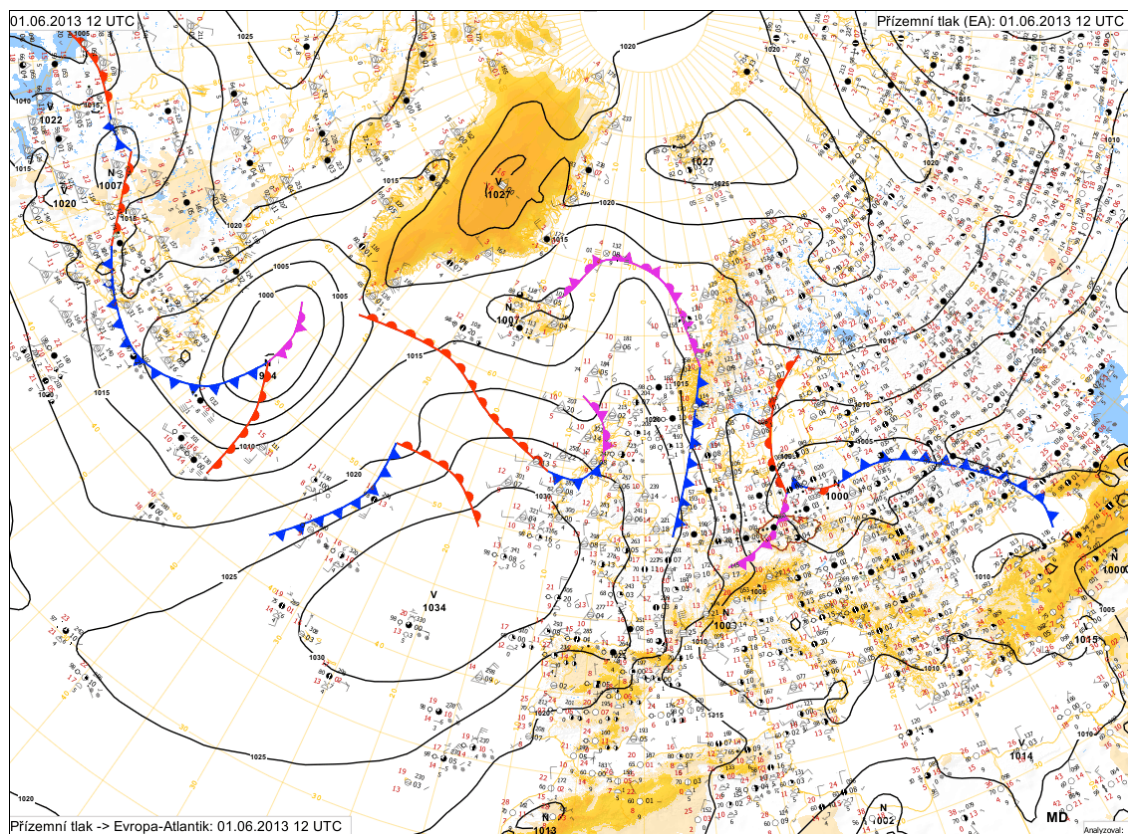
V důsledku výstupných pohybů provázejících anomálie pole PV, se vytvořilo výrazné konvergentní proudění v přízemní vrstvě. Čára konvergence setrvala po řadu hodin na stejném místě a 2. června ležela v prostoru od severních, přes střední až do jižních Čech, odkud se začala jen pozvolna posouvat k východu (Obr. 1.20b). V týlu tlakové níže proudil do Čech studený vzduch od severozápadu (silné proudění v nižších hladinách, které je znázorněno na Obr. 1.21 černými šipkami), a zároveň mezi přízemní vrstvou a výškou 3 km (hnědé izočáry na Obr. 1.21), resp. 6 km (šedě zabarvená oblast na Obr. 1.21), existoval výrazný stříh větru (přes 15 m.s^{-1}), což je opět spojeno s výraznou anomálií potenciální vorticity. V dalších dnech se tlaková níže nad východní Evropou začala zvolna vyplňovat a ještě 5. června ovlivňovala východ našeho území. Zároveň se do Čech rozšířil nevýrazný výběžek vyššího tlaku vzduchu od západu a v následujících dnech se nad střední Evropou udržovalo už jen nevýrazné tlakové pole.



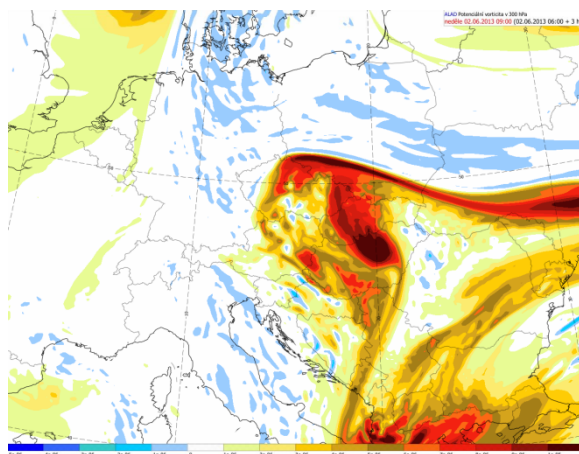
Obr. 1.17 – Průměrný jet stream (hladina 300 hPa – barevné pole) v m.s^{-1} a průměrná geopotenciální výška v hladině 500 hPa (izočáry) v oblasti Evropa – Atlantik za období od 31. 5. 2013 02 SELČ do 2. 6. 2013 02 SELČ.



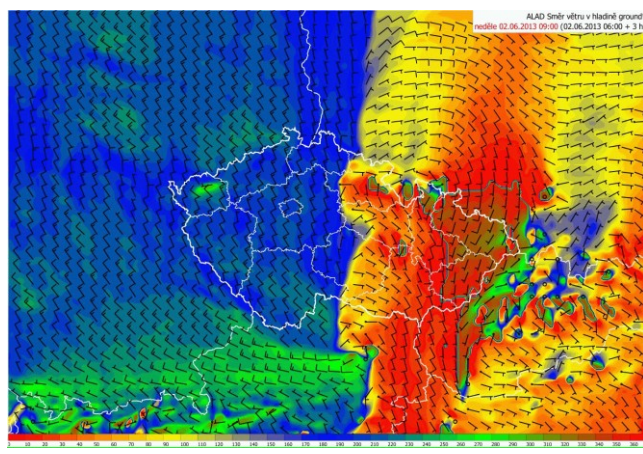
Obr. 1.18 – Synoptická situace, včetně frontální, analýzy v oblasti Evropa – Atlantik dne 30. 5. 2013 ve 14 SELČ.



Obr. 1.19 – Synoptická situace, včetně frontální analýzy, v oblasti Evropa – Atlantik dne 1. 6. 2013 ve 14 SELČ.

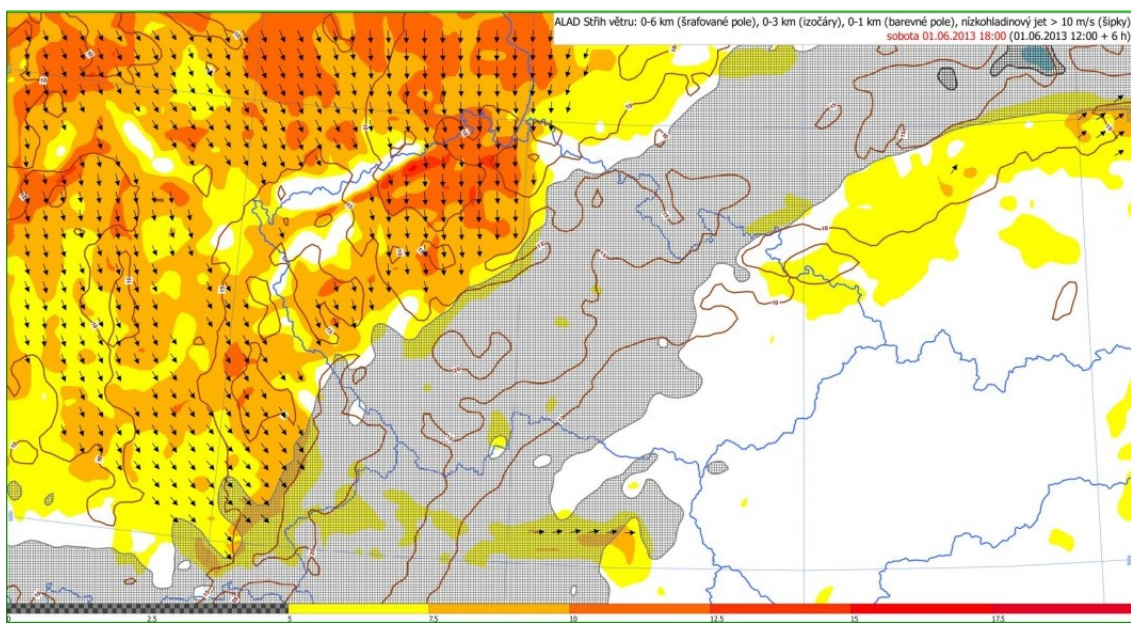


a) Potenciální vorticitu (PV) v hladině 300 hPa.



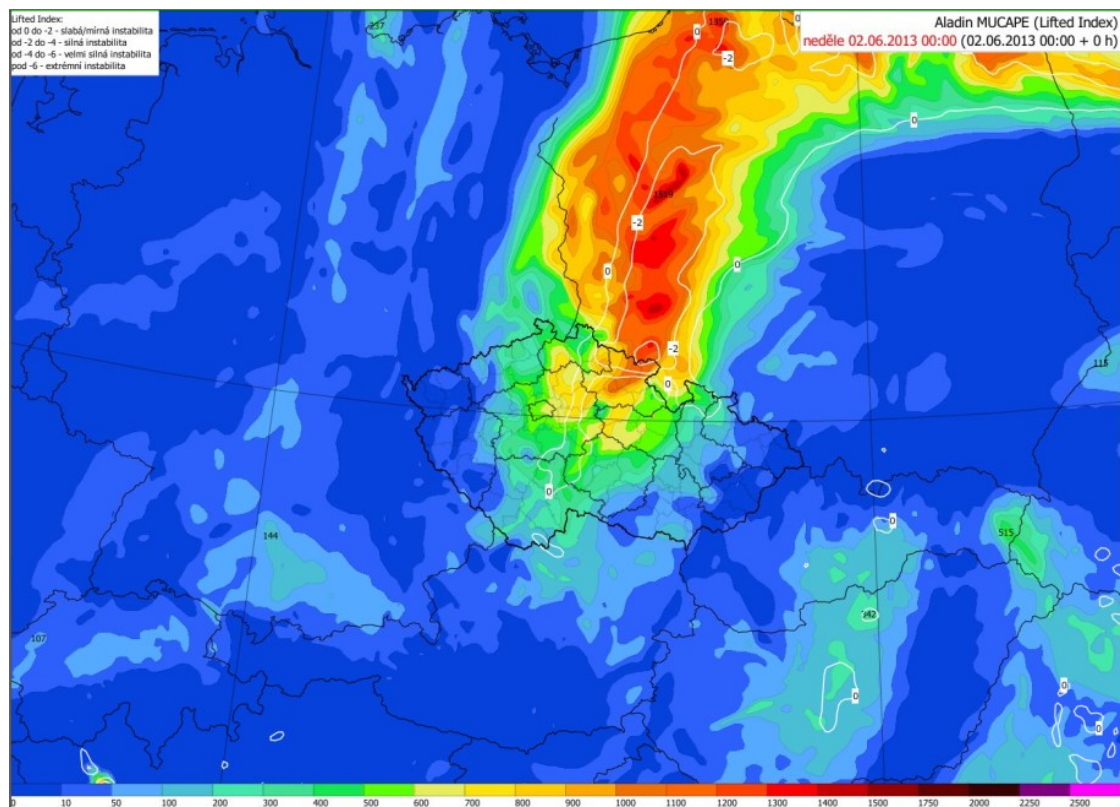
b) Přizemní konvergence vzduchu (barevné zobrazení směru větru).

Obr. 1.20 – Výstupy z modelu ALADIN ze dne 2. 6. 2013 08 SELČ na 2. 6. 2013 11 SELČ (předpověď na +3 hodiny).

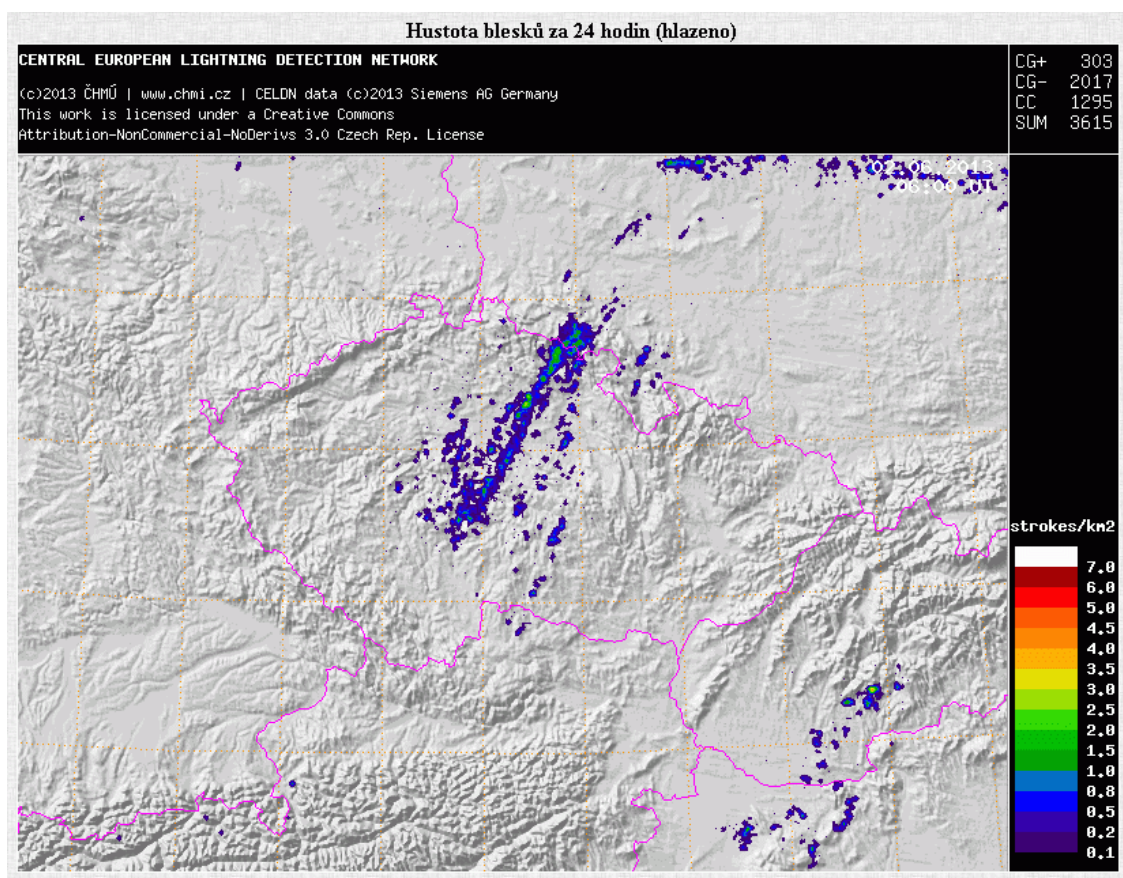


Obr. 1.21 – Analýza větru v různých hladinách nad částí střední Evropy dne 1. 6. 2013 ve 20 SELČ (předpověď z modelu ALADIN z 1. 6. 2013 14 SELČ), barevné pole – střih větru zem až 1 km v m.s^{-1} , hnědé izočáry – střih větru zem až 3 km v m.s^{-1} (10, 15... m.s^{-1}), šedě zabarvená oblast – střih větru zem až 6 km v m.s^{-1} větší než 15 m.s^{-1} , černé šipky – vítr v hladině kolem 800 m větší než 10 m.s^{-1} (nízkohladinový jet).

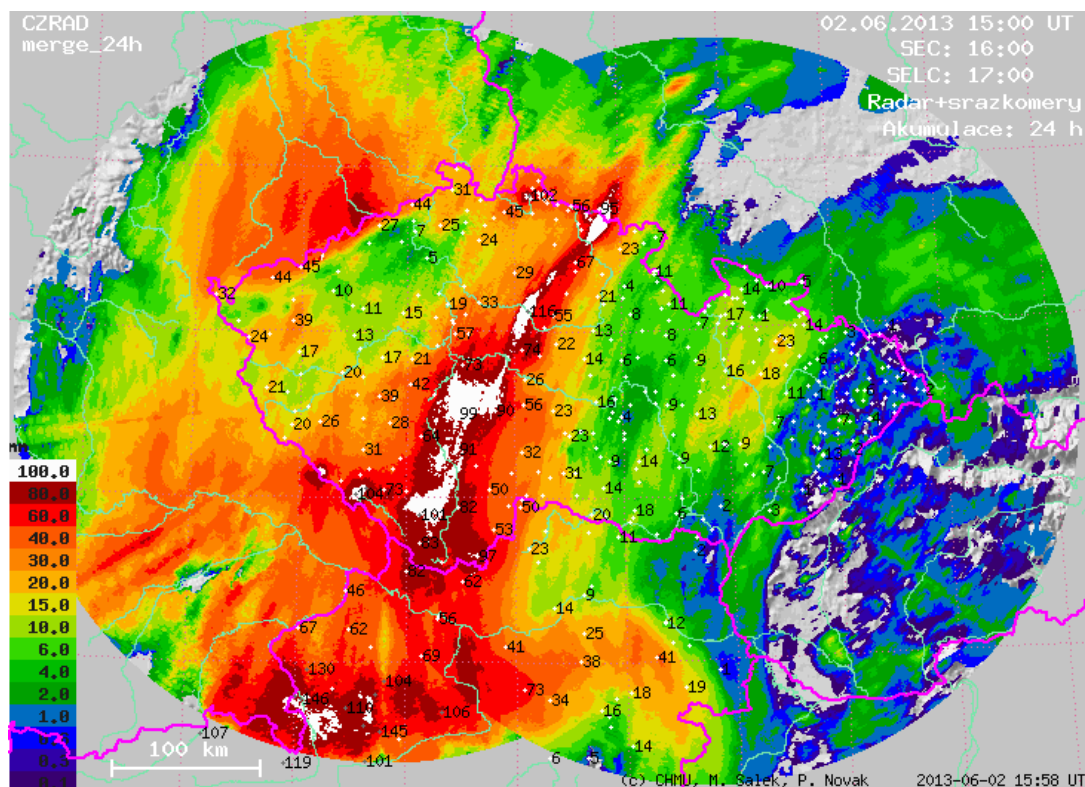
Dalším prvkem, který přispěl k výrazným srážkám, bylo instabilní zvrstvení, a to zejména na severu Čech (Obr. 1.22). S výjimkou jižních Čech se v oblasti konvergence vyskytovaly, kromě výrazného deště i občasné bouřky. V Krkonoších docházelo k významné bouřkové činnosti a výskytu, tzv. train effect, znázorněno na Obr. 1.23 (Černá hora 80 mm za 6 hodin, Luční bouda 51 mm za 6 hodin). Hlavní příčinou povodní v této oblasti byla ta skutečnost, že bouřkové buňky, i když nepříliš vertikálně vyvinuté, opakovaně postupovaly přes stejné území a přechodně se intenzita srážek výrazně zvýšila. Důvodem opakovaného výskytu bouřek na jednom místě byla bezprostřední blízkost středu tlakové níže nad Polskem a její setrvání na stejném místě po několik hodin. V instabilním prostředí vlhký vzduch narážel na návětrí Krkonoš, přičemž se vytvářela anomálie potenciální vorticity v nižších hladinách a silné dynamické vzestupné proudění. Kombinace všech faktorů způsobila výrazné srážkové úhrny v relativně úzkém pásmu a v krátkém časovém období. Za období od 1. do 2. června 2013 (17 SELČ 1. června až 17 SELČ 2. června) v pásmu nepřesahujícím šířku 50 km (Obr. 1.24) napršelo za 24 hodin přes 80 mm, na některých místech i přes 100 mm srážek. Průběh srážek za období od 1. června 08 SELČ do 2. června 2013 23 SELČ na stanici Luční bouda ilustruje Obr. 1.25.



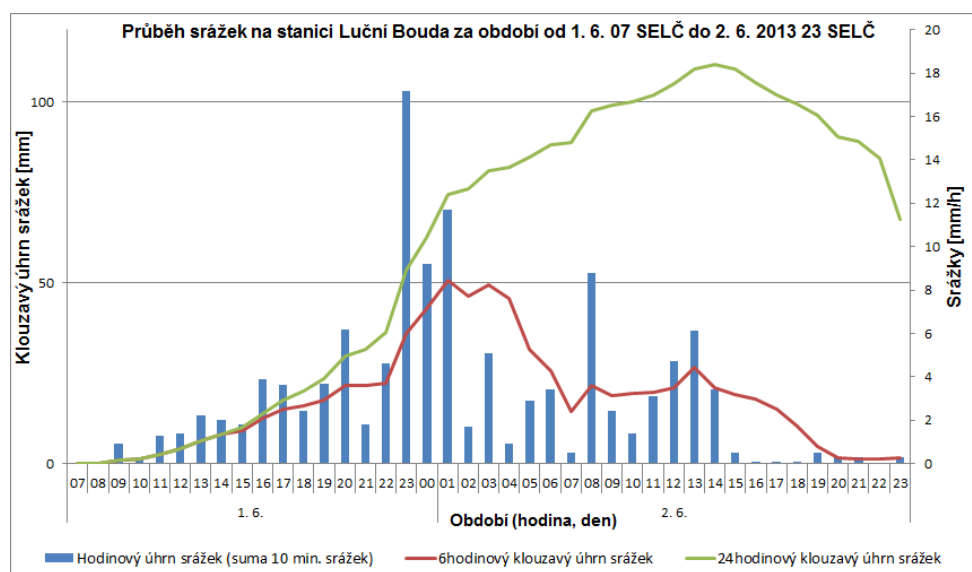
Obr. 1.22 – Analýza instability nad střední Evropou dne 2. 6. 2013 v 02 SELČ (výstup z modelu ALADIN), barevné pole – MUCAPE [Jkg^{-1}], bílé čáry – Lifted Index.



Obr. 1.23 – Hustota blesků v ČR a okolí za 24 hodin od 1. 6. 08 SELČ do 2. 6. 08 SELČ.

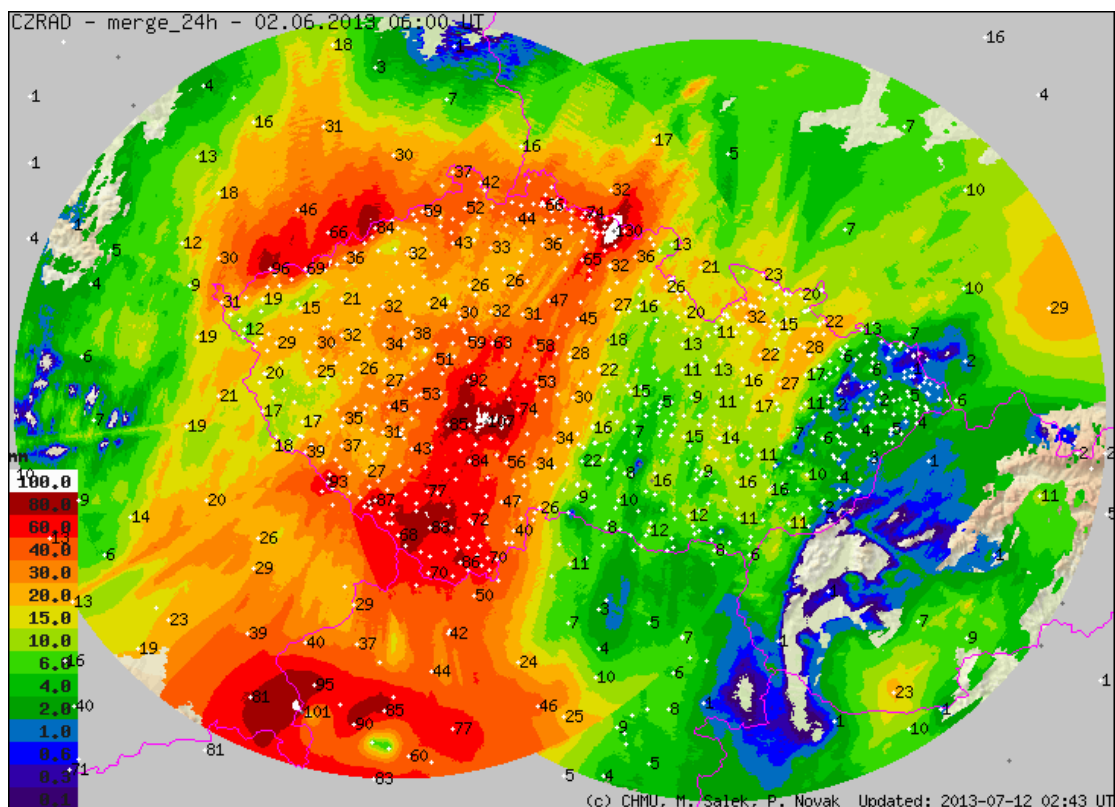


Obr. 1.24 – Množství spadlých srážek za období od 1. 6. 17 SELČ do 2. 6. 2013 17 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

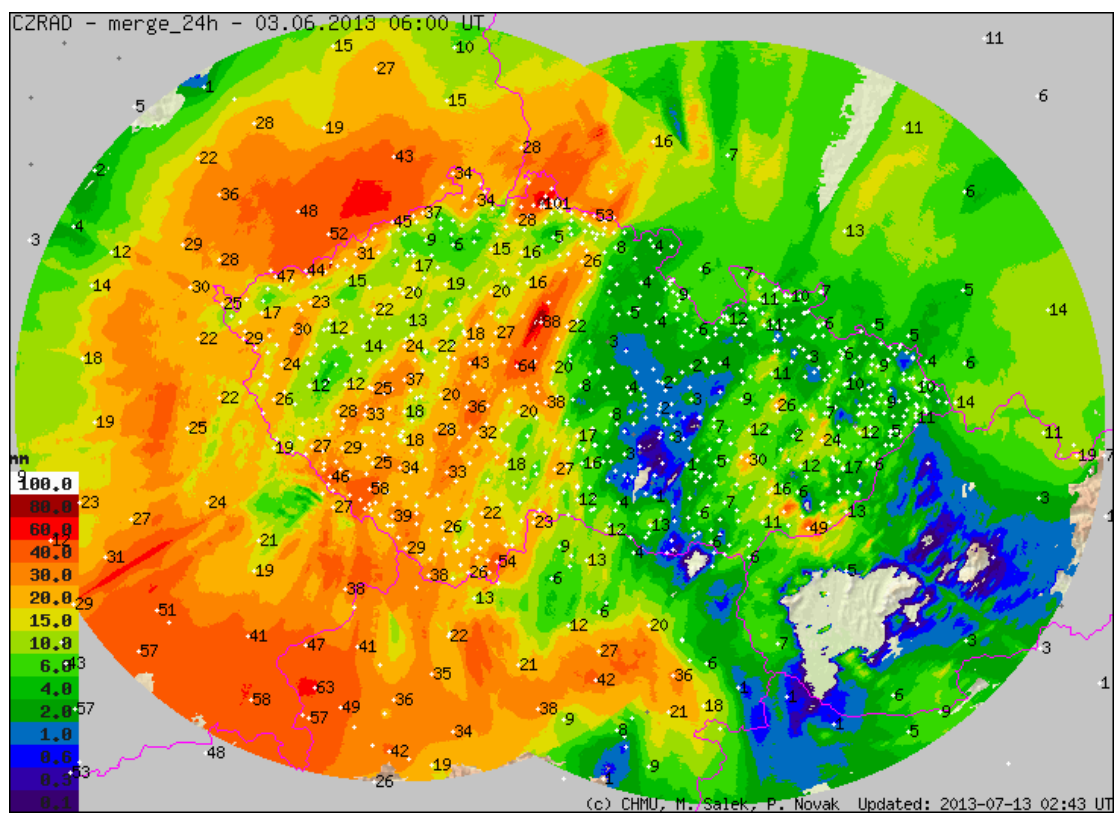


Obr. 1.25 – Průběh spadlých srážek na stanici Luční Bouda za období od 1. 6. 07 SELČ do 2. 6. 2013 23 SELČ.

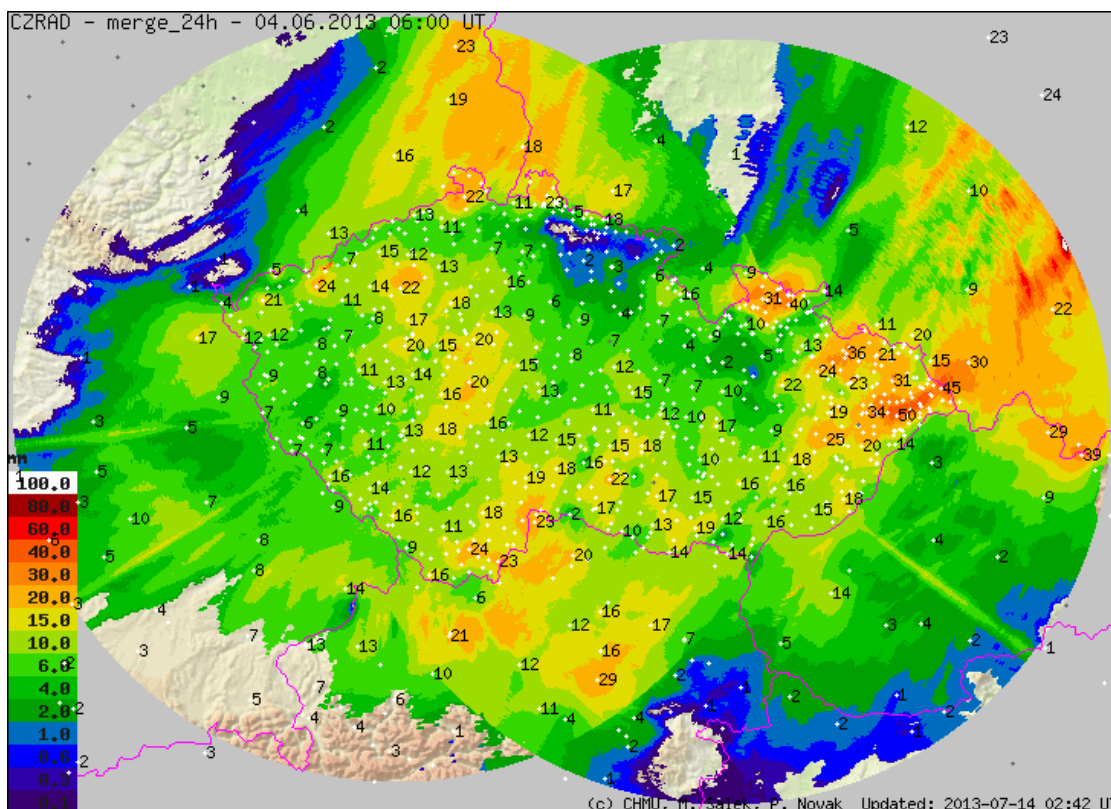
Týden na přelomu května a června byl srážkově extrémní. Jen za období od 1. do 3. června (Obr. 1.26 až 1.28) spadlo v ČR v průměru kolem 50 mm srážek, což způsobilo spolu s předchozím nasycením půdy rychlé zvýšení hladin řek a následně i povodně. Nejvíce srážek spadlo 1. června v Horním Maršově – 130 mm, v rámci regionů v průměru nejvíce spadlo v Jihočeském kraji – 58 mm a Středočeském kraji – 45 mm. Dne 2. června nejvíce přelo ve středních Čechách – 25 mm, nejvyšší denní úhrn měla konkrétně stanice Poděbrady – 88 mm. Dne 3. června se srážky vyskytovaly rovněž na celém území ČR, jádro výrazných srážek se však přesunulo na severní Moravu, s maximem na Lysé hoře kolem 47 mm a na stanici Morávka, kde spadlo 49 mm.



Obr. 1.26 – Množství spadlých srážek za období od 1. 6. 08 SELČ do 2. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.



Obr. 1.27 – Množství spadlých srážek za období od 2. 6. 08 SELČ do 3. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

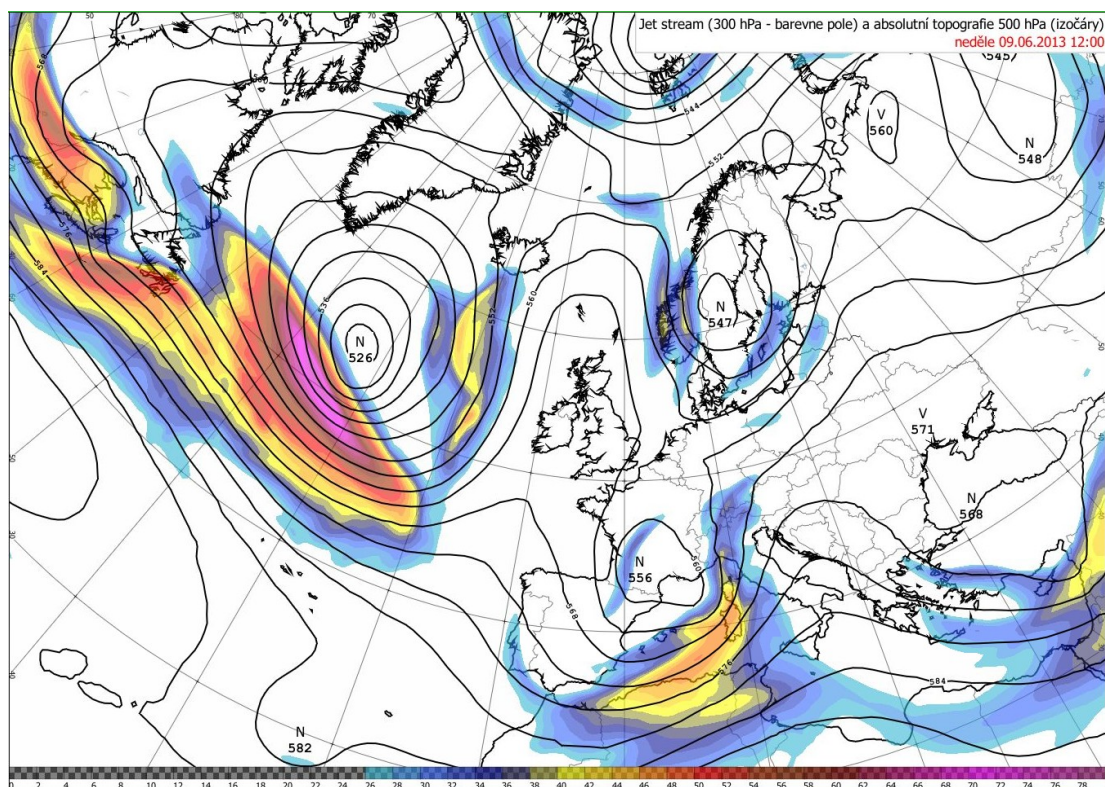


Obr. 1.28 – Množství spadlých srážek za období od 3. 6. 08 SELČ do 4. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

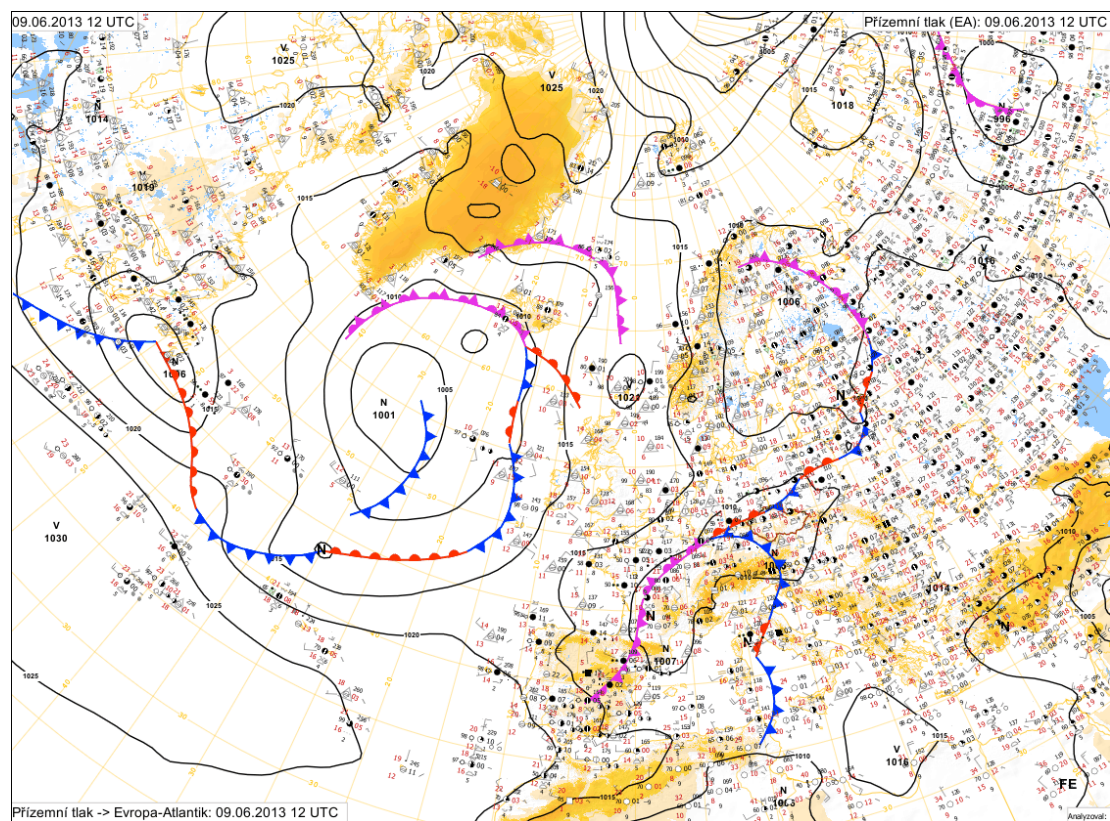
Období od 8. do 11. června 2013 – období b)

Další synopticky významné období bylo období od 8. do 11. června. Nad Pyrenejský poloostrov se dostala 8. června brázda nízkého tlaku vzduchu z Atlantiku, která se začala zvolna posouvat k severovýchodu (Obr. 1.29). Při zemi postupovala od jihozápadu do střední Evropy tlaková níže spojená s frontálním systémem. Ve stejnou dobu se nad Skandinávií udržovala tlaková níže spojená s okluzní frontou. Dne 9. června došlo nad střední Evropou ke spojení těchto dvou systémů (Obr. 1.30) a v dalších dnech postupovalo nově vytvořené zvlněné frontální rozhraní jen zvolna k severovýchodu.

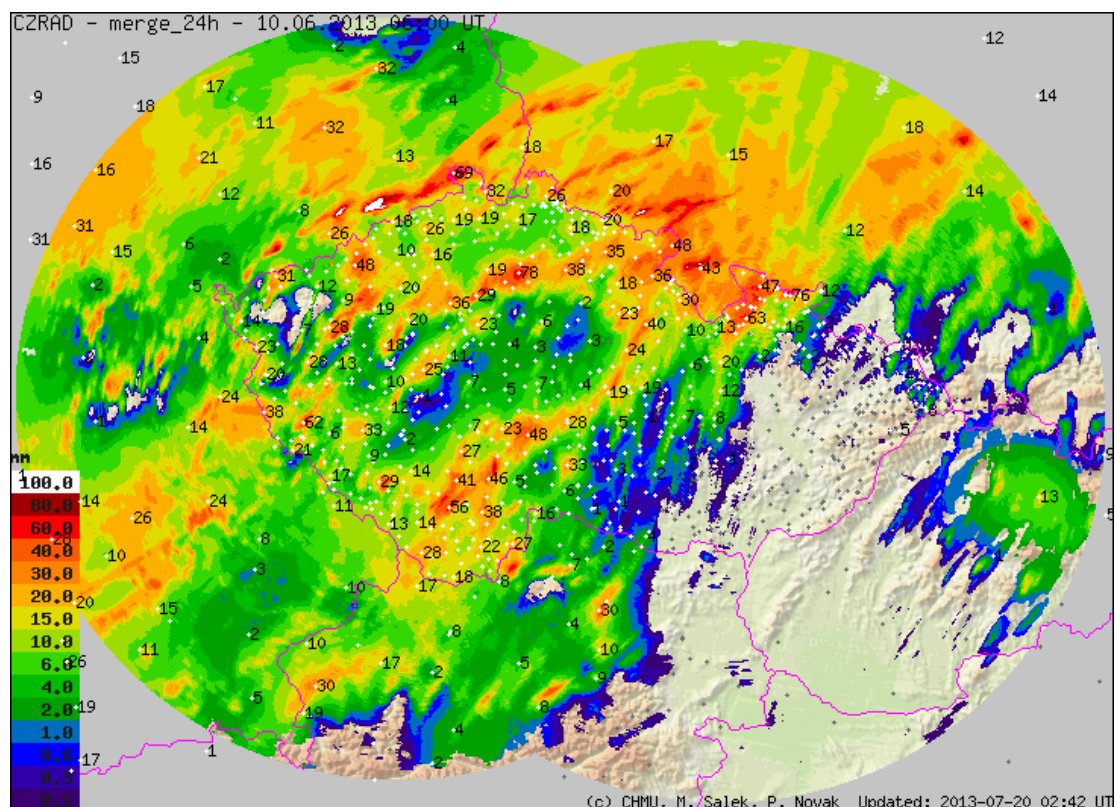
Příliv teplejšího a vlhčího vzduchu od jihozápadu vytvořil podmínky pro vznik a vývoj bouřkové činnosti, a tak v instabilním prostředí většina srážek v tomto období spadla v místních bouřkách. Dne 8. června se srážky vyskytovaly v přeháňkách a srážkově slabých bouřkách převážně na horách, s maximálním úhrnem 19 mm na Luční boudě v Krkonoších a v Rokytnici v Orlických horách. Vzhledem k nevýraznému tlakovému poli nad střední Evropou a slabému proudění byla jádra bouřek na našem území téměř bez pohybu. Dne 9. června bouřky zasáhly většinu území Čech, nejvíce srážek spadlo na stanici Mladá Boleslav (78 mm), významné srážkové úhrny byly zaznamenány také v oblasti Jeseníku a na jihu a západě Čech (s maximálním úhrnem 63 mm v Horšovském Týnu). Na mnoha místech také padaly kroupy. Jádra bouřek byla většinou organizována v páslech kopírujících zvlněné frontální rozhraní s mírným postupem od jihozápadu k severovýchodu (Obr. 1.32). 10. června se na postupující zvlněné studené frontě vyskytly srážky na většině území a byly doprovázené místními bouřkami. Maximální denní úhrn byl dosažen opět v Jeseníkách, kde spadlo na stanici Branná téměř 60 mm srážek (Obr. 1.33). Dne 11. června zvlněná studená fronta ustoupila z našeho území dále na východ a srážky se prakticky vyskytovaly jen na Moravě a ve Slezsku, kde nejvíce napršelo na Lysé hoře – 28 mm. Od 12. června počasí u nás začala ovlivňovat oblast vysokého tlaku vzduchu, která postupovala ze západní přes střední Evropu dále k východu, a srážky se v dalších dnech vyskytovaly už jen ojediněle.



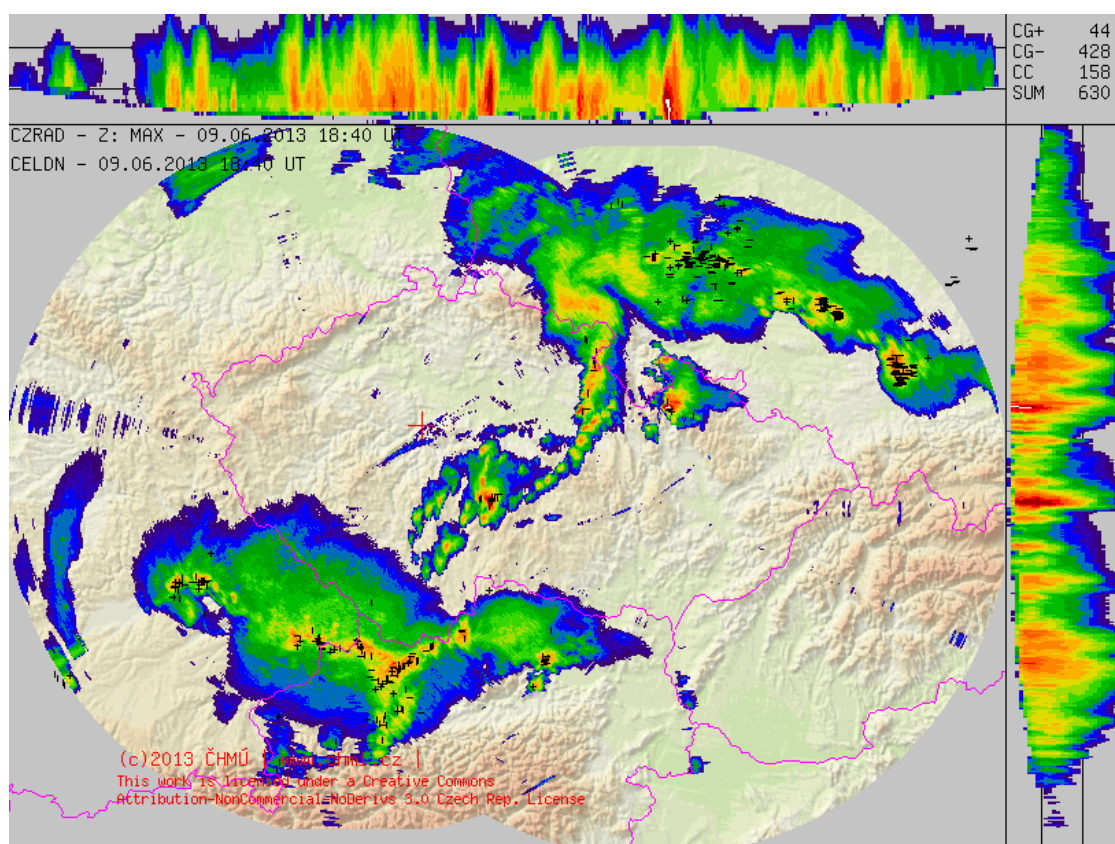
Obr. 1.29 – Jet stream (barevné pole – hladina 300 hPa) v ms^{-1} a geopotenciální výška (izočáry) v hladině 500 hPa v oblasti Evropa – Atlantik dne 9. 6. 2013 ve 14 SELČ.



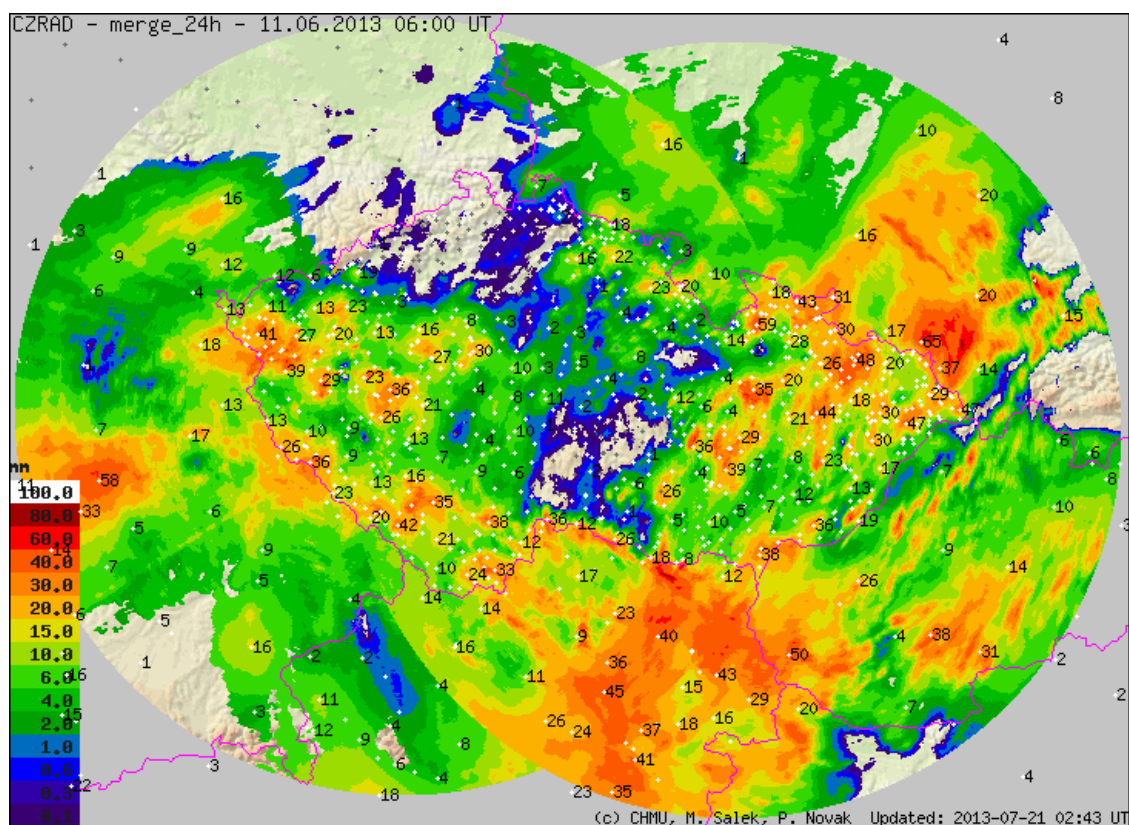
Obr. 1.30 – Synoptická situace včetně frontální analýzy v oblasti Evropa – Atlantik dne 9. 6. 2013 ve 14 SELČ.



Obr. 1.31 – Množství spadlých srážek za období od 9. 6. 08 SELČ do 10. 6. 2013 08 SELČ kombinací pozorování radarů a srážkoměrů.



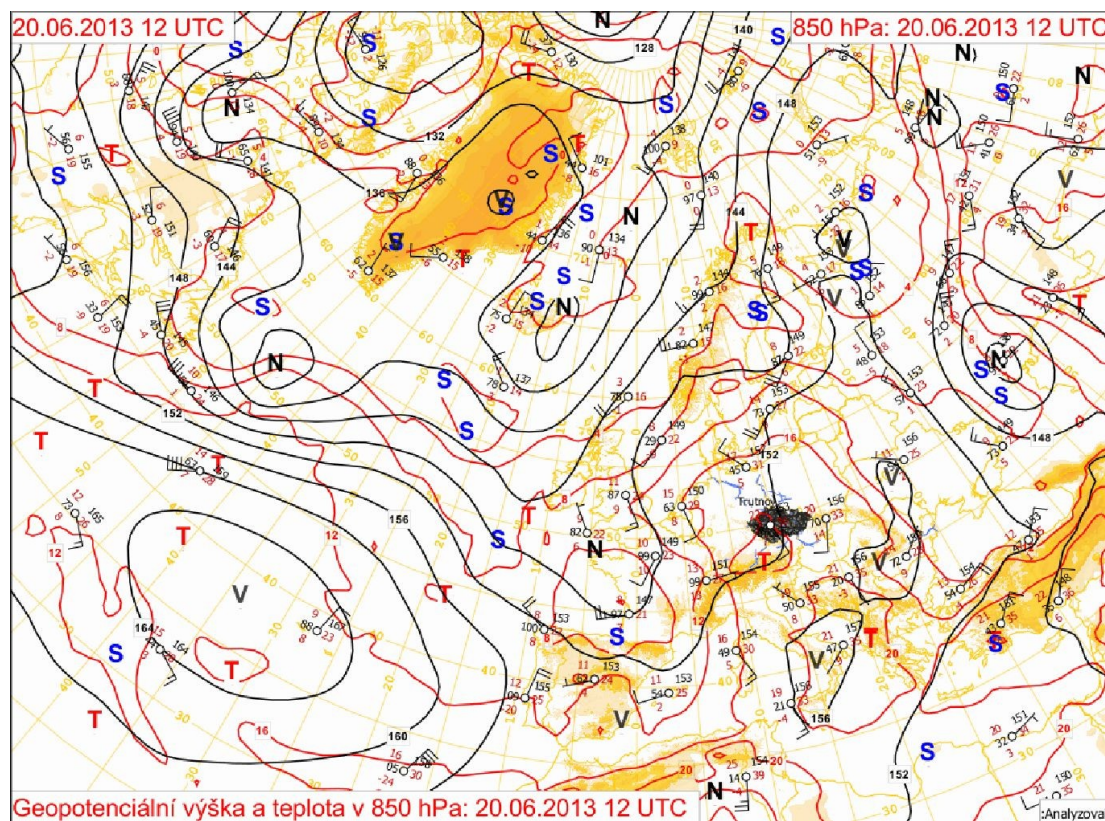
Obr. 1.32 – Radarová odrazivost a blesky (černé tečky) ze dne 9. 6. 2013 ve 20 hodin a 40 minut SELČ.



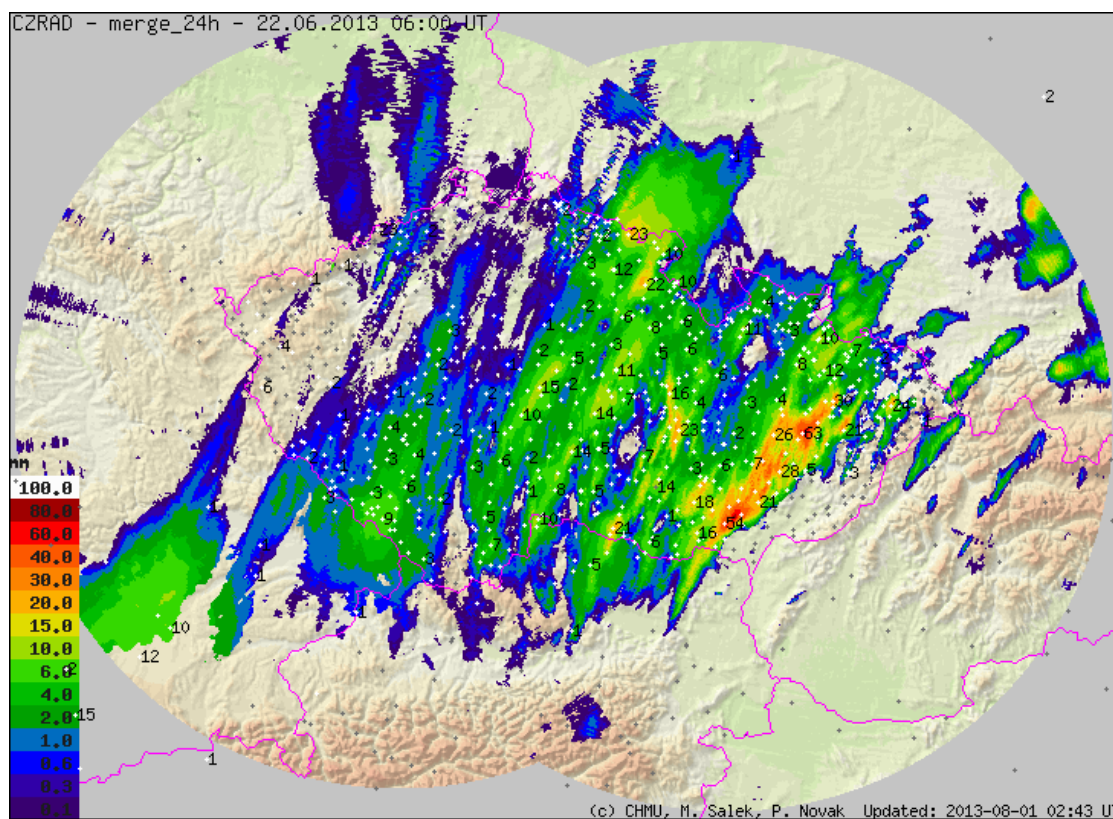
Obr. 1.33 – Množství spadlých srážek za období od 10. 6. 08 SELČ do 11. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

Období od 17. do 22. června 2013 – období c)

Toto období nebylo charakteristické výraznými srážkami na našem území, ale bylo významné z hlediska teplotních poměrů v západní a střední Evropě a na jihu Skandinávie. Po přední straně tlakové níže nad Pyrenejským poloostrovem začal 17. června proudit do střední Evropy velmi teplý vzduch od jihu, který se postupně dostal až nad jižní Skandinávii. Teplota v hladině 850 hPa se dostala nad 20 °C. Vyvrcholení teplé advekce nastalo během 20. června s teplotou v hladině 850 hPa 22 °C (Obr. 1.34). Při intenzivním slunečním svitu (období letního slunovratu) se teplota v odpoledních hodinách dostávala přes 30 °C, na řadě stanic v ČR překračovala i hranici 35 °C, což jsou extrémní hodnoty pro toto roční období. Nejteplejším dnem měsíce byl 20. červen s průměrnou teplotou 26,4 °C (10,2 °C nad normálem 1961–1990). Absolutní měsíční maximum 37,2 °C však bylo naměřeno již 18. června na stanici Praha, Karlov. Ve třech dnech po sobě 18. až 20. června byly překonány i dosavadní extrémní teploty na stanici Praha, Klementinum. Nejvyšší teploty byly naměřeny 18. června: Praha, Karlov 37,2 °C, Staňkov (Plzeňský kraj) 36,9 °C a Nedrahovice (Středočeský kraj) 36,0 °C, 20. června na stanici v Praze, Karlově bylo naměřeno 36,5 °C.



Obr. 1.34 – Geopotenciální výška (černé izočáry) a teplota (červené izočáry) ve °C v hladině 850 hPa dne 20. 6. 2013 ve 14 SELČ.



Obr. 1.35 – Množství spadlých srážek za období od 21. 6. 08 SELČ do 22. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

Zpočátku se srážky na našem území buď nevyskytovaly vůbec, nebo byly jen ojedinělým jevem. Postupně se začaly vyskytovat přeháňky a bouřky na Šumavě a v Karlovarském kraji a 20. června i na severu Čech. Nejvyšší denní úhrn 34 mm zaznamenaly 20. června Karlovy Vary. Dne 21. června postupovala zvlněná studená fronta k východu, významné srážky se pak vyskytly v bouřkách během večera a v noci na 22. června (Obr. 1.35), kdy v Přerově spadlo 63 mm srážek. Přes den doznívala srážková činnost z předešlé noci, která ještě zasáhla téměř polovinu území ČR.

Srážkové období od 23. do 26. června 2013 – období d)

Čtyřdenní období v poslední červnové dekádě přineslo mimořádné srážky na území ČR i z hlediska dlouhodobých měření. Extrémní byl zejména plošný jednodenní srážkový úhrn 24. 6., kdy na našem území v průměru spadlo kolem 35 mm srážek. V důsledku těchto srážek se na území ČR vyskytly opět povodně, hlavně v povodí Labe a v povodí Dyje.

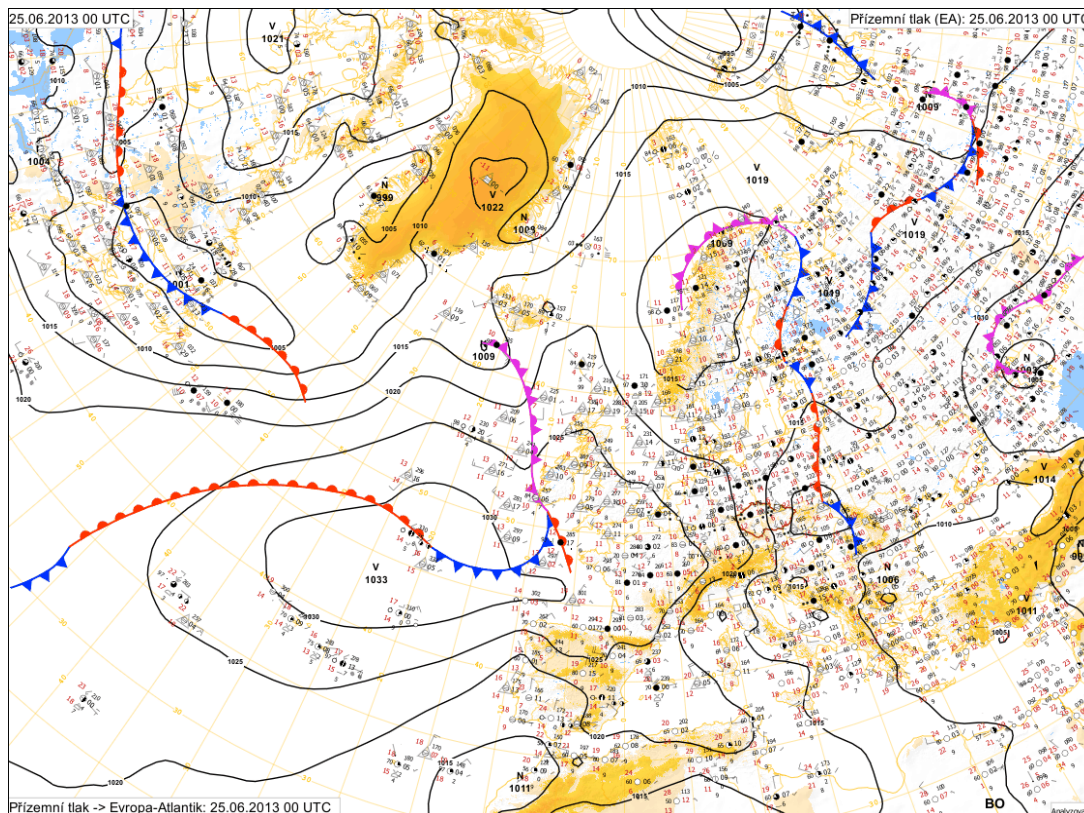
Brázda nízkého tlaku vzduchu ve vyšších hladinách, která se 22. června nacházela nad Britskými ostrovy, se postupně začala propadat k jihu a postupovat do vnitrozemí evropského kontinentu. Při zemi postupovala ze západní do střední Evropy studená fronta, která se nad Alpskou oblastí začala vlnit.

Dne 23. června se území ČR nacházelo na frontálním rozhraní a po jeho přechodu k východu k nám začal proudit chladnější vzduch od severozápadu a přechodně se rozšířil nevýrazný výběžek vyššího tlaku od západu.

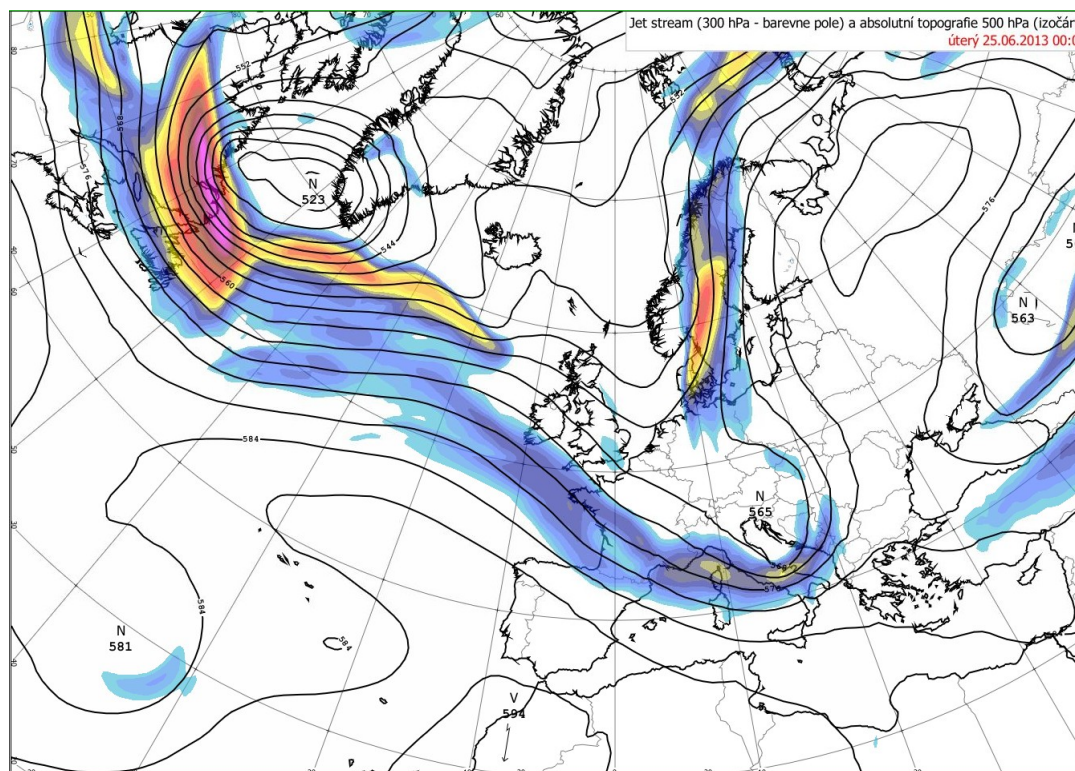
Dne 24. června se ve večerních a nočních hodinách na pomalu postupující zvlněné studené frontě vytvořila jihovýchodně od našeho území samostatná tlaková níže a v jejím týlu k nám zesílil příliv studeného vzduchu od severozápadu až severu (Obr. 1.36).

Dne 25. června brázda ve vyšších hladinách ovlivňovala už celou západní a střední Evropu, včetně Itálie a západního Balkánu (Obr. 1.37). Nad severovýchodní Evropou se udržoval hřeben vysokého tlaku vzduchu a nad východní Evropou zpočátku setrvala další výšková brázda. Oba tyto útvary blokovaly postup brázdy k východu a severovýchodu, brázda se ještě více prohlubovala, což v závěru období přispělo k tvorbě už uzavřené výškové tlakové níže setravající na místě. Při zemi střed tlakové níže těsně míjel severovýchod našeho území a při svém retrográdním postupu k severozápadu se začala tlaková níže prohlubovat, což zapříčinilo zesílené proudění ze severních směrů v nižších vrstvách atmosféry. Do této cyklonální cirkulace byl vtahován vlhký a zpočátku i relativně teplý vzduch ze Středozemního (Jaderského) a Černého moře, který byl přenášen po přední straně brázdy k severu do vnitrozemí (Obr. 1.38). Zde se střetával se studeným vzduchem v nižších hladinách, což přispívalo k tvorbě intenzivních srážek v širším okolí střední Evropy.

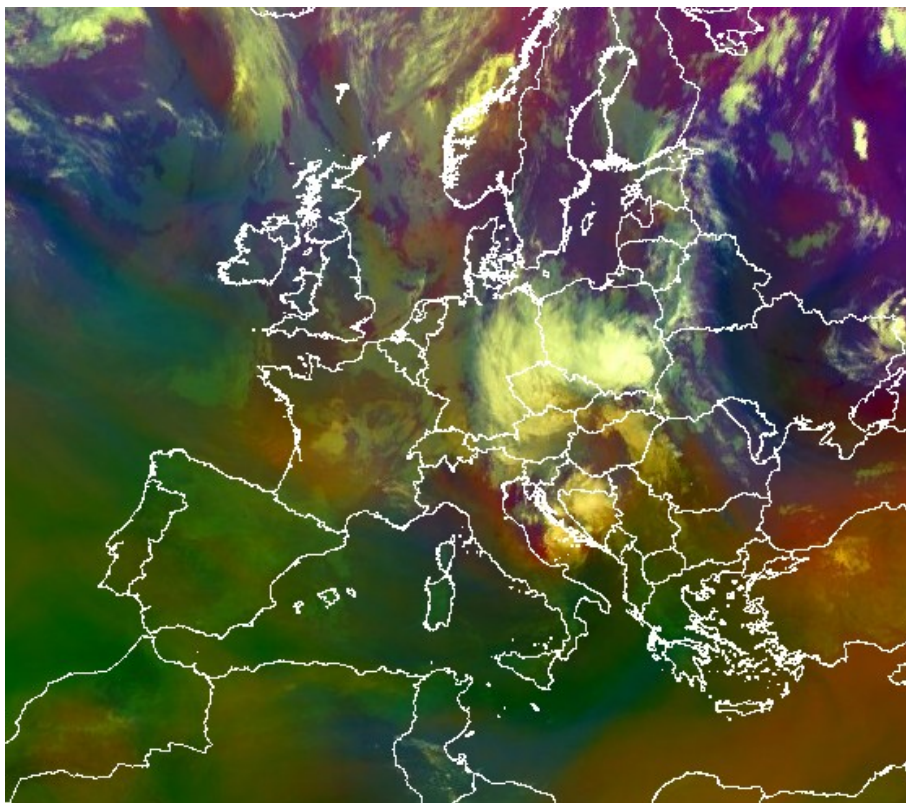
Dne 26. června se střed tlakové níže dostal až nad jižní Skandinávii, kde se zvolna začal vyplňovat. V závěru období se do střední Evropy začal rozšiřovat výběžek vyššího tlaku vzduchu a srážky na území ČR postupně od západu ustaly.



Obr. 1.36 – Synoptická situace včetně frontální analýzy v oblasti Evropa – Atlantik dne 25. 6. 2013 v 02 SELČ.



Obr. 1.37 – Jet stream (barevné pole – hladina 300 hPa) v ms^{-1} a geopotenciální výška (izočáry) v hladině 500 hPa dne 25. 6. 2013 v 02 SELČ.

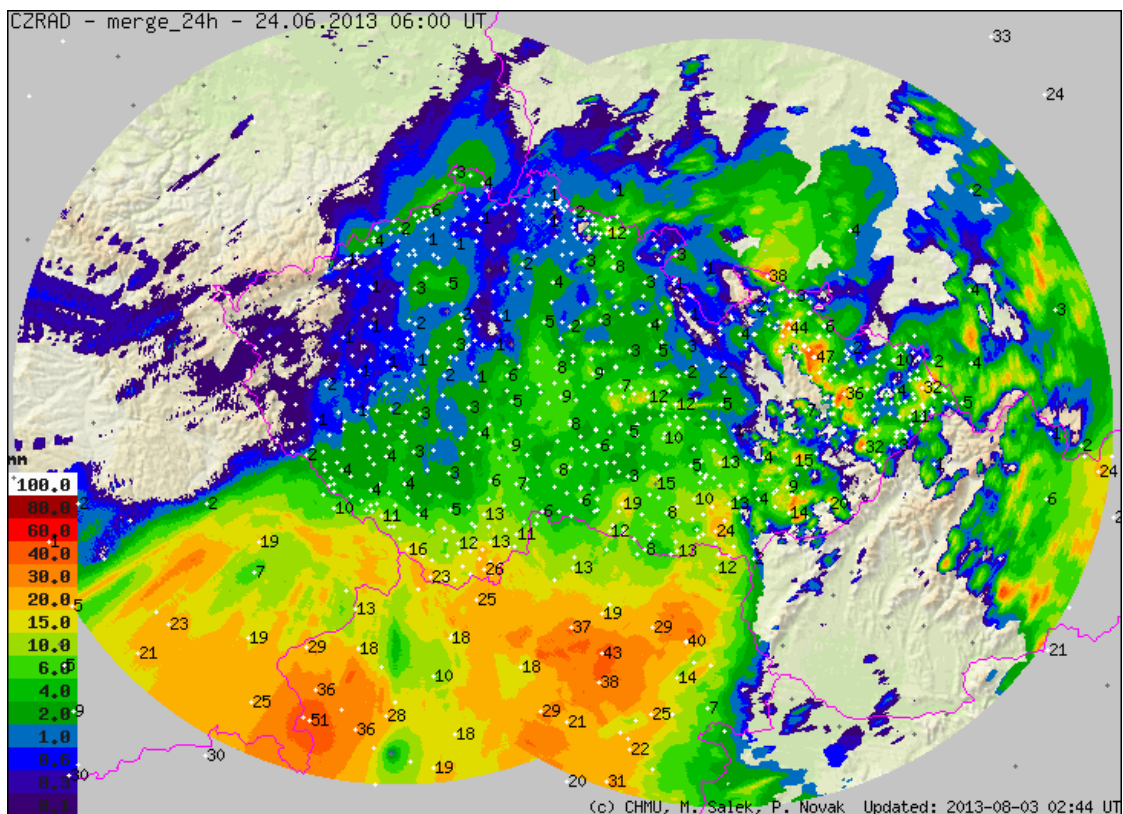


Obr. 1.38 – Snímek z družice MSG 2 – produkt Airmass z termínu 25. 6. 2013 02 SELČ.

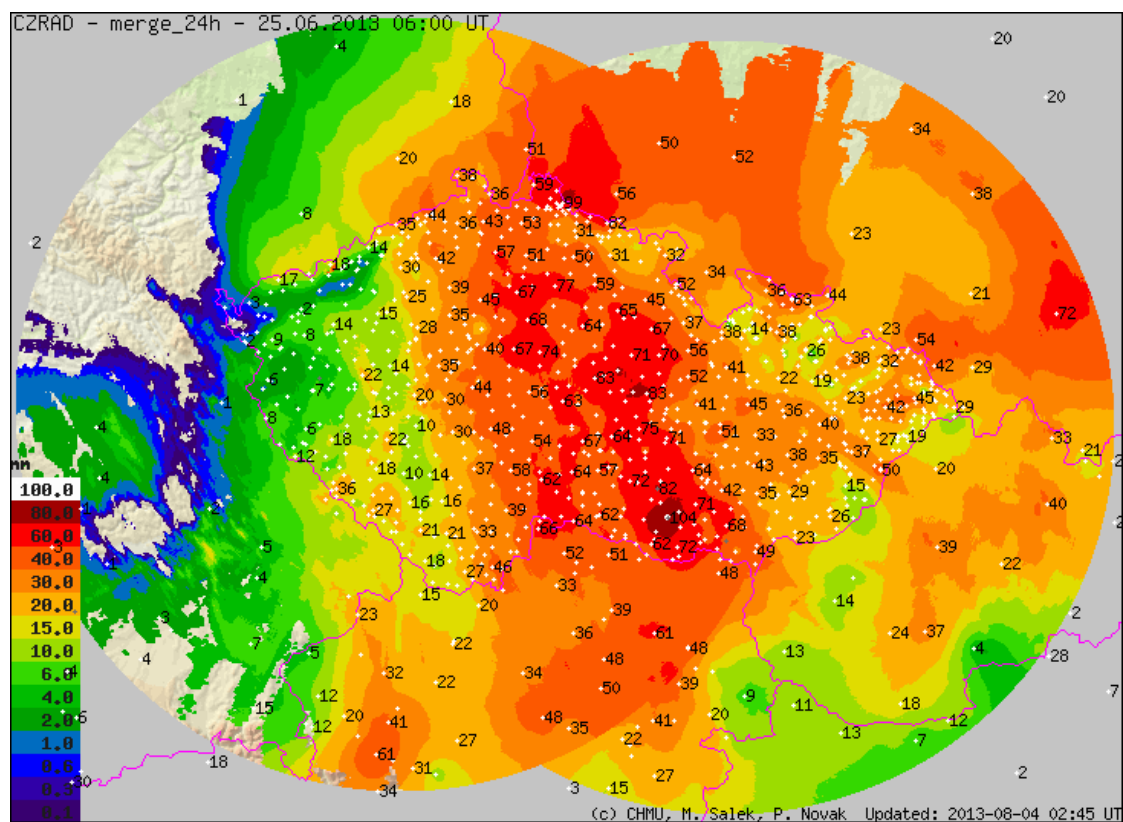
Frontální rozhraní, které přecházelo přes naše území během 23. června, přineslo místní přeháňky, na severovýchodě území ojediněle i bouřky, při kterých spadlo přes 40 mm srážek. Další frontální vlna postupující z alpské oblasti k severovýchodu přinesla první výraznější deště ve večerních hodinách na jihozápadě Čech. Během noci na 24. června se srážky postupně rozšířily i na Vysočinu, jižní Moravu a do středních a východních Čech. Množství srážek spadlých za 24 hodin na území ČR od 23. ráno do 24. června ráno ilustruje Obr. 1.39. Během dopoledne 24. června se výrazné srážkové pásmo udržovalo ve východní polovině Čech a na západní Moravě a zůstávalo zde až do večerních hodin téměř bez pohybu. K večeru se výrazné srážky začaly objevovat i na ostatním území Moravy a Slezska. V první polovině noci na 25. června začaly srážky na východě Moravy a Slezska ustávat a celé srážkové pásmo se pozvolna posouvalo zpět na západ. Do rána už přšlo téměř na celém území Čech. Během dopoledne 25. června intenzita srážek pozvolna slábla a do večera srážky většinou ustaly.

Dne 24. června přšlo téměř na celém území ČR a byl to nejdeštivější den celého června. Nejvyšší úhrny byly zaznamenány při trvalých vydatných deštích ve východních Čechách (v průměru 49 mm) a na jižní Moravě (47 mm), zatímco západní výběžek ČR se výjimečně obešel beze srážek. Z meteorologických stanic nejvíce srážek spadlo na moravských stanicích Džbánice – 103 mm a Moravský Krumlov – 85 mm za 24 hodin. Během 24hodinového období (24. června 08 SELČ do 25. června 2013 08 SELČ) na území ČR spadlo v pásu širokém kolem 150 km (ve směru západ – východ) více než 40 mm srážek. Srážky na některých stanicích trvaly s proměnlivou intenzitou i přes 24 hodin. Nejvíce byly postiženy severní a východní Čechy, východní polovina středních Čech, Vysočina a západní Morava (Obr. 1.40).

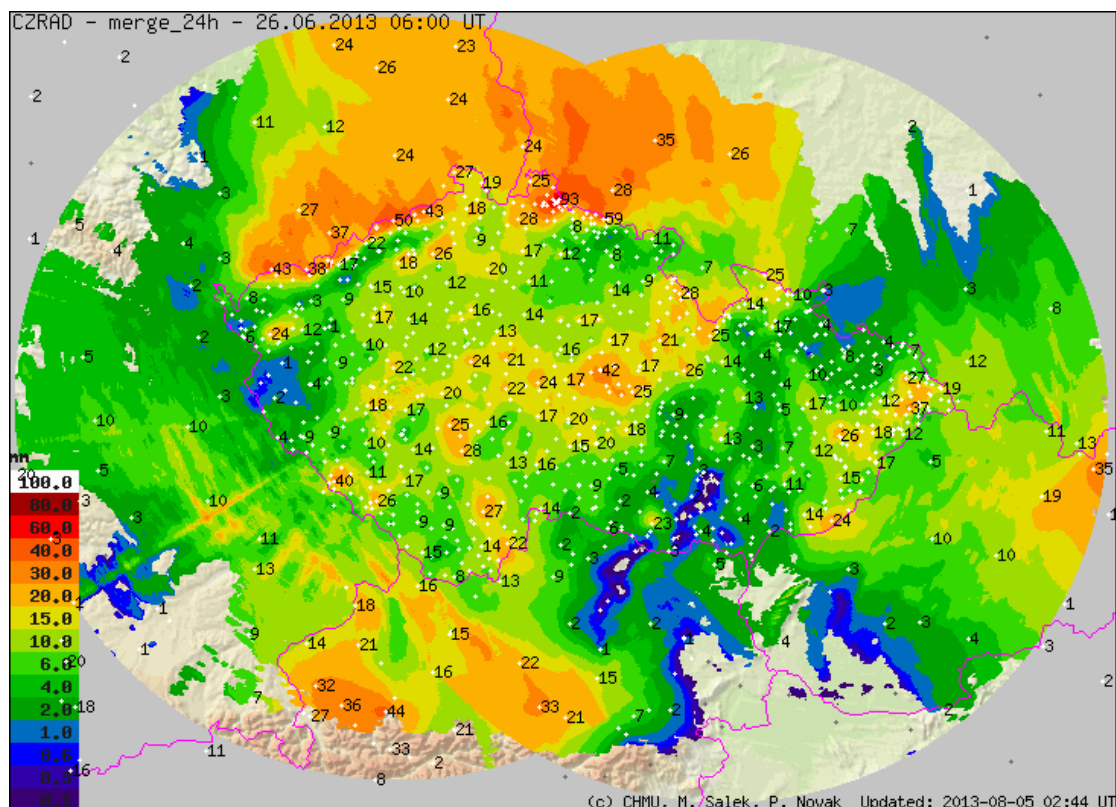
I když se 25. června srážky vyskytovaly téměř na celém území ČR, celkově už spadlo v průměru jen kolem 10 mm. Nejvíce srážek bylo naměřeno v Krušných a Jizerských horách a ve východních Čechách (Obr. 1.41). Maximální denní úhrn, 93 mm, měla stanice Bílý Potok v Jizerských horách. Dne 26. června spadly na území ČR v průměru už jen necelé 2 mm srážek, s maximálními úhrny v severních a východních Čechách a na severu Moravy a Slezska do 20 mm.



Obr. 1.39 – Množství spadlých srážek za období od 23. 6. 08 SELČ do 24. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

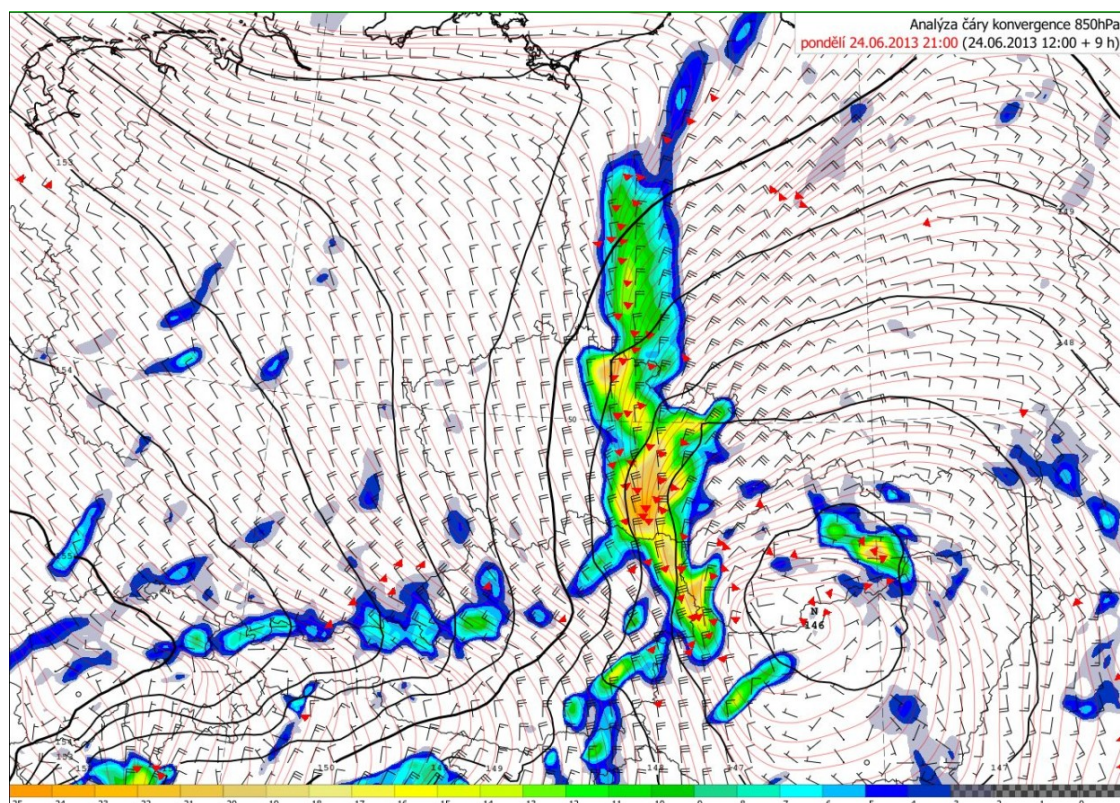


Obr. 1.40 – Množství spadlých srážek za období od 24. 6. 08 SELČ do 25. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

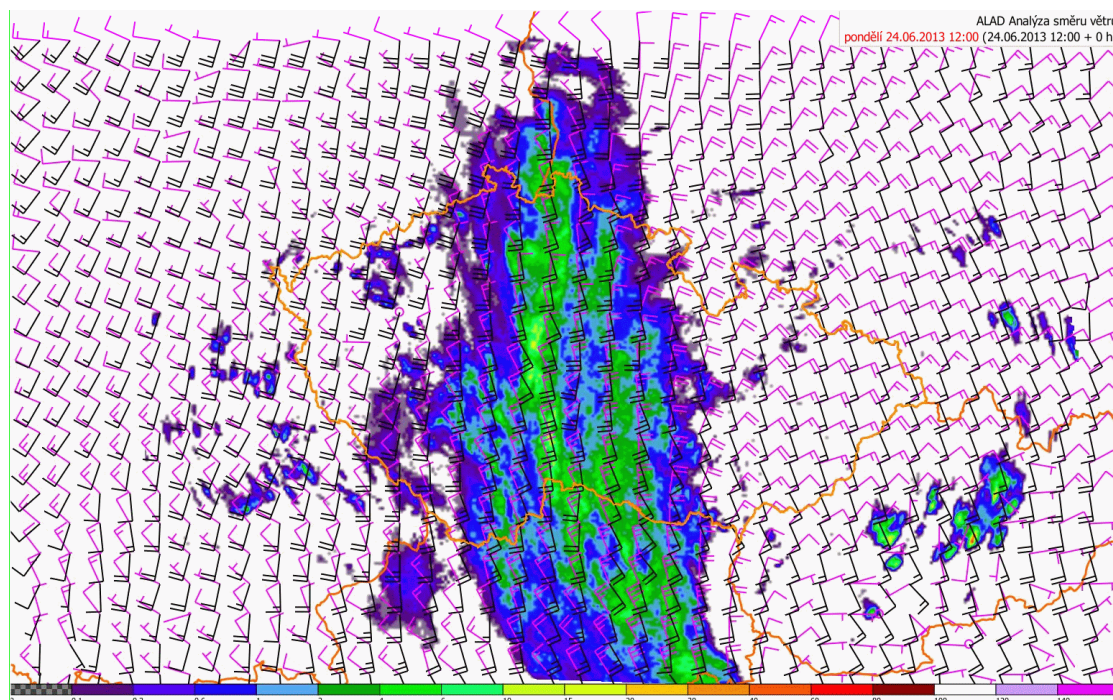


Obr. 1.41 – Množství spadlých srážek za období od 25. 6. 08 SELČ do 26. 6. 2013 08 SELČ kombinací radarových odhadu a měření ze srážkoměrů.

Z makrosynoptického hlediska je tato neobvykle silná srážková činnost nad střední Evropou způsobena již zmíněnou atmosférickou cirkulací a rozložením tlakových útvarů nad Evropou v celé vrstvě atmosféry. Z mezosynoptického hlediska byly tyto intenzivní a trvalé srážky nad centrální částí ČR způsobeny silnou konvergencí vzduchu v nižších hladinách (Obr. 1.42), která zůstávala po řadu hodin téměř bez pohybu. Konvergence vyvolávala silná dynamická vzestupná proudění. K tomu se v inkriminované oblasti vyskytoval i výrazný stříh větru (Obr. 1.43) a spolu s konvergencí přispíval k tvorbě intenzivních a déletrvajících srážek. V nižších hladinách (850 hPa) převládalo proudění ze severních směrů, naopak ve vyšších hladinách (500 hPa) foukal vítr z jihu. Intenzita srážek byla na návětrných stranách pohoří a hor (Vysočina a Krkonoše) umocněna i silným severním prouděním v nižších hladinách (opět Obr. 1.43).



Obr. 1.42 – Konvergence vzduchu nad střední Evropou (barevné pole), geopotenciální výška (izočáry), směr a rychlost větru (praporky) a proudnice (červené čáry) v hladině 850 hPa dne 24. 6. 2013 ve 23 SELČ (průměr z modelů ALADIN, GFS, ECMWF a EDZW – předpověď z 24. 6. 2013 14 SELČ).



Obr. 1.43 – Analýza větru ve vybraných hladinách (fialové praporky – vítr v hladině 850 hPa, černé praporky – vítr v hladině 500 hPa), dne 24. 6. 2013 14 SELČ (výstupy z modelu ALADIN ze stejného termínu), radarová odrazivost (barevné pole) ze stejného termínu.

1.4 Mechanismus cirkulace vedoucí k vydatným srážkám ve střední Evropě

Od roku 1997 se ve střední Evropě začínají vyskytovat časté povodně. Některé jsou způsobeny výrazným oteplením a souvisejícím táním sněhu (2005) nebo kombinací vydatných srážek a tání sněhu (2000, 2006), další jsou spojeny s výraznou bouřkovou činností (2009, 2010, 2012). Povodně, které zasáhly území ČR v letní polovině roku v letech 1997, 2002, 2005, 2010, 2011 a čerstvě i roku 2013 byly způsobeny vydatnými velkoprostorovými srážkami, které se vyskytovaly v širší oblasti střední Evropy. Analýzou synoptických situací při těchto povodních lze najít některé společné rysy popsané v Tab. 1.1.

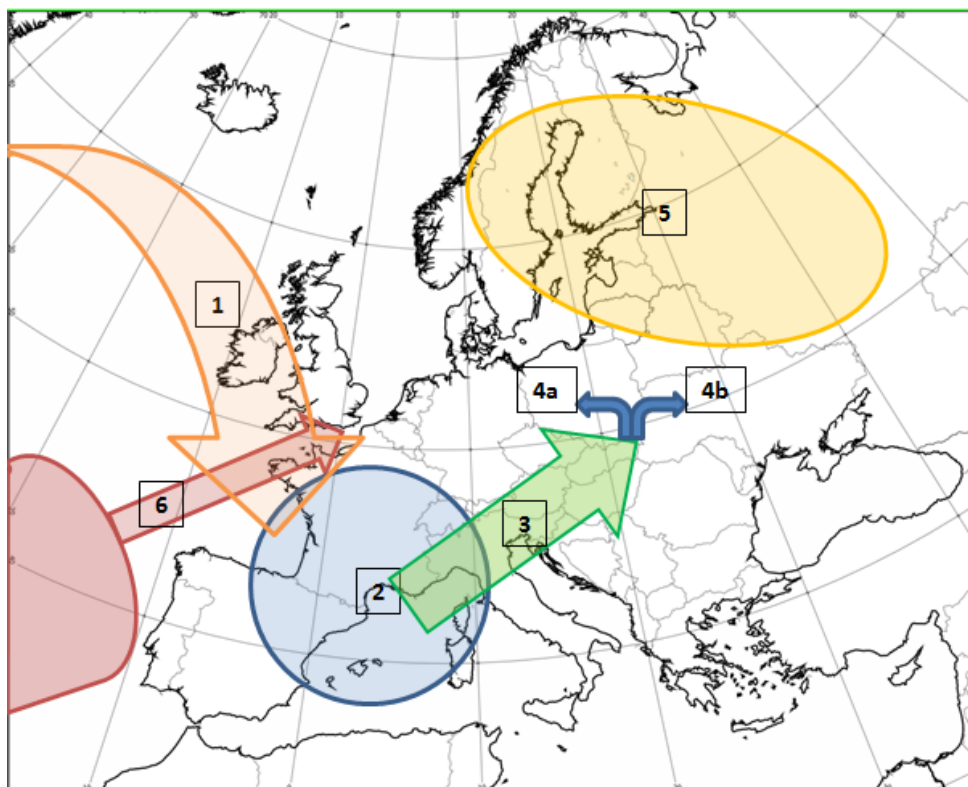
Tab. 1.1 – Některé cirkulační charakteristiky při výskytu povodní v letní polovině roku ve střední Evropě.

Období výskytu	Počet srážkových vydatných vln/od-do	Typ povětrnostní situace	Retrográdní postup přízemní tlakové níže	Směr postupu středu tlakových níží při zemi	Sektor tlakové níže nad územím ČR při nejintenzivnějších srážkách (v ČR)
Červenec 1997	2				
	4. až 6. 7.	B, B, NEc	ANO	Ze západního Středomoří k SV	SZ až Z sektor
	17. až 20. 7.	C, C, C, C	ANO	Ze západního Středomoří k SV	SZ až Z sektor
Srpen 2002	2				
	6. až 8. 8.	C, C, C	NE	Ze západního Středomoří k SV	Z sektor
	11. až 13. 8.	C, C, C	ANO	Ze západního Středomoří k SV až S	SZ až JZ sektor
Srpen 2005	1				
	24. až 25. 8.	NEc, Wal	NE	Ze západního Středomoří k SV	Z sektor
Květen, Červen a Srpen 2010	3				
	15. až 19. 5.	NEc, NEc, NEc, NEc, NEc	NE	Ze západního Středomoří k SV	Z sektor
	30. 5. až 3. 6.	Bp, C, NEc, NEc, NEc	NE	Ze Z přes Německo k V	Z sektor
	6. až 8. 8.	SEc, SEc, Bp	ANO	Ze západního Středomoří k S	Z sektor
Červenec 2011	1				
	19. až 22. 7.	B, C, C, C	NE	Ze západního Středomoří k SV	Z až JZ sektor
Červen 2013	2				
	31. 5. až 3. 6.	C, C, NEc, NEC	ANO	Z Balkánu k S až SZ	Z až JZ sektor
	23. až 26. 6.	B, B, NEc, NEc	ANO	Z Balkánu k S až SZ	JZ až SZ sektor

Vysvětlení: B – brázda nízkého tlaku vzduchu, NEc – severovýchodní cyklonální situace, SEc – jihovýchodní cyklonální situace, C – cyklona nad střední Evropou, Wal – západní anticyklonální situace letního typu, Bp – brázda postupující přes střední Evropu [4].

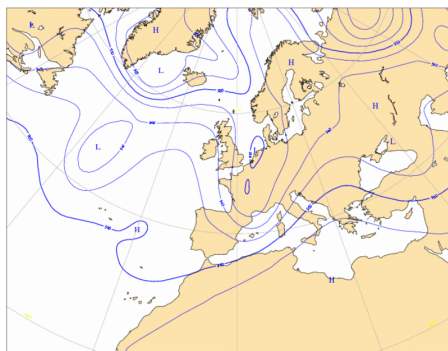
Z tabulky č. 1.1 vyplývá, že velkoprostorové povodňové situace se vyskytují od roku 1997 ve střední Evropě velmi často. Velkoprostorové srážky vyskytující se v letní polovině roku, tedy v období od května do srpna, trvají několik dní (2 až 5 dní). Synoptické situace, které tyto výrazné srážky způsobují, patří téměř výhradně do cyklonálního typu situací, a to buď cyklona (C), nebo brázda nad střední Evropou (B), popřípadě brázda postupující přes střední Evropu (Bp). Dalším typem situace, které také přináší výrazné srážky u nás, je i severovýchodní cyklonální situace (NEc) a vyskytuje se obvykle na konci srážkového období ve střední Evropě.

Hodnocení meteorologických příčin jednotlivých velkých povodní od roku 1997 [5, 6, 7, 9, 10] ukazují velmi nápadně podobný průběh cirkulace, která vede k vydatným srážkám ve střední Evropě, potažmo k povodním v ČR. Schematický rozbor cirkulace je znázorněn na Obr. 1.44.

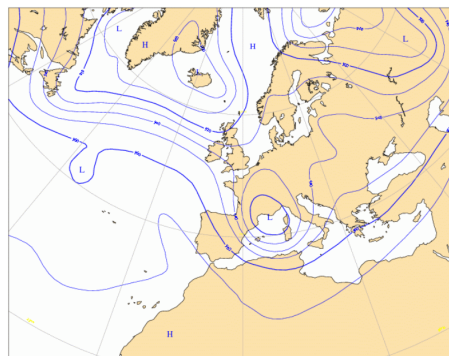


Obr. 1.44 – Mechanismus cirkulace nad Evropou při výskytu vydatných srážek a povodní v oblasti střední Evropy.

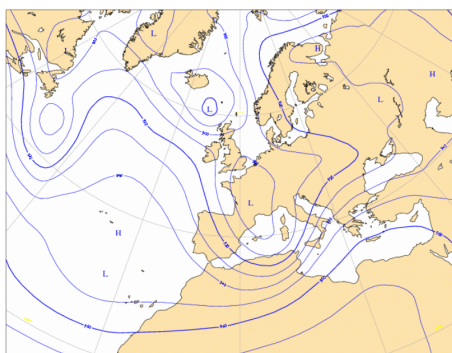
Frontální poruchy, které se obvykle dostávají z východního pobřeží severní Ameriky a pohybují se přes severní Atlantik k západnímu pobřeží Evropy, jsou u oblasti Britských ostrovů strhávány k jihu. Silné severní meridionální proudění mezi Britskými ostrovy a Pyrenejským poloostrovem směřuje následně tyto poruchy buď jako uzavřené tlakové níže, nebo jako výškové brázdy (1 na Obr. 1.44) obvykle přes Biskajský záliv do jihozápadní části Evropy (2 na Obr. 1.44 – Pyrenejský poloostrov, Francie, Švýcarsko, severní Itálie). Tímto se nad teplé vody západního Středomoří dostává poměrně studený vzduch a v interakci mezi polárním a subtropickým tryskovým prouděním dochází k prohlubování stávajících, nebo tvorbě nových tlakových níží. Cyklogeneze v západním Středomoří byla popsána mnoha autory [třeba 11], zvláště v rámci alpské meteorologie [12], a je jedním z faktorů, který výrazně ovlivňuje počasí v Evropě. V tomto stadiu cirkulace jsou níže většinou už výrazně vyvinuté, a to celým průřezem atmosféry (Obr. 1.45 a 1.46), i když v některých případech nedochází k tvorbě uzavřené tlakové níže při zemi.



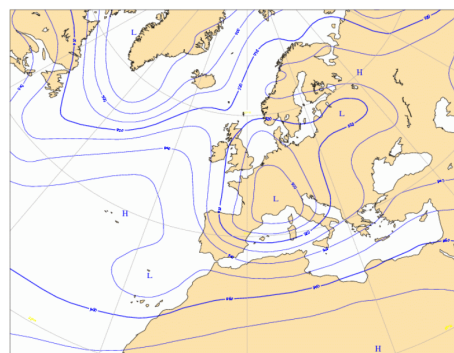
a) 5. 7. 1997 02 SELČ



b) 11. 8. 2002 02 SELČ

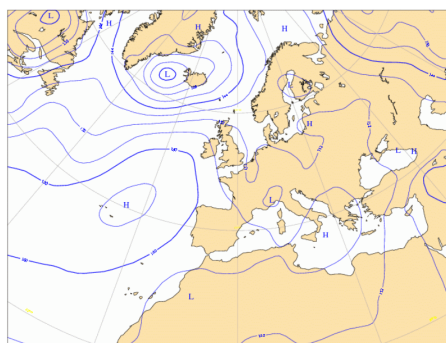


c) 15. 5. 2010 02 SELČ

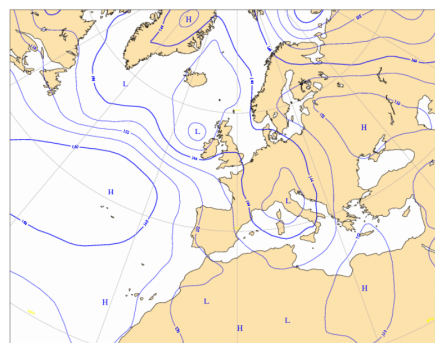


d) 30. 5. 2013 02 SELČ

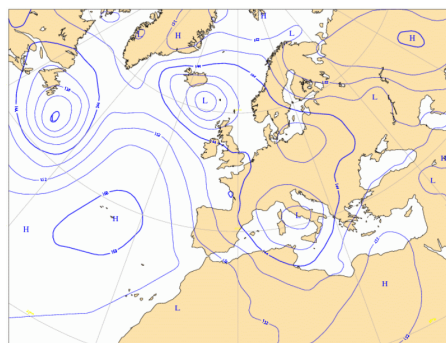
Obr. 1.45 – Geopotenciální výška v hladině 300 hPa (zdroj: DBS MARS – ECMWF).



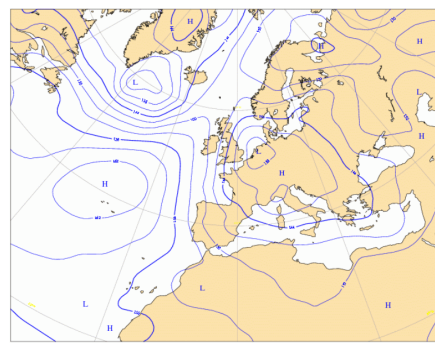
a) 5. 7. 1997 02 SELČ



b) 11. 8. 2002 02 SELČ



c) 15. 5. 2010 02 SELČ

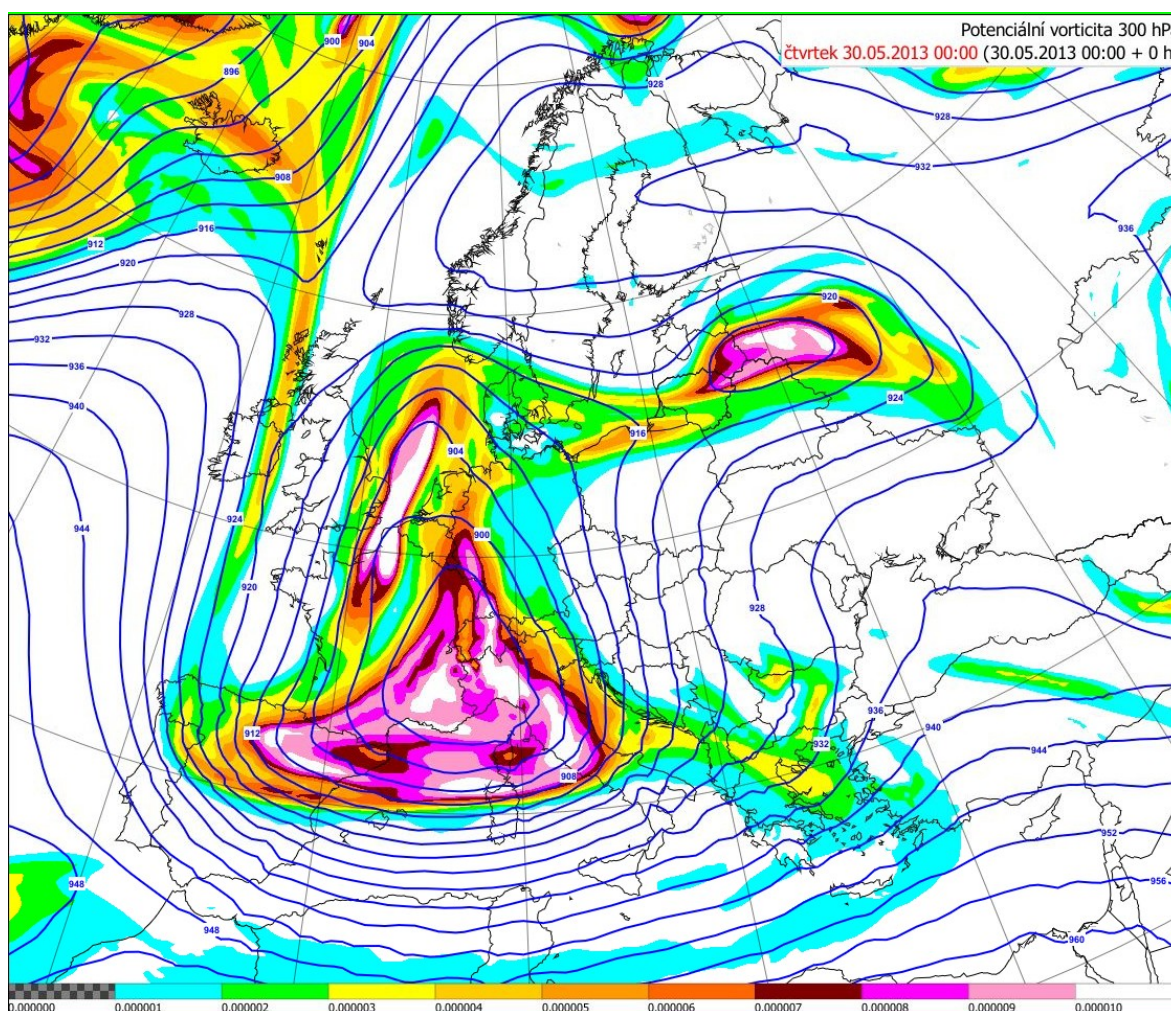


d) 30. 5. 2013 02 SELČ

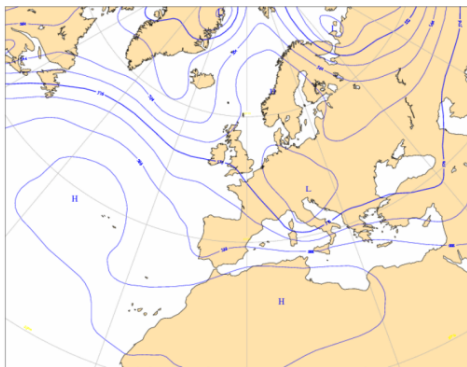
Obr. 1.46 – Geopotenciální výška v hladině 850 hPa (zdroj: DBS MARS – ECMWF).

Pokud nad centrální částí Evropy není blokující tlaková výše, pak cyklonální potenciální vorticity (PV na Obr. 1.47) směřuje tlakové níže ze západního Středomoří k severovýchodu (3 na Obr. 1.44) po dráze Vb (podle van Bebbera [13]), kde po přední straně nabírají obrovské masy teplého a vlhkého mořského vzduchu.

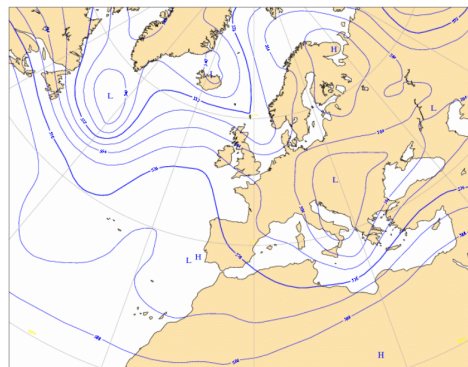
Po přední straně výškových níží (brázd) postupují do vnitrozemí evropského kontinentu i středy tlakových níží při zemi. I když většinou mají severovýchodní směr, trajektorie těchto níží se mohou výrazně lišit. Některé níže postupují severním směrem přes alpskou oblast do západních Čech, další z alpské oblasti přes Rakousko a Slovensko (Moravu a Slezsko) dále na severovýchod, jiné se ze západního Středomoří dostávají do střední a východní Evropy východní cestou přes Balkán. V některých případech se sem může tlaková níže dostat i z jihovýchodu, tedy z oblasti Černého moře, kam se níže původně dostaly dráhou Vc. [13]. Při svém dalším posunu dochází v některých případech k retrográdnímu postupu těchto níží k severozápadu až západu (4a na Obr. 1.44), často se středy níží udržují na jednom místě po delší dobu, nebo se posouvají k západu a pak se vracejí na východ (4b na Obr. 1.44). Trajektorie níží je velkou měrou ovlivňovaná samotnou potenciální vorticitou níží, ovšem důležitým faktorem je i rozmístění ostatních tlakových útvarů v čase a prostoru nad Evropou a východním Atlantikem. Téměř ve všech případech se severně nebo i severovýchodně od střední Evropy udržoval buď hřeben vyššího tlaku, nebo tlaková výše při zemi (5 na Obr. 1.44). Toto přispívalo k tomu, že postup tlakových níží byl dále na sever blokován a zpomalován (Obr 1.48).



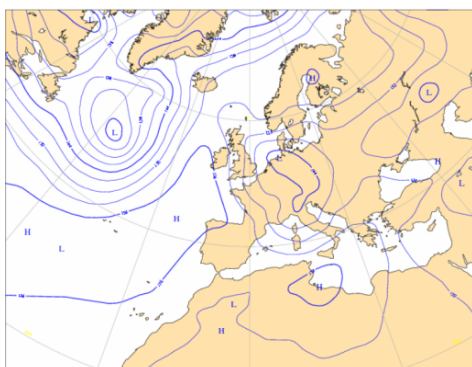
Obr. 1.47 – Potenciální vorticity (barevné pole) a geopotenciální výšky v hladině 300 hPa (izočáry) dne 30. 5. 2013 v 02 SELČ.



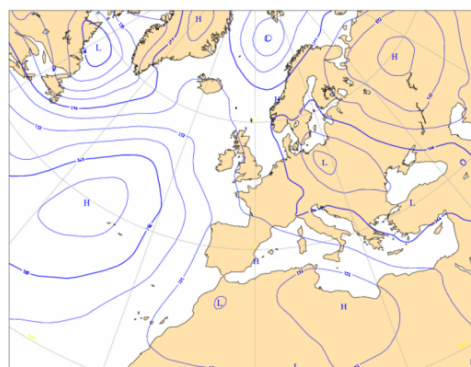
a) Analýza geopotenciální výšky v hladině 500 hPa 7. 8. 2002 02 SELČ



b) Analýza geopotenciální výšky v hladině 500 hPa 2. 6. 2013 02 SELČ



c) Analýza geopotenciální výšky v hladině 850 hPa 18. 7. 1997 02 SELČ

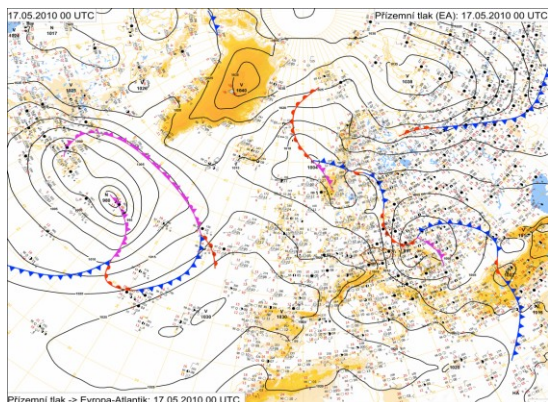


d) Analýza geopotenciální výšky v hladině 850 hPa 21. 7. 2011 14 SELČ

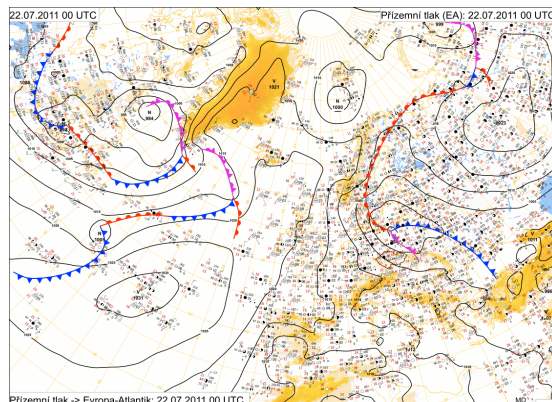
Obr. 1.48 – Blokující hřebeny a tlakové výše nad severní částí Evropy (zdroj: DBS MARS – ECMWF).

V případě výrazné potenciální vorticity se střed níže posouvá retrográdně k severozápadu nebo i západu. Když se střed tlakových níží dostane přibližně na rozhraní střední a východní Evropy (obvykle nad jižní Polsko nebo západní Ukrajinu), od jihozápadu se začíná rozšiřovat do jihozápadní a západní Evropy výběžek azorské tlakové výše (6 na Obr. 1.44), která definitivně uzavírá prostor pro další postup níží na západ (Obr. 1.49). V tomto sevření odříznuté od přílivu teplého a vlhkého vzduchu ze Středozemního a Černého moře tlakové níže začínají slábnout, postupně se vyplňují a obvykle zvolna ustupují k východu.

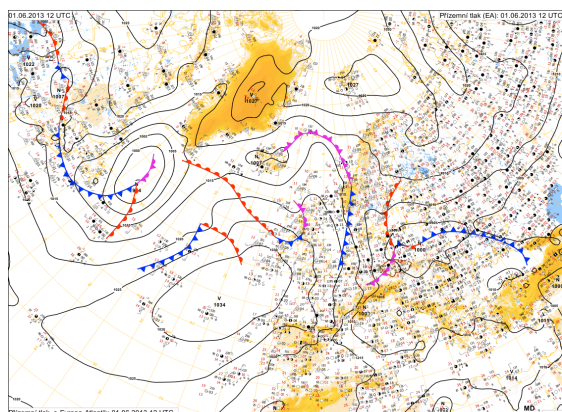
Z výše provedené analýzy vyplývá, že množství srážek a jejich konkrétní lokalizace závisí na mnoha faktorech. Kromě již zmíněných velkou roli zde hraje poloha středu cyklony v nižších hladinách a její intenzita (tlak v jejím středu). Pokud se území ČR nachází na přední straně níže, srážky mají v teplém sektoru níže většinou konvekční charakter s výskytem intenzivních bouřek. V případě, že se naše území dostane na zadní stranu tlakové níže, což se stalo při všech povodňových událostech (Tab. 1.1), převládají velkoprostorové srážky. Pokud se střed tlakové níže přesunuje západní cestou, intenzivnější srážky zasáhnou většinou Čechy, naopak pokud se střed tlakové níže posouvá východní cestou (přes Maďarsko, Slovensko nebo i Ukrajinu) k severovýchodu, intenzivními srážkami jsou zasaženy Morava a Slezsko. Intenzita těchto srážek záleží i na tlakovém gradientu v týlu tlakové níže. Je-li tlaková níže hlubší a rozšíření azorské výše razantnější, vytváří se v nižších hladinách v týlu tlakové níže silné studené severozápadní až severovýchodní proudění a vzniká intenzivní konvergence vzduchu. Vlhký vzduch, který je přenášen do vnitrozemí podél frontálního rozhraní, se začíná spirálovitě otáčet kolem tlakové níže a dostává se na její zadní stranu, tedy do jejího západního sektoru (Obr. 1.50).



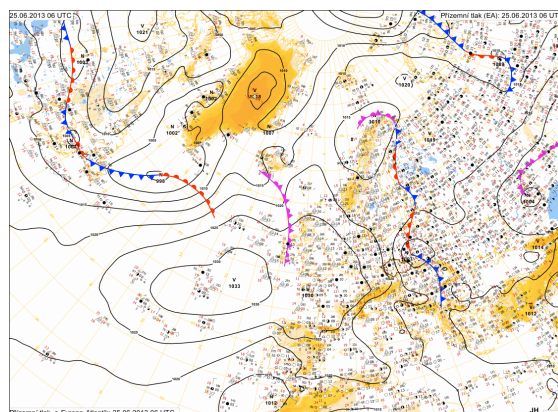
a) 17. 5. 2010 02 SELČ



b) 22. 7. 2011 02 SELČ

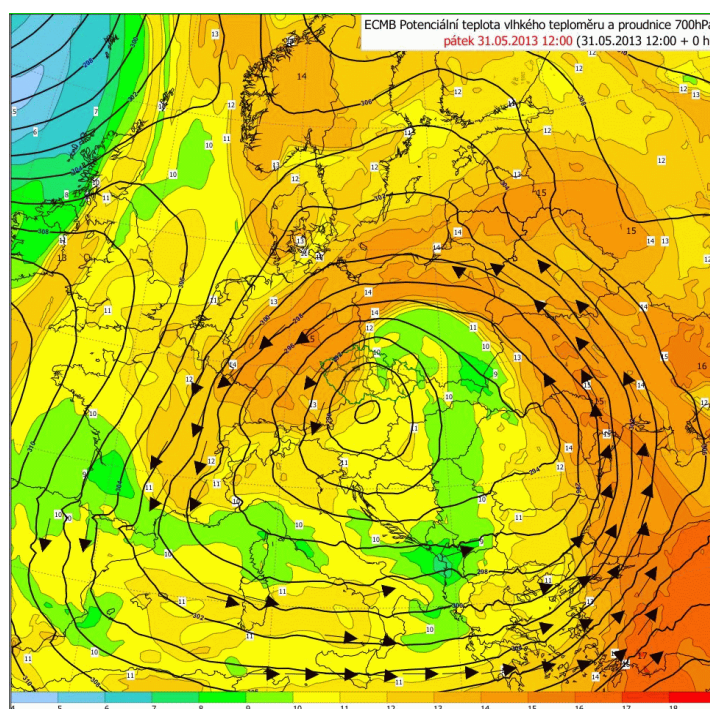


c) 1. 6. 2013 14 SELČ



d) 25. 6. 2013 08 SELČ

Obr. 1.49 – Rozšiřující se výběžek azorské tlakové výše do jihozápadní a západní Evropy.



Obr. 1.50 – Analýza vlhké potenciální teploty (barevné pole), geopotenciální výšky (izočáry) a větru (černé šípky) v hladině 700 hPa dne 31. 5. 2013 ve 14 SELČ.

Přitom se velmi často objevuje i střih větru mezi hladinami určujícími srážkotvorné procesy, což ještě více napomáhá dynamickým vzestupným pohybům a intenzivní kondenzaci vlhkého vzduchu. Při silném konvergentním proudění se obvykle intenzivní srážky vyskytují v úzkém pásu a lokalizaci, resp. jejich trvání určuje, jak již bylo zmíněno, právě intenzita tlakových útvarů. Za předpokladu, že tlaková výše na severu Evropy neslábne nebo se nepřemísťuje a rozšíření azorské tlakové výše začne v pozdějším stádiu, tlaková níže se retrográdně může posouvat k západu. Pokud toto nastane dříve, střed tlakové níže je směřován k východu. Tato „přetlačovaná“ tlakových útvarů někdy způsobuje, že rozhraní zůstává po delší dobu na jednom místě, nebo se jen nepatrně posouvá oběma směry tam a zpět, což přináší opakovaný výskyt intenzivních srážek na jednom místě.

Orografie v širším okolí střední Evropy hraje také významnou roli při rozložení a intenzitě spadlých srážek [6]. Alpy, Karpaty (Tatry) a hory v ČR jsou v tomto případě překážkou proudění, na ně naráží vlhký vzduch a na jejich návětrných stranách dochází k ještě většímu zesilování vynucených vertikálních pohybů vzduchu. Toto v některých případech vyvolává silnou konvekci, přičemž se uvolňuje energie potenciální instability a objevují se i bouřky. V případě, že je proudění stacionární po delší dobu, může se přitom na konkrétním místě objevit i tzv. řetězový efekt [8].

I když se na první pohled může zdát, že celý mechanismus cirkulace vedoucí k výrazným srážkám ve střední Evropě je jednoznačný, předpovědět ho s dostatečným předstihem není vůbec jednoduché. S výjimkou povodňové situace z června 2010, kdy se tlaková níže dostala do střední a východní Evropy ze západu přes severní Německo, všechny ostatní situace mají podobný průběh cirkulace. Avšak stačí, když jeden článek z řetězu cirkulačních událostí není dobře předpověděn, cirkulace se může vyvíjet jinak. Ne každý vpád studeného vzduchu do západního Středomoří musí zákonitě vyvolat cyklogeneze, pakliže ano, je otázkou, jak silnou potenciální vorticitu bude nově vzniklá tlaková níže mít. V případě, že nad střední Evropou je špatně předpověděné tlakové pole, tlaková níže může postupovat jižní dráhou k východu a nezasáhne do počasí ve střední Evropě. Také nesprávné umístění či intenzita tlakové výše nad severní částí Evropy může způsobit to, že tlaková níže bude postupovat rychleji přes střední Evropu k severu a severovýchodu. Pozdější či dřívější předpověděný nástup (výběžku) azorské tlakové výše může mít za následek, že níže zamíří z prostoru střední Evropy dál k západu a severozápadu, nebo rychle opustí střední Evropu východním směrem.

Toto obzvláště platí pro předpovědi srážkových úhrnů a lokalizaci spadlých srážek, které jsou odvozené z předpovědi pole hmoty atmosféry, jako je tlak, teplota, vítr a relativní vlhkost. Je evidentní, že úspěšnost předpovědi srážek záleží na dobré předpovědi makrosynoptické cirkulace, ale ještě důležitější jsou předpovědi mezosynoptického měřítka, jako je proudění vzduchu kolem orografických překážek, konvergentní nebo i konvekční procesy menšího měřítka.

Téměř zarážející je fakt, že ze sedmi případů (roků) výskytu povodní se ve čtyřech případech vyskytly opakovaně, i když nemusely zasáhnout stejné území. Opakování podobné cirkulace v atmosféře v rozmezí několika dnů (2002) či týdnů (u ostatních roků) jen potvrzuje známou vlastnost cirkulace atmosféry. Toto pravděpodobně souvisí se setrvačností některých procesů v atmosféře, jako je jet stream, blokující hřebeny vysokého tlaku nebo cyklogeneze.

1.5 Závěr

Během června 2013 území ČR zažilo v několika vlnách povodně. Místní přívalové povodně, které zasáhly ČR na přelomu první a druhé červnové dekády (období b), byly způsobeny výlučně bouřkovou činností, která se během letní poloviny roku vyskytuje nad pevninou evropského kontinentu zcela běžně.

Společným rysem dalších dvou povodňových situací, které zasáhly naše území na začátku (období a) a v posledním týdnu června 2013 (období d), byla přítomnost oblastí nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou jak v nižších, tak i ve vyšších vrstvách atmosféry. V oblastech nižšího tlaku vzduchu ležela frontální rozhraní, která výrazně ovlivnila srážkový režim nad územím ČR.

Když se tlakové níže dostaly do centrální části Evropy, byly blokovány okolními tlakovými útvary, zejména tlakovými výšemi nad severní a severovýchodní Evropou nebo i brázdou nízkého tlaku vzduchu nad východní Evropou (v případě d). Takto rozložené tlakové útvary spolu s výraznou cyklonální potenciální vorticitou ovlivňovaly trajektorie tlakových níží ze střední Evropy a způsobovaly jejich retrográdní postup k západu až severozápadu. Přitom narážely na výběžek azorské tlakové výše, který se rozšiřoval od jihozápadu a spolu s blokujícím efektem již zmíněných tlakových útvarů způsoboval zpomalování a postupně i setrvání těchto níží nad centrální částí Evropy po několik dní. Po celou dobu byly tlakové níže stále živeny chladnějším prouděním od severozápadu až severu a přílivem relativně teplejšího a vlhčího vzduchu ve vyšších hladinách z okolních moří (Středomoří, včetně Jaderského a Černého moře).

I z mezosynoptického hlediska lze mezi oběma povodňovými situacemi najít společné rysy. Jedná se hlavně o přítomnost silné konvergence vzduchu v nižších hladinách a výrazný stříh větru mezi hladinami určujícími srážkotvorné procesy. Při první povodňové vlně (období a) bylo celkové množství spadlých srážek výrazně ovlivněno i konvekčními (bouřkovými) procesy v atmosféře. Tyto srážky tedy byly produktem kombinace velkoprostorových srážek a srážek spojených s bouřkovou činností. Projevilo se to zejména na severu Čech. Obdobně jako při povodních na Novojičínsku v létě 2009 [8] se i zde objevil tzv. řetězový efekt (train effect). Všechny tyto faktory způsobily výrazné srážkové úhrny v úzkém pásu území a v relativně krátkém čase.

Z analýzy synoptických podmínek od roku 1997, vedoucích k výrazným srážkám a povodním v letní polovině roku ve střední Evropě, lze vyvodit, že cirkulační mechanismus je téměř ve všech případech stejný a probíhá v několika krocích:

- polární jet stream přináší do západního Středomoří cyklonální vorticitu a studený vzduch,
- v západním Středomoří začíná proces cyklogeneze a tlaková níže poháněná vlastní potenciální vorticitou postupuje k severovýchodu,
- při svém postupu naráží na (kvazi) stacionární blokující oblasti vyššího tlaku vzduchu severně/severovýchodně od střední Evropy,
- v určitém stádiu života řídicí tlakové níže do jihozápadní a západní Evropy se začíná rozšiřovat Azorská tlaková výše, resp. její výběžek.

Přitom velmi důležitou roli hrají:

- intenzita (tlak ve středu) jednotlivých tlakových útvarů, potažmo vznikající tlakový gradient, který určuje sílu větru v přízemních vrstvách,
- trajektorie postupu tlakových níží,
- časoprostorový vývoj synoptické situace vzhledem k orografickým překážkám.

Z hlediska synoptických podmínek menších měřítek jsou pro rozložení a intenzitu srážek důležité následující procesy:

- konvergence vzduchu v přízemních vrstvách často spojená s anomálií potenciální vorticity v nižších nebo i vyšších hladinách,
- stříh větru mezi hladinami určujícími srážkotvorné procesy,
- směr a rychlost větru vůči orografickým překážkám,
- vývoj konvekčních (bouřkových) procesů, řetězový efekt,
- období trvání výše zmíněných procesů.

Na základě těchto poznatků by meteorolog mohl v předstihu rozpoznat blížící se nebezpečnou situaci, a následně pak upřesňovat lokalizaci a kvantifikaci srážek podle výstupů numerických modelů.

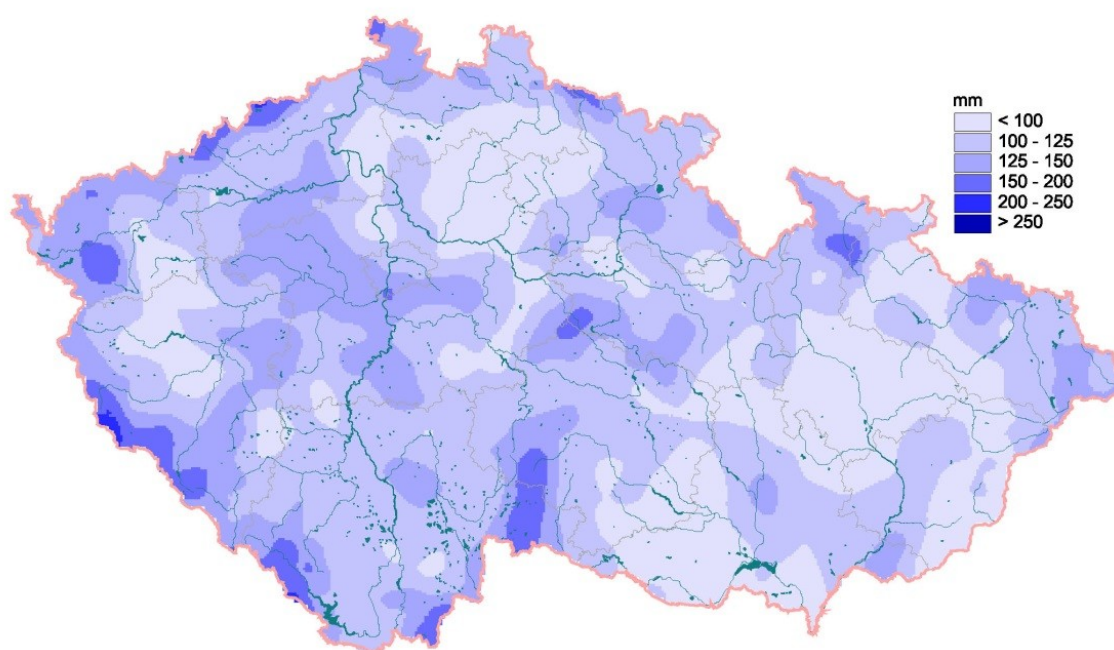
2. ANALÝZA SRÁŽKOVÝCH ÚHRNŮ A VYHODNOCENÍ JEJICH EXTREMITY

2.1 Měsíční srážkové úhrny v květnu a červnu 2013

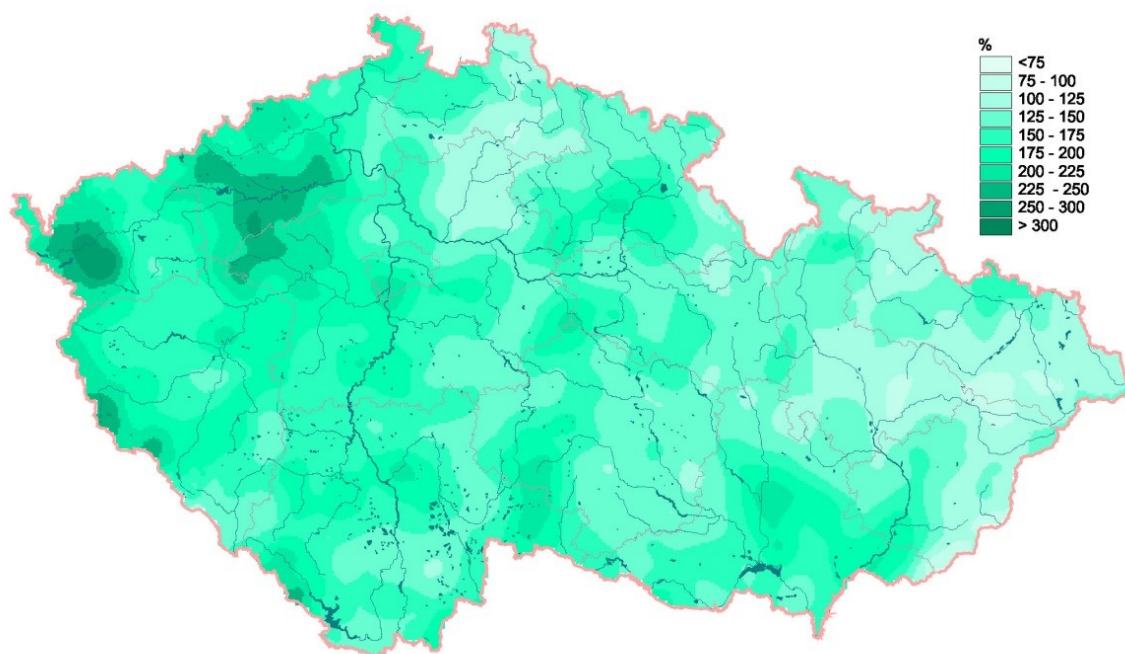
Rozložení měsíčních srážkových úhrnů v prvním pololetí roku 2013 na území ČR bylo nerovnoměrné. Zatímco leden a únor byly srážkově nadnormální, srážky dosáhly 145 % a 134 % dlouhodobého průměru 1961–1990, březen byl srážkově normální a duben podnormální. Plošný srážkový úhrn na území ČR v dubnu dosáhl pouze 56 % dlouhodobého průměru 1961–1990.

Květen 2013 byl na území ČR srážkově nadnormální, průměrný měsíční úhrn srážek 113 mm představuje 152 % dlouhodobého průměru za období 1961–1990. Průměrný měsíční úhrn srážek za květen 2013 na území ČR je pátým nejvyšším úhrnem pro tento měsíc od roku 1961, přičemž nejvlhčí květen, s měsíčním úhrnem 141 mm, byl zaznamenán v roce 1965. Srážkově bohatý byl květen zejména na západě Čech, v Karlovarském kraji srážkový úhrn dosáhl 125 mm, což je 205 % dlouhodobého průměru, v Plzeňském 122 mm (175 % dlouhodobého průměru). Prostorové rozložení měsíčních srážkových úhrnů na území ČR je zobrazeno na Obr. 2.1 a v % normálu 1961–1990 na Obr. 2.2. Nejvyšší měsíční srážkové úhrny naměřené na klimatologických stanicích ČHMÚ v květnu 2013 jsou uvedeny v Tab. 2.1.

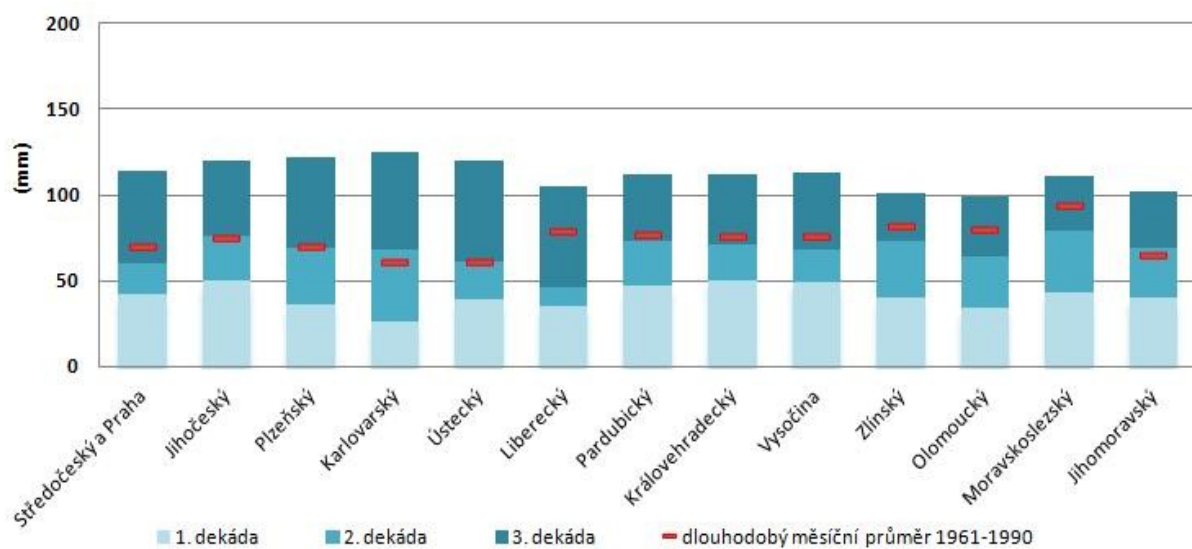
Srážky byly v květnu časově a prostorově poměrně rovnoměrně rozloženy. Na většině území již v průběhu prvních dvou dekád měsíce spadlo množství srážek, které odpovídá dlouhodobému květnovému průměru. Ve třetí dekádě byly zaznamenány vysoké srážkové úhrny především v západní části ČR, zejména v Karlovarském, Ústeckém a Libereckém kraji (Obr. 2.3).



Obr. 2.1 – Měsíční úhrn srážek na území ČR v květnu 2013.



Obr. 2.2 – Měsíční úhrn srážek na území ČR v květnu 2013 v % normálu 1961–1990.



Obr. 2.3 – Průměrné úhrny srážek [mm] v krajích ČR v květnu 2013 po dekádách.

Tab. 2.1 – Nejvyšší měsíční srážkové úhrny zaznamenané v květnu 2013 na klimatologických stanicích ČHMÚ.

Stanice	Povodí	Okres	Nadm. výška [m n.m.]	Úhrn srážek [mm]	Průměrný srážkový úhrn v květnu [mm]
Česká Kubice	Dunaj	Domažlice	555	164,4	*
Všeruby	Dunaj	Domažlice	445	171,2	*
Nemanice	Dunaj	Domažlice	532	199,3	80,0
Batelov	Jihlava	Jihlava	643	164,2	*
Bělá pod Pradědem	Kladská Nisa	Jeseník	670	184,1	94,0
Lobendava	Labe	Děčín	347	168,1	75,2
Labská bouda	Labe	Trutnov	1 315	178,1	103,8
Český Jiřetín	Labe	Most	740	202,0	89,3
Velká Černoc	Libocký potok	Louny	329	171,4	56,2
Pohorská Ves	Malše	Český Krumlov	807	170,3	77,7
Staré Hutě	Malše	České Budějovice	792	181,7	*
Český Rudolec	Moravská Dyje	Jindřichův Hradec	520	170,3	*
Počátky	Nežárka	Pelhřimov	618	166,0	80,5
Kynžvart	Ohře	Cheb	826	202,6	*
Hrabyně	Opava	Opava	395	161,0	90,7
Vidly	Opava	Bruntál	774	168,4	108,2
Trhanov	Radbuza	Domažlice	472	163,5	*
Kdyně	Radbuza	Domažlice	446	179,8	73,8
Žel. Ruda, Hojsova Stráž	Úhlava	Klatovy	867	160,4	*
Čachrov	Úhlava	Klatovy	733	161,5	88,3
Železná Ruda, Špičák	Úhlava	Klatovy	947	184,9	99,6
Kubova Huť	Vltava	Prachatice	1 010	161,4	*
Lenora	Vltava	Prachatice	804	161,8	73,2
Jelení	Vltava	Prachatice	810	181,9	*

Pozn.: Tučně jsou označené stanice, kde úhrn srážek přesahuje 180 mm.

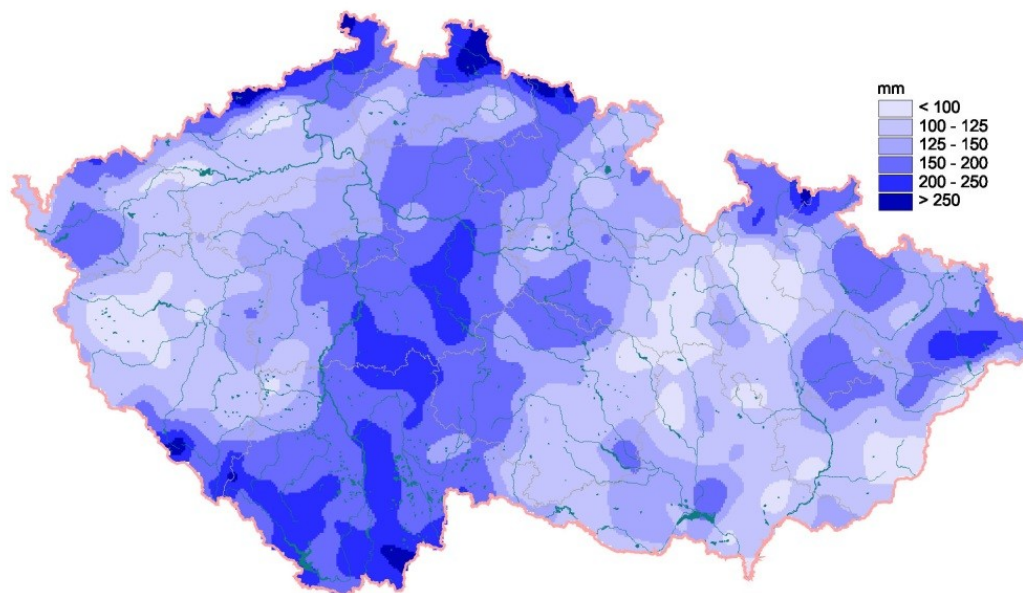
* stanice nemá v období 1961–1990 dostatečně dlouhou řadu pozorování pro výpočet dlouhodobého průměru.

Červen 2013 byl na území ČR srážkově silně nadnormální, republikový plošný průměr 146 mm představuje 174 % dlouhodobého průměru 1961–1990. Jedná se o nejvyšší červnový a o šestý nejvyšší měsíční úhrn srážek ve srovnání s měsíčními úhrny srážek všech měsíců roku od roku 1961. Vyšší srážkové úhrny byly v minulých letech zaznamenány pouze v měsících červenec a srpen, přičemž nejvyšší plošný měsíční úhrn srážek pro ČR je 204 mm z července 1997.

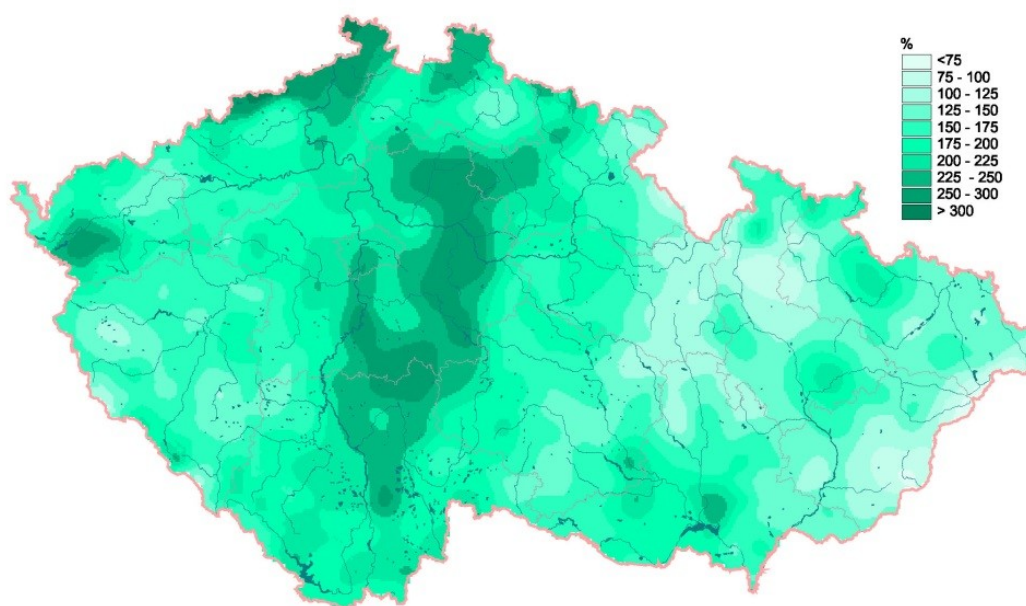
Nejvyšší úhrny srážek v červnu byly pozorovány v pásu táhnoucím se od Šumavy a Novohradských hor přes Středočeskou pahorkatinu a Polabí ke Krkonošům a Jizerským horám a dále ve Frýdlantském a Šluknovském výběžku. Nejvíce srážek spadlo v horských oblastech (Tab. 2.2), na Luční boudě dosáhl měsíční srážkový úhrn 372,2 mm.

Vyšší srážkové úhrny se vyskytovaly v západní části území ČR, průměrný červnový úhrn srážek na území Čech 154 mm je nejvyšší srážkový úhrn pro červen zaznamenaný od roku 1961. Nejvyšší plošné úhrny ve srovnání s dlouhodobým průměrem byly dosaženy ve Středočeském (163 mm, což je 217 % dlouhodobého průměru), Libereckém (175 mm, 211 % dlouhodobého průměru) a Ústeckém (141 mm, 207 % dlouhodobého průměru) kraji.

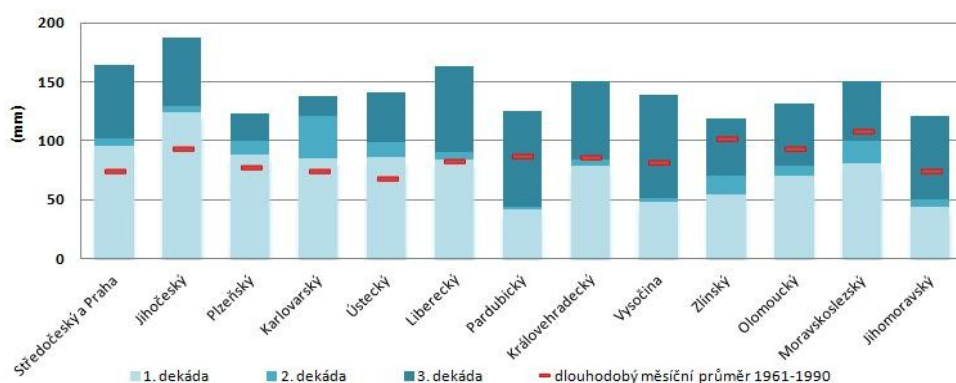
Prostorové rozložení měsíčních srážkových úhrnů na území ČR je zobrazeno na Obr. 2.4 a v % normálu 1961–1990 na Obr. 2.5. Z grafu na Obr. 2.6 je patrné, že v západní části území ČR byl již v první dekádě měsíce dosažen nebo překročen dlouhodobý průměr měsíčního úhrnu srážek. Druhá dekáda byla ve většině krajů srážkově velmi chudá (výjimku tvoří pouze Karlovarský kraj). V poslední červnové dekádě srážkový úhrn opět narostl, ale vyšších hodnot než v první dekádě bylo dosaženo pouze v krajích Vysočina, Pardubickém a Jihomoravském kraji (opět Obr. 2.6). Ve východní části území (Morava a Slezsko, Vysočina, Pardubický a Královéhradecký kraj) bylo dlouhodobého měsíčního průměru dosaženo až v průběhu třetí dekády června.



Obr. 2.4 – Měsíční úhrn srážek na území ČR v červnu 2013.



Obr. 2.5 – Měsíční úhrn srážek na území ČR v červnu 2013 v % normálu 1961–1990.



Obr. 2.6 – Průměrné úhrny srážek [mm] v krajích ČR v červnu 2013 po dekádách.

Tab. 2.2 – Nejvyšší měsíční srážkové úhrny zaznamenané v červnu 2013 na klimatologických stanicích ČHMÚ.

Stanice	Povodí	Okres	Nadm. výška [m n.m.]	Úhrn srážek [mm]	Průměrný srážkový úhrn v červnu [mm]
Kořenov	Jizera	Jablonec nad Nisou	858	244,9	*
Luční bouda	Labe	Trutnov	1 413	372,2	*
Labská bouda	Labe	Trutnov	1 315	303,0	128,5
Lobendava	Labe	Děčín	347	285,0	86,3
Český Jiřetín	Labe	Most	740	279,8	98,3
Sněžník	Labe	Děčín	567	249,0	*
Bedřichov	Lužická Nisa	Jablonec nad Nisou	777	315,9	122,8
Staré Hutě	Malše	České Budějovice	792	288,4	*
Benešov nad Černou	Malše	Český Krumlov	665	259,7	125,1
Besednice	Malše	Český Krumlov	593	247,1	110,3
Zlaté Hory	Odra	Jeseník	444	288,0	121,5
Heřmanovice	Opavice	Bruntál	665	249,0	124,5
Lysá hora	Ostravice	Frydek-Místek	1 322	252,3	173,1
Churáňov	Otava	Prachatice	1 118	267,9	127,5
Hejnice	Smědá	Liberec	396	279,6	113,8
Nové Město pod Smrkem	Smědá	Liberec	473	278,4	116,2
Železná Ruda, Špičák	Úhlava	Klatovy	947	321,2	125,7
Pomezní boudy	Úpa	Trutnov	1 050	318,1	*
Horní Maršov	Úpa	Trutnov	565	245,0	97,4
Pec pod Sněžkou	Úpa	Trutnov	816	242,6	*
Rudolfov	Vltava	České Budějovice	562	274,9	97,2
Střeziměř	Vltava	Benešov	588	254,1	83,7
Rožmitál na Šumavě	Vltava	Český Krumlov	642	251,1	*
Horská Kvilda	Vltava	Klatovy	1 052	250,6	*
Kubova Huť	Vltava	Prachatice	1 010	250,1	*

Pozn.: Tučně jsou označené stanice, kde úhrn srážek přesahuje 300 mm.

* stanice nemá v období 1961–1990 dostatečně dlouhou řadu pozorování pro výpočet dlouhodobého průměru.

Teplotně byly oba měsíce normální, průměrná měsíční teplota vzduchu v květnu dosáhla hodnotu 12 °C, což je o 0,3 °C méně než je dlouhodobý průměr 1961–1990. Červnová průměrná teplota 15,9 °C je o 0,4 °C vyšší než dlouhodobý průměr 1961–1990. Průměrné denní teploty vzduchu kolísaly kolem hodnot dlouhodobého průměru. Podnormální teploty se vyskytovaly v době nejvýznamnějších srážkových epizod, ve třetí květnové dekádě a na začátku června. Vysoko nad hodnotou normálu vystoupily průměrné denní teploty v období od 17. do 21. června. V závěru měsíce již převládalo počasí s průměrnými teplotami hluboko pod normálem.

2.2 Časové a prostorové rozložení srážek ve dnech od 29. května do 3. června 2013

Šestidenní srážková epizoda, která přetrvávala od 29. května do 3. června, zasáhla téměř výlučně Čechy (Obr. 2.7). Dne 29. května překonaly nejvyšší srážkové úhrny 30 mm, 30. května dosáhly na některých stanicích 40 mm. Dne 31. května byly srážky výrazně nižší, na většině stanic byl denní úhrn do 15 mm, s výjimkou několika stanic na západě Čech. Nejvyšší srážkové úhrny v západní a střední části ČR byly pozorovány 1. a 2. června.

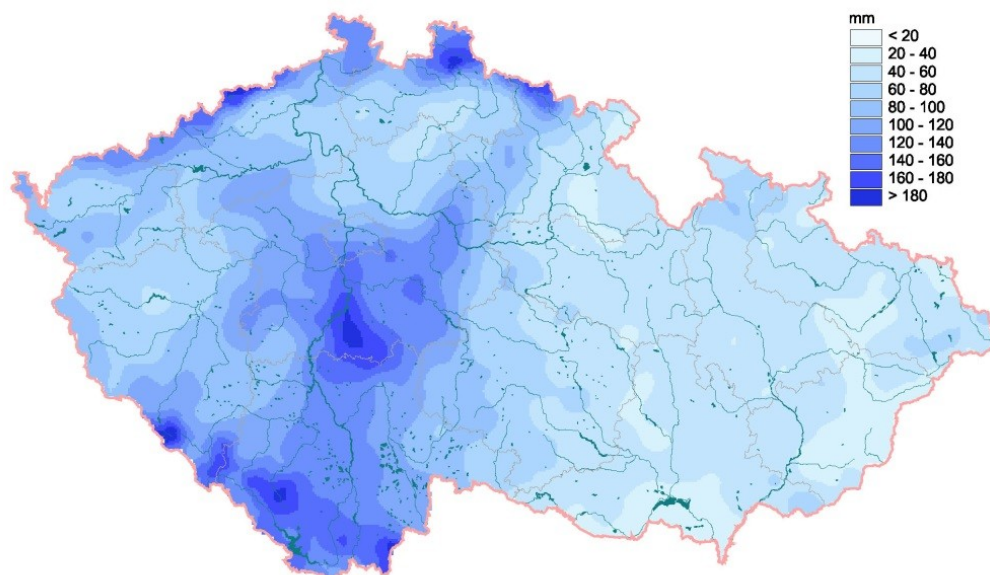
Dne 1. června byly místy na Šumavě, v Krkonoších a ve středních Čechách naměřeny srážkové úhrny od 80 až přes 100 mm, na stanici Horní Maršov to bylo dokonce 130,3 mm. Nejvyšší denní úhrn 2. června 87,9 mm byl zaznamenán v Poděbradech, v horských oblastech místy úhrny překonaly 70 mm, v Jizerských horách (stanice Bedřichov 76 mm) a na Šumavě (stanice Železná Ruda Špičák 72,8 mm). Během 3. června srážky v Čechách ustávaly, vyšší srážkové úhrny byly pozorovány na Moravě. V Moravskoslezském kraji byla místy překonána hodnota 30 mm, nejvyšší denní úhrn 49 mm byl naměřen na stanici Morávka, druhý nejvyšší pak na Lysé hoře (47,3 mm).

V Tab. 2.3 jsou uvedeny denní srážkové úhrny s hodnotou alespoň 80 mm a jejich periodičita pro vybrané stanice. Pro vyhodnocení periodicity srážkových úhrnů bylo použito Generalized Extreme Value (GEV) rozdělení [14]. Parametry GEV rozdělení byly odhadnuty pomocí metody L-momentů za použití metody ROI (region-of-influence) [15, 16], kdy k odhadu rozdělení výskytu extrémních jevů na dané stanici byla použita nejen data z této stanice, ale i data z okolních stanic. Parametry GEV rozdělení byly odhadnuty na základě ročních maxim jedno až sedmidenních úhrnů srážek pro stanice, které v období 1961–2010 pozorovaly alespoň 20 let.

Jednodenní úhrny srážek překročily 100letou hodnotu 1. června pouze na třech stanicích, na stanici Horní Maršov dosáhl úhrn srážek 1,4násobku 100letého úhrnu srážek, na stanici Hlasivo a Střeziměř 1,1násobku 100letého úhrnu srážek. Úhrn srážek na stanici Poděbrady dosáhl 2. června 100leté hodnoty.

Dvoudenní úhrny srážek byly vyhodnoceny pro sumu za 1. a 2. června, v Tab. 2.4 jsou uvedeny vybrané stanice, na kterých dvoudenní úhrn srážek překročil 100 mm.

V případě šestidenních srážkových úhrnů byla překročena stoletá hodnota pouze na dvou stanicích (Střeziměř a Poděbrady), na řadě stanic v jižních Čechách pak byla překročena 50letá hodnota (Tab. 2.5).



Obr. 2.7 – Úhrn srážek od 29. 5. 08 SELČ do 3. 6. 2013 08 SELČ na území ČR.

Tab. 2.3 – Denní úhrny srážek 80 mm a více (měřeny od 08 SEČ do 08 SELČ následujícího dne) a jejich periodicita 1. a 2. 6. 2013 na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ.

Stanice	Okres	Povodí	Nadm. výška [m n.m.]	Datum	Úhrn srážek [mm]	Periodicita [roky]
Frantoly	Prachatice	Blanice	726	1. 6. 2013	101,0	40
Český Jiřetín	Most	Labe	740	1. 6. 2013	83,8	10
Poděbrady	Nymburk	Labe	189	2. 6. 2013	87,9	100
Bechyně	Tábor	Lužnice	409	1. 6. 2013	83,5	50
Hlasivo	Tábor	Lužnice	547	1. 6. 2013	99,8	> 100
Jistebnice	Tábor	Lužnice	581	1. 6. 2013	95,6	90
Nadějkov, Větrov	Tábor	Lužnice	61	□ 1. 6. 2013	81,0	40
Churáňov	Prachatice	Otava	1 117	1. 6. 2013	86,7	20
Zbytiny	Prachatice	Otava	790	1. 6. 2013	108,3	70
Železná Ruda, Špičák	Klatovy	Úhlava	947	1. 6. 2013	84,6	10
Horní Maršov	Trutnov	Úpa	565	1. 6. 2013	130,3	> 100
Pec pod Sněžkou	Trutnov	Úpa	816	□ 1. 6. 2013	89,4	10
Filipova Huť	Klatovy	Vltava	1 110	1. 6. 2013	80,3	10
Kvilda	Prachatice	Vltava	1 059	1. 6. 2013	82,0	10
Kovářov	Písek	Vltava	529	1. 6. 2013	85,1	50
Křemže, Mříč	Český Krumlov	Vltava	524	1. 6. 2013	84,3	30
Střeziměř	Benešov	Vltava	588	1. 6. 2013	107 □	> 100

Pozn.: Tučně jsou označené stanice, kde úhrn srážek přesahuje 100 mm.

Tab. 2.4 – Úhrn srážek 100 mm a více a jeho periodicita od 1. 6. 08 SELČ do 3. 6. 2013 08 SELČ na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ.

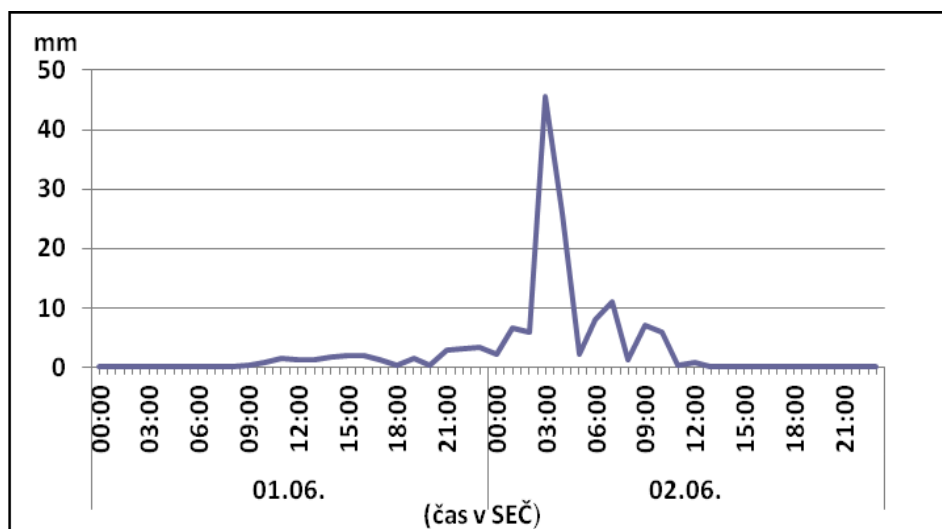
Stanice	Okres	Povodí	Nadm výška [m n.m.]	1. 6.	2. 6.	Suma	Perio- dicita [roky]
Chelčice	Strakonice	Blanice	466	72,5	28,5	101,0	40
Frantoly	Prachatice	Blanice	726	101,0	25,0	126,0	40
Železná Ruda	Klatovy	Dunaj	763	79,0	33,0	112,0	10
Labská bouda	Trutnov	Labe	1 315	74,4	32,2	106,6	< 5
Poděbrady	Nymburk	Labe	189	41,6	87,9	129,5	> 100
Dolní Chvatliny	Kolín	Labe	290	57,5	52,4	109,9	60
Český Jiřetín	Most	Labe	740	83,8	44,0	127,8	20
Nová Ves v Horách	Most	Labe	725	73,6	28,0	101,6	20
Bedřichov	Jabl. n. Nisou	Luž. Nisa	777	62,7	76,0	138,7	10
Bechyně	Tábor	Lužnice	409	83,5	22,4	105,9	60
Hlasivo	Tábor	Lužnice	547	99,8	14,9	114,7	100
Jistebnice	Tábor	Lužnice	581	95,6	32,5	128,1	> 100
Milevsko	Písek	Lužnice	442	73,9	32,5	106,4	50
Nadějkov, Větrov	Tábor	Lužnice	616	81,0	31,7	112,7	50
Benešov n. Černou	Č. Krumlov	Malše	665	70,1	31,0	101,7	10
Pohorská Ves	Č. Krumlov	Malše	807	65,6	41,8	107,4	10
Branná, Františ.	Šumperk	Morava	586	62,7	58,6	121,3	30
Bavorov	Strakonice	Otava	442	77,4	29,5	106,9	30
Churáňov	Prachatice	Otava	1 117	86,7	36,3	123,0	20
Kašperské Hory	Klatovy	Otava	74 □	50,7	57,5	108,2	15
Paseky	Písek	Otava	482	72,3	33,0	105,3	50
Prachatice	Prachatice	Otava	607	77,7	31,8	109,5	10
Zbytiny	Prachatice	Otava	790	108,3	34,5	142,8	60
Sázava	Kutná Hora	Sázava	302	41,2	64,3	105,5	50
Votice	Benešov	Sázava	500	73,5	33,1	106,6	40
Hejnice	Liberec	Smědá	396	45,3	60,6	105,9	5
Žel. Ruda, H. Stráž	Klatovy	Úhlava	867	71,0	46,1	117,1	10
Železná Ruda, Špičák	Klatovy	Úhlava	947	84,6	72,8	157,4	20
Horní Maršov	Trutnov	Úpa	565	130,3	17,7	148,0	70
Pec pod Sněžkou.	Trutnov	Úpa	816	89,4	22,0	111,4	5
Červený Dvůr, Chvalšiny	Český Krumlov	Vltava	588	75,0	34,8	109,8	25
Filipova Huť	Klatovy	Vltava	1 110	80,3	47,3	127,6	20
Kvilda	Prachatice	Vltava	1 059	82,0	26,8	108,8	10
Brloh	Č. Krumlov	Vltava	559	75,8	25,9	101,7	30
Frymburk, Sv. Tomáš	Český Krumlov	Vltava	972	70,2	37,5	107,7	20
Kovářov	Písek	Vltava	529	85,1	26,3	111,4	50
Křemže, Mříč	Č. Krumlov	Vltava	524	84,3	21,1	105,4	20
Střeziměř	Benešov	Vltava	588	107,0	29,3	136,3	> 100

Tab. 2.5 – Úhrn srážek 150 mm a více a jeho periodičita od 29. 5. 08 SELČ do 3. 6. 2013
08 SELČ na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ.

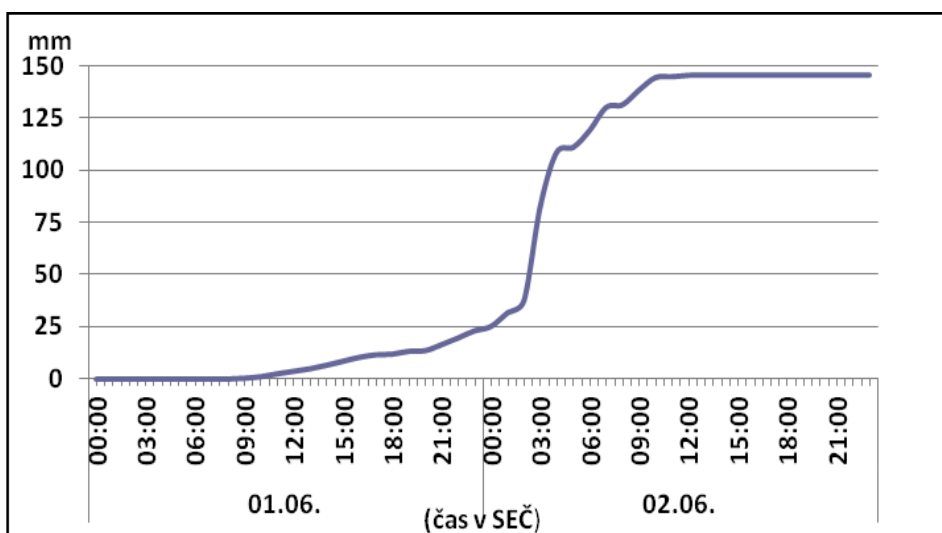
Stanice	Okres	Povodí	Nadm. výška [m n.m.]	Suma srážek [mm]	periodičita [roky]
Frantoly	Prachatice	Blanice	726	161.6	30
Český Jiřetín	Most	Labe	740	181.4	20
Poděbrady	Nymburk	Labe	189	152.7	> 100
Labská bouda, Špindl. Mlýn	Trutnov	Labe	1 315	164.2	10
Petrovice, Krásný Les	Ústí nad Labem	Labe	631	152.4	20
Bedřichov	Jablonec n. Nisou	Lužická Nisa	777	183.6	10
Jistebnice	Tábor	Lužnice	581	166.1	70
Nadějkov, Větrov	Tábor	Lužnice	616	153.8	40
Pohorská Ves	Český Krumlov	Malše	807	160.7	10
Benešov nad Černou	Český Krumlov	Malše	665	157.4	20
Malonty	Český Krumlov	Malše	694	154.1	20
Soběnov	Český Krumlov	Malše	526	151.1	20
Netřebice	Český Krumlov	Malše	616	150.9	30
Kašperské Hory	Klatovy	Otava	741	161.4	20
Zbytiny	Prachatice	Otava	790	191.3	40
Churáňov	Prachatice	Otava	1 117	175.5	20
Prachatice	Prachatice	Otava	607	152.5	20
Votice	Benešov	Sázava	500	159.6	50
Hejnice	Liberec	Smědá	396	170.5	10
Nové Město pod Smrkem	Liberec	Smědá	473	150.9	10
Žel. Ruda, Špičák	Klatovy	Úhlava	947	219.4	20
Žel. Ruda, Hojsova Stráž	Klatovy	Úhlava	867	179.1	10
Horní Maršov	Trutnov	Úpa	565	167.3	20
Střeziměř	Benešov	Vltava	588	182.4	> 100
Červený Dvůr, Chvalšiny	Český Krumlov	Vltava	588	170.7	50
Frymburk, Svatý Tomáš	Český Krumlov	Vltava	972	160.5	20
Přídolí	Český Krumlov	Vltava	653	155,0	30
Filipova Huť	Klatovy	Vltava	1 110	178.6	10
Kovářov	Písek	Vltava	529	157.5	60
Praha, Libuš	Praha 4	Vltava	302	150.3	70
Říčany	Praha – východ	Vltava	385	150.3	40
Kvilda	Prachatice	Vltava	1 059	152.9	10

2.2.1 Časový průběh hodinových úhrnů srážek

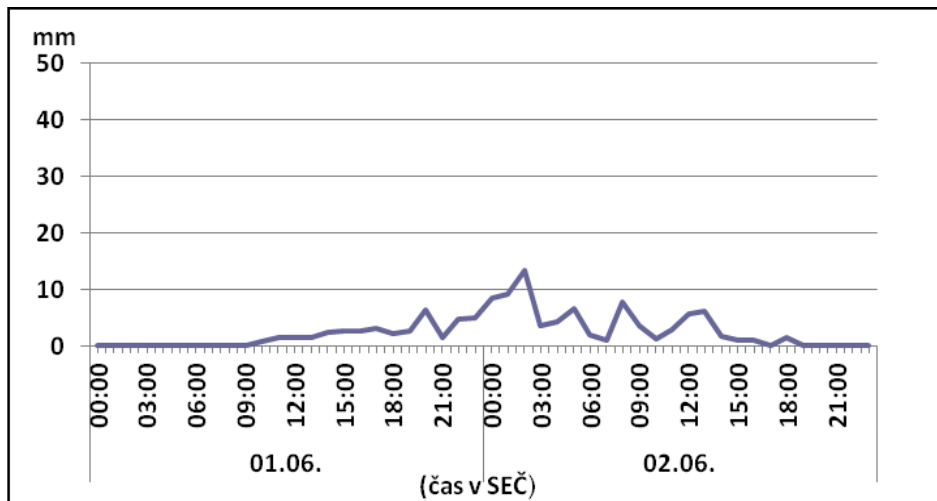
Srážky začaly vypadávat 1. června v dopoledních hodinách na severu Čech, postupně se srážkové pole posouvalo přes západní Čechy na jih a dále na východ. Zatímco v severozápadních a západních Čechách v nočních hodinách z 1. na 2. června srážková činnost zeslábla nebo úplně ustala, ve východních a středních Čechách byly srážky nejintenzivnější. Významná srážková činnost pokračovala také v průběhu dne 2. června. Průběh hodinových úhrnů srážek na vybraných stanicích pro studovaná povodí je znázorněn v grafech na Obr. 2.8a až Obr. 2.8h. Kromě velkoplošných srážek se v oblasti Podkrkonoší a Krkonoš vyskytovaly lokální přívalové deště. Nejvyšší hodinová intenzita deště byla zaznamenána 2. června na stanici Horní Maršov, od 02 hodin 50 min. SELČ do 03 hodin 50 min. SELČ zde spadlo 45,8 mm srážek. Vzhledem k tomu, že denní srážkové úhrny jsou měřeny v pevně stanovených termínech a vydatné srážky vypadávaly i po 7. hodině ranní, byly spočteny pro klimatologické stanice ČHMÚ klouzavé 24hodinové sumy srážek z hodinových úhrnů srážek a vyhodnocena jejich extremita (Tab. 2.6).



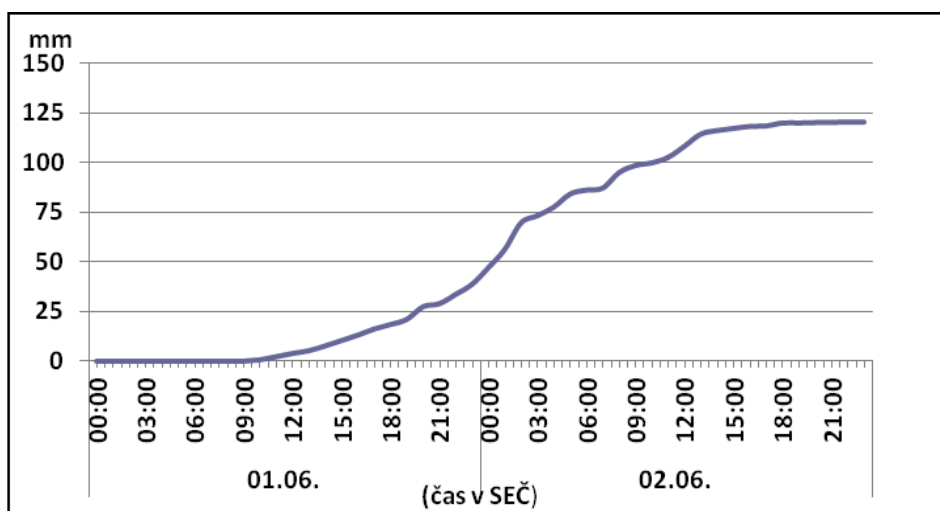
Obr. 2.8a – Průběh hodinových úhrnů srážek na stanici Horní Maršov (povodí Úpy) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.



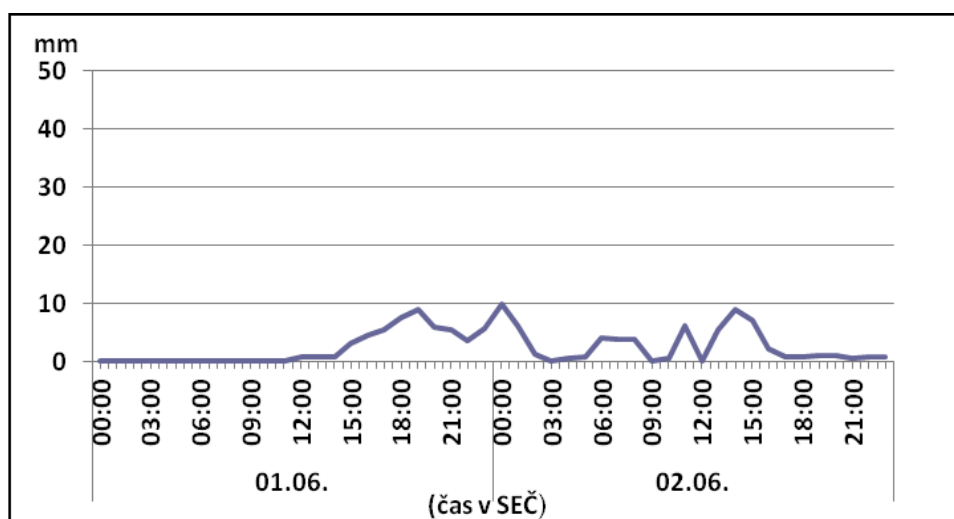
Obr. 2.8b – Průběh hodinových úhrnů srážek kumulativně na stanici Horní Maršov (povodí Úpy) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.



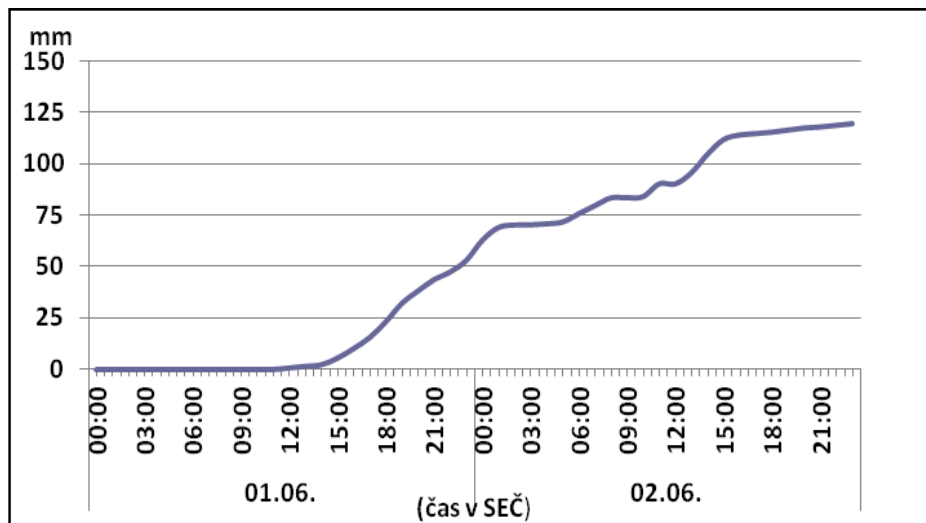
Obr. 2.8c – Průběh hodinových úhrnů srážek na stanici Nedrahovice, Rudolec (povodí Vltavy) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.



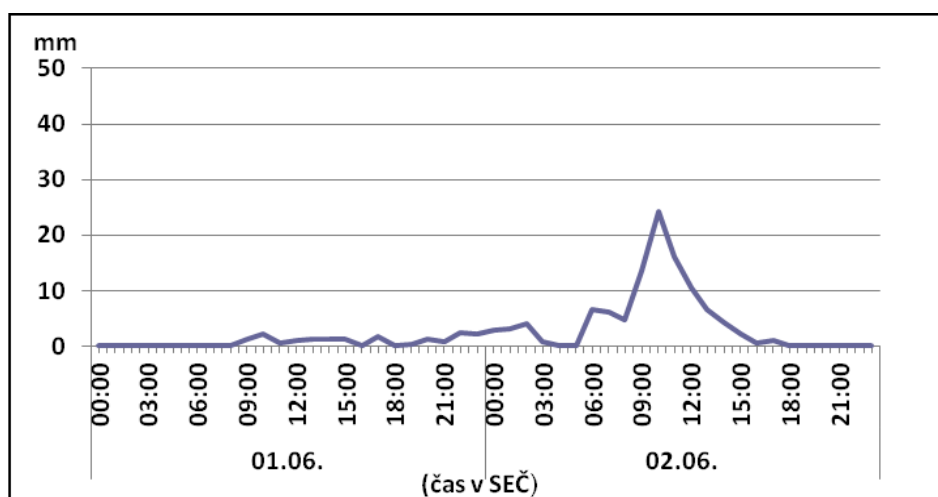
Obr. 2.8d – Průběh hodinových úhrnů srážek kumulativně na stanici Nedrahovice, Rudolec (povodí Vltavy) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.



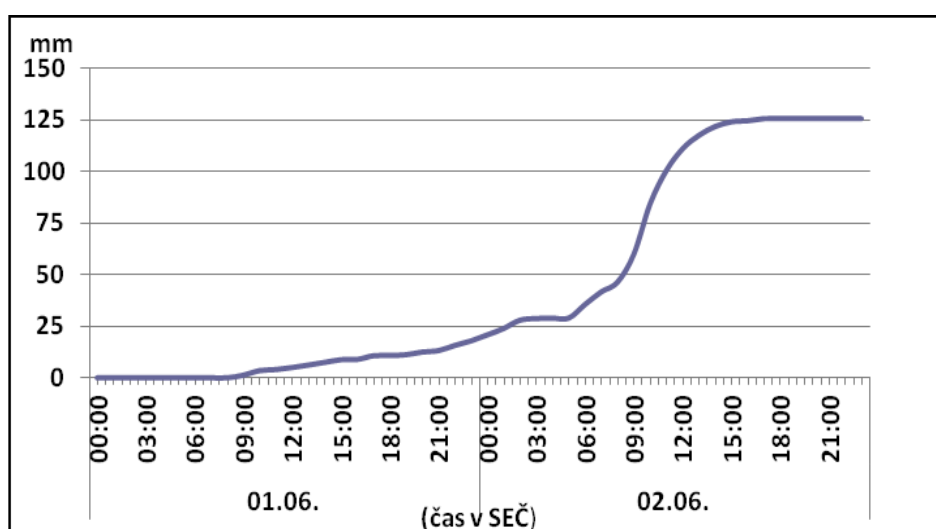
Obr. 2.8e – Průběh hodinových úhrnů srážek na stanici Filipova Huť (povodí Vltavy) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.



Obr. 2.8f – Průběh hodinových úhrnů srážek kumulativně na stanici Filipova Huť (povodí Vltavy) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.



Obr. 2.8g – Průběh hodinových úhrnů srážek na stanici Poděbrady (povodí Labe) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.



Obr. 2.8h – Průběh hodinových úhrnů srážek kumulativně na stanici Poděbrady (povodí Labe) od 1. 6. 01 SELČ do 3. 6. 2013 00 SELČ.

Tab. 2.6 – 24hodinový klouzavé úhrny srážek (alespoň 80 mm) na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ a periodicita těchto úhrnů. Začátek srážek vždy 1. 6. 2013 v hodině dle tabulky (čas je SELČ).

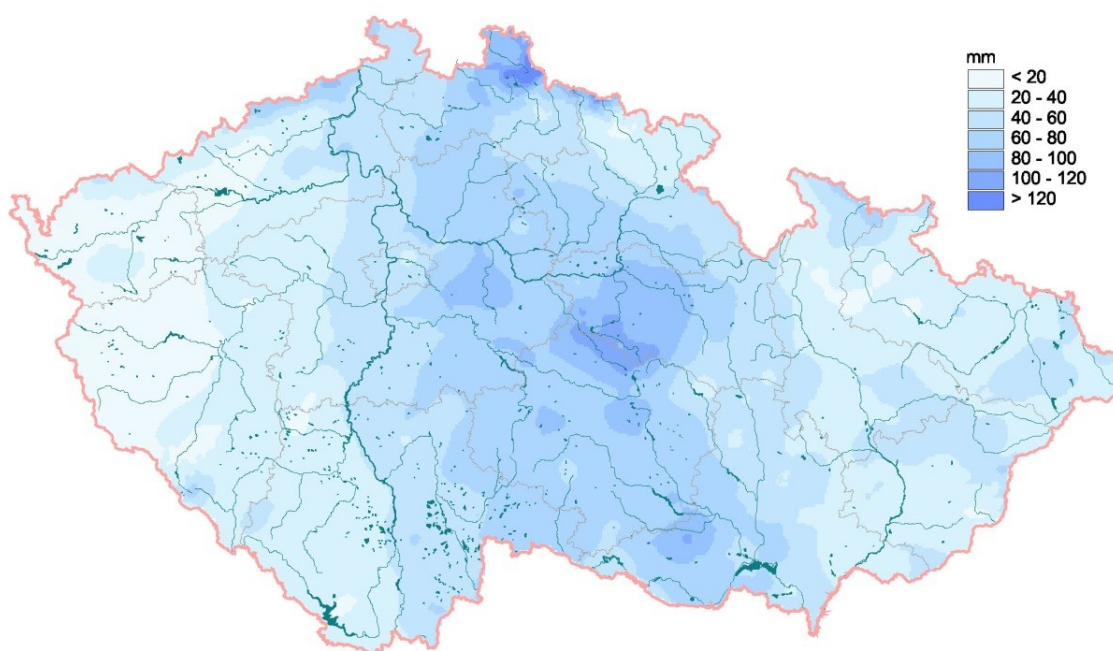
Stanice	Okres	Povodí	Nadm. výška [m n. m.]	Hodina začátku srážek	Suma srážek [mm]	Periodicita [roky]
Poděbrady	Nymburk	Labe	189	18	115,5	>100
Luční bouda	Trutnov	Labe	1 413	15	108,5	5
Bedřichov	Jablonec n. Nisou	Lužická Nisa	777	20	93,0	~5
Bechyně	Tábor	Lužnice	409	16	93,6	100
Hlasivo	Tábor	Lužnice	547	15	93,0	100
Nadějkov, Větrov	Tábor	Lužnice	616	16	99,5	50
Pohorská Ves	Český Krumlov	Malše	807	19	99,5	10
Dymokury	Nymburk	Mrlina	208	18	80,7	>100
Churáňov	Prachatice	Otava	1 117	17	103,8	~50
Paseky	Písek	Otava	482	18	91,3	50
Mladá Vožice	Tábor	Sázava	445	15	92,6	100
Netvořice	Benešov	Sázava	375	15	80,3	50
Žel. Ruda, Hojsova Stráž	Klatovy	Úhlava	867	18	82,7	5
Horní Maršov	Trutnov	Úpa	565	12	143,4	>100
Pomezní boudy	Trutnov	Úpa	1 050	14	109,3	5
Pec pod Sněžkou	Trutnov	Úpa	816	13	99,8	5
Nedrahovice, Rudolec	Příbram	Vltava	348	15	109,2	100
Filipova Huť	Klatovy	Vltava	1 110	17	106,1	~25
Ktiš	Prachatice	Vltava	758	18	100,7	>100
Černá v Pošumaví	Český Krumlov	Vltava	740	19	84,4	10
Temelín	České Budějovice	Vltava	500	20	90,7	50
České Budějovice	České Budějovice	Vltava	394	17	82,2	50
Křemže, Mříč	Český Krumlov	Vltava	524	18	95,2	50

2.3 Srážky od 9. do 10. června 2013

Ve dnech 9. a 10. června se na celém území ČR místy vyskytovaly přívalové srážky spojené s bouřkovou činností. Dne 9. června byl nejvyšší denní srážkový úhrn naměřen na stanici Mladá Boleslav (78,4 mm) a dosáhl úrovně 50leté hodnoty. 50leté hodnoty dosáhl i srážkový úhrn na stanici Horšovský Týn (62 mm), 10letá hodnota byla překročena na stanici Lobendava 69,2 mm. Vysoké srážkové úhrny se po oba dny vyskytovaly na Moravě. Stanice Branná naměřila 9. června 62,7 mm, 10. června 58,6 mm. Oba úhrny dosáhly hodnoty pro 5letou dobu opakování, v sumě za uvedené dva dny byla dosažena 30letá hodnota.

2.4 Časové a prostorové rozložení srážek ve dnech 24. a 25. června 2013

Prostorové rozložení srážkových úhrnů 24. a 25. června je zobrazeno na mapě na Obr. 2.9. Dne 24. června se vyskytovaly na velké části území ČR vydatné srážky, jejichž úhrny místy překročily 50 mm. Nejvíce napršelo na jižní Moravě a na Vysočině, nejvyšší denní úhrn srážek zaznamenaly moravské stanice Džbánice – 103 mm a Moravský Krumlov – 85,5 mm. V Krkonoších a Jizerských horách se místy denní úhrn srážek pohyboval okolo 80 mm. Pás vydatných srážek zasáhl také část Libereckého kraje, Královéhradecký a Pardubický kraj a východní část Středočeského kraje. O den později, 25. června, byly významnější srážky zaznamenány v oblasti Krkonoš, Jizerských a Krušných hor. Nejvyšší srážkové úhrny v Jizerských horách přesáhly 50 mm. V Tab. 2.7 jsou vyhodnoceny dvoudenní úhrny srážek, které překročily 100 mm. Doba opakování 100 let byla překročena jen na stanici Džbánice, kde srážkový úhrn dosáhl 1,2násobku 100leté hodnoty. Srážkové úhrny s periodicitou větší než 10 let byly naměřeny zejména na Vysočině.



Obr. 2.9 – Úhrn srážek na území ČR od 24. 6. 08 SELČ do 26. 6. 2013 08 SELČ.

Tab. 2.7 – Úhrn srážek 80 mm a více a jeho periodicita od 24. 5. 08 SELČ do 26. 6. 2013
08 SELČ na vybraných klimatologických stanicích ČHMÚ.

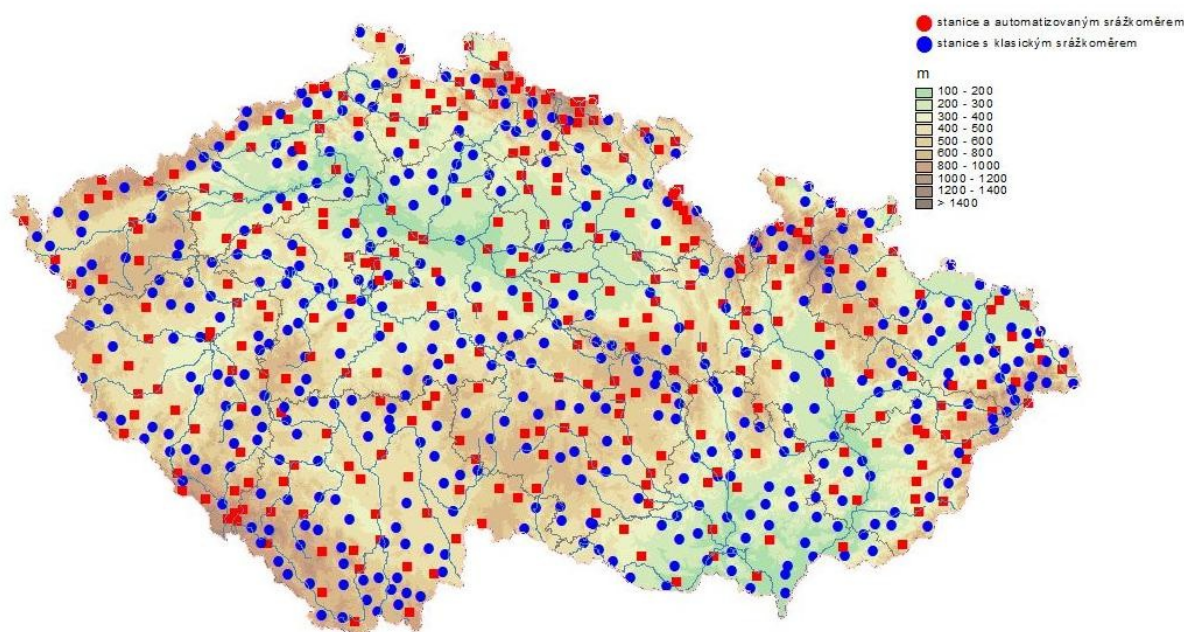
Stanice	Okres	Povodí	Nadm. výška [m n. m.]	24. 6.	25. 6.	Suma	Periodicita [roky]
Chlumeck nad Cidlinou	Hradec Králové	Cidlina	213	64,5	17,3	81,8	40
Hamry	Chrudim	Chrudimka	605	82,9	24,8	107,7	30
Křižanovice	Chrudim	Chrudimka	432	81,9	25,0	106,9	40
Svratouch	Chrudim	Chrudimka	734	83,4	22,8	106,2	20
Vysočina, Jančour	Chrudim	Chrudimka	548	73,6	25,3	98,9	20
Džbánice	Znojmo	Jevišovka	337	104,0	1,8	105,8	> 100
Sedlec	Třebíč	Jihlava	474	81,9	2,1	84,0	30
Desná, Souš	Jablonec n. Nisou	Jizera	772	45,0	35,2	80,2	< 5
Josefův Důl	Jablonec n. Nisou	Jizera	590	52,1	50,2	102,3	< 5
Labská bouda, Špindl. Mlýn	Trutnov	Labe	1 315	72,7	32,5	105,2	< 5
Běstvina, Pařížov	Chrudim	Labe	333	83,0	26,1	109,1	40
Heřmanův Městec	Chrudim	Labe	275	63,8	18,0	81,8	20
Hrochův Týnec	Chrudim	Labe	241	71,4	15,6	87,0	20
Krucemburk	Havlíčkův Brod	Labe	559	79,5	33,5	113,0	40
Nové Hradky	Chrudim	Labe	400	73,4	18,4	91,8	15
Pardubice, letiště	Pardubice	Labe	225	68,6	17,1	85,7	40
Kostomlaty n. Labem	Nymburk	Labe	185	68,2	14,3	82,5	30
Dolní Chvatliny	Kolín	Labe	290	74,5	14,6	89,1	20
Vysoké Mýto	Ústí nad Orlicí	Loučná	278	70,5	14,8	85,3	20
Bedřichov	Jablonec n. Nisou	Luž. Nisa	777	65,7	55,0	120,7	5
Mníšek, Fojtka	Liberec	Luž. Nisa	395	56,7	34,0	90,7	< 5
Libáň	Jičín	Mrlina	225	77,0	8,4	85,4	60
Bohdalov	Žďár nad Sázavou	Oslava	567	74,2	18,2	92,4	30
Křižany	Liberec	Ploučnice	405	52,8	27,5	80,3	10
Moravský Krumlov	Znojmo	Rokytná	255	85,5	1,4	86,9	70
Bohdaneč	Kutná Hora	Sázava	460	63,3	17,8	81,1	10
Habry	Havlíčkův Brod	Sázava	467	60,5	26,9	87,4	10
Humpolec	Pelhřimov	Sázava	515	63,5	19,5	83,0	10
Ledeč nad Sázavou	Havlíčkův Brod	Sázava	400	62,8	19,1	81,9	10
Nížkov	Žďár nad Sázavou	Sázava	526	74,9	13,2	88,1	20
Řendějov	Kutná Hora	Sázava	453	58,0	24,5	82,5	15
Hejnice	Liberec	Smědá	396	58,5	35,2	93,7	< 5
Nové Město pod Smrkem	Liberec	Smědá	473	64,9	35,5	100,4	< 5
Choceň	Ústí nad Orlicí	Tichá Orlice	282	62,6	21,0	83,6	20

2.5 Závěr

Povodně na přelomu května a června a v průběhu června 2013 na území ČR byly spojeny se dvěma významnými obdobími srážek. Během šestidenního období od 29. května do 3. června byly místy zaznamenány úhrny srážek s periodicitou vyšší než 100 let pro jedno a vícedenní úhrny srážek. Ve východních Čechách se v tomto období vedle velkoplošných srážek vyskytly i orograficky podmíněné přívalové deště, které vedly k lokálním povodním. Podružná vlna povodní 9. a 10. června byla spojena s lokálními přívalovými dešti, kdy srážkové úhrny místy dosáhly 50letých hodnot.

Druhé období výrazných srážek nastalo 24. a 25. června, tedy s 14denním odstupem od podružné srážkové epizody a s centrem nejvyšších srážkových úhrnů posunutým na východ do oblasti Vysočiny a Jižní Moravy. Stoletá hodnota dvoudenních srážkových úhrnů byla překročena pouze na stanici Džbánice. Srážkové úhrny s periodicitou větší než 10 let byly naměřeny zejména na Vysočině.

Pro vyhodnocení příčinných srážek byla použita data celé sítě klimatologických a meteorologických stanic ČHMÚ, tj. z přibližně 720 stanic, z nichž 318 je nyní vybaveno automatizovaným srážkoměrem (člunkovým nebo váhovým). Z takto vybavených stanic jsou kontinuálně dostupná data v intervalu 10 minut. Rozložení stanic měřících srážkové úhrny je na Obr. 2.10.



Obr. 2.10 – Stanice ČHMÚ měřící srážkové úhrny, stav listopad 2013.

V současnosti je síť stanic měřících množství srážek v poměrně vyhovující hustotě, další zásahy (redukce počtu stanic) by však vedly ke zvýšení až překročení přípustných chyb při zpracování srážkoměrných dat, například při prostorové interpolaci dat a výpočtu plošných charakteristik. Pro vyhodnocení radarových odrazivostí je potřeba mít operativně informaci o množství spadlých srážek z dostatečného počtu stanic. Z rozložení stanic na mapách se ukazuje, že je potřebné doplnit síť automatizovaných stanic zejména v západních a středních Čechách a na území jižní Moravy.

3. LITERATURA

- [1] PAPPENBERGER, F., WETTERHALL, F., ALBERGEL, C., ALFIERI, L., BALSAMO, G. et al., 2013. Floods in Central Europe in June 2013. *ECMWF Newsletter*, No 136 – Summer 2013, s. 9–11.
- [2] BLUESTAIN, H. B., 1992. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. New York, Oxford University Press 1992.
- [3] AMBAUM, M., HOSKINS, B., STEPHENSON, D., 2001. Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation? *Journal of Climate – American Meteorological Society*. Vol. 14, Issue 16, s. 3495–3507
- [4] BRÁDKA, J., DŘEVIKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁR, J., 1961. Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. Praha: HMÚ 32 s.
- [5] PAVLÍK, J., SANDEV, M., 1997. Synoptické hodnocení povětrnostních situací v průběhu povodně v červenci 1997, 1997. *Meteorologické Zprávy*, ročník–50, č. 6, s. 164–171. ISSN 0026-1173.
- [6] Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002, 2002. Meteorologické příčiny katastrofální povodně v srpnu 2002 a vyhodnocení extremity příčinných srážek. *Dílčí zpráva*. Odpovědný řešitel SANDEV, M. Praha: Český hydrometeorologický ústav, s. 7–33.
- [7] Zpráva o hydrologické situaci v povodí Odry a horní Moravy v období od 24. 8–25. 8. 2005, 2005. *Interní zpráva*. ČHMÚ, Ostrava.
- [8] Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky, 2010. Meteorologické příčiny povodní. 2010. *Dílčí zpráva*. Odpovědný řešitel SANDEV, M. Praha: Český hydrometeorologický ústav.
- [9] DAŇHELKA, J., KUBAT, J., ŠERCL, P., 2012. Povodně v České republice v roce 2010. Praha ČHMÚ. s. 10–17. ISBN 978-80-87577-04-2.
- [10] ČEKAL, R., ŠRÁMEK, J., ELLEDER, L., VÍZNEROVÁ, A., 2011. Zpráva o povodni v červenci 2011. *Interní zpráva*. Praha: ČHMÚ. s. 2–14.
- [11] GOMIS, D., SERGIO, A., 1990 Diagnosis of a Cyclogenetic Event in the Western Mediterranean Using an Objective Technique for Scale Separation. *Mon. Wea. Rev.*, 118, s. 723–736.
- [12] URS, A., CHRISTOPH, S., 1998. Low-Level Potential Vorticity and Cyclogenesis to the Lee of the Alps. Atmospheric Science ETH, Zurich, Switzerland. *Journal of the atmospheric sciences - American Meteorological Society*. Vol. 55. s. 186–207.
- [13] WIKIPEDIA, 2013. Jacob vanBebber [online]. [cit. 1. 12. 2013]. Dostupné z WWW: http://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Jacob_van_Bebber
- [14] COLES, S., 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values, Springer, London. ISBN 1-85233-459-2.
- [15] BURN, D.H., 1990. Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research* 26, s. 2257–2265.
- [16] GAÁL, L., KYSELÝ, J., 2009. Comparison of region-of-influence methods for estimating high quantiles of precipitation in a dense dataset in the Czech Republic. *Hydrology and Earth System Sciences* 13, s. 2203–2219, doi: 10.5194/hess-13-2203-2009.