

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Jakub RAJTMAJER

**HYDROMETEOROLOGICKÁ ANALÝZA
POVODNÍ V ČERVENCI 1954**

**HYDROMETEOROLOGICAL ANALYSIS OF
FLOODING IN JULY 1954**

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Praha, 2016

Zadání diplomové práce

Název práce

Hydrometeorologická analýza povodní v červenci 1954

Cíle práce

Motivací práce je dosavadní mezera v souboru hydrometeorologických analýz významných povodní, které v minulosti zasáhly území České republiky. Zatímco starším i nedávným událostem byly věnovány obsáhlé studie a totéž platí i pro případ z roku 1954 v Německu, v české literatuře zůstala tato povodeň opominuta. Cílem práce je komplexní analýza události z pohledu tzv. hydrometeorologického kontinua, tedy předběžných podmínek, příčinné meteorologické situace a srážek, hydrologické odezvy a následků, a to nejen v rámci území dnešní České republiky, nýbrž v celkovém středoevropském kontextu.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Zájmovým územím je část střední Evropy zasažená povodní v červenci 1954, tedy především povodí Labe a horní část povodí Dunaje. Meteorologické podmínky budou hodnoceny kvalitativně pomocí přízemních a výškových synoptických map, dále pak kvantitativně prostřednictvím anomálií vybraných veličin v reanalýzách NCEP/NCAR. Předchozí i příčinné srážky budou studovány pomocí denních úhrnů ze srážkoměrných stanic. Nasycenost povodí bude vyjádřena indexem API30, extremita srážek indexem WEI. Průběh povodně bude rekonstruován na základě průměrných denních průtoků z databáze GRDC a ČHMÚ.

Datum zadání: 24. ledna 2014

Jméno studenta: Bc. Jakub Rajtmajer

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Jsem si vědom toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 25. dubna 2016

Bc. Jakub RAJTMAJER

Poděkování

Na prvním místě děkuji svému školiteli a vedoucímu této diplomové práce, panu RNDr. Miloslavu Müllerovi, Ph.D., za veškerou jeho pomoc, vstřícnost, konzultace a čas, který mi věnoval. Díky za jeho neochvějnou víru...

Dále připojuji poděkování všem, kteří mi jakkoli pomohli na cestě k dokončení této práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá hodnocením povodní v červenci 1954 v celkovém střeoevropském kontextu. Předkládá komplexní analýzu události z hydrometeorologického pohledu v povodí Labe po Magdeburg, Dunaje po Vídeň a Mohanu po Würzburg. Meteorologickou situaci hodnotí na základě synoptického vývoje a rozboru anomálií meteorologických prvků. Nejkrajnějších denních hodnot vzhledem k období 1951 – 2010 dosahuje vertikální rychlost a meridionální tok vlhkosti. Předběžné podmínky v povodí jsou vyhodnoceny na základě indexu API_{30} , který nabývá v den D nejvyšších hodnot v oblasti Alp a Novohradských hor. Srovnáním s povodněmi z let 2002 a 2013 je zjištěno, že nasycenost nedosahovala mimořádného stavu. Příčinné srážky dosahují nezvykle vysokých úhrnů, v rámci Německa dosud nepřekonaných vícedenních extrémů. Na území ČR je jejich extremita vyhodnocena na základě indexu WEI, jenž je ztotožněn s třídním srážkovým úhrnem. WEI z července 1954 zaostává za třídním hodnotou WEI ze srpna 2002, avšak přesahuje WEI pro pětidenní srážkové úhrny v červnu 2013. Kombinací relativně menší nasycenosti a enormních srážkových úhrnů jsou vysoké vodní stavy a průtoky se značnou dobou opakování. Na většině území však lehce zaostávají za roky 2002 a 2013.

klíčová slova: povodeň, střední Evropa, červenec 1954, API_{30} , WEI, synoptická situace, srážky, průtok

Abstract

The work deals with the flooding in July 1954 in Central Europe. It presents a complex analysis of this event in a general view of hydrometeorological conditions in the upper river basins of Labe (Elbe), Danube and Main. The meteorological situation is analyzed by the synoptic pattern development and by large-scale anomalies of dynamic and thermodynamic variables in comparison with distribution within the period 1951 – 2010. Extreme values found out during this event are those of meridional flux of moisture and vertical velocity in p-system. Moisture conditions in the catchment are described by the Antecedent Precipitation Index (API30), which reaches the highest value in Alps and the Novohradske hory Mts. However initial wetness level is not so high when compared to the 2002 and 2013 floods. Extraordinary high precipitation totals are the highest historic values of 3-days maxima and one month maxima ever recorded in Germany. In the Czech Republic, the precipitation extremity was evaluated by the Weather Extremity Index, for the 1954 flood corresponding to the 3-days sum. Comparing the WEI values, it exceeded the WEI in June 2013, but didn't reach the value of the exceptional flooding in 2002. Heavy precipitation caused notable water levels with high return periods. Due to relatively lower antecedent saturation, majority of studied area gain slightly weaker peak flood discharges than during 2002 and 2013 floods.

key words: flood, Central Europe, July 1954, API30, WEI, synoptic situation, precipitation, flood discharge

1	ÚVOD.....	13
2	ÚZEMÍ ZASAŽENÉ POVODNÍ V ČERVENCI 1954 A JEHO CHARAKTERISTIKA.....	15
2.1	Zájmové území.....	15
2.2	Charakteristika povrchu a podloží.....	16
2.3	Klimatologická a hydrologická charakteristika území	20
3	PROBLEMATIKA DEŠŤOVÝCH POVODNÍ V ZASAŽENÉ OBLASTI	25
3.1	Povodně a jejich druhy.....	25
3.2	Synoptické podmínky silných srážek.....	25
3.2.1	Cyklony a jejich dráhy.....	27
3.2.2	Anomálie meteorologických polí	30
3.2.3	Vliv orografie	32
3.3	Sezonalita povodní v oblasti.....	34
3.4	Silné srážky.....	35
3.5	Hydrologická odezva.....	38
4	DATA A METODY	42
4.1	Použitá data a jejich zdroje	42
4.1.1	Synoptická data.....	42
4.1.2	Srážková a hydrologická data.....	43
4.2	Metodika.....	44
4.2.1	Synoptická data.....	44
4.2.2	Srážková a hydrologická data.....	45
5	ANALÝZA POVODNĚ Z ČERVENCE 1954	47
5.1	Synoptické podmínky	47
5.1.1	Synoptické podmínky na začátku července 1954.....	47
5.1.2	Synoptické podmínky během příčinných srážek.....	49
5.2	Nasycenost povodí.....	58
5.3	Příčinné srážky.....	60
5.4	Hydrologická odezva.....	68
5.4.1	Povodí Dunaje.....	68
5.4.2	Povodí Labe a Mohanu	73
5.5	Následky povodní.....	75
5.6	Extremita	80

5.6.1	Extremita srážek.....	80
5.6.2	Extremita povodní	83
6	SROVNÁNÍ S OSTATNÍMI POVODNĚMI	85
7	DISKUZE	92
8	ZÁVĚR.....	97

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Vymezení zájmového území.	16
Obr. 2.2: Nadmořská výška zájmového území (v m n. m.).	17
Obr. 2.3: Průměrný sklon povrchu zájmového území (ve °)	18
Obr. 2.4: Hydrogeologie zájmového území.	19
Obr. 2.5: Půdní druhy ve vybraných státech Evropy dle klasifikace USDA.	20
Obr. 2.6: Průměrná roční teplota vzduchu (ve °C, část a) a průměrný roční úhrn srážek (v mm, část b) v zájmovém území.	21
Obr. 2.7: Klimadiagramy stanic Würzburg a Sněžka.	22
Obr. 2.8: Klimadiagramy stanic Wendelstein a Sankt Pölten.	23
Obr. 3.1: Trajektorie cyklon (šrafovaně) a poloha kvazistacionárních cyklon (tečkovaně), s nimiž byl spojen výskyt srážek ≥ 150 mm na území ČR v období 1879 – 2000.	28
Obr. 3.2: Průměrná velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro 14 největších letních povodní v České republice v letech 1958–2002.	31
Obr. 3.3: Rozložení stanic s denním úhrnem srážek ≥ 150 mm na území České republiky v období 1879 – 2003.	36
Obr. 3.4: Pravděpodobná denní maximální srážka dle Hershfielda pro Rakousko.	38
Obr. 4.1: Hodnoty Eta vypočtené pro srážkové úhrny pro různá časová okna 1. – 3. července 1954.	46
Obr. 5.1: Synoptická situace 1. – 3. července 1954 nad Evropou.	48
Obr. 5.2: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 500 hPa 5. – 7. července 1954 (D-2 až D).	49
Obr. 5.3: Synoptická situace 6. – 8. července 1954 nad Evropou.	51
Obr. 5.4: Synoptická situace 8. – 10. července 1954 nad Evropou.	52
Obr. 5.5: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 850 hPa 7. – 10. července 1954 (D až D+3).	53
Obr. 5.6: Velikost zonální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 850 hPa 8. a 9. července 1954 (D+1 a D+2).	53
Obr. 5.7: Geopotenciální výška hladiny 850 hPa vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce 8. – 12. července 1954 (D+1 až D+5).	54
Obr. 5.8: Vertikální rychlost vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce v hladině 850 hPa 7. – 9. července 1954 (D až D+2).	55
Obr. 5.9: Absolutní topografie a relativní vlhkost vzduchu v hladině 700 hPa 8. – 12. července 1954 nad Evropou.	57

Obr. 5.10: Nasycenost povodí v červenci 1954 vyjádřená pomocí indexu API30 (v mm).	58
Obr. 5.11: Denní srážkové úhrny na začátku července 1954 (v mm).	64
Obr. 5.12: Denní srážkové úhrny (v mm) 7. července 1954.	61
Obr. 5.13: Denní srážkové úhrny (v mm) 8. července 1954.	62
Obr. 5.14: Denní srážkové úhrny (v mm) 9. července 1954.	63
Obr. 5.15: Denní srážkové úhrny (v mm) 10. července 1954.	64
Obr. 5.16: Denní srážkové úhrny (v mm) 11. července 1954.	65
Obr. 5.17: Hodinové srážkové úhrny v povodí Dunaje za období 7. – 11. července 1954.	66
Obr. 5.18: Vývoj nasycenosti povodí v červenci 1954 během příčinných srážek vyjádřená pomocí indexu API30 (v mm).	67
Obr. 5.19: Průtoky na tocích povodí Dunaje po Vídeň za období 1. – 25. července 1954.	71
Obr. 5.21: Časový průběh kulminací v povodí řeky Mulde.	74
Obr. 5.22: Zatopení Schärdingu 10. července 1954.	76
Obr. 5.23: Zatopení města Linz 11. července 1954.	77
Obr. 5.24: Postupové doby povodňových vln u vybraných povodní na rakouském Dunaji.	78
Obr. 5.25: Povodeň v Písku 10. července 1954.	79
Obr. 5.26: Povodeň ve městě Leipzig.	80
Obr. 5.27: Doba opakování pro srážkové úhrny v ČR při první srážkové epizodě července 1954.	81
Obr. 5.28: Doba opakování pro srážkové úhrny v ČR při druhé srážkové epizodě července 1954.	81
Obr. 5.29: Maximální hodnoty Eta vypočtené pro srážkové úhrny pro různá časová okna 7. – 11. července 1954 s vyznačením WEI.	83
Obr. 5.30: Povodí zasažená povodní z července 1954 v Německu.	84
Obr. 6.1: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 500 hPa.	86
Obr. 6.2: Srovnání API30 v Německu pro červen 2013 (vlevo), srpen 2002 (uprostřed) a červenec 1954 (vpravo).	87
Obr. 6.3: Maximální třídní srážkové úhrny (v mm, část a) a jejich n-letost (část b) v Německu pro červen 2013 (vlevo), srpen 2002 (uprostřed) a červenec 1954 (vpravo).	89
Obr. 6.4: Kulminační průtoky při různých dešťových povodních na stanicích Čech.	91
Obr. 7.1: Přízemní tlakové pole ve střední Evropě pro různé povodňové události.	93
Obr. 7.2: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 850 hPa.	94

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Parametry hlavních povodí.	24
Tab. 3.1: Sezonalita povodní na českém území překračujících dvouletý kulminační průtok.	34
Tab. 5.1: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí Dunaje po Passau v období 3. – 5. července 1954 a 8. – 15. července 1954.	69
Tab. 5.2: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí toku Inn v období 3. – 5. července 1954 a 8. – 15. července 1954.	69
Tab. 5.3: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí Dunaje od Passau po Vídeň v období 3. – 5. července 1954 a 8. – 15. července 1954.	72
Tab. 5.4: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí Labe od Děčína po Barby a na Mohanu v období 8. – 15. července 1954.	75
Tab. 6.1: Maximální hodnoty Eta vypočtené pro srážkové úhrny pro různá časová okna v červenci 1954.	90

Seznam použitých zkratk

API ₃₀	ukazatel předchozích srážek
BfG	Spolkový úřad pro hydrologii (Německo)
BMLFUW	Ministerstvo zemědělství, lesnictví, životního prostředí a vodních zdrojů (Rakousko)
CCM 2	Charakteristika a modelování povodí (v rámci společného výzkumného střediska Evropské Unie)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	Česká státní norma
DWD	Německá povětrnostní služba
FQU500	zonální složka toku vlhkosti v hladině 500 hPa
FQU850	zonální složka toku vlhkosti v hladině 850 hPa
FQV500	meridionální složka toku vlhkosti v hladině 500 hPa
FQV850	meridionální složka toku vlhkosti v hladině 850 hPa
GRDC	Mezinárodní databáze průtoků (Global Runoff Data Centre)
HMÚ	Hydrometeorologický ústav
HWRP	Program pro hydrologii a vodní zdroje (v rámci Světové meteorologické organizace)
IDW	interpolační metoda (Inverse Distance Weighing)

IHME	hydrogeologická mapa Evropy (Internationale Hydrogeologische Karte von Europa)
MKOL	Mezinárodní komise pro ochranu Labe
MŽP	Ministerstvo životního prostředí České republiky
NCAR	Národní centrum pro výzkum atmosféry (National Center for Atmospheric Research)
NCEP	Národní centrum pro vývoj životního prostředí (National Centers for Environmental Prediction)
PMP	pravděpodobný maximální srážkový úhrn
PMPH	pravděpodobný maximální srážkový úhrn (dle Hershfielda)
Q_d	průměrný denní průtok
Q_k	kulminační průtok
Q_n	průtok s dobou opakování n let
R_d	denní úhrn srážek
R_n	n-denní úhrn srážek
R_h	hodinový úhrn srážek
SEČ	středoevropský čas
ÚFA AVČR	Ústav fyziky atmosféry Akademie věd České republiky
USDA	Ministerstvo zemědělství USA (United States Department of Agriculture)
UTC	koordinovaný světový čas
W850	vertikální rychlost v p-systému v hladině 850 hPa
WEI	index extremity počasí (Weather Extremity Index)
WMO	Světová meteorologická organizace (World Meteorological Organization)
Z850	geopotenciální výška hladiny 850 hPa

1 ÚVOD

V souvislosti s výskytem tří letních katastrofálních povodní na území České republiky v posledních dvaceti letech se zvýšil zájem veřejnosti o tento extrémní přírodní proces. Již na konci 90. let upozorňoval Cílek (1999) na zvýšenou pravděpodobnost výskytu velké povodně v následujících 10 až 20 letech v Praze. Bohužel v letech 2002 a 2013 opravdu zasáhly Čechy dvě velké, na mnoha profilech sto i víceleté povodně, jež zanechaly své stopy také v okolních státech střední Evropy. Zmiňované události jsou z hlediska české hydrometeorologie dostatečně probádány (např. zprávy o povodňových situacích ČHMÚ a podniků povodí), stejně tak jako největší letní povodně 19. století - 1872, 1890, 1897 (Müller, 2007).

Povodně v roce 1954 měly podobný rozsah i podobný průběh a řadí se k významným katastrofám středoevropského regionu, avšak jejich rozbor zde chybí. Možná proto je jen s podivem, že největší letní povodeň 20. století na Vltavě v Praze nebyla v české odborné literatuře detailněji zpracována. I když studovat a objasňovat fakt, že neporučíme větru dešti, bylo v polovině 50. let politicky nežádoucí. *„Již samotná nádrž ve Slapech, jak se ukázalo při červencové povodni 1954, způsobuje znatelné, byť i krátkodobé změny poměrů vodnosti. Účinek dalších nádrží, hlavně pak účinek Orlíku a Lipna, bude ještě daleko výraznější. Opravdu změníme přírodu!“* (Novotný, 1963, s. 45).

Předkládaná práce se tudíž soustředí nejen na chybějící rozbor povodně z července 1954 na území ČR, hodnotí je i v dalších nejvíce zasažených povodích. Vymezené studované území je následující: povodí Dunaje po Vídeň, povodí Labe po soutok se Saale u Magdeburgu a povodí Mohanu po Würzburg.

Jedním z mnoha společných rysů největších dešťových povodní je, že se vyskytují dvě povodňové vlny v řádu několika dní. Během prvních tří červencových dnů roku 1954 postupovala srážkově aktivní středomořská cyklona ze severní Itálie na sever a dále nad Baltské moře, čímž nasýtila povodí Dunaje a Vltavy za vzniku první menší kulminace. Další tlaková níže již zavinila výrazné vzednutí hladin toků ve středoevropských zemích. Z oblasti Janova se od 7. července jen zvolna přesouvala nad střední Evropu, jelikož jí v postupu bránila stacionární tlaková výše nad severovýchodní Evropou. Teprve v průběhu 11. a 12. července se dostává retrográdním pohybem tlakový útvar nad Německo, aby následně směřoval nad Dánsko. Po dobu pěti dnů byly příhodné podmínky pro silné srážky v oblasti střední Evropy, které zapříčinily větší hydrologickou odezvu v nasyceném povodí a výrazné škody.

V práci se nejdříve zaměříme na vymezení a charakteristiku zasaženého území. Následuje shrnutí znalostí o problematice dešťových povodní, jejich druzích a sezonalitě. Důležitou roli hraje rozbor synoptických podmínek vhodných pro vznik silných srážek, samozřejmě popis silných srážek a ovlivnění průtoků vzhledem k předchozí nasycenosti povodí. Poté představíme použitá data a metody zpracování. Hlavním bodem celé práce je rozbor povodňových událostí z července 1954 a srovnání s podobnými případy před konečnou diskuzí a závěrem.

2 ÚZEMÍ ZASAŽENÉ POVODNÍ V ČERVENCI 1954 A JEHO CHARAKTERISTIKA

V kapitole vymezíme zájmové území a popíšeme jej z hlediska fyzicko-geografických charakteristik důležitých pro vznik a vývoj povodně. Klimatologie oblasti je zcela jasně důležitým aspektem, stejně jako nadmořská výška a další geomorfologické charakteristiky. Přiblížíme také jednotlivé hydrografické ukazatele a neopomeneme ani horninové podloží a půdní pokryv. Jelikož je území vcelku rozlehlé a jeho stavba složitá, musíme se spokojit s určitou generalizací popisu. Spíše se zaměříme na lokální odlišnosti, aby byl zřejmý rozdílný vliv na hydrometeorologický vývoj události v dílčích částech.

Obecně můžeme říci, že se všechny prvky fyzicko-geografického systému navzájem ovlivňují. Z faktorů neměnných v krátkém časovém období jsou pro povodně nejpodstatnější nadmořská výška, klimatické podmínky, plocha povodí, jeho tvar, uspořádání říční sítě, vertikální členitost, převládající orientace svahů, tvar údolí, charakter podloží a půdního pokryvu (Müller, 2007). Zaměříme se postupně na tyto jednotlivé faktory.

2.1 Zájmové území

Při vymezení území jsme brali v potaz především zasažení srážkami. Povodí Dunaje jsme omezili na horní tok v Německu a Rakousku závěrovým profilem ve Vídni, tedy bez malé části povodí řeky Inn na území Švýcarska. Zvýšení hladiny se projevilo i dále po směru toku. V Bratislavě se vyskytl 2. nejvyšší vodní stav od poloviny 19. století (Munzar et al., 2006). Jelikož přítok z povodí Moravy a příčinné srážky zde byly z hlediska povodně na Dunaji zanedbatelné (Glasel, 1955), jednalo se o postup povodňové vlny horní části Dunaje bez většího navýšení. Podle rozboru Uhlemann et al. (2010) jsme omezili z obdobných důvodů povodí Labe soutokem s řekou Saale před Magdeburgem a zahrnuli zároveň i povodí horního Mohanu po Würzburg (viz obr. 2.1). Tím pádem čítá celková rozloha 213816 km².



Obr. 2.1: Vymezení zájmového území. Zdroj dat (<https://maps.arcgis.com/>).

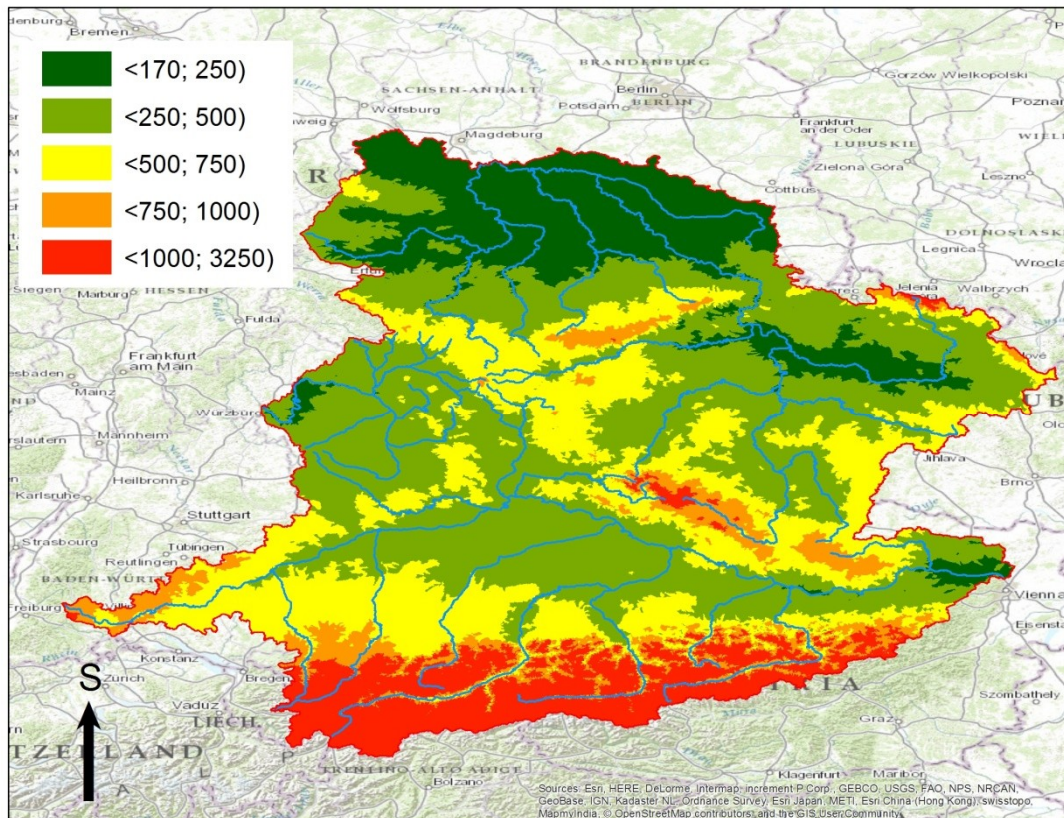
Král (1999) klade hranici mezi Hercynskou střední Evropou a Alpsko-karpatským systémem na tok Dunaje. To pro naše účely není nejvhodnější, proto si rozdělíme zkoumané území na dvě části jiným způsobem (viz obr. 2.1). Povodí Dunaje označíme jako jižní část (101202 km²), do severní zahrneme společně povodí Labe a Mohanu (112614 km²). Vymezené území dosahuje největší šířky mezi městy Donaueschingen a Vídeň, zhruba 600 km, obdobně velkých rozměrů i v poledníkovém směru na úrovni Magdeburg – Innsbruck.

2.2 Charakteristika povrchu a podloží

Nadmožská výška je prvkem, který má přímý vliv na další charakteristiky (geomorfologie, klimatologie i hydrologie), popíšeme ji tedy jako první. V podstatě všechny faktory jsou tedy přímo nebo nepřímo podmíněny nadmožskou výškou, čímž značně ovlivňuje povodně, především průtokové parametry. Následkem nižšího výparu a vyšších srážkových úhrnů se s rostoucí nadmožskou výškou zvyšuje i specifický odtok (MKOL, 2004). Ve vyšších polohách se také akumuluje více srážek ve formě sněhu, které mohou přispět ke zvýšení nebo snížení průtoků.

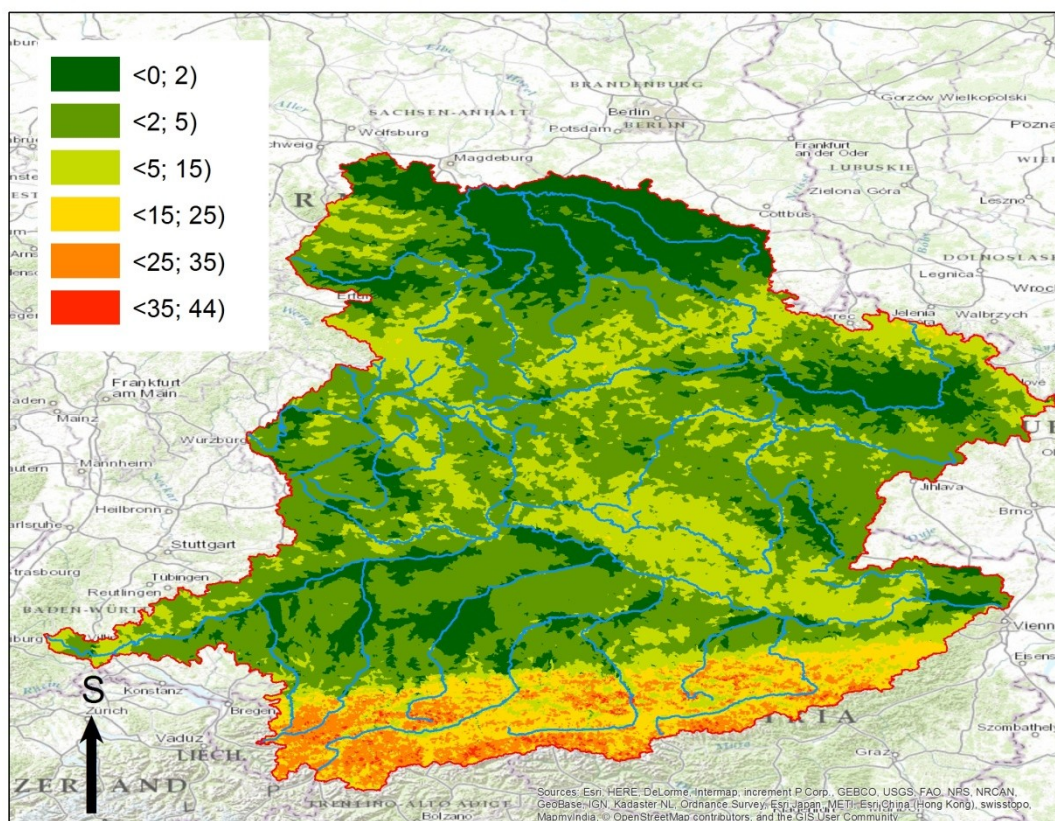
Nejvyšším bodem je Grossglockner (3798 m n. m.) ve Vysokých Taurách na rozvodí Dunaje a Drávy, nejnižším údolí Labe u soutoku se Saale (47 m n. m.).

Průměrná nadmořská výška celé oblasti je 960 m n. m. (viz obr. 2.2), při hodnocení severní části se dostaneme k hodnotě 428 m n. m. oproti 1186 m n. m. v povodí Dunaje. Data využitá pro následující obrázky (obr. 2.2 – obr. 2.6) pocházejí z databáze CCM 2, jež nabízí hodnoty vypočítané pro různě velká povodí o průměrné rozloze 6 km².



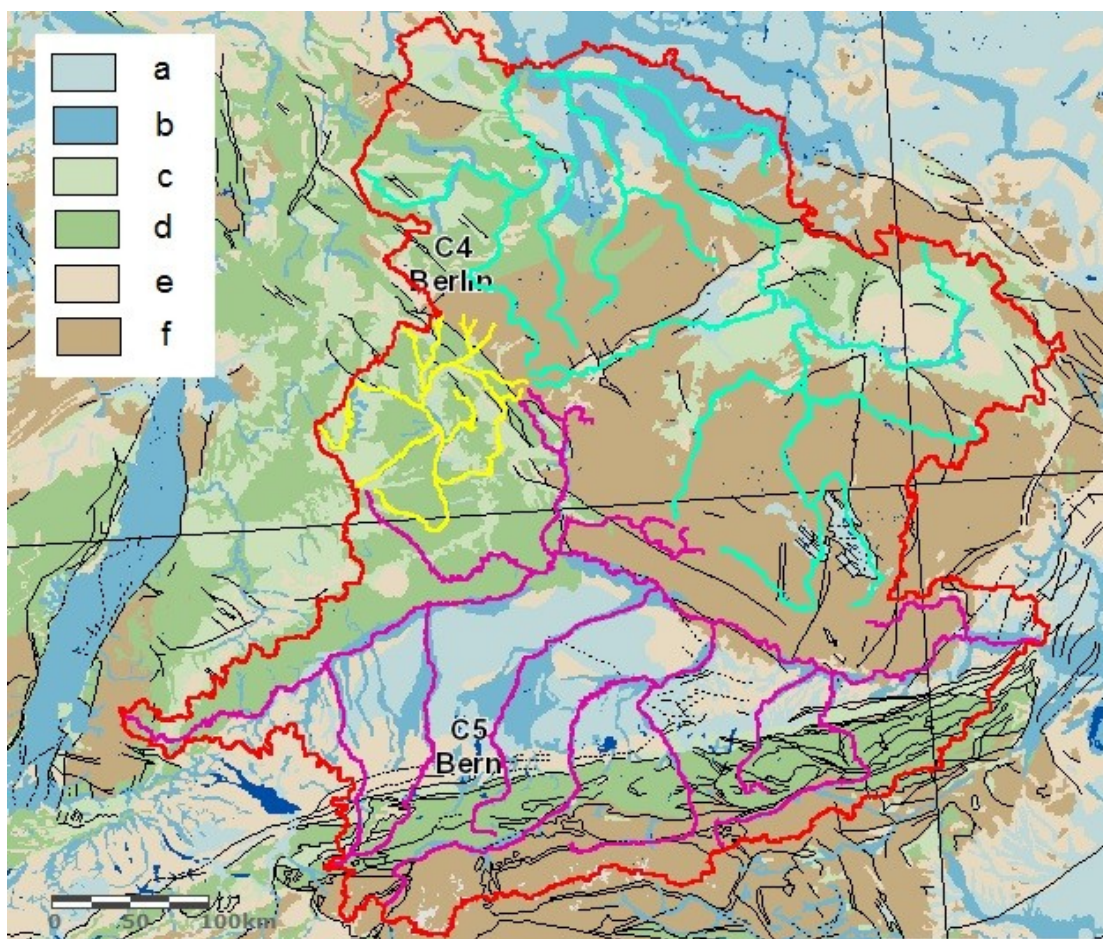
Obr. 2.2: Nadmořská výška zájmového území (v m n. m.). Zdroj dat (CCM 2; <https://maps.arcgis.com/>).

Pro popis geomorfologie můžeme využít průměrný sklon (obr. 2.3) a nadmořskou výšku (viz obr. 2.2), které poskytnou rámcový obraz o charakteru povrchu. Roviny (sklon do 2°) se vyskytují v oblastech do 200 m n. m. Mírně sklonité plochy (2° – 5°) se zhruba shodují s oblastmi do 500 m n. m. Značně skloněné plochy (5° – 15°) kopírují oblasti od 500 do 1000 m n. m. Sklonitost nad 15° se prakticky nevyskytuje v polohách do 1000 m n. m. a území o sklonu přesahujícím 35° se nalézá jen v Alpách.



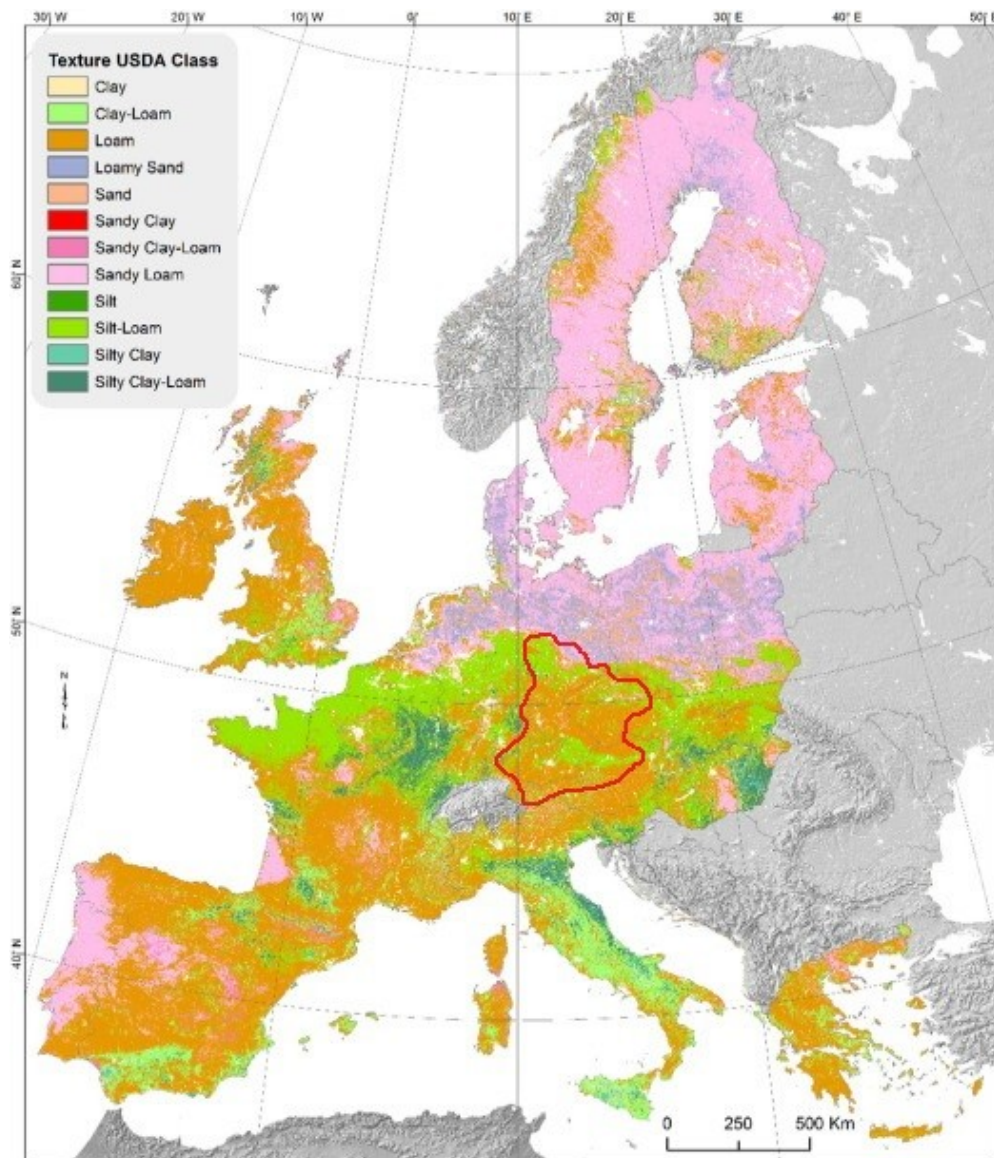
Obr. 2.3: Průměrný sklon povrchu zájmového území (ve °). Zdroj dat (CCM 2; <https://maps.arcgis.com/>).

Charakter horninového podloží a podzemních vod ukazuje obr. 2.4. Modré odstíny podkladové mapy (a, b) symbolizují podzemní vody v propustných pórovitých vrstvách a zelené odstíny v puklinových vrstvách a krasových oblastech (c, d), přičemž tmavší barva určuje produktivnější vrstvy. Světlehnědá (e) zobrazuje oblasti lokálních, limitovaných zvodněných vrstev a tmavohnědá (f) označuje prakticky nezvodněný podklad. Fialově jsou zobrazeny hlavní řeky v povodí Dunaje, žlutě v povodí Mohanu a tyrkysově v povodí Labe, tenké černé linie symbolizují tektonické zlomy. V severní oblasti převládá nezvodněný podklad (většinou metamorfované horniny Českého masivu) s vložkami puklinových a krasových hornin (vápenců a pískovců – Česká tabule, Švábská a Francká Alba). Severoněmecká nížina částečně zasahuje na sever vymezeného území hlavně čtvrtohorními propustnými sedimenty (Král, 1999). Povodí Dunaje je zcela zřetelně rozděleno pásovitě vlivem Alpínské orogenetické činnosti – nejsevernější pás propustných hornin na úpatí Alp (Alpská předhlubeň) byl vyplněn druhohorními mořskými nánosy a čtvrtohorními glaciálními sedimenty, tedy horninami značně propustnými, na něž navazuje pásmo krasové s významnými zásobami podzemních vod. Centrální krystalické pásmo Alp je oproti tomu tvořeno nezvodněnými plutony a metamorfity (Král, 1999).



Obr. 2.4: Hydrogeologie zájmového území. Popis viz text. Zdroj dat (IHME 1500; <https://maps.arcgis.com/>; CCM 2).

Pro hodnocení půdního pokryvu využijeme dělení na půdní druhy, které je založeno na procentuálním poměru zastoupení různých zrnitostních frakcí – písku, siltu a jílu (Matějček, 2007). Pro účely rozboru povodní je tato půdní vlastnost nejdůležitější, jelikož velikost zrna rozhoduje o schopnosti vsaku a zadržování vody v půdě. Na obr. 2.5 je vyobrazeno rozložení lehkých půd (Silt, Silt-Loam, Sandy Loam, Loamy Sand, Sand), středně těžkých (Silty Clay, Silty Clay-Loam, Clay-Loam, Loam, Sandy Clay, Sandy Clay-Loam) a těžkých (Clay). Ve zkoumaném území převažují dva půdní druhy (Loam a Silt-Loam), doplněné malými oblastmi Sandy Loam. Půdy lehké (Silt-Loam – prachovitá hlína, Sandy Loam – písčitá hlína) jsou tvořeny hlavně pískovými a prachovými zrny, voda se vsakuje lehce, avšak mají špatnou schopnost zadržovat vodu. Půdy středně těžké (Loam – hlinitá půda) jsou tvořeny menšími zrny s dobrou mírou vsaku i jímavosti vody. Můžeme si povšimnout, že těžké jílovité půdy se špatnou mírou propustnosti vody se ve zkoumaném území téměř nenalézají.

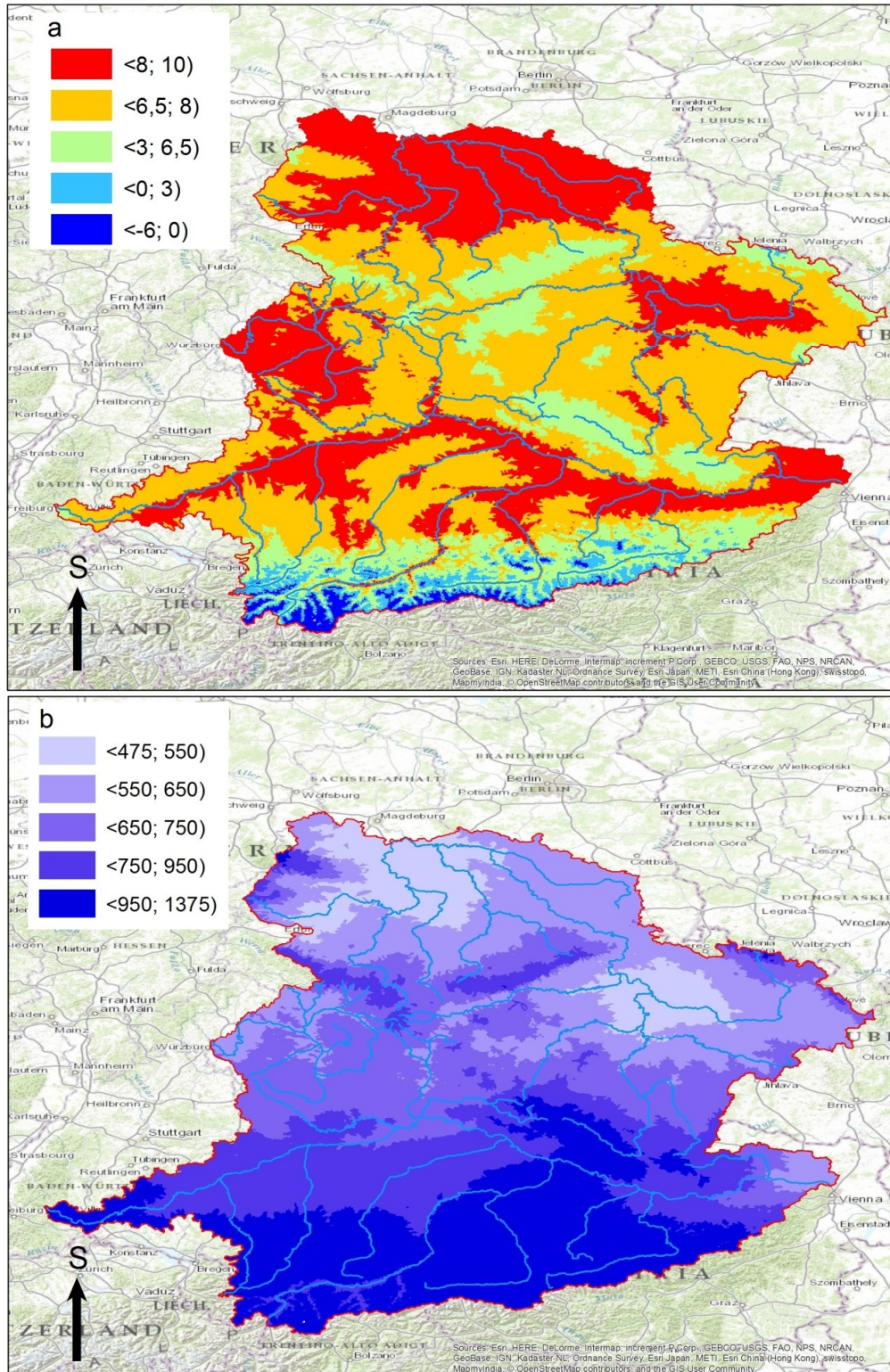


Obr. 2.5: Půdní druhy ve vybraných státech Evropy dle klasifikace USDA. Upraveno podle (Ballabio et al., 2016).

2.3 Klimatologická a hydrologická charakteristika území

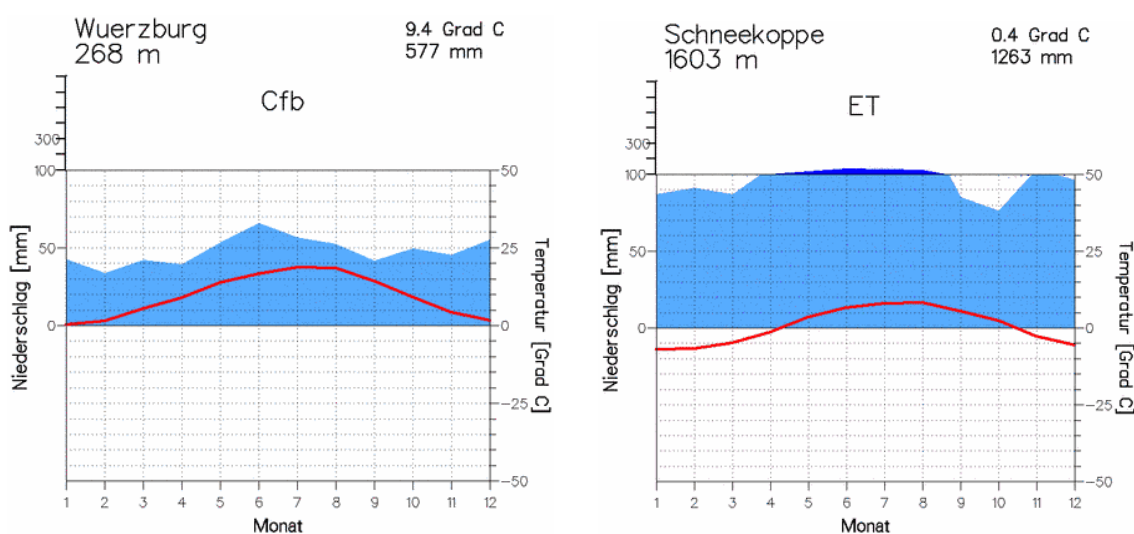
Klimatologie celé oblasti se vyznačuje pozvolným přechodem ve směru západ-východ od oceánických ke kontinentálním rysům. Srážky a teplota vzduchu se značně liší v závislosti na nadmořské výšce a tvaru reliéfu, přičemž izohyety a izotermy zhruba kopírují vrstevnice (Král, 1999). Nižší nadmořské výšky mají spíše kontinentální charakter (větší amplitudy teplot, méně srážek), naopak hory projevují oceánické rysy (teploty vyrovnanější s nárůstem srážkových úhrnů). Většina území náleží dle klasifikace Köppen-Geiger do mírného dešťového celoročně vlhkého (Cf) a vlhkého boreálního podnebí (Df), v případě vrcholových partií hor do podnebí tundry (ET) (Kottek et al., 2006).

Obr. 2.6 zobrazuje průměrnou roční teplotu vzduchu a průměrné roční úhrny srážek. Především teplota je ovlivněna nadmořskou výškou (srovnej s obr. 2.2), v případě ročních úhrnů srážek hraje dosti podstatnou roli i převládající směr proudění, orografické zesílení a srážkový stín.



Obr. 2.6: Průměrná roční teplota vzduchu (ve °C, část a) a průměrný roční úhrn srážek (v mm, část b) v zájmovém území. Zdroj dat (CCM 2; <https://maps.arcgis.com/>).

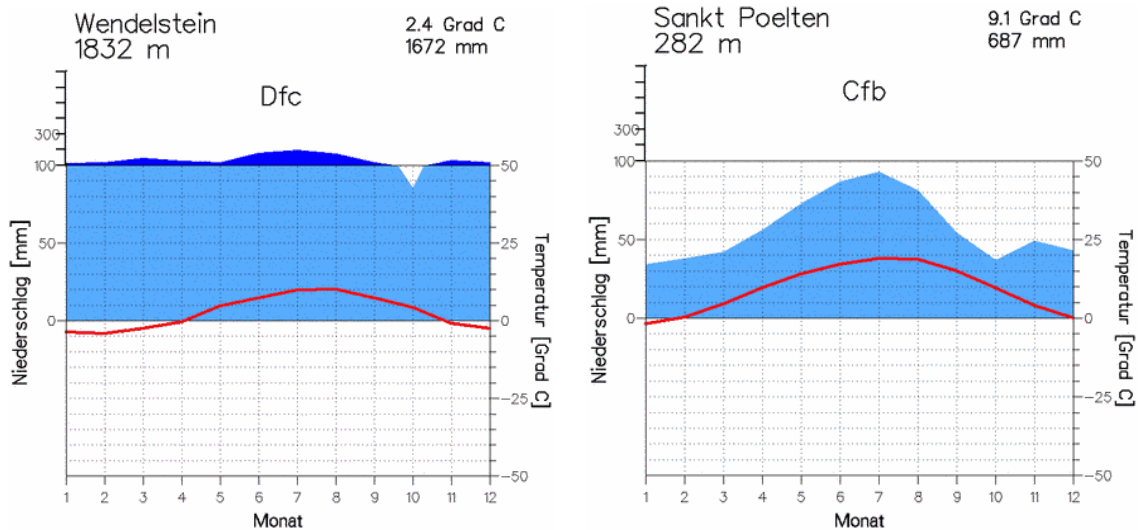
Jako příklad podnebí severní části uvádíme srovnání klimadiagramů dvou míst nacházejících se zhruba na stejné rovnoběžce v rozdílné nadmořské výšce. Levá část obr. 2.7 ukazuje klimadiagram pro Würzburg (nebo Wuerzburg), nejzápadnější město povodí Mohanu v zájmovém území. Místo se nachází v oblasti teplého celoročně vlhkého oceánického podnebí, s průměrnými měsíčními srážkovými úhrny mezi 35 mm v únoru a 65 mm v červnu. Průměrná měsíční teplota vzduchu kolísá od 0 °C v lednu do 20 °C v červenci a srpnu. Naproti tomu Sněžka – Schneekoppe (obr. 2.7 vpravo) leží o 1350 m výše, což se projevuje jak na průměrných měsíčních srážkových úhrnech (minimum 75 mm se posouvá na říjen, maximum přibl. 180 mm je v červnu), tak u průměrné měsíční teploty vzduchu. Ta klesá v lednu k -5 °C, zatímco v červnu dosahuje téměř 10 °C, tedy o 15 °C méně než Würzburg.



Obr. 2.7: Klimadiagramy stanic Würzburg a Sněžka. Pod názvem stanice je nadmořská výška, písmeny uprostřed Köppen-Geigerova klimatologická klasifikace, v pravém horním rohu průměrná roční teplota v °C a průměrné roční srážky v mm. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé měsíce, hlavní osa y udává průměrné měsíční srážky v mm, vedlejší osa y průměrnou měsíční teplotu. Upraveno podle (www.klimadiagramme.de).

V jižní části zkoumaného území jsou lokální rozdíly v klimatologii větší, jelikož i celkový reliéf se značně liší – např. expozice svahů; směr horských hřebenů a údolí; kotlinová, svahová resp. výšková poloha. Pro teplotu vzduchu v horském terénu hraje významnou roli úhel dopadu slunečních paprsků. Král (1999) uvádí, že jižní svahy Alp dostávají 8 – 10krát více sluneční energie než svahy severní. Srážkové úhrny jsou ovlivněny reliéfem stejně podstatně jako teploty. Na návětrných svazích Alp se průměrné roční srážkové úhrny pohybují nad 3000 mm, v severním alpském podhůří neklesají pod 950 mm, jak je vidět na obr. 2.6. Pro ilustraci uvedeme srovnání stanic přibližně shodné zeměpisné šířky, avšak odlišné nadmořské výšky. Wendelstein (obr. 2.8 vlevo) se nachází na hranici Německa a Rakouska v nadmořské výšce 1892 m. Tím je dáno rozložení měsíčních průměrů srážkových úhrnů v rozmezí 85 – 200 mm

(s minimem v říjnu a maximem v červenci podobně jako u Sněžky). I rozložení průměrných měsíčních teplot vzduchu podmiňuje nadmořská výška (v lednu -5 °C, v červenci 10 °C). Klimadiagram města Sankt Pölten zobrazuje pravá část obr. 2.8, kde si můžeme povšimnout v případě průměrných měsíčních srážkových úhrnů dvojího minima 35 mm v lednu a říjnu, maximum o hodnotě 90 mm připadá na červenec. Teploty se v lednu dostávají lehce pod nulu, červencové maximum udává 20 °C.



Obr. 2.8: Klimadiagramy stanic Wendelstein a Sankt Pölten. Popis jako u obr. 2.7. Upraveno podle (www.klimadiagramme.de).

Plocha povodí se samozřejmě liší dle závěrových profilů. Povodí celého Dunaje ve zkoumaném území má výměr 101202 km², povodí Mohanu 14656 km² a Labe 97958 km². Zobrazení hydrometrických charakteristik těchto tří řek a jejich hlavních přítoků, řazených vždy po směru toku, je k dispozici v příloze č. 1. Příloha č. 2 tabulku doplňuje o hypsografické křivky vykreslené pro povodí Dunaje, Labe a Mohanu. Nyní uvedeme v tabulce č. 2.1 další hydrologické ukazatele tří hlavních povodí. Nejvyšší bod povodí je důležitý z hlediska dalších charakteristik, především převýšení povodí (Δh), jež udává rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším bodem povodí (zpravidla závěrovým profilem). Největšího převýšení dosahuje Dunaj. Je více než dvojnásobné oproti Labi a čtyřnásobné oproti Mohanu. Tím pádem i sklon povodí (poměr mezi Δh a odmocninou z plochy povodí) pro Dunaj je vysoké. Sklon povodí v případě Mohanu je téměř o polovinu vyšší než u Labe, což však musíme dát do souvislosti s několikanásobně větší plochou povodí Labe. Koeficient reliéfu R_h , který se vypočítá dle vzorce:

$$R_h = \frac{\Delta h}{L_p} \quad (1)$$

kde Δh je převýšení povodí a L_p přímková vzdálenost mezi ústím a nejvzdálenějším bodem povodí, dokládá největší relativní členitost reliéfu Mohanu. Celková délka toků roste s velikostí povodí. Hustota říční sítě (poměr délky všech toků

k ploše povodí) vyjadřuje velikost povrchového odtoku a dle parametru je vyšší pro Dunaj a srovnatelná pro Labe s Mohanem. Je ovšem třeba vzít v úvahu, že velikost povrchového odtoku je dosti proměnlivá v závislosti na dalších faktorech. Klesá s rostoucí propustností podloží a stoupá s množstvím srážek a množstvím lesních porostů na povodí.

Tab. 2.1: Parametry hlavních povodí. Zdroj dat (MKOL, 2005; CCM 2; <https://www.wikipedia.org/>).

Povodí	nejvyšší bod povodí (m n. m.)	převýšení povodí (m)	sklon povodí (‰)	koeficient reliéfu Rh	délka toků (km)	hustota říční sítě (km/km²)
Dunaj	3798	3653	11.48	6.00	67579	0.67
Mohan	1051	884	7.30	6.14	7171	0.49
Labe	1603	1566	5.00	5.49	47926	0.49

Tvar údolí můžeme zhodnotit spíše teoreticky, přičemž v zájmovém území se vyskytují jak soutěsky a údolí ve tvaru „V“, tak i neckovitá údolí. Hlavní řeky severní části vytvářejí většinou hluboká a těsná údolí, především v úsecích průlomových (např. Porta Bohemica – vstup Labe do Českého středohoří, údolí Ohře mezi Doupovskými a Krušnými horami, průchod Tiché Orlice hřebenem Orlických hor), které se střídají se širokými praúdolními německých nížin (Král, 1999). Údolí Dunaje se také často mění vzhledem k velice pestrým oblastem toku a tvoří četné horské soutěsky, proráží vápencovou Švábsko Albu, protéká kaňony v Horním Rakousku. Šířka koryta je mezi 20 a 100 m nad Ulmem, před Vídní se řeka rozšiřuje až na 350 m.

3 PROBLEMATIKA DEŠŤOVÝCH POVODNÍ V ZASAŽENÉ OBLASTI

V této kapitole přistoupíme k popisu dešťových povodní ve vymezené oblasti. Rozdělena je do pěti částí. První podkapitola definuje a rozděluje povodně dle vzniku na sněhové, dešťové a smíšené, resp. na povodně zimní a letní, se zaměřením na dešťové povodně letního hydrologického půlroku. Druhá, stěžejní část je věnována synoptickým podmínkám vedoucím k silným srážkám a následným dešťovým povodním. Protože území zabírá plochu zhruba 450 x 450 km a jedná se o obsáhlejší problematiku, je složena ze tří dílčích částí – popis cyklon a jejich drah, meteorologických anomálií a orografických vlivů. Na tyto poznatky navazuje třetí podkapitola pojednávající o sezonalitě letních a zimních povodní. Čtvrtá a pátá podkapitola přímo navazují a rozvíjejí zjištěné poznatky rozbořem silných srážek, a to jak v historii zaznamenaných, tak i modelově vypočítaných. Kapitola je zakončena shrnutím poznatků o hydrologické odezvě (předchozí nasycenost povodí, postupové doby, antropogenní zásahy a vlivy přehradních nádrží).

3.1 Povodně a jejich druhy

Jako povodeň se označuje „*fáze hydrologického režimu vodního toku, vyznačující se náhlým, obvykle krátkodobým zvětšením průtoků a vodních stavů*“ (ČSN, 1983; s. 59). Příčinou povodní může být buďto prudké tání sněhové pokrývky anebo intenzivní deště, proto tato norma vyčleňuje tři různé typy povodní (sněhové, smíšené a dešťové). Ve střední Evropě se povodně sněhové i smíšené vyskytují převážně v zimních a jarních měsících, tudíž je označujeme zjednodušeně jako zimní.

My se zaměříme na dešťové povodně, vyskytující se převážně v letním půlroce (květen – říjen), v rámci nichž se dále vyčleňují dvě podskupiny. Povodně z přívalových dešťů jsou způsobené spíše lokálními přívalovými srážkami, zasahují jedno nebo několik dílčích povodí, povodňová vlna je rychlá, intenzivní a také objem průtokové vlny je menší. Povodně velkoprostorové naopak vznikají ze srážek trvalého charakteru (většinou vícedenní trvání, někdy i s obdobím bez deště), zasahují více povodí, povodňová vlna je z hlediska časového plošší (pomalejší nástup i pomalejší odezva) a celkový objem průtokové vlny je větší (Brázdil et al., 2005).

3.2 Synoptické podmínky silných srážek

Zjednodušené poznatky o vzniku silných srážek popisuje Kakos (2001), přičemž jednotlivé příčiny rozděluje na základě vzniku výstupných pohybů. Jsou to: konvekce,

fronty, cyklonalita a orografie. Termická konvekce probíhá ve formě pohybu jednotlivých vzduchových bublin, vynucená konvekce při přetékání orografických překážek. Příznakem je tvorba kupovité oblačnosti s výstupnými pohyby v řádu $m.s^{-1}$ až desítek $m.s^{-1}$ a trváním přívalových srážek přibližně do tří hodin (Řezáčová et al., 2007). Výstupné pohyby teplého vzduchu (v řádech $cm.s^{-1}$) na frontálním rozhraní jsou dvojího typu. Rozlišujeme studené fronty, kdy klín studeného vzduchu vytlačuje vzhůru vzduch teplejší, a teplé fronty, kde dochází k výkluzným pohybům teplého vzduchu po hmotě studeného vzduchu. Pro krátkodobé lijáky jsou určující přechody studených, často i zvlněných studených front, opakované srážky se vyskytují až do 100 km za frontálním rozhraním (Kakos, 2001). Cyklonalita je třetím faktorem, kdy dochází k uspořádaným výstupným pohybům (řádově $cm.s^{-1}$) v důsledku přízemní konvergence proudění. Tento vliv je zcela patrný v případě denních a vícedenních srážek, které vypadávají nad rozsáhlejšími územími hlavně z vrstevnaté oblačnosti (Řezáčová et al., 2007). Jednotlivé případy mohou být ještě dále zesíleny tzv. vnořenou konvektivní oblačností uvnitř nimbostratů, která se projevuje náhlým přechodným zesílením srážek (Kakos, 2001).

Extrémní srážkové úhrny můžeme dle rozdílného vzniku výstupných pohybů rozlišit do tří kategorií, na srážky s dobou trvání do 3 hodin, 3 – 18 hodin a srážky trvalého charakteru s dobou trvání nad 24 hodin (Kakos, 2001). Poslední zmíněnou kategorii popíšeme detailněji. Srážky jsou v tomto případě jen ojediněle doprovázeny bouřkami, mohou se vyskytnout v jakoukoliv denní dobu (začátek i zakončení srážek), z hlediska druhu oblaků jsou spojeny s nimbostraty, jen zcela výjimečně s kupovitou oblačností. Denní teploty před srážkami měříme mírně až silně podnormální, avšak změnu teplot před a po srážkách nelze určit. Nejvýznamnějším faktorem vzniku výstupných pohybů je cyklonalita ve spojení s orografickým zesílením srážek, v menším zastoupení se uplatňují výstupné pohyby na frontálním rozhraní a zcela ojediněle konvektivní pohyby (Kakos, 2001).

Obecnější shrnutí problematiky uvádí také Brázdil et al. (2005) tvrzením, že významné srážky trvalého charakteru jsou vázány na výrazné synoptické situace. Mezi nejdůležitější synoptické procesy zapříčiňující extrémní povodňové události na středoevropských řekách v posledních dvou dekadách (v letech 1997, 2002 a 2013) řadí publikace MŽP (2014) tyto:

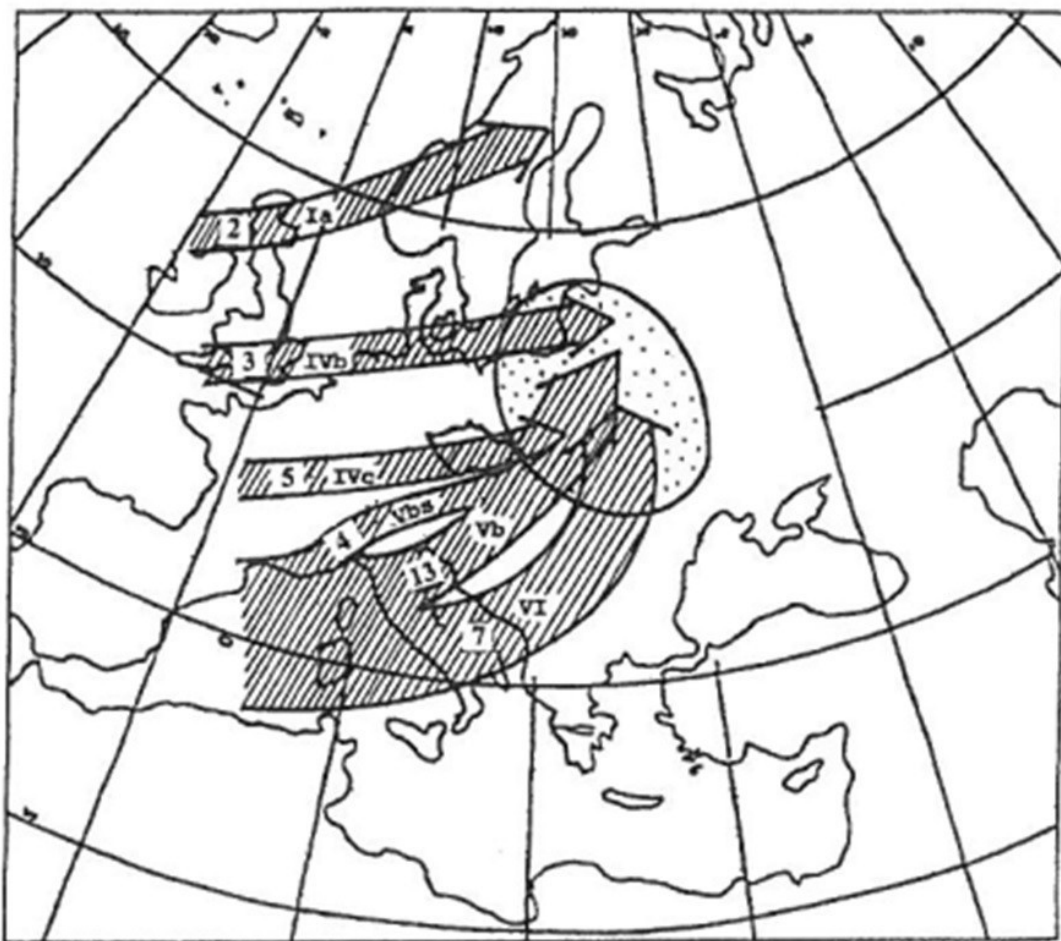
- konvergence vzduchu v přízemních vrstvách;
- střih větru mezi hladinami určujícími srážkotvorné procesy;
- směr a rychlost větru vůči orografickým překážkám;
- vývoj konvekčních (bouřkových) procesů, řetězový efekt;
- období trvání výše zmíněných procesů.

Navíc při povodňové události ve střední Evropě vzrůstá význam cyklonálních situací se zvětšující se plochou povodí (Buchtele, 1972). Nezanedbatelnou roli hraje rychlost a směr postupu cyklony, poloha s ní spojených frontálních rozhraní, stejně jako orografické zesílení srážek. Proto dále podrobněji popíšeme cyklony a jejich dráhy, anomálie meteorologických polí a orografické vlivy.

3.2.1 Cyklony a jejich dráhy

Trajektorie ukazuje na původ a postup cyklon. Díky tomu můžeme odlišit původ teplé vzduchové hmoty a směr, případně intenzitu vpádu studeného vzduchu v zadní části tlakové níže (Štekl et al., 2001). Již z konce 19. století (van Bebber, 1881) pocházejí schémata typických cyklonálních drah v Evropě. Jak uvádí Hanslian et al. (2000), oblast největšího vlivu cyklony a charakter vypadávajících srážek (především v týlové části) jsou do velké míry určeny právě trajektorií.

Dráhy srážkotvorných cyklon podstatných pro oblast střední Evropy jsou dvojího druhu (Porcú et al., 2003). První typ postupuje z oblasti Atlantického oceánu, druhý typ ze Středozeří. Systémy atlantických tlakových níží se utvářejí především v oblastech Atlantiku severně od 50° severní zeměpisné šířky a přibližně 4 dny postupují východním směrem přes Britské ostrovy do Baltského moře (viz obr. 3.1, dráha IVb), popř. do Skandinávie (viz obr. 3.1, dráha Ia). Tlakové níže v oblasti Středozeří se rodí především na poruše polární fronty mezi 35° a 45° s. z. š. za přispění orografických vlivů. Nejlepší podmínky vzniku nabízejí Ligurské a Jaderské moře i Baleárské ostrovy (Porcú et al., 2003). Již zmíněný obrázek 3.1 ukazuje dráhy cyklon, jež byly na území ČR silně srážkotvorné, tedy alespoň na jedné stanici denní úhrn (R_d) převyšil 150 mm. Z nich nejznámější je dráha Vb, kdy tlaková níže postupuje z oblasti Jaderského moře přes Maďarsko do střední Evropy. Srážkově nejaktivnější cyklony ve středoevropském prostoru putují právě po této dráze.



Obr. 3.1: Trajektorie cyklon (šrafovaně) a poloha kvazistacionárních cyklon (tečkovaně), s nimiž byl spojen výskyt srážek ≥ 150 mm na území ČR v období 1879 – 2000, čísla značí počet cyklon postupujících po jednotlivých drahách. Převzato z (Štekl et al., 2001).

U případů s $R_d \geq 210$ mm v ČR postupovala srážkotvorná cyklona vždy ze Středomoří nebo Balkánského poloostrova, nejčastěji po trajektorii označované Vb. Při pohledu na případy z července 1897 (největší jednodenní úhrny období 1889 – 2000) a července 1997 (největší vícedenní úhrny let 1889 – 2000) postupovaly obě cyklony z jižního Polska směrem na západ, čímž je lze označit jako retrográdní (Kakos, 2001). Mudelsee et al. (2004) neshledává spojitost mezi trendem četnosti cyklon s postupem po dráze Vb a trendem výskytu povodní za posledních 350 let ve střední Evropě. Studie se odvolává na trend zvýšeného výskytu brázd postupujících po Vb za posledních 120 let (Fricke, Kaminski, 2002) a neprokatelné zvýšení výskytu povodní na středním Labi a střední Odře ve stejném období.

Jacobeit et al. (2006) uvádějí v souvislosti s odtokově významnými událostmi ve střední Evropě kromě dráhy Vb, jež zmiňují především pro povodí v Česku, Slovensku, Rakousku a Polsku, také pohyb několika po sobě jdoucích cyklon od západu na východ, které zvyšují průtoky na řekách jižní části střední Evropy. Zajímavým

postřehem je rozbor povodní na horním Dunaji roku 1959, kdy se synoptická situace velmi podobala povodním v srpnu 2002 (vývoj tlakového pole v hladině 500 hPa), avšak bez postupu cyklony po dráze Vb. Tlaková níže ve vyšších vrstvách atmosféry zůstala jihovýchodně od střední Evropy, čili ovlivnila primárně tuto oblast.

Blöschl et al. (2013) řadí k typickým synoptickým situacím pro povodně na horním Dunaji delší blokování postupu cyklon od západu. To zapříčiňuje přísun vlhkosti ze severozápadního Atlantiku a koncentraci srážek nad povodím. Zesilující účinek má přísun vlhkosti ze Středomoří spojený s cyklonální vorticitou¹. Spolu s posunem vlhkosti nad východní část Alp se přesouvá i pásmo intenzivních srážek. Oproti tomu v případě největších povodňových událostí na Mohanu je na vině cyklona postupující z Atlantického oceánu při stabilním západním proudění (Kohnen, 2011). V povodí Mohanu se totiž zvýšení hladin řek koncentruje do zimního období. Oproti tomu na území ČR se největší srážkové úhrny a s nimi spojené povodně vyskytovaly v teplém půlroce, což se projevuje rozdílnou sezonalitou největších povodní (viz část 3.3 této práce).

V synoptickém hodnocení extrémních srážkových událostí má zcela zásadní význam určení fáze, kdy se cyklona stává stacionární a jak dlouhou dobu setrvává nad oblastí, ze které ovlivňuje procesy vzniku srážek. Pro území ČR je Štekl et al. (2001) a následně i Brázdil et al. (2005) lokalizují do oblasti východního Polska, tzv. „akčního prostoru“, jak uvádí obr. 3.1. Podle studie (Kakos, 1983) jsou pro Čechy nejvýznamnější teplotně asymetrické cyklony, což dále rozvádí Štekl et al. (2001). Vyhodnocuje celkem 4 hlavní synoptické typy podstatné pro silné srážky: *brázda nad střední Evropou*, *centrální cyklona*, *východní cyklona*, *severovýchodní cyklona*. *Brázda nad střední Evropou* vzniká na přední straně výrazné brázdy ve střední a horní troposféře. V Janovském zálivu se nachází již uzavřená cyklona, výrazně teplotně asymetrická. Řídící tlaková výše je nad západní Francií, Británií a Severním mořem. Zaznamenáváme výrazný horizontální teplotní gradient a pro intenzivní srážky příznivé frontální vlny. Srážky vypadávají v jihovýchodní a východní části ČR spojené s vertikálním stříhem větru. *Centrální cyklona* je relativně hluboká, teplotně asymetrická cyklona s přetočeným teplým vzduchem. Při zemi má střed nad Polskem (v průměru 995 hPa) a v hladině 500 hPa nad Rakouskem, což způsobuje silný vertikální stříh větru nad územím ČR. Řídící tlaková výše nad moskevskou oblastí působí na cyklonu blokujícím účinkem. Tento typ je také srážkově nejvydatnější. Typ *východní cyklona* označuje teplotně asymetrickou cyklonu. Při zemi má střed nad Zakarpatskou

¹ na sev. polokouli kladná, na již. polokouli záporná vert. složka vorticity. Cyklonální rel. vorticity se vyskytuje v oblastech nízkého tlaku vzduchu, tj. především v cyklonách a brázdách nízkého tlaku vzduchu (<http://slovník.cmes.cz>).

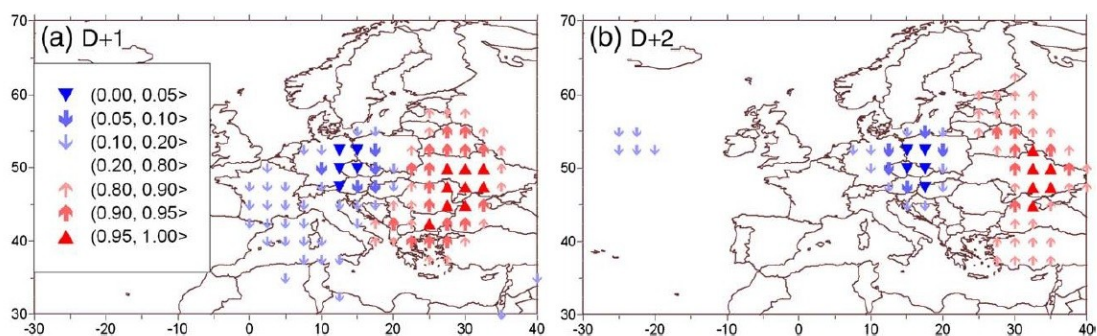
Ukrajinou (1005 hPa), ve výškách nad rakousko-maďarským pomezím. Na území ČR se objevuje výrazné přízemní proudění studeného vzduchu, severně výrazná teplá advekce od východu a retrográdní frontální systém přinášející nejvyšší vlhkost. *Severovýchodní cyklona* je označení pro cyklony se středem nad Běloruskem (1005 hPa při zemi), které mají ve výškách střed severně od ČR. V týlu těchto cyklon jsou časté podružné studené fronty.

3.2.2 Anomálie meteorologických polí

Výskyt silných trvalých srážek je výrazně podmíněn synoptickou situací, která vykazuje určité charakteristické znaky. Tím pádem lze využít anomálií meteorologických prvků při hodnocení povodňových událostí. Mezi nejčastější patří tlakový gradient, teplota vzduchu, tok vlhkosti a vertikální rychlost, protože souvisejí s přítomností cyklony, výstupných pohybů a následně s intenzivními velkoprostorovými trvalými srážkami. Na základě rozboru historických povodňových událostí (období 1958 – 2002) se vybíraly prvky, jejichž extremita je patrná na úrovni synoptického měřítka pro největší povodňové události v ČR (Müller et al., 2006). Studie předkládá popis meteorologických anomálií podstatných pro dva dny předcházející prvnímu dni silných srážek (D-2, resp. D-1) a pro dva dny následující (D+1 a D+2, souhrnně D+), přičemž zjištěné závěry jsou dostatečně vyhovující pro aplikaci na většinu našeho zkoumaného území. Ve dni D-2 se nad severním Atlantikem nacházela výrazná tlaková výše a docházelo většinou k pronikání studeného vzduchu z vyšších zeměpisných šířek na západní pobřeží Evropy související s cyklogenezí. Tím se vytvářel na teplotním rozhraní silný horizontální tlakový gradient, na straně teplého vzduchu ve vyšších hladinách pak anomálie toku vlhkosti. Ve dni D-1 se pohyboval studený vzduch dále do západní Evropy. Dochází k formování cyklony v nižších hladinách atmosféry nad oblastí jihozápadní Evropy, popř. k přesunu již existující srážkotvorné tlakové níže směrem k ČR. První den silných srážek (D) se vyznačuje mohutným tokem vlhkosti z jižního směru na přední straně a zesilujícím tokem vlhkosti od severu v týlové části hluboké cyklony, která se přesouvá východně nebo jižně od ČR. Dny následující (D+1 a D+2) jsou charakterizovány obdobnými podmínkami jako den D, neboť vystihují setrvačnost synoptické situace.

Zmíněné závěry o toku vlhkosti rozvádí Müller et al. (2009b), protože korelace mezi tokem vlhkosti a srážkami je v případech silných srážek ze všech zkoumaných veličin nejvyšší. V období předcházejícím hlavní srážkové epizodě se projevuje pouze slabá anomálie toku vlhkosti. Den před srážkami se v průměru nad střední Evropou vyskytuje výrazný tok vlhkosti od jihu ve vyšších hladinách. Tyto anomálie jsou výraznější až ve dnech, kdy srážky nastanou. Například při extrémní povodni v srpnu

2002 anomálie meridionální složky toku vlhkosti překročila 99 % (Řezáčová et al., 2005a). Tím pádem byly hodnoty abnormálně vysoké (v rámci jednoho procenta všech zkoumaných hodnot z období 1958 až 2002). Obr. 3.2 zakresluje tok vlhkosti pro druhý a třetí den silných srážek, tedy velký tok vlhkosti od severu ve střední Evropě a naopak velký tok vlhkosti od jihu nad jihovýchodní Evropou. Extrémní srážkové události spojené s přetočeným tokem vlhkosti, tedy s tokem vlhkosti od severu nebo od východu, se v létě kromě České republiky vyskytují také v severním Rakousku, západním Slovensku, Sasku, severním Švýcarsku a jihozápadním Německu (Lemarie, 2012).



Obr. 3.2: Průměrná velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro 14 největších letních povodní v České republice v letech 1958–2002. Část: a) druhý den silných srážek; b) třetí den silných srážek. Převzato z (Müller et al., 2009b).

Dále zkoumali tok vlhkosti Kašpar, Müller (2010), kteří navrhli klasifikační metodu na odlišení variant synoptických podmínek vedoucích k trvalým, extrémním srážkám na území ČR. I tento postup je možno využít v celé střední Evropě. Dle údajů o toku vlhkosti ze 78 největších srážkových událostí teplého půlroku mezi roky 1958 – 2002 vymezili 2 frontální a 2 cyklonální varianty. Frontální typy charakterizují opakovaným přechodem studených front s možným pokračováním cyklony na frontální vlně z jihozápadu přes ČR. Silné srážky se objevují na teplé straně kvazistacionárních frontálních rozhraní s intenzivní složkou jižního toku vlhkosti. Ve spojení s cyklonou na frontální vlně se hlavní srážkotvorná činnost přesouvá do týlového studeného sektoru tlakové níže se silnou severní složkou vlhkového toku. Oproti tomu cyklonální varianty se projevují pomalým postupem přes střední Evropu po různých trajektoriích. Studená část tlakové níže je vždy spojena s intenzivními dešti se stálým přívodem vlhkosti z okolních oblastí podporujícím dlouhé trvání srážkové činnosti.

Závěry ze zkoumání tlakového gradientu v souvislosti s extrémními srážkovými úhrny ve střední Evropě jsou spíše obecného ražení. Například Štekl et al. (2001) tvrdí, že pro výskyt extrémních srážek na území ČR je nezbytný nadnormální tlakový gradient mezi cyklonou v akční oblasti a anticyklonou nad Biskajským zálivem popř.

Britskými ostrovy. I Lemarie (2012) udává, že u všech příčinných srážek významných letních povodní na území České republiky za uplynulých 200 let se vyskytl velký horizontální tlakový gradient. To ale neznamená, že tlakový gradient musí být primárně způsoben poklesem tlaku v cykloně, ale i narůstajícím vlivem tlakové výše (Brázdil et al., 2005). Konkrétnější hodnoty uvádí výzkum největších povodní v ČR z let 1951 – 2002 na základě zasaženého území kde průtok při kulminaci překročil průtok s dobou opakování dvacet let ($Q_k > Q_{20}$). Na přízemních mapách dominoval mimořádně velký horizontální tlakový gradient, který překročil hodnoty 10 hPa na 400 km u pěti největších zkoumaných povodní. Dne 9. srpna 1978 přecházela přes území ČR jedna z nehlubších níží, u níž horizontální tlakový gradient převyšoval hodnoty 20 hPa/400 km, avšak svým rozsahem se událost dostala v pořadí až na 24. místo. Zmíněná cyklona způsobila na Jizeře průtok $Q_k > Q_{100}$ a její trajektorie směřovala nezvykle k západu (Řezáčová et al., 2005a).

Teplotní anomálie související s povodňovými situacemi rozebírá Kakos (1978, 1983, 1985). V první zmiňované práci ukazuje, že většině letních povodní předchází období několika teplotně podnormálních měsíců. To dokládá i vyhodnocením odchylek od 190letého normálu v Praze Klementinu. U průměru pěti po sobě následujících pětiletých období (tedy pro 25 let) udává počet povodní, přičemž nejvíce těchto událostí (13 z celkových 55) nastalo právě v období s největší zápornou odchylkou teplot (-0,44 °C). Při statistickém hodnocení průměrných měsíčních teplot v měsíci kulminace a třech předcházejících dochází k obdobnému závěru. Poměr počtu povodní v letním hydrologickém pololetí je bezpochyby statisticky významný, když 15 z celkových 16 povodňových událostí spadá do období se zápornou teplotní odchylkou od normálu v průběhu 4 dnů před kulminací povodně. Největší odchylky je dosaženo 1 den před kulminací povodně v Praze. V případě Labe v Děčíně se vyskytuje 2 dny před kulminací povodně (uvažuje měření z Klementina), což je pochopitelné vzhledem k postupové době povodňové vlny.

3.2.3 Vliv orografie

Srážkové úhrny obecně vzrůstají s rostoucí nadmořskou výškou, což zkoumají četné studie. Tento vztah je složitější, což dokládá Průchová (2010), jelikož se musí brát v úvahu jak podmínky meteorologické (návětrný efekt, charakter deště, vlhkost vzduchu a rychlost větru), tak i topografické (sklon svahu, expozice, tvar pohoří). Při extrémních srážkových událostech v prostoru střední Evropy zdůrazňuje Kakos (2001) potřebu prohloubit znalosti o příčinách vzniku s uvážením složitých a velice podstatných vlivů orografie centrální Evropy (Alpy, Karpaty, horské oblasti Čech a Německa).

To potvrzuje i zjištění z oblasti ČR. Řezáčová et al. (2005a) dokládá větší četnost výskytu povodní v letních měsících na orograficky exponovaných povodích, na nichž se projevuje účinek návětrného efektu při severním proudění vzduchu v nižších hladinách. Extrémních $R_d > 210$ mm je zde dosahováno jen v pohraničních horských oblastech (Kakos, 2001). Vliv orografie se uplatňuje u extrémních trvalých srážek především v pásu od Jizerských hor po Moravskoslezské Beskydy. Dle studie Štekl et al. (2001) bývá Šumava méně zasažena, jelikož vynucené výstupy vzduchu (zvýšení vertikální rychlosti mezi $0,2$ a $0,4$ $m \cdot s^{-1}$) a s nimi spojené orografické zesílení srážkových úhrnů určuje vlhké severní proudění ($12-16$ $m \cdot s^{-1}$) v týlových částech kvazistacionárních cyklon.

Nyní musíme přidat i informace z povodňových událostí v srpnu 2002. V první epizodě byla intenzivními srážkami zasažena Šumava a Novohradské hory, neboť 100leté hodnoty srážek byly na česko-rakouském pomezí překročeny až 1,6krát a lze usuzovat na nezanedbatelné orografické zesílení srážkových úhrnů. Ve druhé epizodě je již tento efekt nesporný, jelikož 12. srpna byl v Krušných horách naměřen nejvyšší R_d celé srpnové povodňové události, v Jizerských a Lužických horách byly na mnoha stanicích překročeny hranice 100letých srážek (MŽP, 2005). Na průběhu srpnové srážkové činnosti se v Krušných horách podílely cca 30 % plošné srážky, 10 % konvektivní srážky z přeháněk a bouřek a z 60 % orografické zesílení (MKOL, 2004). Tím pádem musíme brát v potaz i vlivy těchto pohoří na extrémní srážkové úhrny v zájmovém území. Oproti tomu při hodnocení extremity srážek první srážkové epizody povodní 2013 bylo zjištěno překročení 100leté hodnoty šestidenních úhrnů srážek v okresech Benešov a Nymburk, kde orografické zesílení můžeme zanedbat (MŽP, 2014).

U Alp udávají Frei, Schär (1998) limity poznání orografických vlivů na srážky, protože zde vzniká mnoho dynamických interakcí na úrovni synoptického měřítko a teoreticky popsané vlivy fungují dobře v případě nižších nadmořských výšek. Blumer (1994) uvádí, že v Alpách není tolik významná absolutní nadmořská výška jako spíše relativní výškový rozdíl, o který je vzduchová hmota nuceně vyzdvižena. Srážkové úhrny jsou tedy zesíleny bez těsné závislosti na nadmořské výšce. Modelování možných srážek vlivem orografického zesílení v rakouských Alpách při severozápadním proudění přináší Haiden et al. (1990). Výsledné maximální hodnoty 3 – 9 mm/hod. se vyskytují jen v nejvyšších partiích Tyrolska a značně závisí na vstupních podmínkách, které jsou oproti reálné situaci značně zjednodušené.

3.3 Sezonalita povodní v oblasti

Rozborem sezonality povodní na území Čech se zabýval Hladný (1971). Kakos navázal především rozborem povodní na Vltavě v Praze z let 1873 – 1982 (Kakos, 1983) a povodňových situací na povodí Labe 1950 – 1984 (Kakos, 1985). Praha má stejné zastoupení zimních i letních povodní, pro Ústí nad Labem vychází poměr 2:1 ve prospěch zimních povodní. Tab. 3.1 zobrazuje sezonalitu povodní pro tři české stanice (Vltava v Praze, Ohře v Lounech a Labe v Děčíně), tedy vyčíslení zimních a letních povodní s jejich procentuálním zastoupením v pozorovaném období. Zimní povodně jasně převažují. Buchtele (1972) uvádí, že s rostoucí plochou povodí se zvětšuje převaha povodní ze sněhu, protože tání probíhá na celém povodí současně, kdežto zasažení velkého povodí intenzivními srážkami je málo pravděpodobné. S tím můžeme souhlasit při srovnání 65,9% zastoupení zimních povodní v Praze se 73% v Děčíně. Dominující převaha v případě Loun (zhruba pětínové povodí ve srovnání s Vltavou) je dána hlavně fyzicko-geografickou polohou a cirkulačními podmínkami na Ohři. V zimním období je totiž převážná část povodí pod vlivem efektů západního proudění přinášející teplý atlantský vzduch a stačí menší teplotní rozdíly, aby se tyto vlivy mohly projevit na zvýšení průtoků. Většina povodí leží pod hranicí 1000 m n. m., takže tání sněhové pokrývky na celém území spojené s dešťovými srážkami je zde častější (Brázdil et al., 2005). Jediné dvě letní povodně v rozmezí let 1884 – 2003 se zde vyskytly v srpnu 2002 a červenci 1954. Obě však byly způsobeny cyklonami ze Středomoří (více viz kap. 6 této práce).

Tab. 3.1: Sezonalita povodní na českém území překračujících dvouletý kulminační průtok. První číslo udává absolutní počet povodní, druhé jejich relativní zastoupení v celkovém počtu. Upraveno podle (Brázdil et al., 2005).

STANICE	TOK	OBDOBÍ	ZIMNÍ	LETNÍ
Praha	Vltava	1851 - 2003	58 / 65,9 %	30 / 34,1 %
Louny	Ohře	1884 - 2003	22 / 91,7 %	2 / 8,3 %
Děčín	Labe	1851 - 2003	54 / 73 %	20 / 27 %

Povodně na Otavě v Písku a Lužnici v Bechyni rozdělil Vavruška (1989) na základě jejich synoptických příčin (dle typizace HMÚ, 1961). Dochází k závěru, že povodně zimního půlroku jsou způsobeny především situacemi Wc. V teplé polovině roku provází bouřkové lijáky situace Ec a B, pro vznik povodní z déletrvajících srážek jsou potenciálně nebezpečné situace typu C a Cv. Jiný přístup volí Čekal, Hladný (2008) určením průměrného dne výskytu povodní s časovým rozptylem a následné vyjádření prostorové odlišnosti v ČR. Průměrný den výskytu povodní pro ČR byl stanoven na 24. dubna, což odkazuje na druh smíšený. My však zůstaneme u rozdělení na povodně zimního (listopad – duben) a letního typu (květen – říjen). Podle

hodnocení sezonality extrémních povodní existují na českých řekách tři období výskytu. Nejčastěji se vyskytují v období od května do srpna, na přelomu roku a v březnu (kdy může přispět i tání sněhové pokrývky). Po zbytek roku je zaznamenán menší počet extrémních povodní (Müller et al., 2015). Dle dřívější studie (Řezáčová et al., 2005a) největší dešťové povodně, u nichž území zasažené $Q_k > Q_{20}$ převyšuje 460 km², postihují ČR výhradně v červenci a srpnu (13, resp. 8 případů). U menších povodí se maximum přesouvá do června (12 případů), na červenec připadají 3 a na srpen 4 epizody.

Beurton a Thieken (2009) identifikovali oblasti s odlišnou sezonalitou povodní v Německu. Západní spolkové republiky jsou postiženy povodněmi zimního typu (nejčastějším měsícem jejich výskytu je prosinec), povodně se zde však často vyskytují také na jaře, nejmenší zastoupení zde mají povodně v letních měsících. Tento fakt je v souladu se studií Kohnen (2011) dokládající, že 11 největších povodní za poslední století ve městě Kemmern (soutok Bílého a Červeného Mohanu) bylo od prosince do března. V povodí Labe se projevuje březnové maximum, přesto zimní sezóna (prosinec – únor) zůstává nejdůležitější z hlediska počtu povodňových událostí, i když lehce přibývá povodní v letních měsících (červen – srpen).

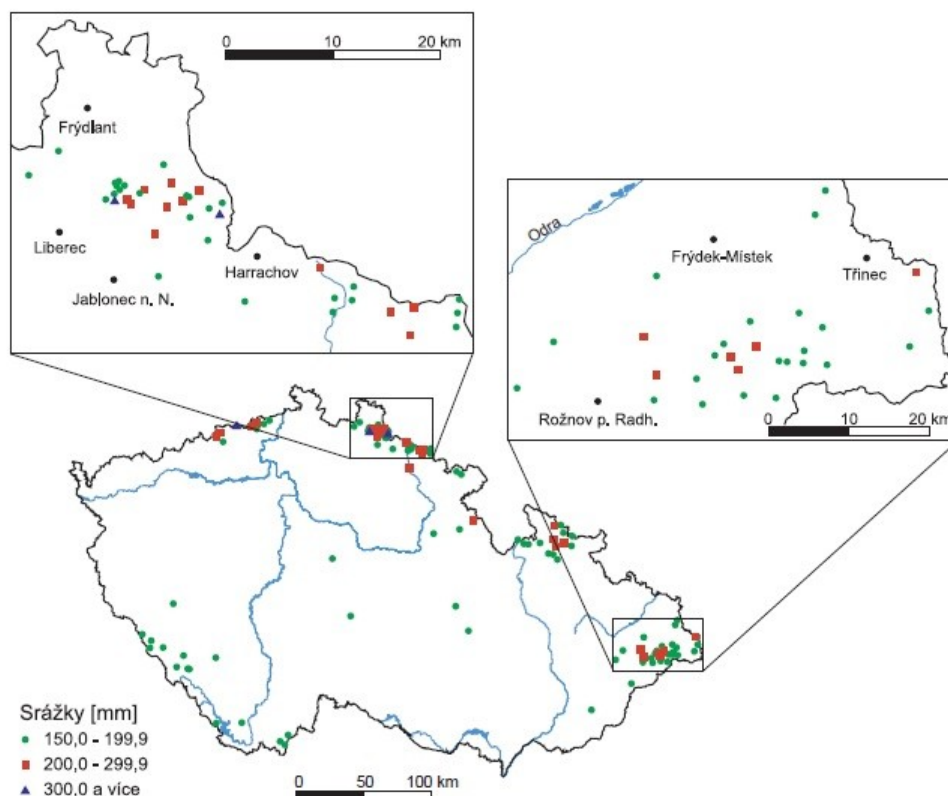
V povodí Dunaje pak převládají povodně letních měsíců, následované povodněmi na jaře (březen – květen) a v zimě. Podzim (září – listopad) není pro výskyt povodní významný. I soubory velkých povodní v jednotlivých oblastech se shodují s obecnými rysy sezonality (Gvoždíková, 2015). Rakouská část území je v sezonalitě shodná s jižním Německem. Povodňové události se zde vyskytují převážně v letním období, jasně dominují červenec a srpen (Blöschl et al., 2011).

3.4 Silné srážky

Extrémní srážkové úhrny vypadávají buď ve formě přívalových nebo trvalých srážek, popř. v jejich kombinaci. Přívalové deště mají relativně malý prostorový dosah, krátké trvání a velkou intenzitu. Často jsou doprovázeny bouřkou a na rozdíl od trvalých srážek se vyskytují nahodile. Opakované bouřkové lijáky v určité lokalitě se vyskytují většinou poblíž středů cyklon se studenými nebo zvlňenými studenými frontami nebo v brázdách nízkého tlaku vzduchu (Brázdil et al., 2005). Vydatné srážky trvalého charakteru ovlivňují větší území, jsou delšího trvání, ale menší intenzity. Převážně jsou spojeny s postupem teplotně asymetrických cyklon z oblasti Středozevního moře (např. Hanslian et al., 2000; Štekl et al., 2001; Brázdil et al., 2005, Řezáčová et al., 2005a). V případě $R_d \geq 200$ mm v ČR jde zpravidla o cyklony, které se zpomalily až zastavily (většinou nad územím jižního Polska), popř. se v

několika málo případech pohybovaly retrográdně (Kakos, 2001; Štekl et al., 2001; Brázdil et al., 2005).

Obr. 3.3 ukazuje geografické rozložení $R_d \geq 150$ mm na území ČR. Mimo horské oblasti jsou poměrně izolované, neboť překročení odpovídá dvousetleté a víceleté n-letosti. Takovýto úhrn je pak v naprosté většině případů spojen s bouřkovými lijáky (Brázdil et al., 2005). Při popisu silných srážek v oblasti Čech uvádí Kakos (2001), že $R_d \geq 150$ mm má interval opakování $n \approx 500 - 1000$ let, který v pohraničních oblastech klesá na hodnoty kolem 100 let. Přitom všechny případy $R_d \geq 210$ mm, kterých bylo v období 1879 – 2000 celkem 18, se vyskytly pouze v severovýchodních horských oblastech. U těchto silných srážek zcela převládá výskyt v letních měsících, na červenec připadá 67 %, na srpen 17 % a jen po 5 % na každý ze zbylých měsíců květen – září. Nesmíme však tvrzení o horských oblastech brát kategoricky dle nadmořské výšky, jelikož jak tvrdí Müller (2007, s. 9): „úhrn 240.2 mm ze stanice Nová Červená Voda ve výšce pouhých 310 m. n. m. je jasným důkazem skutečnosti, že pro extrémní srážky trvalého charakteru není rozhodující absolutní hodnota nadmořské výšky stanice, nýbrž vlivy návětrí horských celků.“



Obr. 3.3: Rozložení stanic s denním úhrnem srážek ≥ 150 mm na území České republiky v období 1879 - 2003. Převzato z (Brázdil et al., 2005).

Rozbor extrémních trvalých srážek u českých povodní v letech 1890, 1897 a 1938 vypracoval Müller (2007). Třídenní maximální bodové hodnoty (R_3) v jižních

Čechách roku 1890 dosáhly až 225 mm. V Jizerských horách se v roce 1938 naměřily hodnoty v intervalu 250 – 300 mm, v roce 1897 bylo na stanici Nová Louka naměřeno absolutní historické maximum $R_d = 345$ mm pro střední Evropu (Munzar et al., 2011). Vavruška (1989) udává, že celkové srážkové úhrny nad 200 mm z července 1954 v Kašperských horách způsobily největší povodeň 20. století na Otavě v Písku, avšak povodí Lužnice tolik zasaženo nebylo. To vysvětluje různou nadmořskou výškou, jelikož zastoupení výšek nad 800 m n. m. v případě povodí Lužnice je zanedbatelné.

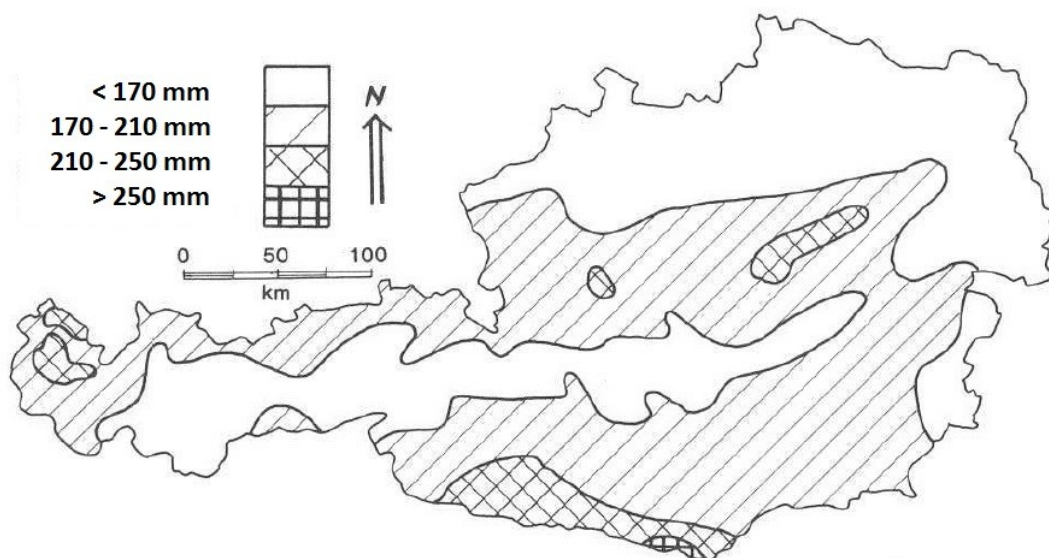
Práce Schröter et al. (2015) popisuje R_3 pro Německo. V roce 1954 stanice Stein zaznamenala 458 mm, v Krušných horách bylo naměřeno 250 – 275 mm. Srpen 2002 přinesl během 72 hodin extrémní hodnoty na stanici Cínovec/Zinnwald, konkrétně 406 mm, červen 2013 na stanici Aschau-Stein v Bavorských Alpách 346 mm. Maximální dvoudenní srážkové úhrny v Německu v roce 1954 dosáhly 377 mm pro stanici Seehaus bei Ruppolding (Rudolf, Rapp, 2003).

Pro vznik povodně však není rozhodující srážka naměřená na stanici, nýbrž srážka plošná na území povodí. Kvůli problémům s interpolací staničních měření nemůže být výpočet nikdy zcela jednoznačný. Pro zpřesnění se využívá interpolace na základě orografie. Pro výpočty při jednotlivých událostech je méně výhodná vzhledem k různým druhům orografických efektů (Müller, 2007). Když se podíváme na extrémní plošné srážkové úhrny, které byly v jednotlivých oblastech naměřeny, dostáváme se k hodnotám okolo 200 mm/48 hodin. Například v povodí rakouského Dunaje byla při událostech v roce 1899 překročena hranice 200 mm/48 hodin na ploše 1000 km² (Kresser, 1957), ve dvou srážkových epizodách 2002 bylo na povodí řeky Kamp (620 km²) naměřeno plošně 200 a 115 mm (Blöschl, 2013). V roce 1954 dosahovaly R_3 v povodí Dunaje plošné hodnoty nad 300 mm (Schröter et al., 2015). Novější plošné záznamy z českého povodí Labe ukazují na dosažení hodnot 173 mm v povodí Malše v roce 2002 (MŽP, 2003) a 113 mm v povodí Doubravy v roce 2013 (MKOL, 2014).

Hlavně k vodohospodářským účelům (protipovodňová ochrana, projektování přehrad) byly vypočteny pravděpodobné maximální srážky. Dle WMO je pravděpodobná maximální srážka (PMP) definována jako: „*maximální meteorologicky možný srážkový úhrn pro oblast dané velikosti a dané geografické polohy, pro danou dobu během roku a pro dané trvání srážkové události.*“ (MŽP, 2005, s. 16). Hodnoty jednodenní až pětidenní PMP s naměřenými extrémními srážkovými úhrny v ČR porovnali Řezáčová et al. (2005b). Srážky zjištěné pro dílčí povodí dosahovaly maximálně 68 % hodnot PMP u R_2 a R_3 pro Malši a Vltavu po soutok s Malší pro rok 2002, u povodí Moravy a Odry v červenci 1997 se dosahovalo podobných největších relativních hodnot u R_4 a R_5 . Bodová hodnota PMP stanice Cínovec/Zinnwald (na Německém území poblíž státní hranice) byla jako jediná překonána (naměřeno bylo

312 mm, zatímco odhad PMP byl stanoven na 277 mm), což ukazuje na rezervy ve stanovení PMP v příhraničních exponovaných oblastech. Odhady PMP se však dosti liší v závislosti na autorech. Becker, Grünwald (2003) udávají pro Cínovec/Zinnwald 350 mm/24 hodin a 300 mm/24 hodin pro okolní oblast velikosti zhruba 1000 km². Tetzlaff et al. (2003) uvádějí nejvyšší možné bodové R_d v povodí Labe a Mohanu na základě rozboru údajů o odtocích. Pro stanici Cínovec jejich model udává 450 mm/24 hodin. DWD (2015) po zahrnutí i zmiňované srpnové události dochází k PMP 390 mm/24 hodin, 550 mm za 72 hodin pro stanici Cínovec/Zinnwald, pro okolní oblast o rozloze přibližně 5000 km² je to 200 mm/24 hodin, resp. 280 mm/72 hodin.

V ostatních částech zájmového území se také zkoumala PMP. V povodí Mohanu hodnoty kolísají v intervalu 500 – 950 mm/24 hodin (Tetzlaff et al., 2003). Nobilis et al. (1991) vypočítali PMPH² pro Rakousko (viz. obr. 3.4), avšak tyto hodnoty už při zkoumání byly na mnoha místech překonány pozorovanými úhrny, tudíž je nemůžeme brát jako směrodatné pro Alpy. Hertig et al. (2005) vytvořili mapu PMP pro Švýcarsko, kde dochází k hodnotám 240 – 850 mm, které bychom mohli brát jako adekvátní interval pro alpské oblasti zájmového území.



Obr. 3.4: Pravděpodobná denní maximální srážka dle Hershfielda pro Rakousko. Upraveno podle (Nobilis et al., 1991).

3.5 Hydrologická odezva

V době vypadávání příčinných srážek má na aktuální situaci v povodí vliv především nasycenost povodí a s ní související míra naplnění říční sítě, případně i rozsah již existujících rozlivů. Předchozí nasycenost povodí souhrnně vyjadřuje hydrologické podmínky v povodí před začátkem příčinných srážek (výšku podzemní vody, půdní vlhkost, míru zaplnění dutin a sníženin, objem vody v korytech toků i

² PMPH – pravděpodobná maximální srážka upravena dle Hershfielda

nádržích). Nasycenost povodí narůstá v případě, že srážková činnost před příčinnou srážkou převažuje nad výparem a odtokem. S tím klesá schopnost povodí zadržet další vodu formou intercepce, detence či infiltrace, což vede k nárůstu odtoku. Nasycenost povodí je ovlivňována celou řadou faktorů, k nimž můžeme řadit hlavně předchozí srážky, které se bezprostředně nepodílejí na vzniku povodňové vlny, dále pak teplota vzduchu, s ní související relativní vlhkost a rychlost větru, které podstatně ovlivňují výpar. Ten je maximální při vysokých teplotách, nízké relativní vlhkosti a silném větru (Müller, 2007). Proto se pro posouzení nasycenosti povodí, a tím i pro odhad jeho aktuální schopnosti zadržet vsakem dočasně další srážky, používá ukazatel předcházejících srážek (Antecedent Precipitation Index, zkráceně API).

Předchozí nasycenost povodí ovlivňuje průběh hlavních typů dešťových povodní různou měrou. Zatímco v případě velkoprostorových povodní může jít o jeden z hlavních faktorů, v případě přívalových povodní je vliv nasycenosti zpravidla podstatně menší vzhledem k rychlému povrchovému odtoku přívalových srážek, který je rozhodující pro zformování strmé povodňové vlny (Müller, 2007). Na velký význam předchozí nasycenosti povodí u extrémních středoevropských povodní odkazuje mnoho autorů (Vlasák, 2004; Mudelsee et al., 2004; Brázdil et al., 2005; Blöschl et al., 2013; Grams et al., 2014; Müller et al., 2015). Kyselý et al. (2006) připisují nasycenost povodí jako podružnou k zesílení efektu objemově nižších dlouhodobých srážek na velké zvýšení odtoku. Například posouzením průběhu větších povodní na Vltavě v rámci delšího časového úseku postřehneme charakteristickou podružnou vlnu. Povodí se nasatí příčinnými srážkami první menší povodně a následné srážky vytvoří již velkou povodeň (Buchtele, 1972). Vlasák (2004) uvádí pro povodeň na Otavě v Písku srovnání průměrného srážkového úhrnu na povodí a kulminačního průtoku (do roku 2003), čímž dokazuje velký vliv předchozí nasycenosti povodí. Nejvyšší srážky, přibližně 140 mm, byly naměřeny roku 1890 s vodním stavem 750 cm při kulminaci, dále pak 1954 (135 mm/800 cm). Co se týče srážkových úhrnů, vychází rok 2002 s 130 mm až na třetím místě, avšak povodňová vlna byla o polovinu vyšší, konkrétně 1175 cm. Dále udává, že při výskytu velkých povodní na Otavě v Písku byl minimálně 4letý průtok na Vltavě v Praze. Proto tyto povodně nebyly nikdy záležitostí lokálních bouřek, ale zasaženo bylo mnohem větší území. Na druhou stranu to ale neznamená, že velká povodeň zde nehrozí po relativně suchém období.

V souvislosti s hydrologickou odezvou srážkové události musíme zmínit vlivy časového a prostorového rozdělení srážek v povodí. Při zesilování srážek během události se povodí postupně nasatí a nejintenzivnější srážka může přispět k větší extremitě kulminačního průtoku. Naopak v případě poklesu intenzity srážky s časem dochází zpravidla k relativnímu nárůstu objemu povodně a zploštění průtokové vlny,

což na příkladu dvou slabších povodní na Otavě v roce 1966 ukázal Buchtele (1972). V případě pohybu srážkového pole v rámci povodí je mimořádně nebezpečný posun srážek po směru toku, neboť vlivem doběhové doby povodňové vlny z horní části povodí dochází ke spojení účinku srážek za delší období a k nárůstu kulminací (Müller, 2007).

Postupová doba je obecně při průměrném průtoku znatelně delší nežli při vyšším vodním stavu. Není tomu tak ale při povodňových událostech, kdy se postupová doba kulminace prodlužuje díky rozlivu do nivy. Jako příklad můžeme uvést měření ze srpna 2002 na Labi, kde běžná postupová doba od Jaroměře po jez Geesthacht je při minimálním vodním stavu 327 hodin, 260 hodin při průměrném ročním vodním stavu a při maximálním vodním stavu 178 hodin. Oproti tomu běžná postupová doba 10 hodin mezi městy Mělník a Ústí nad Labem byla 25 hodin při povodni v srpnu 2002 a na trase Ústí n. L. – Drážďany se 14 hodin zvýšilo na 17 hodin (MKOL, 2004). Jak jsme uvedli, postupová doba na největších tocích se pohybuje v řádu dnů. Proto i Uhlemann et al. (2010) využívá jako dobu mezi příčinnými srážkami 10 dnů pro vyhodnocení tzv. trans-basin floods³ v Německu.

Nezanedbatelné jsou také antropogenní vlivy pozměňující průběh povodní. K úpravám toků dochází na různých úrovních. Mění se trasa toku, struktura koryta a příbřežní zóny. V souvislosti s antropogenní úpravou toku Blanice, na jedné straně zrychlení postupu povodňové vlny (napřímení toku, snížení drsnosti koryta) a na straně druhé více potenciálních překážek v proudění a přeměna nivy (změna geomorfologie a krajinného pokryvu), se i tato řeka zapojuje více na zvýšení vodních stavů na Vltavě, nežli tomu bylo v minulosti (Langhammer, 2007; Vlasák, 2004).

Ochranný (retenční) objem přehradních nádrží může oproti tomu přispět ke zpomalení průchodu povodňových vln a snížení kulminačních průtoků. Zejména díky tomuto účinku vodních nádrží však některé vodoměrné profily vykazují nehomogenní charakter dlouhodobých průtokových řad (Brázdil et al. 2005). Ovlivnění kulminačních průtoků přehradami Vltavské kaskády nemůžeme opomenout. Zmenšení průtoku, i když neplánované, se poprvé projevilo v roce 1954. Tehdy rozestavěné dílo Slapy bylo naplněno při postupující povodni. Jako první odkazují ke vlivům Vltavské kaskády na vltavské povodně práce Bratránka (1956a, 1956b). Zmenšení průtoku bylo vcelku významné. Namísto odhadovaného $2920 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Prahou protékalo o 655 m^3 méně, tedy $2265 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na Slapech bylo využito 90 mil. m^3 z celkového objemu 269,3 mil. m^3 (Buchtele, 1972). Pro srovnání můžeme uvést, že v roce 2013 se využilo 180 mil. m^3

³ trans-basin flood – „extrémě plošné povodně“, velké povodně zasahující povodí více řek. Pro jejich srovnání a rozlišení bylo potřeba zohlednit časový postup atmosférických systémů spojených s příčinnými srážkami a časový posun kulminačních vln na různých tocích.

volného prostoru ve všech přehradách Vltavské kaskády (Daňhelka, Skřivánková, 2013). Dále se k vlivům Vltavské kaskády vyjadřují Kašpárek a Bušek (1990). V předkládané studii dokazují, že výstavba přehrad snížila nebezpečí povodní v Praze. U povodní, které nepřesáhnou průtok s dvacetiletou dobou opakování, jsou vlivy Vltavské kaskády dostačující. U stoletého kulminačního průtoku je pravděpodobné zmenšení $600 - 700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá i zmenšení v roce 1954 volnou kapacitou nádrže Slapy.

Ukázalo se však, že v případě extrémní povodně jako v roce 2002 nemohou nádrže zabezpečit snížení povodňové vlny na neškodný odtok, ani kdyby byly ochranné prostory značně zvětšeny na úkor jiných účelů dle manipulačního řádu⁴. Shrnout celou problematiku můžeme konstatováním, že celkové snížení četnosti povodní na Vltavě v 2. polovině 20. stol. souvisí úzce s přirozeným dlouhodobým kolísáním odtokového režimu (Bratránek, 1956a; Kašpárek, Bušek, 1990; Brázdil et al., 2005).

Povodně je možné porovnat i tvarem povodňových vln. Je pozoruhodné, že mnoho studovaných velkoprostorových povodní (1890, 1903, 1938, 1954, 2002) se vyznačovalo několika po sobě jdoucími vlnami (Müller, 2007). Vezmeme-li v potaz i charakter povodní z roku 2013, kdy se také vyskytly dvě po sobě následující povodňové vlny a na některých tocích dokonce tři (Štercl et al., 2013), je zřejmé, že fenomén tzv. přidružených povodní můžeme přiřadit k typickým aspektům studované problematiky.

⁴ **„Manipulačním řádem se rozumí soubor zásad a pokynů pro manipulaci s vodou k jejímu účelnému a hospodárnému využití podle povolení k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami, ke snižování nepříznivých vlivů povodní, sucha a ledových jevů, ochraně a zlepšení jakosti vody, jakož i zajištění bezpečnosti, stability a spolehlivosti vodního díla. Jak je z této definice patrné manipulační řády přehrad musí zohledňovat několik často protichůdných jevů. Pokud by se navíc upustilo více vody a srážky nepřišly dle předpovědi, byl by problém s opětovným dosažením adekvátního stavu hladiny“**
(<http://denik.obce.cz/clanek.asp?id=6632399>).

4 DATA A METODY

Cílem této kapitoly je představit použitá data a způsoby jejich pořízení. Poté uvedeme, jak probíhalo jejich další zpracování i metody výzkumu použité v práci. K popisu povodně vyskytující se na území více povodí je potřeba získat velké množství dat. Jelikož zájmová oblast zasahuje na území tří států střední Evropy, museli jsme čerpat data z více databází, především národních meteorologických a hydrologických služeb. Data stažená z jejich databází jsou tedy primární data.

4.1 Použitá data a jejich zdroje

4.1.1 Synoptická data

Na popis synoptické situace jsme využili meteorologických map z německých meteorologických internetových stránek (www.wetterzentrale.de) nabízející již zpracované výstupy z reanalýz NCAR/NCEP. Data z reanalýzy NCAR/NCEP jsou také použita pro hodnocení anomálií jednotlivých meteorologických prvků. Data poskytují americké organizace National Center for Atmospheric Research (NCAR) a National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Tvorbu reanalýz podporuje konsorcium National Oceanic and Atmospheric Administration, zkráceně NOAA, jehož jsou součástí. Hlavní činností je pořizování dat pro americkou národní meteorologickou službu (Kalnay et al., 1996).

Reanalýza NCAR/NCEP zpětně dopočítává do pravidelné sítě hodnoty různých meteorologických veličin za období 1948 – 2010. Vychází např. z měření na meteorologických stanicích (na souši i na vodě), z měření meteorologických balónů, letadel, družic a dalších zdrojů. Datové zdroje se v různých obdobích měnily, hustota měření se postupně zvyšovala. Data do konce 50. let vycházejí hlavně z pozemních měření. Naměřená data bylo nutné zpracovat tak, aby byla co nejvíce homogenní. Například meteorologické sondy se do roku 1957 vypouštěly o tři hodiny později než v současnosti – tedy ve 3, 9, 15 a 21 hodin UTC (Lemarie, 2012). S tímto problémem se autoři reanalýz musí vypořádat, stejně tak jako s různou hustotou měření po světě a se změnami metodiky, k čemuž se snaží používat stále stejný algoritmus. Tudíž se postup nemění po celou dobu měření, aby data byla co nejvíce homogenní. První verze reanalýzy NCAR/NCEP byla vydána v roce 1991 a od té doby se doplňuje o aktuální data (Kalnay et al., 1996). Výsledná data v reanalýze obsahují hodnoty velkého počtu meteorologických veličin pro 17 izobarických hladin s horizontálním rozlišením 2,5° pokrývajícím celý svět a časovým krokem 6 hodin. Data jsou dostupná vždy pro 0, 6,

12 a 18 hodin UTC, každý den od 1. ledna 1948, do současnosti (<http://www.esrl.noaa.gov/>).

Veličiny, jejichž hodnoty reanalýza NCAR/NCEP obsahuje, se rozdělují do tří skupin dle způsobu, jakým se naměřená data převádějí na gridované hodnoty. Veličiny vycházející přímo z naměřených dat jsou vysoce spolehlivé. Jedná se převážně o teplotu vzduchu, směr a rychlost větru nebo geopotenciální výšku. K převádění hodnot odvozených veličin, jako měrné vlhkosti vzduchu, je nutné použít numerický předpovědní model. Veličiny poslední skupiny, například srážkové úhrny nebo povrchové toky energie, se plně vypočítávají předpovědním modelem, a proto je jejich spolehlivost nejnižší (Lemarie, 2012).

4.1.2 Srážková a hydrologická data

Pro území České republiky se jedná o denní srážkové úhrny poskytnuté ze sítě ČHMÚ s dvěma časovými řadami. Kratší časový úsek (28. června 1954 – 11. července 1954) pokrývá více stanic, pouze 6 vybraných zahrnuje i celý červen 1954. Denní srážky z Německa jsou znatelně obsáhlejší. Německá povětrnostní služba nabízí na svých stránkách volně ke stažení denní srážkové úhrny měřené na meteorologických stanicích v celém státě. Tudíž pro všechny zahrnuté stanice máme k dispozici data za červen i červenec 1954. Stejně časové rozmezí zahrnují i denní srážkové úhrny z rakouských stanic z databáze rakouského ministerstva zemědělství, lesnictví, životního prostředí a vodních zdrojů BMLFUW. Dostupná data jsou z území všech spolkových republik kromě Horního Rakouska, kde databáze za zkoumané období chybí. U všech srážkových dat se jedná o denní úhrny v mm naměřené za 24 hodin od 7:00 příslušného dne do 7:00 dne následujícího danou meteorologickou stanicí.

Předkládaná práce zpracovává denní průtoky získané z databáze ČHMÚ, BMLFUW a dále Global Runoff Data Centre (GRDC), která funguje jako mezinárodní archiv měsíčních a denních průtoků. GRDC obsahuje data revidovaná národními hydrologickými službami, proto je kontrola kvality dat provedena již příslušnými institucemi na národní úrovni. Pro doplnění bylo využito ročenky Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 1954 (1955) a prací rozebírajících povodně v červenci 1954 v jednotlivých povodích.

Publikace rozebírající povodně se zaměřují hlavně na vodní stavy, u průtoků zmiňují některé velikosti a datum kulminace. Dostupná data máme pro vybrané stanice povodí Dunaje, Mohanu a Labe po Děčín. Na hlavním pravostranném přítoku německého Labe (Schwarze Elster) nemáme žádná data, pro povodí Weisse Elster můžeme čerpat rámcově z publikace Bauer (1956), jež vyhodnocuje povodně 1954 na základě vodních stavů, nikoli průtoků.

4.2 Metodika

4.2.1 Synoptická data

Zpracování synoptických dat probíhalo na základě přístupů popsaných v literatuře (Řezáčová et al., 2005a; Müller et al., 2009b; Kašpar, Müller, 2010; Müller, Kašpar, 2010). Z denních průměrů veličin reanalýzy NCEP/NCAR pokrývajících časovou řadu 1. ledna 1951 – 31. prosince 2010 jsme vybrali údaje pouze pro letní měsíce (červen – srpen) za účelem prokazatelnějšího vyhodnocení anomálií při dešťových povodních ve vztahu ke klimatologii daného místa, celkem 21916 hodnot dané veličiny pro 1 uzlový bod. Dále bylo potřeba se koncentrovat na veličiny, jejichž hodnoty jsou statisticky významné z hlediska trvalých velkoprostorových silných srážek v zájmové oblasti. Na základě zmíněných článků jsme se rozhodli především pro analýzu toku vlhkosti. K dispozici jsme měli data pro meridionální tok vlhkosti v hladině 500 hPa (FQV500; jednotky $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) a 850 hPa (FQV850; $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), dále pro zonální tok vlhkosti v hladině 850 hPa (FQU850; $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Dalšími vybranými veličinami byly geopotenciální výška hladiny 850 hPa (Z850; gpm) a vertikální rychlost v p-systému (W ; $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$).

Takto připravené datové soubory jsme statisticky vyhodnocovali. Extremitu hodnoty x_i meteorologické veličiny X jsme převedli na hodnotu kumulativní distribuční funkce F , dle:

$$F = \frac{i}{N+1} \quad (2)$$

kde i je počet hodnot, které jsou menší nebo rovny x_i , a N je celkový počet hodnot. Tudiž minima a maxima F korespondují s minimy a maximy X . Výsledky jsme zobrazili v gridových interpolovaných bodech o rozlišení $2,5^\circ$ zeměpisné šířky x $2,5^\circ$ zem. délky na mapách pro různé dny relativně k prvnímu dni výskytu intenzivních srážek (D ; v případě povodní července 1954 jako D bereme 7. července 1954, u srpnových povodní 2002 je den D 11. srpna 2002). V případě většího zastoupení vysokých hodnot v dosahu zájmového území jsme využili podrobnějšího rozdělení v rámci krajních 5% intervalů. Například hodnoty spadající do intervalu $(0,99; 1>$ patřily mezi 219 největších v rámci celého časového období. Pro FQV500 a FQV850 nabývají hodnoty výrazného toku vlhkosti ze severu záporných hodnot (F blízko nule), od jihu kladných hodnot (F blízko jedné). FQU850 má z podobných důvodů nízké F při toku vlhkosti od východu a vysoké při toku vlhkosti od západu; W vykazuje F blízko nule při intenzivních výstupných pohybech a naopak F blízko jedné při intenzivních poklesech vzduchu.

4.2.2 Srážková a hydrologická data

Pro vyhodnocení srážkových úhrnů jsme se nejprve zaměřili na rozbor nasycenosti povodí. K tomu účelu jsme si nejdříve vypočítali hodnoty API_{30} . Podstatou API_{30} je bilance srážek spadlých 30 dnů před výskytem příčinného deště, přičemž významnost časově vzdálenějších srážek má nižší váhu, která se určuje na základě exponenciálního zákona o vyčerpávání vody z povodí (MŽP, 2003). Hodnota indexu API_{30} ke dni D se určí podle vzorce:

$$API_{30}(D) = \sum_{n=1}^{30} R_n \cdot 0,93^n \quad (3)$$

kde R_n [mm] značí denní úhrn srážek n dní před dnem D a hodnota 0.93 je zmíněnou evapotranspirační konstantou (pro Českou republiku odvozeno Hladným, 1962). Ukazatel API lze používat jen v letním půlroce, protože v zimním půlroce může docházet k zadržování vody v povodí při sněhových srážkách.

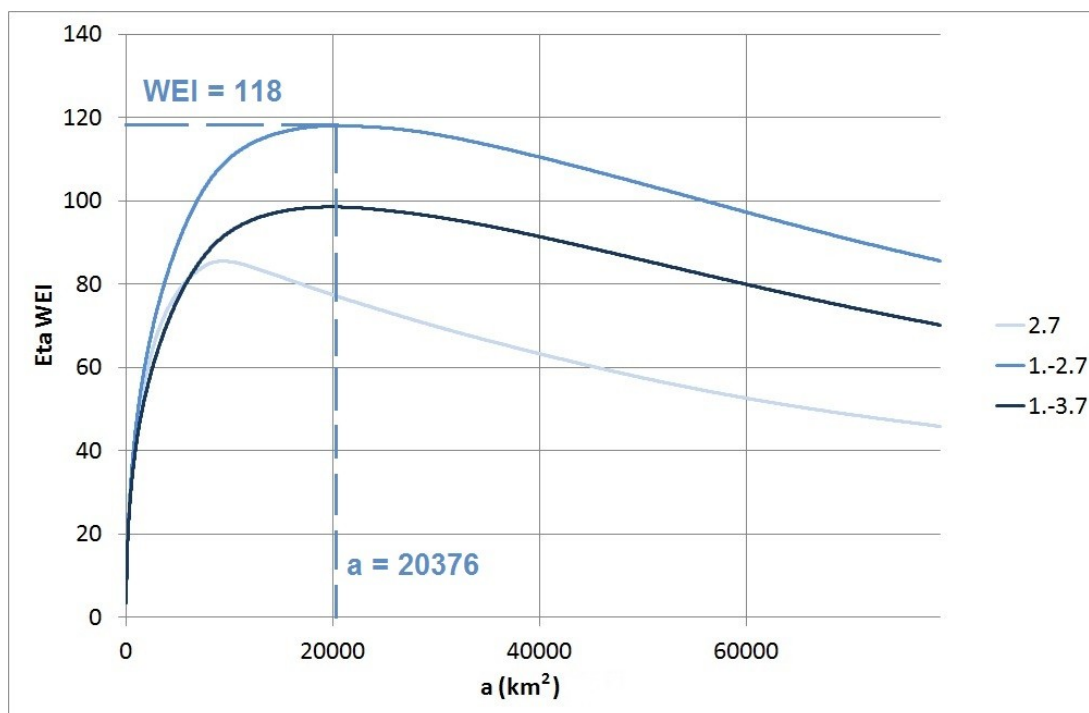
Dále jsme interpolovali výsledné hodnoty API_{30} do plochy v programu ArcGIS s využitím funkce Kriging. Při interpolaci srážkových dat pro zobrazení plošných srážkových úhrnů v jednotlivých dnech jsme využili funkce IDW (Inverse distance weighing). V obou případech se jedná o přesné metody interpolace, jež slouží k vykreslení srážkových polí. Zachovávají hodnoty v datových bodech, které při interpolaci mají maximální možnou váhu, tj. 1,0.

Část práce je také zaměřena na vyhodnocení extremity srážek v rámci ČR pomocí indexu extremity počasí (WEI). Jedná se o index představený ve studii (Müller, Kašpar, 2014), který je univerzální svým využitím pro hodnocení extremity meteorologických událostí. Index v sobě zahrnuje jak časové, tak prostorové měřítka. Výpočet hodnoty indexu WEI se provádí v několika krocích. Nejdříve se vyjádří extremita v dobách opakování srážkových úhrnů. Hodnoty dob opakování byly vypočteny a poskytnuty školitelem dle metodiky (Müller, Kašpar, 2014).

Poté se bodová informace převede do plochy. Kvůli exponenciální povaze výpočtu se interpoluje logaritmus doby opakování. K interpolaci do gridu bylo využito funkce Kriging v programu Surfer, kdy pravidelná síť měla rozlišení 2 x 2 km. Následně jsme hledali plochu, na kterou událost působila. Důležitá je ta oblast, kde událost dosahuje největší extremity, avšak vlivem topografie nemusí být zasažené území kompaktní. Ke stanovení zasažené plochy se dojde tak, že se seřadí sestupně podle doby opakování všechny pixely rastru, které představují plošnou dobu opakování. Dále se pomocí maximalizace proměnné E_{ta} stanoví hodnota WEI dané události. E_{ta} je definovaná následující rovnicí:

$$E_{ta} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(N_{ti})}{n} \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{\pi}} \quad (4)$$

kde N_{ti} je doba opakování pro časové okno t v pixelu i a n je počet použitých pixelů, které tvoří plochu a . Hodnota E_{ta} nejprve roste s tím, jak se přidávají pixely s vysokou dobou opakování. Od chvíle, kdy nárůst plochy je převážen poklesem doby opakování, začne hodnota E_{ta} klesat (viz obr. 4.1). Hodnota E_{ta} v nejvyšším bodě křivky tak kvantifikuje velikost zasažené oblasti (možno odečíst na ose x u obr. 4.1) spolu s extremitou události v daném časovém okně (viz osa y na obr. 4.1). Index se postupně aplikuje na jednodenní až pětidenní časové okno, přičemž dokud E_{ta} stoupá, je doba trvání události rovna největšímu časovému oknu t , pro které dosáhne E_{ta} maximálních hodnot. Toto zpřesnění indexu navrhla studie (Müller et al., 2015), v níž autoři upravili určení hodnoty WEI pro hodnocení extremity srážek u povodňových událostí a jejich vlivu na odtok.



Obr. 4.1: Hodnoty E_{ta} vypočtené pro srážkové úhrny pro různá časová okna 1. – 3. července 1954.

5 ANALÝZA POVODNĚ Z ČERVENCE 1954

V této kapitole přistoupíme k popisu povodňové události. Nejprve se zaměříme na synoptické podmínky vedoucí k červencové povodni. Dále vyhodnotíme předchozí nasycenost povodí a příčinné srážky, čímž uzavřeme meteorologickou část analýzy. Hydrologická odezva a následky této přírodní katastrofy reprezentují hydrologický rozbor. Kapitulu uzavřeme zhodnocením extremity.

V celé oblasti střední Evropy se vyskytly dvě po sobě jdoucí silné srážkové epizody. První nastala v rámci 1. až 3. července, druhá mezi 7. a 13. červencem. Zmíněná první srážková epizoda je zahrnuta do srážek zvyšujících nasycenost povodí a druhou spojujeme s příčinnými srážkami. Den D, první den silných srážek spojených s povodněmi, je tudíž 7. červenec 1954.

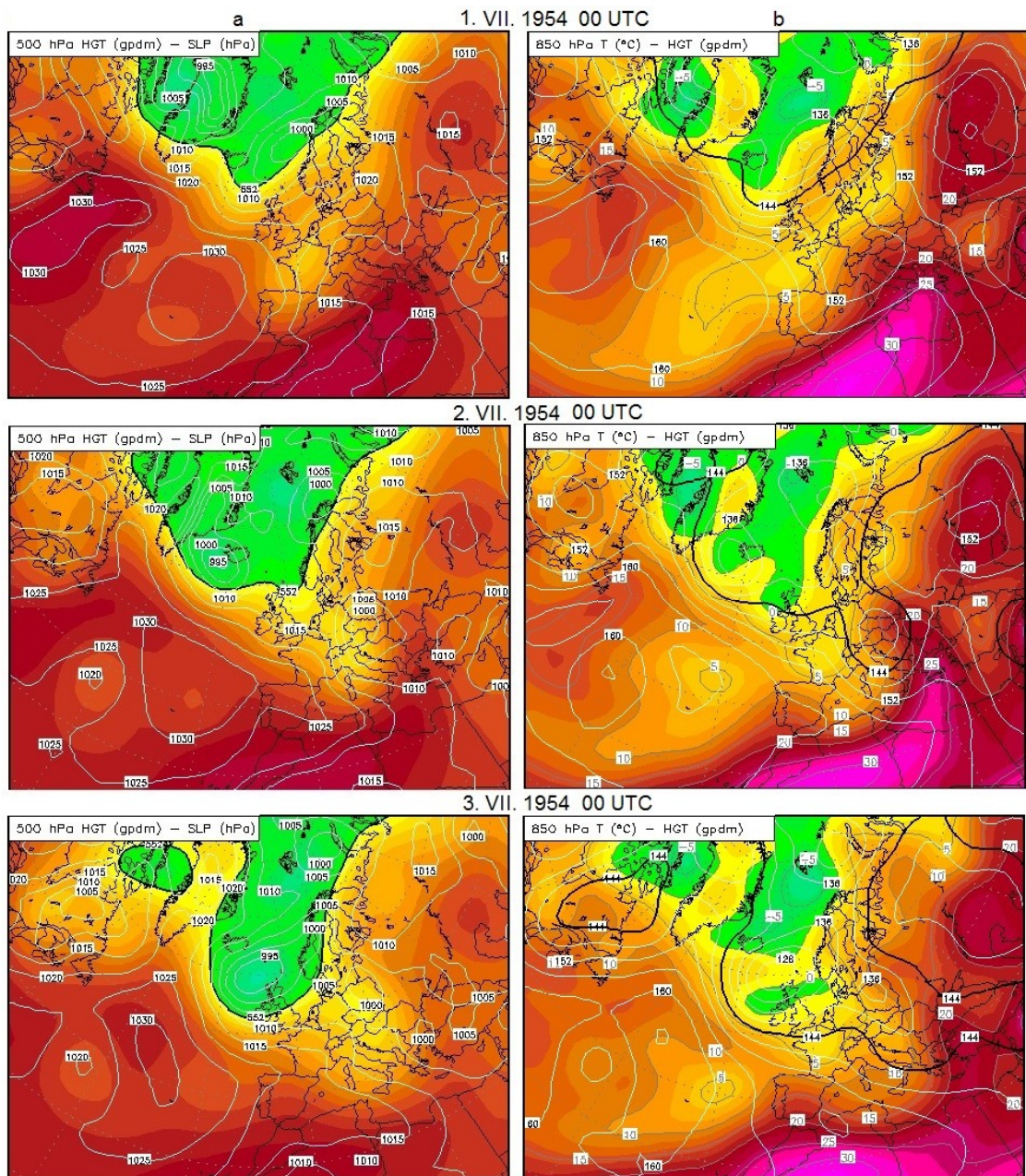
5.1 Synoptické podmínky

Popis synoptické situace je důležitým ukazatelem vývoje povodňových událostí. Situace z přelomu června a července 1954 je charakterizována řídicí Azorskou výší, která se vysunula abnormálně na sever a přinesla studené západní proudění do centrální Evropy. Alpská bariéra podminila cyklogenezi v oblasti Janovského zálivu (Glasel, 1955). Synoptická situace provázející příčinné srážky byla zesílena blokující tlakovou výší v oblasti severozápadního Ruska. Studený islandský vzduch proudil ze západu do střední Evropy, kde se střetl se subtropickou mediteránní vzduchovou hmotou teplejší přibližně o 10°C. Tento výrazný teplotní gradient napomohl vzniku další Janovské cyklony, jež by za běžných podmínek postupovala po dráze Vb, avšak již zmíněná blokující anticyklona odvrátila její pohyb z Polska na severozápad.

5.1.1 Synoptické podmínky na začátku července 1954

Na začátku července se rozprostírala nad severní Itálií tlaková níže (se středem 1010 hPa nad dolním tokem Pádu), tudíž Rakousko leželo v pásu studeného vzduchu již dobře vyvinuté cyklony (viz obr. 5.1). Teplotní gradient byl značný. Ve studené části cyklony průměrná denní teplota vykazovala 13 °C v Innsbrucku, 14 °C v Salzburgu oproti 25°C v Bělehradě a 28 °C v Podgorici (Glasel, 1955). Spolu s vpádem studeného vzduchu začaly v poledních hodinách 1. července vypadávat intenzivní srážky nad územím severních Alp a jejich podhůří. Střed srážkotvorné cyklony se od 1. července zahluboval a při zemi přesouval nad Československem do jižního Polska, 2. července v poledne byl lokalizován nad Varšavou (s hodnotou pod 995 hPa). Tím

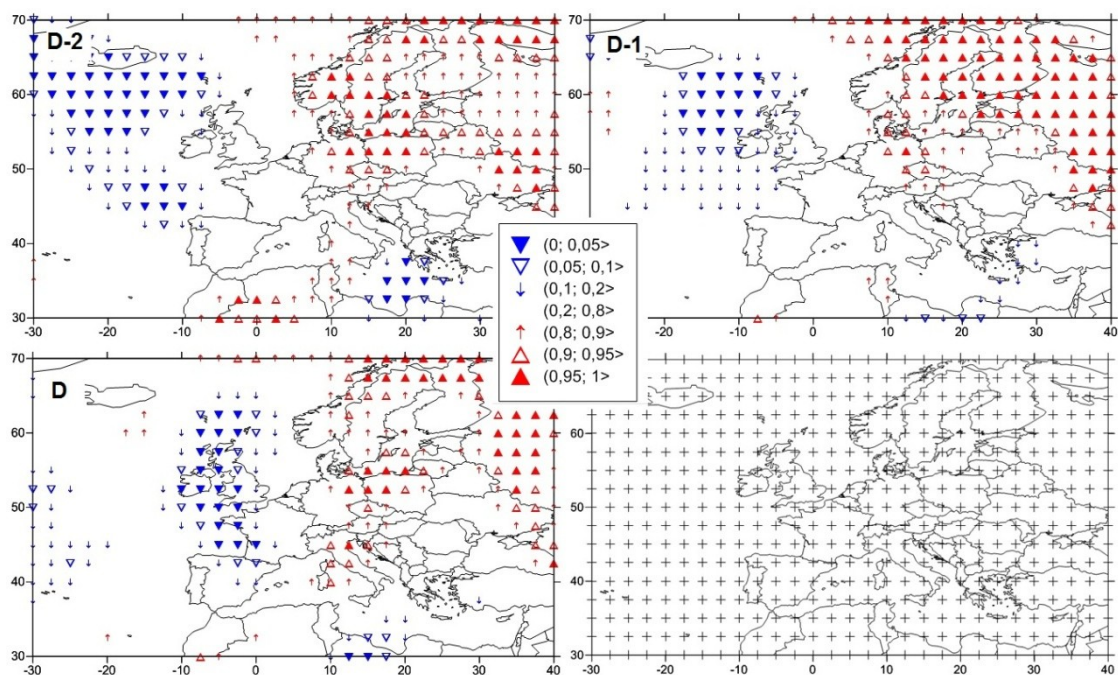
pádem se východním směrem rozšířilo i srážkové pásmo, nyní dosahující k Vídni. 2. července klesla hodnota průměrné denní teploty v tyrolských městech na 11 °C, na dalších místech Rakouska a jihovýchodní části ČR činil pokles až 8 stupňů s maximálním teplotním skokem 9,5 °C ve Vídni. Teplotní gradient v hladině 850 hPa byl toho dne ve střední Evropě na úrovni 50° s. z. š. větší než 15 °C / 400 km. V průběhu 3. a 4. července postupovala již slábnoucí cyklona nad pobřeží Baltského moře.



Obr. 5.1: Synoptická situace 1. – 3. července 1954 nad Evropou: a) Přizemní tlakové pole (bílé izobary) a absolutní topografie hladiny 500 hPa (barevně; krok 80 gpdam); b) absolutní topografie a teplota vzduchu v hladině 850 hPa. Upraveno podle (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

Již od 2. července se utvářela nová tlaková níže nad Islandem (viz obr. 5.1). Tato cyklona, dobře vyjádřená v přízemním tlakovém poli i v hladině 500 hPa, se nacházela 4. července nad Velkou Británií. V následujících třech dnech (4. – 6. července) podměnila opětovné proudění vlhkého oceánského vzduchu do středu kontinentu. Důležitá byla pozice stacionární blokující tlakové výše v oblasti mezi Finskem a Uralem, jež naopak přiváděla od východu teplý vzduch nad střední Evropu.

Nejvýznamnější roli v hodnocení synoptických podmínek panujících před silnými srážkami hraje tok vlhkosti. Na základě četných studií (např. Řezáčová et al., 2005a; Müller et al., 2009b; Kašpar, Müller, 2010) vykreslíme na obr 5.2 vývoj meridionálního toku vlhkosti v hladině 500 hPa (FQV500) ve dnech D-2 až D. Nad zájmovým územím můžeme postřehnout tok vlhkosti od jihu v průběhu všech tří dnů s intenzitou víceméně vyrovnanou. Více se vyvíjí tok vlhkosti od severu, který postupně zvyšuje svůj vliv v západní Evropě.

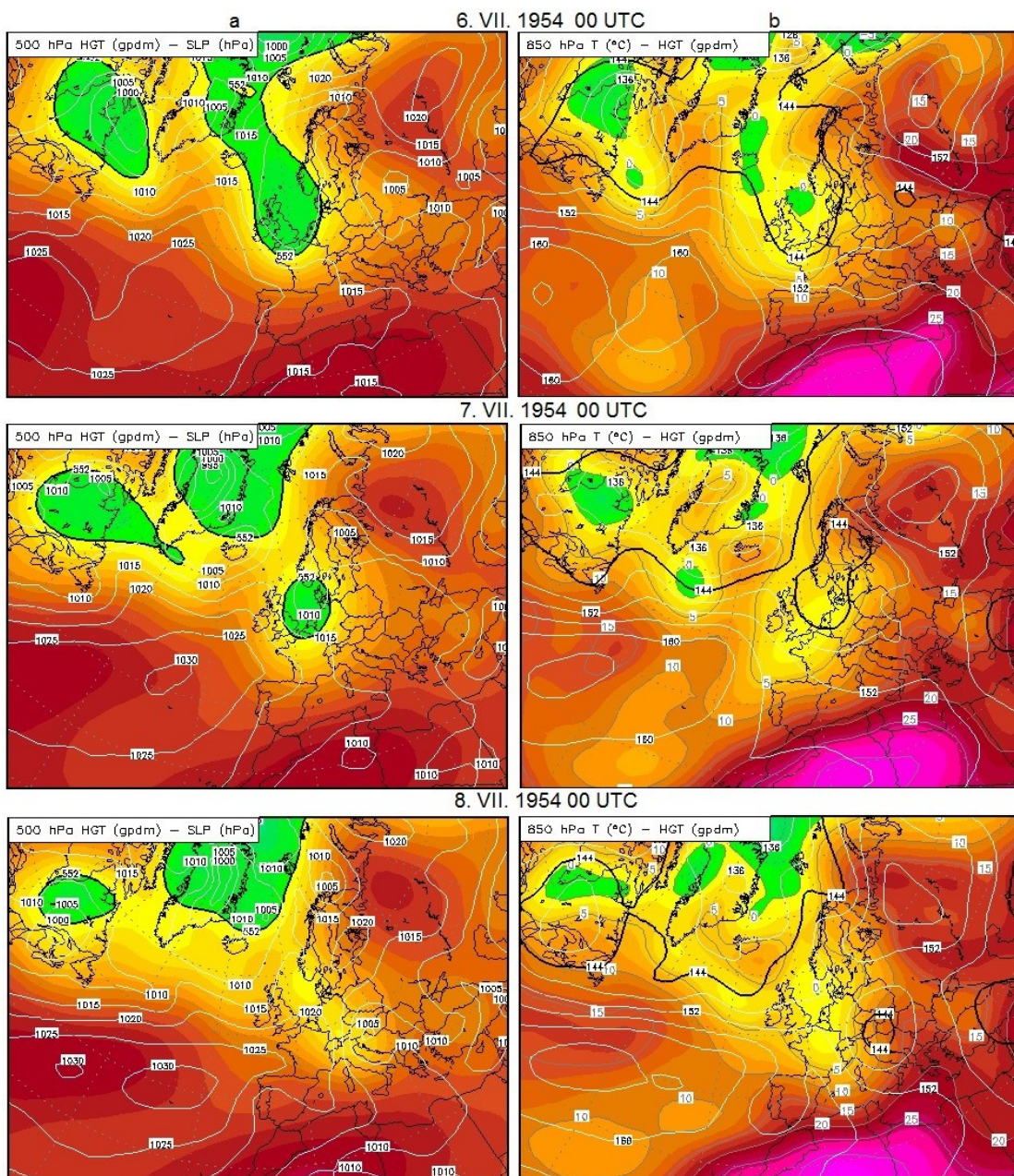


Obr. 5.2: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 500 hPa 5. – 7. července 1954 (D-2 až D). V pravém dolním rohu je znázorněna síť uzlových bodů použitých pro výpočet.

5.1.2 Synoptické podmínky během příčinných srážek

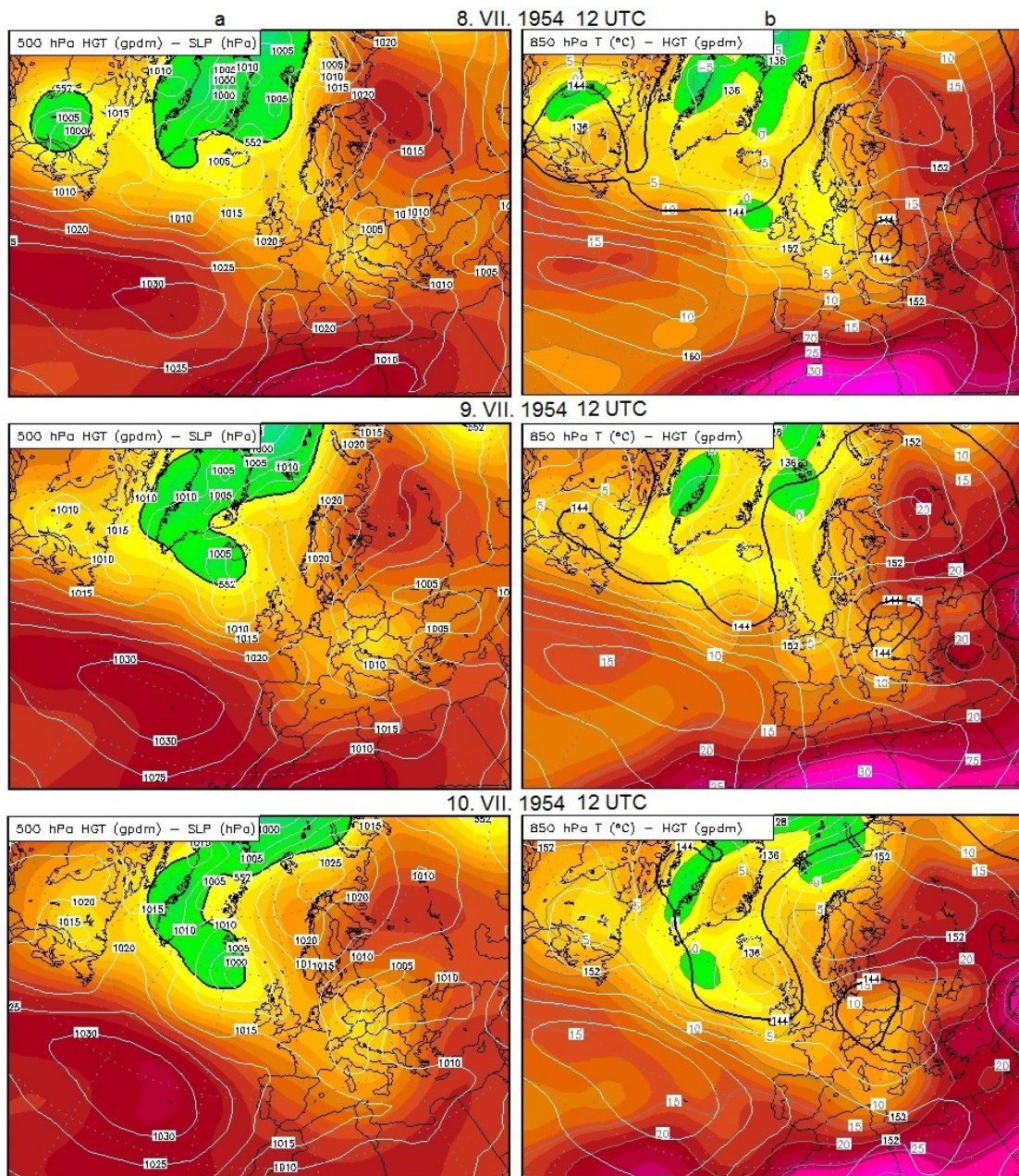
Od 6. července se začala tvořit nová cyklona v oblasti Janova podporována tlakovou níží nad Britskými ostrovy. Její vliv se 7. července rozšířil do povodí horního Dunaje, což je dobře vidět na části b) obr. 5.3. Nasávala velmi teplý vzduch od východu (oblast Čech a Polska) a studený vzduch od severozápadu (z Německa a severu Francie). Následkem toho se vytvořilo nad povodím Dunaje výrazné rozhraní vzduchových hmot. Intenzivní teplotní skok podměnil sněhové srážky v Alpách nad 800

m n. m. (Blöschl et al., 2013). Dalšího dne již teplota znatelně poklesla, na některých místech se snížila během 24 hodin až o 10 °C. Ráno 8. července hlásil Zell am See 3 °C, Semmering 4 °C a Kufstein 5 °C, pod nulu se dostala v nadmořských výškách nad 1000 m (Glasel, 1955). Zatečení kapky studeného vzduchu ve vyšších vrstvách atmosféry přineslo nad Alpy vzduch o teplotě kolem -25 °C v hladině 500 hPa. Vzduchová hmota se oteplovala, avšak vydržela při teplotách pod -18 °C nad Rakouskem do 10. července. Znatelný teplotní gradient a příliv studeného vzduchu vidíme i v hladině 850 hPa na vývoji během 8. července (viz obr. 5.3, část b) a obr. 5.4, část b). Teplotní rozhraní má meridionální směr, západní a východní část střední Evropy se značně teplotně liší s teplotním gradientem více než 10 °C na 400 km. Jak dokládá Glasel (1955), nad středním Německem se tropopauza v létě obvykle nachází ve výšce kolem 11 km. Během 7. a 8. července 1954 nad Mnichovem poklesla do výšky 9 km. I tento fakt svědčí o přílivu extrémně studeného vzduchu ze severu.



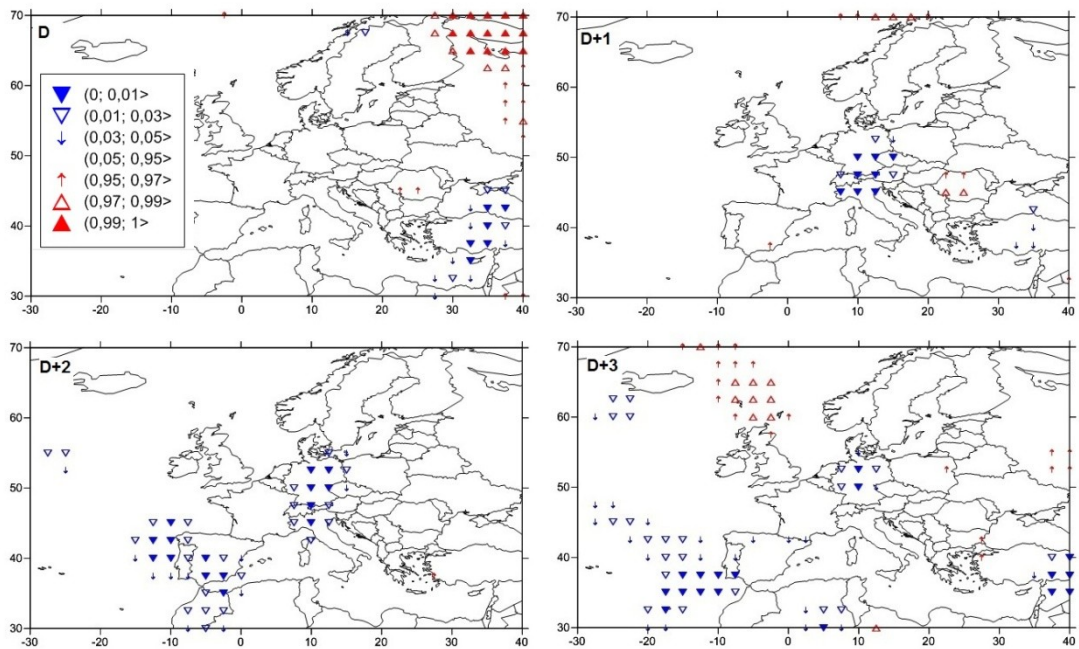
Obr. 5.3: Synoptická situace 6. – 8. července 1954 nad Evropou. Popis jako u obr. 5.1. Upraveno podle (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

V následujících třech dnech se tlaková níže jen pomalu posouvala. Jejím postupu dál nad kontinent podle klasické dráhy Vb bránila stacionární anticyklona na severovýchodě Evropy (viz obr. 5.4, část a). Tím pádem se zde udrželo po tři dny výrazné teplotní rozhraní a převážně severní proudění. Jelikož byla cyklona dobře patrná po celé období v hladině 500 hPa i 850 hPa, přízemní tlakové pole i výšková situace byly příhodné pro vypadávání intenzivních srážek. Významně zesílené srážky vynucené výstupnými pohyby studeného vzduchu zasáhly severní stranu východního hřebene Alp i severní svahy a hřebenové partie českých hor (Šumavu a Novohradské hory, Krušné, Jizerské i Lužické hory), v Německu pak Durynský les a Smrčiny.



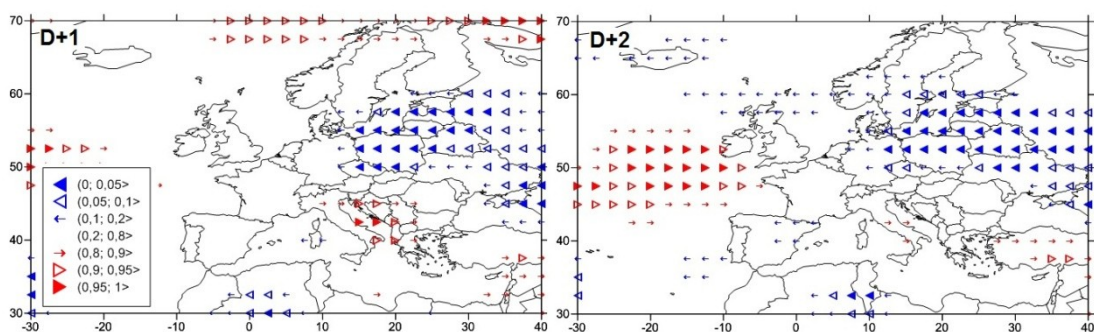
Obr. 5.4: Synoptická situace 8. – 10. července 1954 nad Evropou. Popis jako u obr. 5.1. Upraveno podle (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

Rozbor anomálií dalších meteorologických veličin ukazuje na mimořádnost epizody. Kromě geopotenciální výšky 850 hPa (Z850) a vertikální rychlosti vzduchu (W850) se projevuje zejména v toku vlhkosti na zmíněné hladině meridionálního (FQV850) i zonálního směru (FQU850). Obr. 5.5 ukazuje FQV850 pro dny D až D+3. V prvním dni intenzivních srážek se nad územím střední Evropy nevyskytuje silnější vlhkostní tok. V následujících třech dnech však přetrvává tok vlhkosti severního směru v zájmové oblasti, což souvisí s přísunem chladného vlhkého vzduchu v týlové části srážkotvorné tlakové níže.



Obr. 5.5: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 850 hPa 7. – 10. července 1954 (D až D+3). Síť uzlových bodů použitých pro výpočet je znázorněna na obr. 5.2.

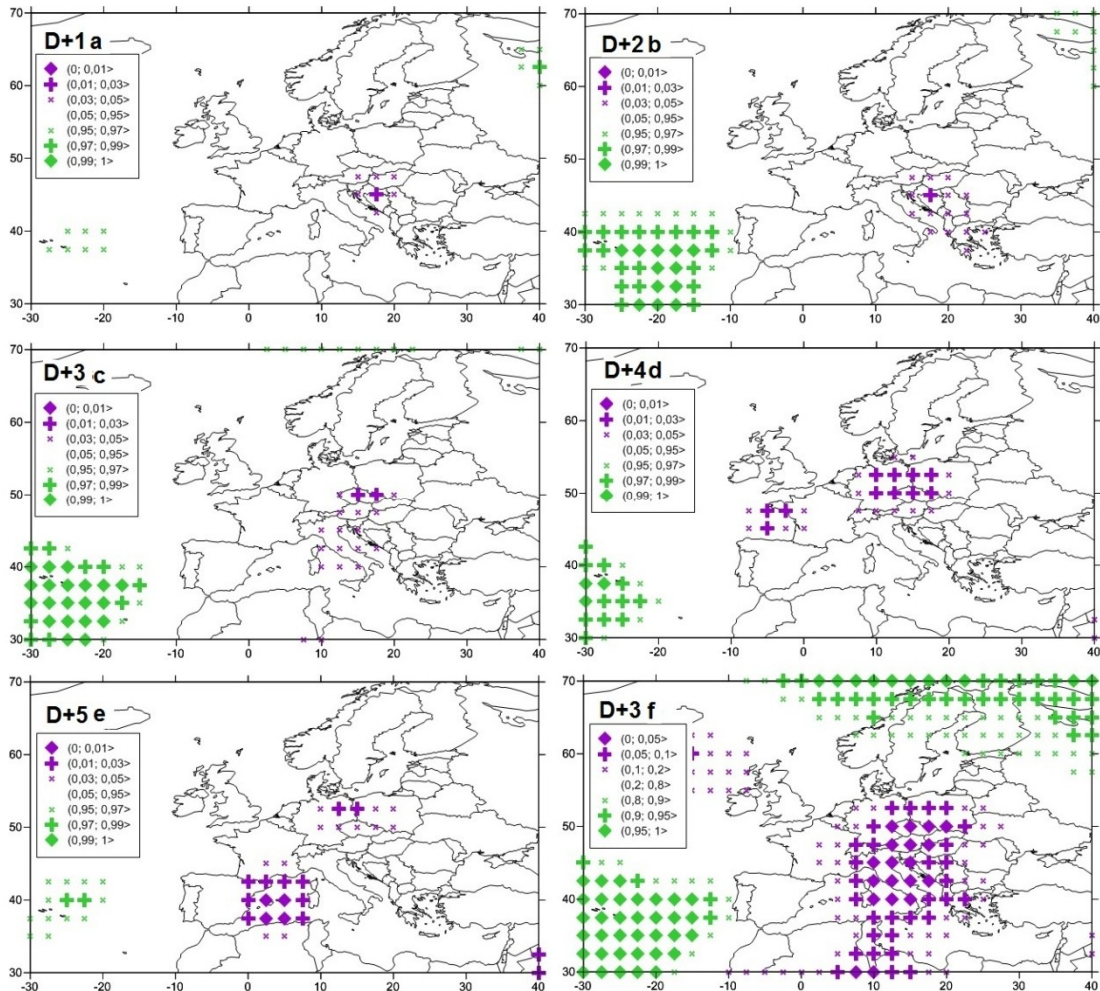
Obr. 5.6 vykresluje FQU850 pro dny D+1 a D+2. V obou dnech je shodně vidět intenzivní přísun vlhkosti z východu v podstatě nad celou severovýchodní Evropou, který končí před hranicí hlavního srážkového pásma. V prvním dni je ještě podpořen i tok vlhkosti od západu z Jaderského moře na pevninu Balkánského poloostrova. Ve druhém dni si všimněme toku vlhkosti od západu nad východním Atlantikem. Když si tyto poznatky spojíme s FQV850 zobrazeném na obr. 5.5, zřetelně se projeví cyklonální uspořádání proudění vzduchu spolu s informací o značné vlhkosti dané vzduchové hmoty.



Obr. 5.6: Velikost zonální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 850 hPa 8. a 9. července 1954 (D+1 a D+2). Síť uzlových bodů použitých pro výpočet je znázorněna na obr. 5.2.

Mimořádnost rozložení tlakového pole zobrazíme pomocí anomálie Z850 (viz obr. 5.7). Na částech a) až e) je to detailnější vymezení v obou krajních intervalech (0; 0,05>, resp. (0,95; 1>. Pro srovnání jsme ukázali část f), jež má volnější rozdělení hodnot. Zprvu se nízké hodnoty vyskytují nad Balkánem, postupně se oblast nízkého

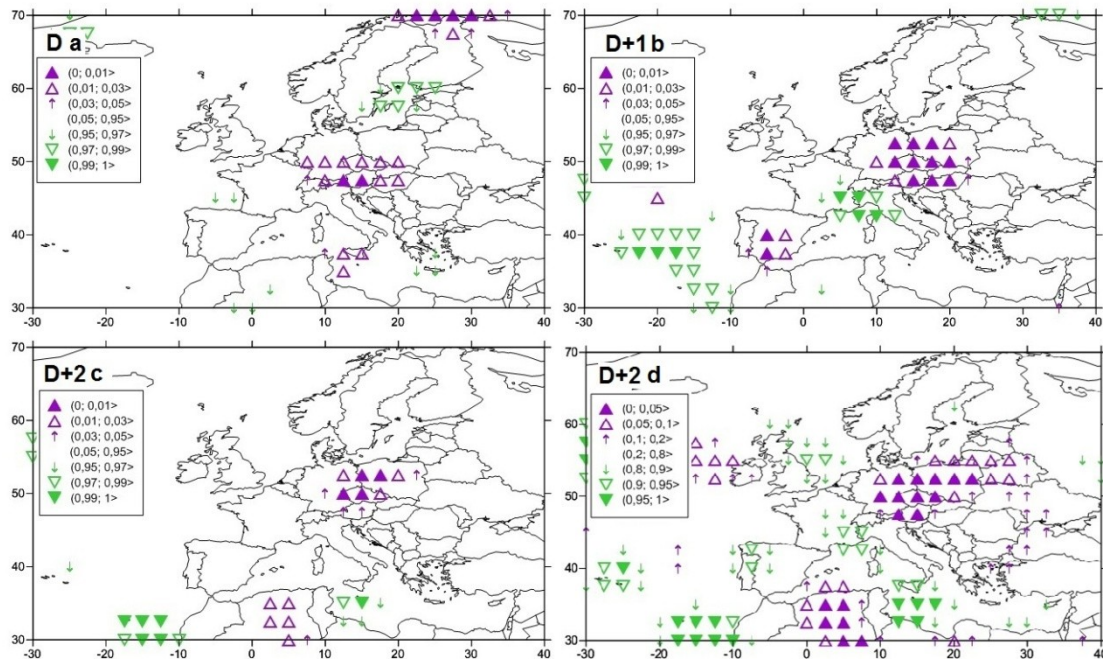
tlaku vzduchu zvětšuje a posouvá středem kontinentu dále na sever. Tento průběh je vzhledem k obecným synoptickým poznatkům očekávatelný. Musíme ale upozornit na oblast Azorských ostrovů, kde se po celou dobu nachází hladina 850 hPa neobvykle vysoko. Efekt mohutné tlakové výše právě pomáhá silnému přísunu vlhkosti ze západu. Vlhkost se koncentruje nad zájmovou oblastí, jelikož je uzavřena „v kleštích“ z obou stran za spolupůsobení blokující stacionární výše v severovýchodní Evropě (viz část f obr. 5.7).



Obr. 5.7: Geopotenciální výška hladiny 850 hPa vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce 8. – 12. července 1954 (D+1 až D+5). Síť uzlových bodů použitých pro výpočet je znázorněna na obr. 5.2.

Poslední hodnocenou anomálií je vertikální rychlost (obr. 5.8). I zde se pro zkoumané dny vyskytují extrémní hodnoty, proto používáme dvě různé stupnice (obdobně jako u obr. 5.7). Již ve dni D hodnoty distribuční funkce v rozmezí 0 až 0,03, čili intenzivní výstupné pohyby vzduchu, pokrývají téměř celé zájmové území a jejich výskyt zde přetrvává do dne D+2. Extrémy mezi hodnotami 0 a 0,01 se v následujícím dni rozšiřují z Rakouska i do ČR a východního Německa, přičemž nad ČR a německo-polskou hranicí setrvávají ve dni D+2. 8. července jsou přítomné i výrazné sestupy

vzduchu nad širším okolím Janovského zálivu, které setrvávají intenzivní i následujícího dne, což zobrazuje část d) obr. 5.8.

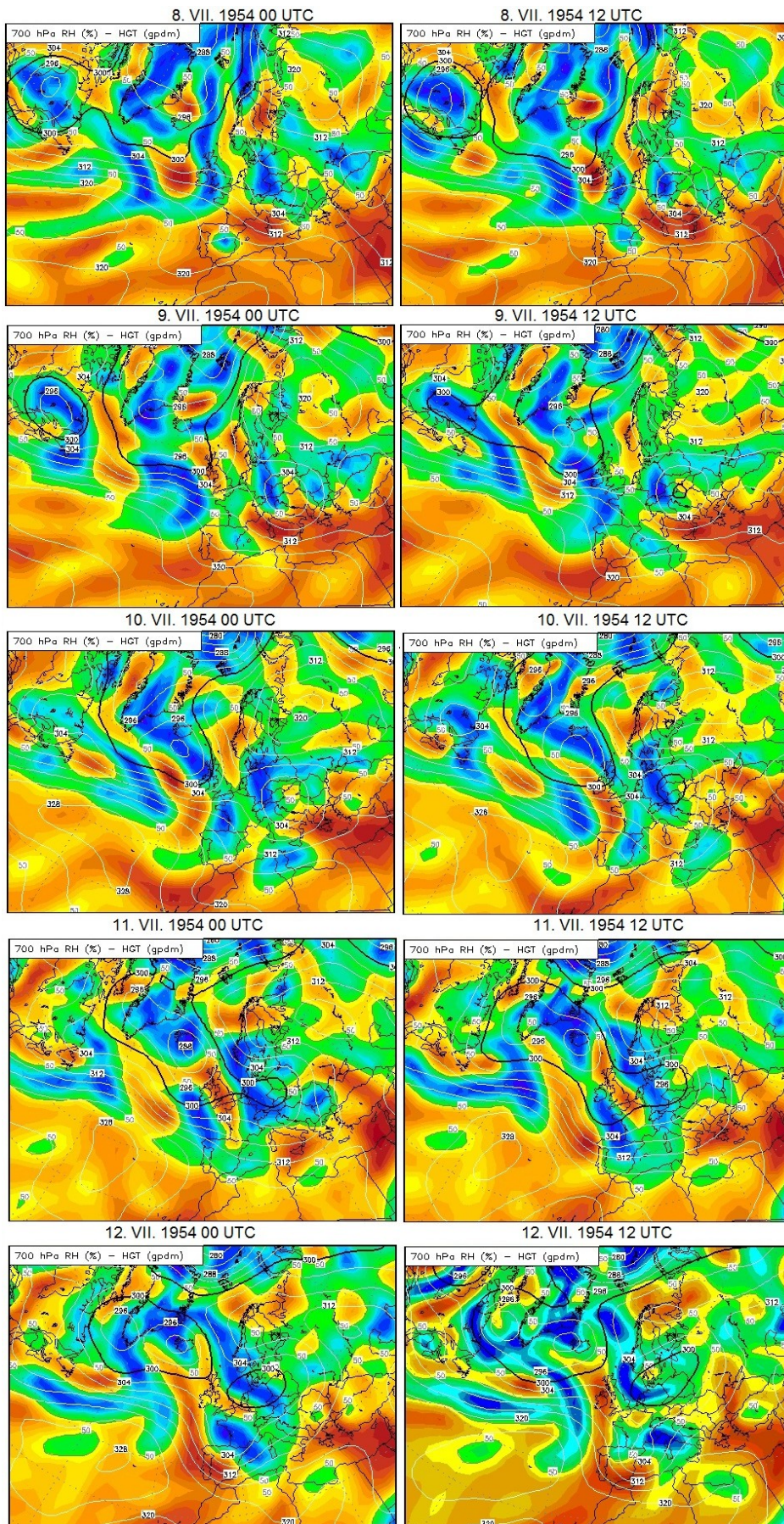


Obr. 5.8: Vertikální rychlost vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce v hladině 850 hPa 7. – 9. července 1954 (D až D+2). Síť uzlových bodů použitých pro výpočet je znázorněna na obr. 5.2.

Vývoj srážkového pole podmiňuje relativní vlhkost vzduchu. I přesto, že vývoj relativní vlhkosti vzduchu nemůžeme zaměřovat s vývojem srážek, jsou spolu úzce spojeny. Proto obr. 5.9 zobrazuje relativní vlhkost v hladině 700 hPa, kde se často vyskytuje oblačnost *Altostratus*, *Nimbostratus*, z níž padají trvalé srážky (Dvořák, 2008). Na obrázku je názorně vidět, jak se po celou dobu udržuje oblast nasyceného vzduchu nad západní částí Čech, východním a středním Německem. Postupně se rozšiřuje i nad západní část Německa. Nejvíce se „akumuluje“ především nad severním podhůřím Alp, což je způsobeno právě přetrvávajícím severním prouděním při zemi i ve vyšších hladinách. Tlakový útvar se vlivem atmosférických pochodů začal postupně přetáčet a 11. července se retrográdně jeho centrální část posunula nad Německo. Srážkovými pásy již nezasahoval povodí Dunaje (HMÚ, 1955), avšak povodí Labe bylo stále zásobeno vydatnými srážkami (viz část 5.3 této práce).

Zcela patrné otáčení vlhkého vzduchu kolem středu tlakové níže můžeme sledovat na obr. 5.9. S tím spojené uzavírání cyklony v průběhu 12. července by nasvědčovalo zániku tlakového útvaru. Avšak dle rozboru tlakového pole byl 12. července střed cyklony (o hodnotě méně než 1000 hPa při zemi) nad Dánskem, ve vyšších hladinách stále přetrvával nad německo-polskou hranicí. Během dalších dvou dnů systém pomalu postupoval Pobaltím. Tento vývoj podmiňovalo stálé blokování

anticyklonou se středem nad severním Ruskem. Do území střední Evropy se následně vysunul nevýrazný výběžek vyššího tlaku vzduchu vlivem západního proudění ve vyšších hladinách spolu se severozápadním prouděním v nižších hladinách atmosféry.

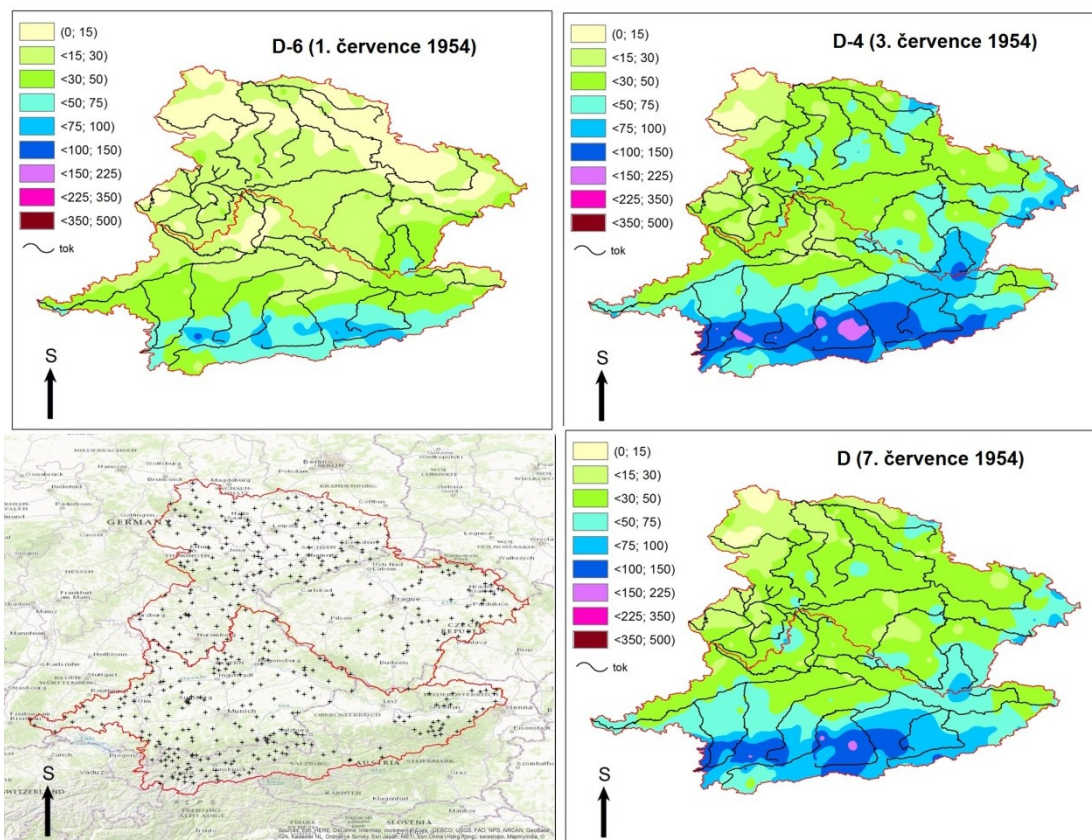


Obr. 5.9: Absolutní topografie a relativní vlhkost vzduchu v hladině 700 hPa 8. – 12. července 1954 nad Evropou. Upraveno podle (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>).

5.2 Nasycenost povodí

Nasycenost povodí vyhodnotíme na základě indexu API_{30} , standardně používaného k popisu nasycenosti povodí na začátku příčinných srážek. Výskyt intenzivnějších srážek není v průběhu povodně totožný, protože se hlavní srážkové pásy posouvají. Jelikož hodnotíme celý region, bereme jako první den intenzivních srážek (den D) 7. července 1954. V oblasti Alp byly zaznamenány srážky vysokých intenzit v průběhu 7. července, do větší části povodí českého Labe se dostaly 8. a do německé části 9. července. Protože se počátek příčinných srážek na různých místech v povodí liší, zobrazíme dále i vývoj nasycenosti povodí během příčinných srážek.

Měsíční srážky v povodí Dunaje byly za první pololetí 1954 slabě podnormální, v červnu dosahovaly 94 % dlouhodobého průměru. Oproti tomu v červenci dosáhly až trojnásobku průměrného měsíčního úhrnu (Glasel, 1955). Vývoj nasycenosti povodí na začátku července je zobrazen pomocí indexu API_{30} na obr 5.10. Zřetelně je vidět předchozí vysoké srážkové úhrny vyskytující se na horních tocích alpských řek a značný nárůst nasycenosti povodí Vltavy. 1. července byla většina území nasycena do hodnoty 30 mm, nad hranici 50 mm se dostala jen část Novohradských hor a oblasti Alp. Na horních tocích Isar a Amper v Bavorských Alpách vycházel index $API_{30} > 125$ mm. V den D-4 bylo území nasycenější nežli v den D.



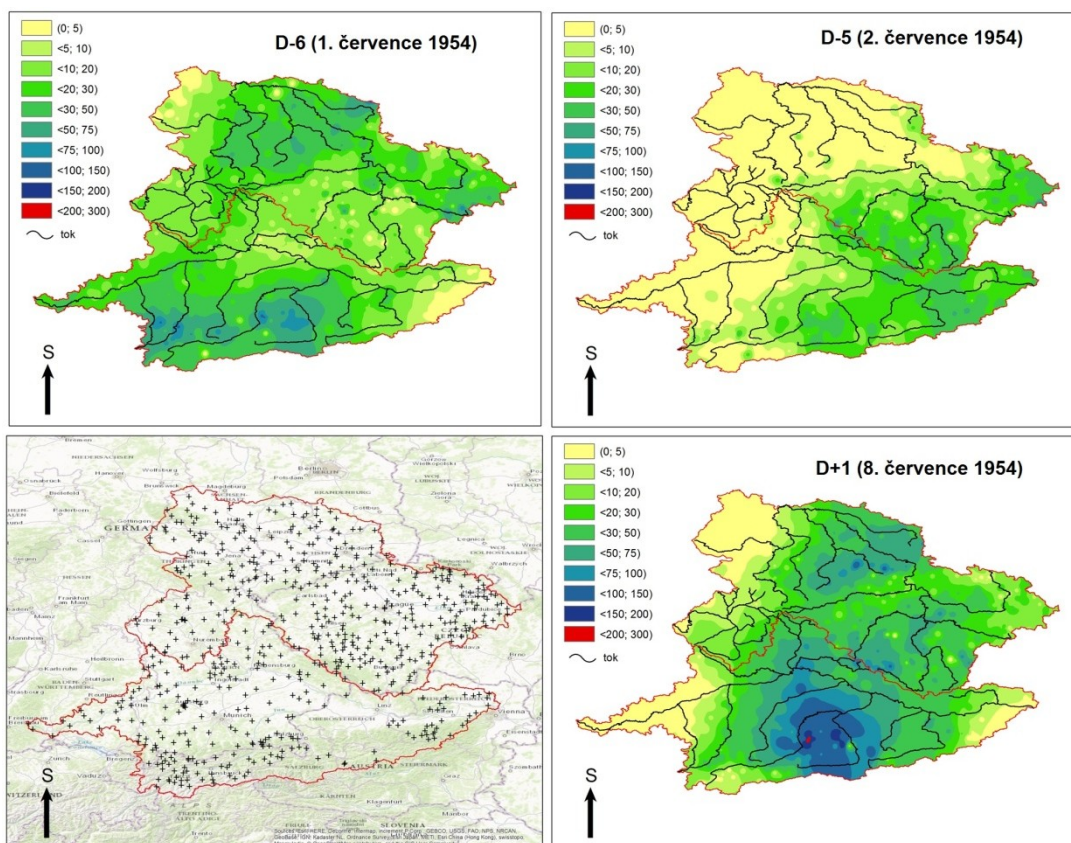
Obr. 5.10: Nasycenost povodí v červenci 1954 vyjádřená pomocí indexu API_{30} (v mm). Mapa vlevo dole znázorňuje rozložení stanic.

Velkou nasycenost na začátku července a tzv. „přidružené povodně“ neboli „předpovodeň“ způsobily silné srážky vypadávající 1. a 2. července především ve vyšších partiích hřebene Alp, ve východních a jižních Čechách. Proto se nejvyšší R_d za celé období 27. června – 12. července 1954 na mnoha stanicích naměřily právě 1. července. Nejvyšší R_d z 1. července v Rakousku (129 mm) byl překonán přibližně o 10 mm na několika německých stanicích severního alpského svahu. Východní část Německa zasáhly také intenzivnější srážky, R_d přibližně 70 mm byly v povodí Weisse Elster a Schwarze Elster. V povodí českého Labe zaznamenal $R_d = 103$ mm Krucemburk u Havlíčkova Brodu (567 m n. m.), další stanice východních Čech vykazovaly $R_d > 80$ mm.

Během 2. července se srážky posunuly na jihovýchod, v povodí řek Ybbs a Kamp se naměřilo do 50 mm. Maxima v české části, s R_d kolem 70 mm, se objevila na šumavských stanicích. Srážky vypadávající v povodí Dunaje ve výšce nad 1600 m n. m. byly sněhové a v dalších dnech sněhová pokrývka pozvolna odtávala. Obr. 5.11 kromě R_d na začátku července nabízí srovnání 1. a 8. července (tedy dnů s největším výskytem denních srážkových maxim). Je zřejmé, že hlavně v povodí řek Lech, Iller a severozápadním Tyrolsku po Isar byly R_d 1. července vyšší nežli 8. července. Celkový srážkový úhrn v období 1. – 3. července v oblasti středního Německa a v Čechách činil v průměru kolem 60 mm, na jih od Dunaje 50 – 130 mm.

Fenomén přidružených povodní je popisován v literatuře a dokumentován i u řady dalších středoevropských povodní (Müller, 2007). Dvojitě povodně následují po první vlně intenzivnějších srážek, které se vyskytly i v případě povodní v červenci 1954. Od Alp postupovaly srážkové pásy ze zájmového území jihovýchodním směrem, což můžeme postřehnout z porovnání R_d 1. a 2. července (viz obr. 5.11). Na území ČR se od 1. do 3. července vyskytly větší srážky v povodí Moravy (viz část 5.6.1 této práce), způsobily zvýšení hladin toků do výše až desetiletých průtoků. Zmíněné území však není předmětem předkládané práce (více např. <http://atlas.ufa.cas.cz/>).

Nasycenost povodí v den D je značná. V Alpách jsou hodnoty nad 75 mm, v Salzbursku a Bavorských Alpách $API_{30} > 100$ mm, v centrech těchto oblastí dokonce přesahují 150 mm. V povodí toků Iller a Lech zůstává $API_{30} > 50$ mm, stejně jako v jižních Čechách. Novohradské hory a východní okraj povodí českého Labe vlivem silnějších srážek v průběhu 1. a 2. července vykazují API_{30} nad 75 mm (viz obr. 5.10 a obr. 5.11).



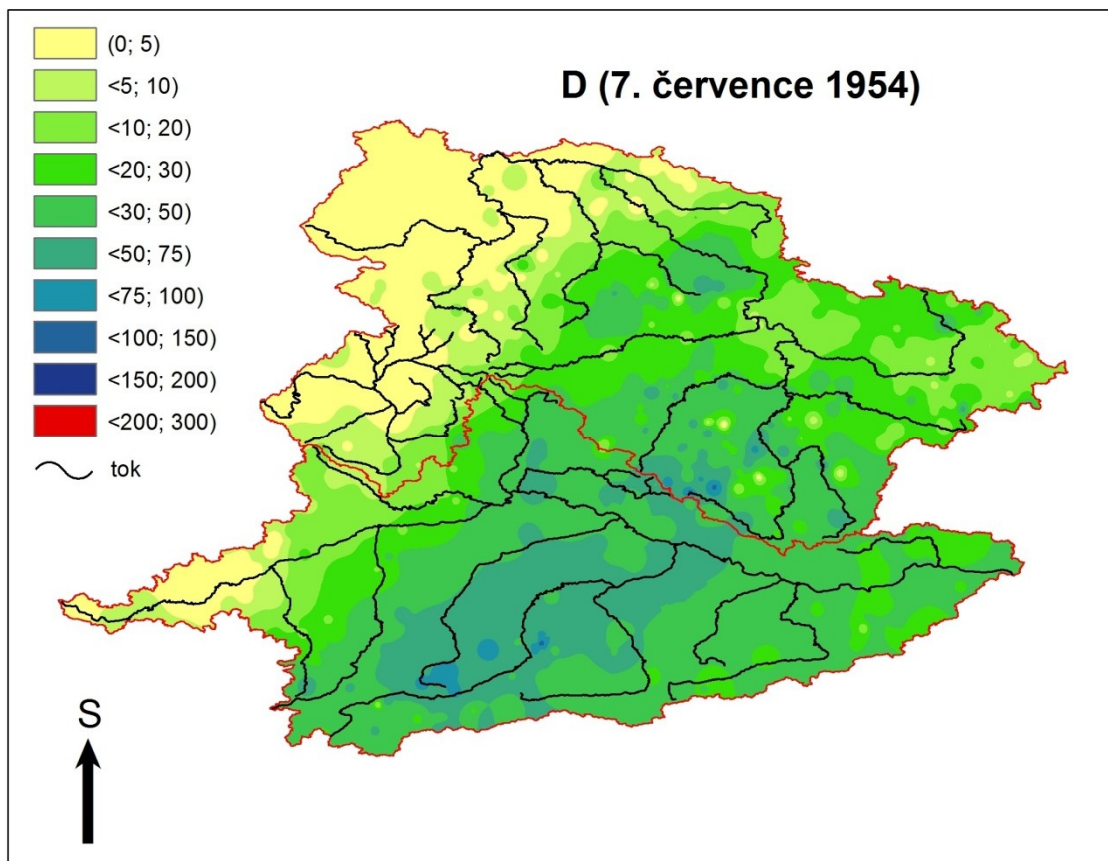
Obr. 5.11: Denní srážkové úhrny na začátku července 1954 (v mm). Mapka vlevo dole znázorňuje rozložení stanic.

5.3 Příčinné srážky

V druhém červencovém týdnu vypadávaly silné srážky nad celým zájmovým územím. Například ve sledovaném povodí Dunaje to bylo za tři dny (7. – 9. července) více, nežli je zdejší dlouhodobý měsíční průměr (Glasel, 1955), v povodí řek Mulde a Saale dosahují R_3 od 9. do 11. července součtu průměrných srážek za červen a červenec (HWRP, 2011). Je patrné, že srážkové pásy se postupně vyvíjely a postupovaly z oblasti Alp, přes Bavorsko a jižní Čechy do severní části zájmového území. Zde se koncentrovaly zejména na návětrné straně Krušných hor a velice nezvykle také v povodí Mohanu.

V průběhu 7. července se hlavní srážky přesouvaly ze Švýcarska do Tyrolska a Salzburska. V povodí toku Isar začalo pršet kolem 7. hodiny ránní, do Salzburgu se srážky dostaly kolem poledne a do města Linz v 16 hodin. Celkové denní úhrny přesáhly 60 mm na většině stanic v Rakousku, s maximy kolem 100 mm, což je patrné z obr. 5.12. V německém povodí Dunaje byly denní srážkové úhrny vyšší, maximum 141 mm zaznamenala stanice Seehaus bei Ruhpolding v povodí řeky Alz. Přes 100 mm naměřily i české stanice a např. Vráž u Písku (435 m n. m.) udávala 83 mm. V podstatě celé jižní Čechy byly zasaženy pásmem intenzivních trvalých srážek (cca

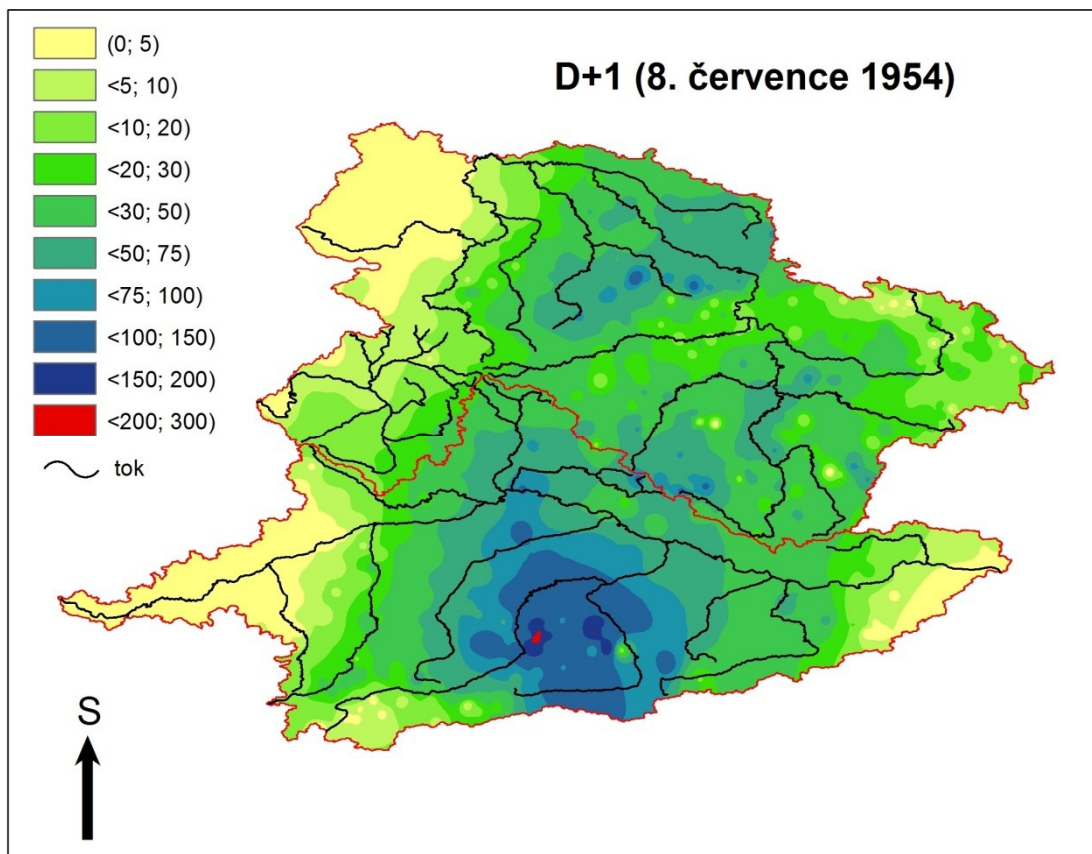
40 až 60 mm), v odpoledních hodinách se vyskytly i bouřky (Vavruška, 1989). Srážky na severních svazích Krušných hor byly povětšinou do 50 mm. Zmíněné srážkové úhrny dobře zobrazuje obr. 5.12, detailnější mapu srážkových úhrnů v povodí Dunaje přikládáme v příloze č. 3 vzhledem k chybějícím datům v Horním Rakousku.



Obr. 5.12: Denní srážkové úhrny (v mm) 7. července 1954. Rozložení stanic znázorňuje mapka vlevo dole u obr 5.11.

Obr. 5.13 ukazuje rozložení srážkových úhrnů pro 8. červenec 1954, kdy srážky ještě více zesílily, v povodí Dunaje až k mimořádným R_d . Na stanici Scharfling am Mondsee v Salzkammergut se naměřilo 207 mm – maximum za celý červenec v Rakousku. Extrémně vysoké hodnoty zaznamenaly severní svahy Alp na území Německa, ve východní části vykazují skoro všechny stanice rozmezí 100 – 150 mm. 8. července 1954 bylo zaznamenáno i absolutní denní maximum červencových událostí 260 mm na stanici Stein im Priental jihozápadně od Chiemsee, následováno Seehaus bei Ruhpolding s 236 mm a Bad Reichenhall s 212 mm (Glasel, 1955). V Čechách překonala hranici 100 mm opět stanice Kvilda se 113 mm, což bylo maximum R_d v české části území za celé povodňové období. Šumava byla i v tento den nejvíce zasažena. V povodí Vltavy se objevilo polední zeslabení a druhá odpolední vlna intenzivních srážek. Opakovaně byly zaznamenány bouřky a během večera srážky postupně ustávaly (Vavruška, 1989).

Vysoké R_d se nacházely na německé straně Krušných hor. Vlivem návětrných efektů bylo zesílení oproti závětrným oblastem jednoznačné, na hřebenu však také přišlo méně. Úhrny mezi 75 a 100 mm vytvořily linii ve směru jihozápad – severovýchod v předpolí přibližně 30 km od hlavního hřebene v nadmořských výškách kolem 500 m. Oederan (10 km východně od Chemnitz) hlásil $R_d = 137$ mm, což byl nejvyšší denní srážkový úhrn za období 27. června – 11. července naměřený v povodí Mohanu a Labe. Hřebenové stanice udávaly R_d kolem 50 mm, např. Filchtelberg 42 mm.

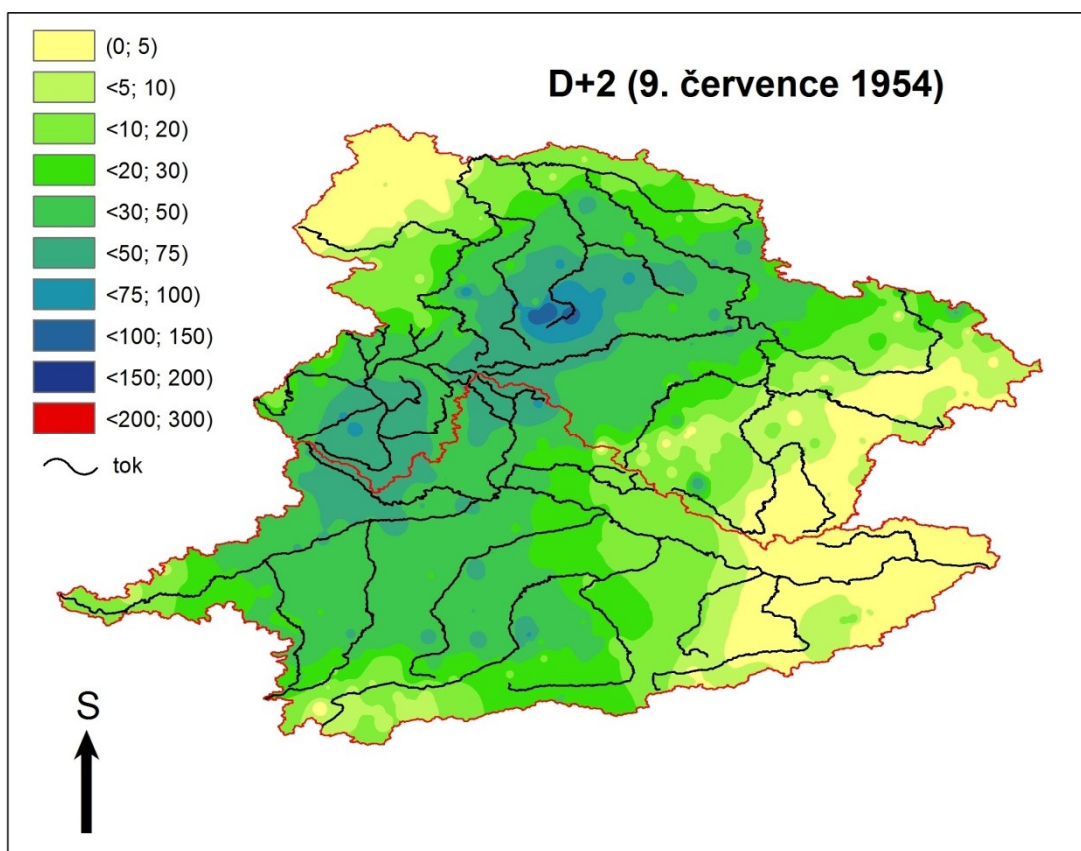


Obr. 5.13: Denní srážkové úhrny (v mm) 8. července 1954. Rozložení stanic znázorňuje mapka vlevo dole u obr 5.11.

Jak jsme již uvedli, denní srážkové úhrny překročily hranici 200 mm pouze 8. července, což se objevilo ve vyhodnocení staničních dat na obr. 5.13. Vzhledem k chybějícím datům z Horního Rakouska je však omezené. Proto přikládáme mapu vypracovanou Glaselem (1955) s lepším prostorovým rozlišením nejintenzivnějších denních srážkových úhrnů za celou povodňovou událost ve zkoumaném území (viz příloha č. 3).

Obr. 5.14 vykresluje srážkové úhrny z 9. července. Hlavní srážkový pás se přesouval Bavorskem do Čech a Saska. Například $R_d = 84$ mm v Norden Pressath (Smrčiny) rovněž dokládá posun hlavních srážek k severozápadu a v povodí řek Naab a Altmühl (levostranné přítoky Dunaje) se zaznamenaly maxima za celou červencovou

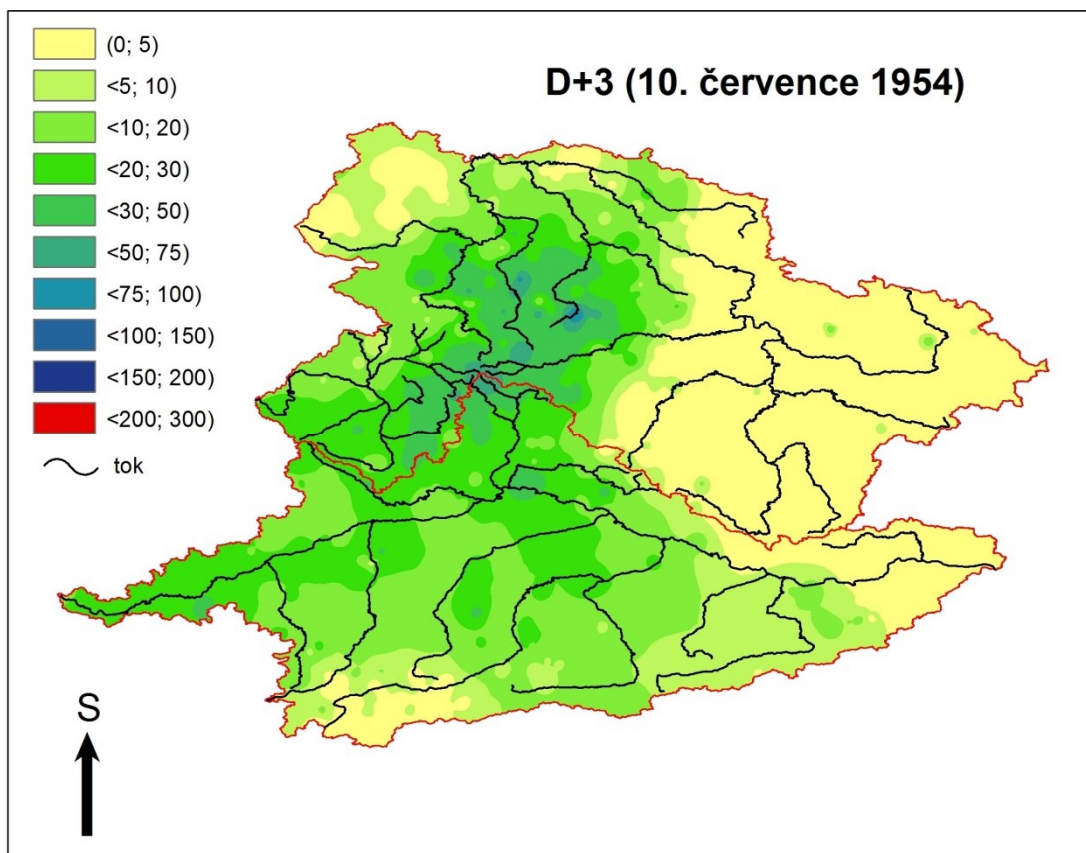
srážkovou epizodu. Jasně patrný je bariérový efekt krušnohorského hřebene. Intenzivní srážkové úhrny se koncentrovaly do povodí řek Mulde a Weisse Elster. Hranici $R_d > 100$ mm přesáhly 3 stanice ležící zhruba 20 km jižně od Zwickau v nadmořské výšce kolem 450 m na jejich rozvodí (Eich 126 mm, Kirchberg 122 mm a Bockau 118 mm). Interval 50 až 75 mm zaujímá téměř celé severní úpatí Krušných hor, Durynský les, Smrčiny a většinu území povodí Mohanu, kde se na některých stanicích naměřily $R_d > 85$ mm. K takovýmto sumám značně pomohly příhodné povětrnostní podmínky a orografické zesílení srážek pohořím Švábská Alba. Vezmeme-li v potaz, že na stanici Würzburg průměrný měsíční úhrn odpovídá 55 mm, $R_d > 75$ mm je zde vzácný.



Obr. 5.14: Denní srážkové úhrny (v mm) 9. července 1954. Rozložení stanic znázorňuje mapka vlevo dole u obr 5.11.

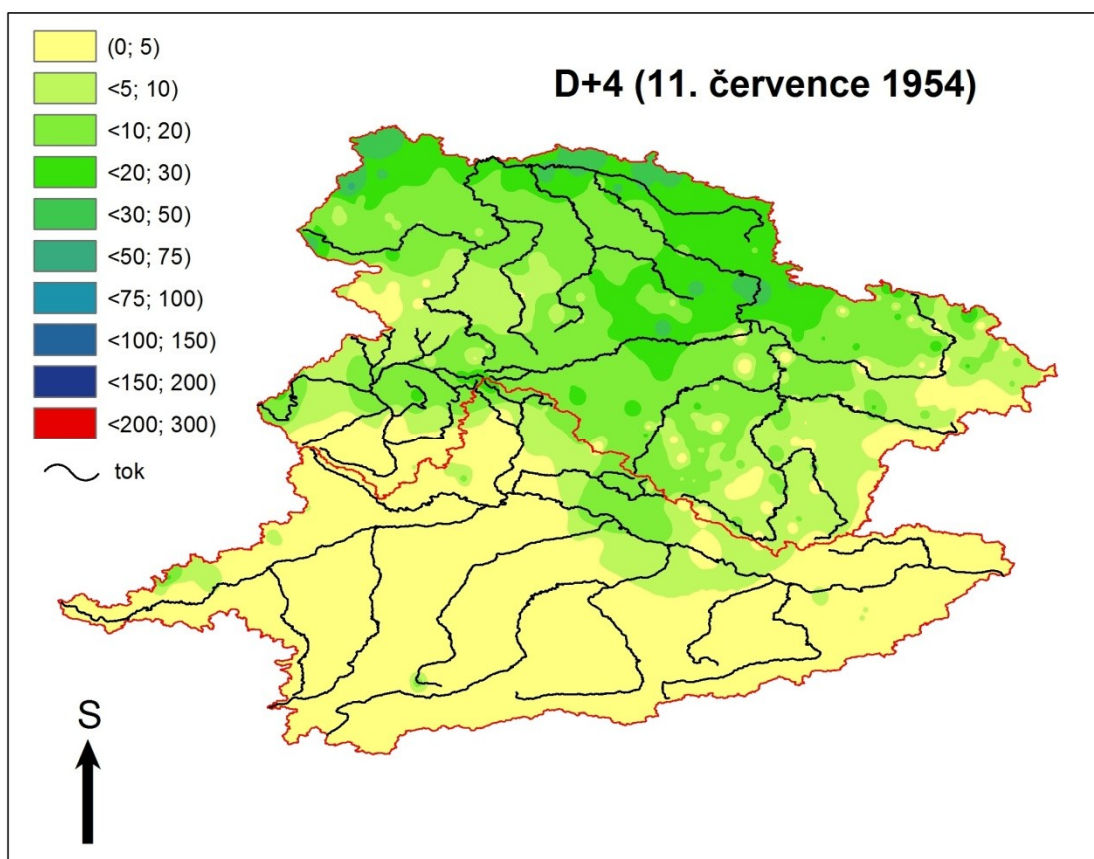
Rozložení srážek 10. července na obr. 5.15 dokumentuje téměř ustání srážek ve východní části zájmového území a v rakouských Alpách. Oproti tomu v povodí řek Mulde a Saale se udržely vysoké srážky. Již zmíněná stanice Bockau naměřila 98 mm, což bylo denní maximum celé oblasti. V povodí Weisse Elster byly R_d z 10. července nejvyšší, v relativním srovnání se rovnaly měsíčnímu průměru (HWRP, 2011), v povodí řeky Saale byly $R_d > 50$ mm. Maximum na českém území vykazovala Aš s $R_d = 65$ mm. Nejvyšší R_d povodí Dunaje se koncentrovaly do jeho severní části. Maximální $R_d = 68$

mm se naměřilo v Brandu u rozvodí s Mohanem. V povodí Mohanu přesáhly R_d 75 mm, v Creussen (7 km jižně od Bayreuthu) se naměřilo $R_d = 54$ mm.



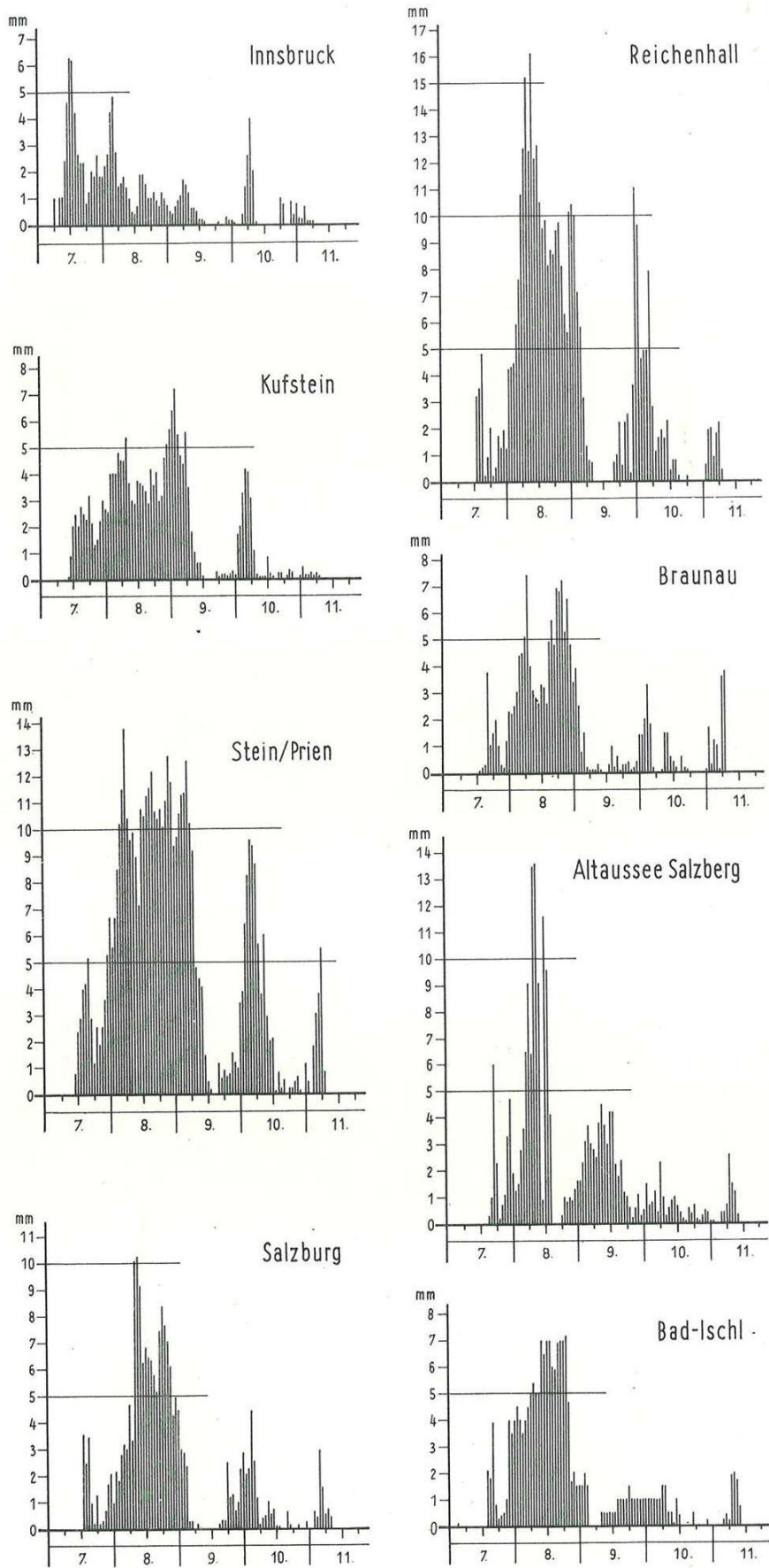
Obr. 5.15: Denní srážkové úhrny (v mm) 10. července 1954. Rozložení stanic znázorňuje mapka vlevo dole u obr 5.11.

Během následujících dní srážky v jižní části výrazně slábly. 11. července přestaly dopoledne v Bavorsku, téměř v celém povodí Dunaje byly denní srážky pod 10 mm. Třídenní úhrny (10. – 12. července) se na většině povodí Dunaje pohybovaly pod 30 mm, kromě nejexponovanějších partií Salzkammergut (maxima do 50 mm) a severních částí v povodí Naab, kde registrovalo 30 stanic sumy nad 80 mm. Jinak tomu bylo 11. července v severní části zkoumané oblasti, což představuje obr. 5.16. Na hranici Čech a Saska se naměřily R_d 30 – 50 mm (např. $R_d = 42$ mm v Děčíně). Absolutní maximum 53 mm zaznamenala stanice Oberharz (ve výšce 500 m n. m. poblíž nejvyššího vrcholu pohoří Harz), tedy v severozápadním cípu zájmového území, kde se nachází i další stanice s $R_d = 40$ mm. 12. července se srážky posunuly dále na severozápad a jen okrajově zasahovaly zkoumané území (Böer et al., 1959).



Obr. 5.16: Denní srážkové úhrny (v mm) 11. července 1954. Rozložení stanic znázorňuje mapka vlevo dole u obr 5.11.

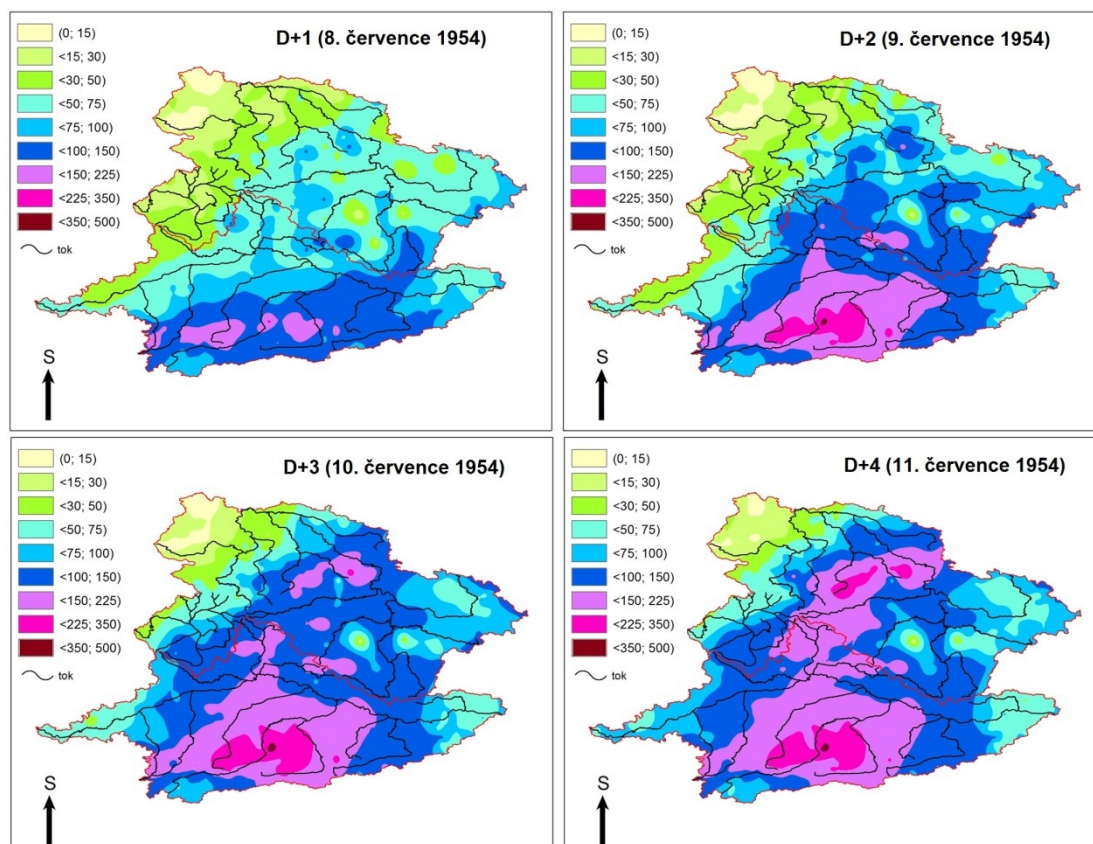
Při zobrazení hodinových intenzit srážek (R_h) na stanicích v povodí Dunaje (viz obr. 5.17) uvidíme především extrémní srážkové úhrny přesahující 8. července dvakrát 15 mm a dokonce 9krát desetimilimetrovou hranici u stanice Reichenhall, s maximem 16,6 mm. I další stanice zaznamenaly $R_h > 10$ mm, např. Stein/Prien u Chiemsee, kde během 30 hodin (od půlnoci 7. července do brzkých ranních hodin 9. července) bylo naměřeno po 20 hodin $R_h > 10$ mm, což vedlo k průměrným hodinovým srážkám 8,1 mm během 48 hodin. Na všech stanicích jsou postřehnutelné dvě srážkové vlny, z nichž první, vyskytující se během 8. července, byla intenzivnější. Odděluje je jen několikahodinová pauza 9. července. Výjimkou je Innsbruck, který zaznamenal nejintenzivnější srážky již 7. července a Salzberg u jezera Altaussee, kde nepršelo jen 8. července od 14 do 17 hodin, což bylo dáno zřejmě vlivem okolního rozmanitého terénu v Salzkammergut. U všech stanic se shodně objevila málo intenzivní třetí srážková epizoda v brzkých ranních hodinách 11. července. Celkový úhrn srážek byl v porovnání se dvěma předchozími mizivý, avšak vlivem přesyceného podloží (viz obr. 5.18) se téměř všechny srážky zapojily do zvýšení průtoků, resp. zploštění poklesové větve povodňové vlny.



Obr. 5.17: Hodinové srážkové úhrny v povodí Dunaje za období 7. – 11. července 1954. Upraveno podle (Glasel, 1955).

Výrazné ochlazení, které jsme již popsali v části 5.1.2, ovlivnilo skupenství vypadávajících srážek. Tato teplotní situace pomohla zmenšit povodňové vlny, jelikož sněhové srážky se nezapojily do přímého odtoku při povodních. Například 8. července připadlo v Dienten (1200 m n. m., 20 km jižně od Weisbachu) 57 cm nového sněhu, který postupně roztával; stanice Wildkogelhaus v Kitzbühlských Alpách ve výšce 2010 m n. m. hlásila 40 cm nového sněhu, o den později nárůst o neuvěřitelných 142 cm (Glasel, 1955). Celková výška nového sněhu během 8. – 10. července byla 25 cm v Mitterndorf bei Aussee v nadmořské výšce pouhých 800 m.

Zajímavý přístup pro hodnocení příčinných srážek se nabízí zobrazením vývoje nasycenosti povodí pomocí indexu API_{30} , které zahrnují již informaci o předchozích srážkách. Obr. 5.18 ukazuje API_{30} pro první 4 dny po začátku příčinných srážek (8. července až 11. července). Největší změna se zde projevuje mezi dny D+1 a D+2 v rozsahu srážkových úhrnů od 150 do 225 mm, což dokládá již popsaný postup intenzivních srážek. 10. července se dostává celý pás s hodnotami $API_{30} > 150$ mm přes severozápadní Bavorsko až do severního podhůří Krušných hor a jejich vrcholových partií, kde narůstá 11. července k hodnotám kolem 300 mm. Takto vysoké hodnoty zůstávají v oblasti rakousko-bavorského pohraničí, Tyrolska a Salzkammergut od 9. do 11. července, extrémů nad 460 mm dosahuje okolí města Stein u Chiemsee.



Obr. 5.18: Vývoj nasycenosti povodí v červenci 1954 během příčinných srážek vyjádřená pomocí indexu API_{30} (v mm). Rozložení stanic znázorňuje mapka vlevo dole u obr 5.10.

Nakonec shrňme nejvyšší naměřené srážkové úhrny. Neobvykle vysoké srážky byly lokalizovány především na severních svazích Alp. V případě R_h se dostáváme 8. července 1954 k extrémním 16,6 mm/hod. v Reichenhall. Ve stejný den stanice Stein naměřila $R_d = 260$ mm. Tato stanice zaznamenala i R_3 458 mm a měsíční maximum 779 mm, což jsou dodnes vícedenní historická maxima srážek v Německu (Rudolf, Rapp, 2003; <http://www.wetterdienst.de/>). Na většině zájmového území byly R_3 v období 7. – 11. července větší, než je průměrný měsíční úhrn daného místa.

5.4 Hydrologická odezva

Průběh povodní z hydrologického hlediska vyhodnotíme na základě odvozených průtoků. Po vydatných srážkách následovalo vzednutí hladin na tocích celého území. Kulminace následovaly zhruba s jedno až dvoudenním zpožděním po začátku intenzivních srážek v závislosti na jejich vývoji a velikosti povodí v daném závěrovém profilu. Jak jsme již ukázali, celé území bylo značně nasyceno vlivem předchozích srážek, tudíž byla hydrologická odezva rychlá. První kulminace byly zaznamenány 8. července na horních tocích severních Alp, posledním dnem je 15. července, tedy kulminace Labe při soutoku s tokem Saale v profilu Barby. Proto se nejdříve zaměříme na povodí Dunaje, poté rozebereme severní část území.

5.4.1 Povodí Dunaje

Popis vývoje povodní v jižní části zájmového si rozdělíme na 3 části. Do první zahrneme povodí Dunaje po Passau, druhá popíše povodí řeky Inn a ve třetí části vyhodnotíme souhrnně povodí Dunaje od Passau po Vídeň. 9. července začala hladina Dunaje v Bavorsku stoupat, nejvyšší vodní stavy nastaly v dalších dnech. Povodeň vrcholila už 8. a 9. července na většině jeho pravostranných přítoků v Bavorsku i Rakousku. Jelikož Bavorsko zasáhly další deště, kulminace Dunaje nastala později (12. – 13. července). Tudíž na horním Dunaji vydržely vysoké vodní stavy po delší dobu a povodňová vlna velmi pozvolna klesala (HMÚ, 1955).

Tabulka 5.1 uvádí průtoky pro dny 3. – 5. července a 8. – 15. července odvozené na vodočetných stanicích v povodí Dunaje po Passau. Řazení toků je chronologicky dle data maximálního průtoku. Stanici Landau můžeme brát jako závěrový profil pro Isar, Oberndorf jako závěrový profil řeky Lech. Důležitější byla druhá povodňová vlna dosahující dvou až třikrát většího průtoku (Q_d) oproti první vlně. 11. července Isar na ústí do Dunaje kulminoval. V tomto případě je nárůst Q_d v Hofkirchen způsobený přítokem řeky Isar ztelnější než 5. července. Povodeň mezi stanicemi Hunderingen a Pelling, které se nacházejí před ústím toku Isar, kulminovala v pozdních hodinách 12. a během 13. července, kdy byl zaznamenán

nejvyšší Q_d také na ústí řeky Lech do Dunaje. I v tomto případě delší postupová doba povodně na toku Lech napomohla pozdějšímu zapojení tohoto povodí do zvýšení Q_d Dunaje.

Tab. 5.1: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí Dunaje po Passau v období 3. – 5. července 1954 a 8. – 15. července 1954. Žlutě zvýrazněné buňky jsou maxima za celý červenec 1954, hodnoty červeně zvýrazněné jsou lokální maxima pro první období, modře zvýrazněné jsou lokální maxima za období 8. – 15. července 1954.

	Datum	3.7.	4.7.	5.7.	8.7.	9.7.	10.7.	11.7.	12.7.	13.7.	14.7.	15.7.
Stanice	Tok	Průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]										
Landau	Isar	411	423	324	375	684	1230	1380	1090	816	666	575
Hundersingen	Dunaj	23	21	19	17	16	21	39	42	39	32	29
Ingolstadt	Dunaj	694	668	519	478	621	806	1010	1100	1080	857	662
Regensburg	Dunaj	556	757	689	564	962	1570	1810	2110	2100	1780	1440
Pfelling	Dunaj	411	696	763	594	864	1345	1806	2108	2224	2087	1810
Oberndorf	Lech	299	507	694	476	591	828	1170	1470	1510	1370	1060
Hofkirchen	Dunaj	634	1010	1120	926	1240	1950	2710	3250	3290	3120	2760

Údaje o Q_d na tocích v povodí řeky Inn přináší tab. 5.2. Na první pohled vidíme rozdíl ve výskytu absolutních maxim při srovnání s povodím Dunaje po Passau. Na čtyřech z devíti stanic v povodí řeky Inn byl nejvyšší Q_d zaznamenán již 3. července. Na dalších pěti stanicích kulminovala povodeň 9. a 10. července, což souvisí s rozložením příčných srážek a s jejich trváním v povodí řeky Inn, především v povodí toku Salzach.

Tab. 5.2: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí toku Inn v období 3. – 5. července 1954 a 8. – 15. července 1954. Popis jako u tab. 5.1.

	Datum	3.7.	4.7.	5.7.	8.7.	9.7.	10.7.	11.7.	12.7.	13.7.	14.7.	15.7.
Stanice	Tok	Průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]										
Bad Hofgastein	Gasteiner Ache	49	32	21	32	32	35	34	34	47	35	25
Kössen	Grossach	300	135	58	51	230	272	203	95	248	85	80
Innsbruck	Inn	489	378	357	391	360	332	315	335	383	352	347
Oberlaug-kampfen	Inn	1073	843	727	967	1045	919	836	822	919	836	774
St. Johann In Tirol	Kitzbüheler Ache	114	49	28	50	124	87	53	45	101	51	41
Wasserburg	Inn	970	1240	834	1140	1930	1680	1370	1060	1040	1040	881
Burghausen	Salzach	962	1450	705	1090	2410	1710	1350	1130	1100	1020	824
Schärding	Inn	1838	3360	1860	2506	5631	5980	4846	3595	2734	2666	2138
Passau	Inn	1850	3260	2040	2520	5660	6360	4940	3660	2800	2680	2270

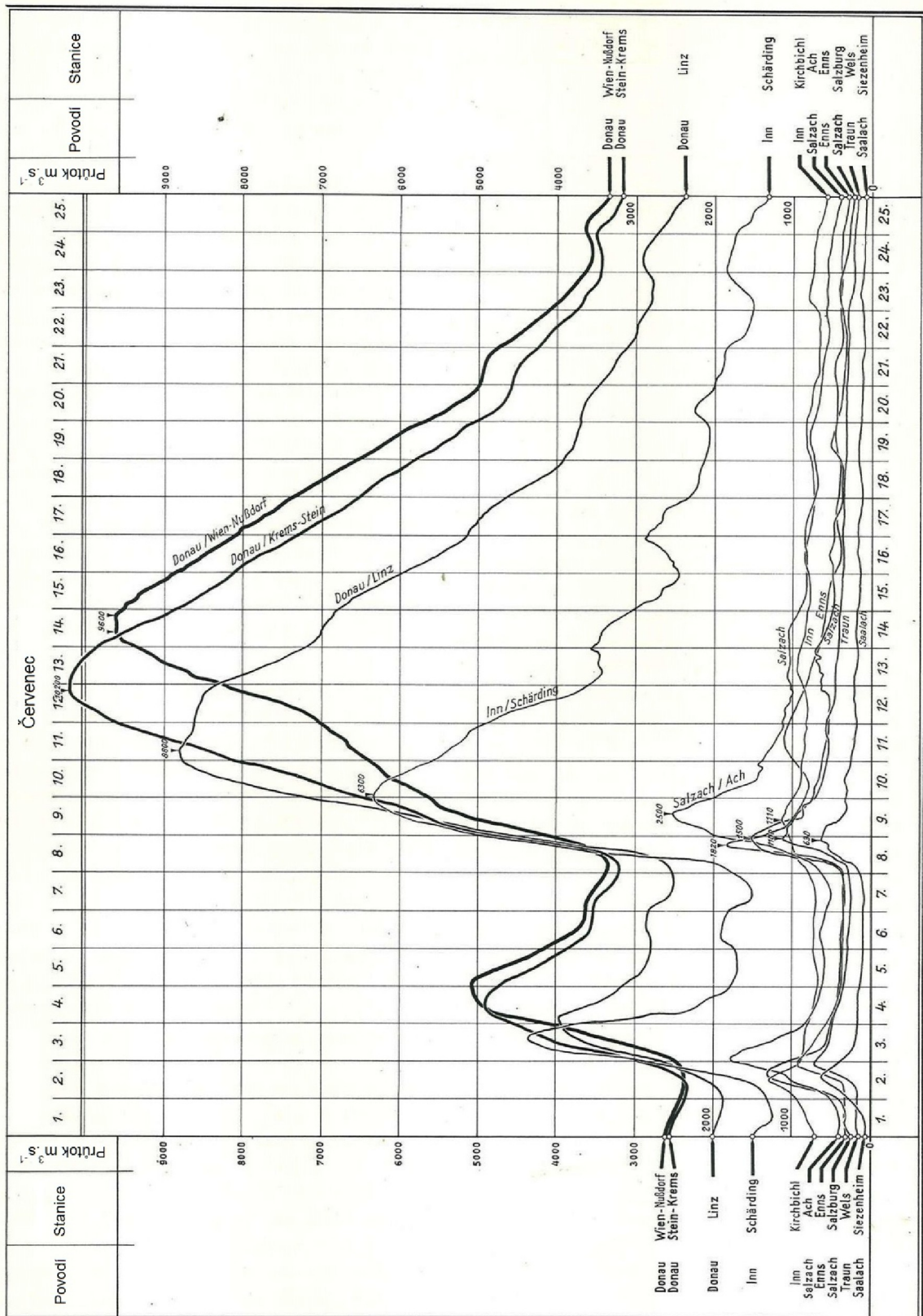
Srovnáním vývoje Q_d 8. a 9. července v Burghausen jasně vyčnívá nárůst Q_d o $1320 m^3 \cdot s^{-1}$, který je dán přítokem Saalach a přispěl ke zvýšení Q_d v Schärdingu. Další navýšení v Passau souvisí s přítokem Rott, čímž dosáhl Inn největšího Q_d od roku

1501 do současnosti (Blöschl et al., 2013). V Passau se střetly 10. července již kulminující Inn a teprve stoupající povodňová vlna Dunaje, díky čemuž nenastala úplná zkáza města.

Doplnění vývoje povodní v povodí řeky Inn nabízí obr. 5.19. Ten souhrnně zobrazuje změnu průtoků na hlavních tocích rakouské části povodí Dunaje od 1. do 25. července 1954 a rozšiřuje tak předchozí tabulková data o možnost grafického porovnání velikostí průtoků jednotlivých řek a jejich časového vývoje. Například samotná řeka Inn neměla relativní vliv na značné zvýšení průtoků při druhé povodňové vlně. Srovnáním stanic Kirchbichl a Shärding zřetelně vyplyne působení jejich přítoků. U Kirchbichlu byl průtok 3. července nepatrně vyšší nežli 9. července, avšak v Shärdingu tomu bylo naopak, Q_d se 9. července navýšil o $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oproti Q_d 3. července. Musíme však upozornit na rozdíly v hodnotách udávaných na obr. 5.19, kde jsou zobrazeny aktuální průtoky, a v tabulkách 5.2, resp. 5.3, kde uvádíme průměrné denní průtoky, tedy hodnoty poněkud nižší. Proto bychom měli brát obrázek spíše jako doplňující k tabulce.

Pro popis hydrologické odezvy v povodí Dunaje mezi Passau a Vídní můžeme kromě tabulky 5.3 využít také obr. 5.19. Na začátku měsíce zřetelně vystupuje již popisovaná předpovodeň. Pouze na části řeky Traun nad městem Bad Ischl v prvních červencových dnech vycházely vyšší Q_d nežli ve dnech následujících (viz tab. 5.3). Pro zbylé stanice mezi Passau a Vídní byla druhá povodňová vlna z hlediska Q_d větší. Toky dosahovaly více než dvojnásobku oproti Q_d první epizody. Extrém je stanice Vöcklabruck na řece Ager, kde lokální maximum $Q_d = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při první epizodě bylo překonáno 9. července hodnotou $Q_d = 360 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (více než pětkrát vyšší).

V průběhu druhé epizody kulminovaly všechny přítoky (Kamp, Ager, Enns i dolní tok řeky Traun) během večerních hodin 8. července a 9. července ráno. V tabulce u toku Enns je uvedeno měření z města Liezen, kde nastala kulminace až 13. července. Ale na stanici Enns u ústí do Dunaje měl tok 8. července $Q_k = 1820 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (viz obr. 5.19). Tím pádem se tu zaznamenaly celkem 3 povodňové vlny. Největších kulminací dosáhl Dunaj od soutoku s řekou Inn. Stanice Achleiten se nachází těsně za ústím řeky Inn, tudíž zde kulminace nastala 10. července spolu s kulminací řeky Inn v Passau. Díky tomu byl místní Q_d o více než $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vyšší nežli ve městě Linz, kam se povodňová vlna dostala 11. července. O dva dny později Glasel (1955) uvádí $Q_k = 9600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pro Vídeň, resp. $Q_k = 10200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v Krems.

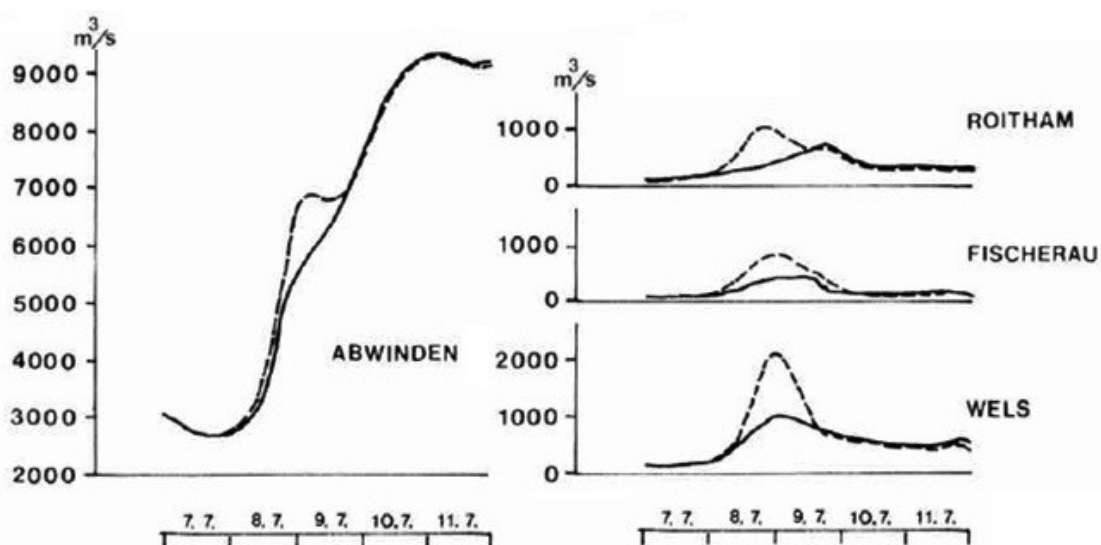


Obr. 5.19: Průtoky na tocích povodí Dunaje po Vídeň za období 1. – 25. července 1954. Upraveno podle (Glasel, 1955).

Tab. 5.3: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí Dunaje od Passau po Vídeň v období 3. – 5. července 1954 a 8. – 15. července 1954. Popis jako u tab. 5.1.

	Datum	3.7.	4.7.	5.7.	8.7.	9.7.	10.7.	11.7.	12.7.	13.7.	14.7.	15.7.
Stanice	Tok	Průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]										
Altausersee	Traun	30	24	23	18	19	13	16	17	20	23	22
Obertraun	Traun	100	67	49	66	73	59	66	72	83	81	73
Bad Goisern	Traun	209	170	106	85	185	143	126	137	154	154	130
Grünberg	Steyr	156	80	59	269	180	109	152	116	107	86	76
Stiefern	Kamp	51	37	27	40	110	80	54	51	44	42	42
Vöcklabruck	Ager	70	49	50	91	360	107	96	102	102	96	86
Roitham	Traun	344	290	234	250	450	395	332	294	269	250	229
Ebensee	Traun	371	219	147	266	495	301	243	226	226	218	175
Wels	Traun	581	446	330	536	932	608	545	468	425	386	361
Achleiten	Dunaj	3790	3120	2760	3380	7050	8900	8150	7470	6420	6210	5390
Linz	Dunaj	3468	3485	2879	3045	5688	8110	8684	8350	7485	6845	6302
Liezen	Enns	236	165	141	231	294	271	282	290	318	305	227
Stein-Krems	Dunaj	3963	4850	4232	3530	5605	7209	8835	10003	10092	9342	8420
Vídeň Reichsbrücke	Dunaj	2782	4752	4963	3332	4700	5872	6540	7261	8678	9548	9350

V rakouském povodí Dunaje sehrálo důležitou roli využití volné kapacity jezer, jež se podílela na snížení Q_k . Jezera v oblasti Salzkammergut zabírají celkovou plochu 124 km^2 a jsou odvodňována převážně řekou Traun. Jak ilustruje obr. 5.20, snížení odtoků bylo na všech jezerech v období mezi 7. a 11. červencem podstatné (Flögl, Blaschke, 1980). Navzdory tomuto faktu kulminovala povodeň na většině stanic řeky Traun 9. července. Například Wels hlásil $Q_k = 932 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, bez zadržení vody v jezerech by kulminace přesáhla $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 5.20: Vývoj povodňových odtoků z jezer v Salzkammergut s ovlivněním (plná čára) a bez retence (přerušované). Upraveno podle (Flögl, Blaschke, 1980).

5.4.2 Povodí Labe a Mohanu

Zde začneme rozborem povodní v povodí Labe po Děčín, kde popíšeme zvlášť povodně v povodí Vltavy. Následovat bude popis v povodí německého Labe k Barby a nakonec v povodí Mohanu. V povodí Labe po soutok s Vltavou nebyl překročen ani jednoletý průtok. Výrazně odlišná byla hydrologická odezva v části pod Mělníkem, kde samozřejmě nejvýraznější úlohu představoval přítok z povodí Vltavy. Z přítoků Labe byl Q_k kromě Vltavy z hlediska n -letosti statisticky významný ještě na Ohři. Mezi 8. a 12. červencem dosáhl Q_k v Chebu a Karlových Varech Q_{50} , v Citicích byl překonán Q_{20} . 12. července kulminovala Ohře v Lounech s $Q_k = Q_5$, což byl 2. největší letní průtok za období 1884-2015 (Brázdil et al., 2005; <http://www.poh.cz/>). Labe v Děčíně dosáhlo téměř Q_{10} . Dosažené n -letosti českých toků jsou shrnuty v tabulce v příloze 4.

V případě povodní na Vltavě můžeme vycházet z většího množství dostupných pramenů, mimo jiné přikládáme v příloze č. 6 grafické znázornění denních průtoků na Otavě, Vltavě a Lužnici (převzaté z jediné české práce takto hodnotící hydrologickou odezvu povodní července 1954). Již 9. července kulminovaly toky jihozápadní části povodí, konkrétně Úhlava, Klabava, Sázava, Malše, Otava a také Vltava. Úhlava kulminovala v Klatovech při $85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, čímž přesáhla 100letý průtok. Takto extrémního průtoku dosáhla ještě jedna česká řeka – Otava v Písku s $Q_k = 788 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což byl 2. největší průtok v historii letních povodní (Vlasák, 2004; MŽP, 2014). Vývoj průtoků na Otavě přináší příloha č. 6. Klabava v Nové Huti překročila Q_{10} , stejně jako Malše na stanici Roudné a Římov. Stejněho dne došla povodňová vlna na Vltavě až do Hluboké nad Vltavou ($Q_k = 496 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), přičemž v Českých Budějovicích měla Q_k s dobou opakování více než 50 let (viz příloha č. 6).

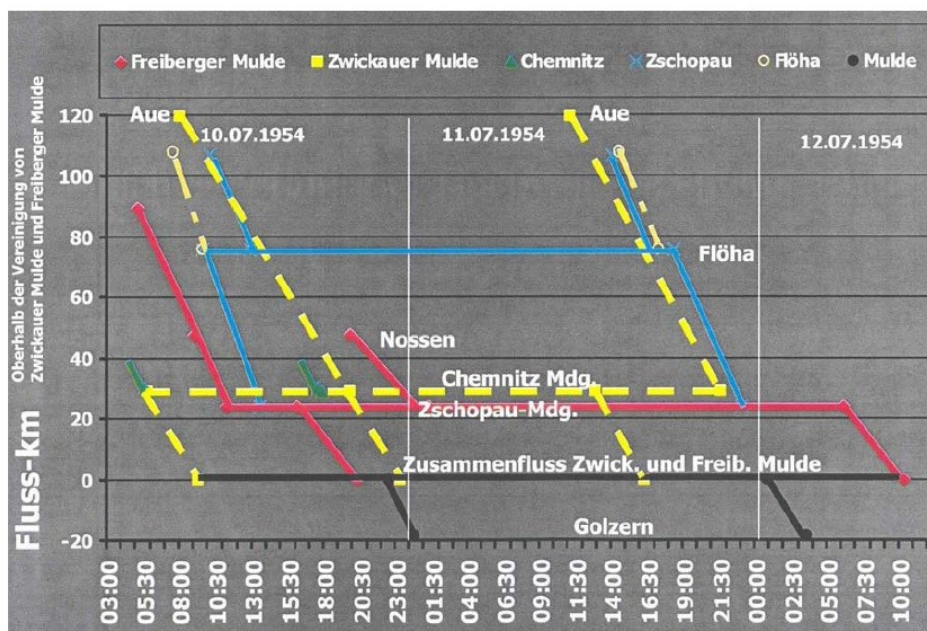
Následujícího dne, tedy 10. července, kulminovala Berounka v Plzni Q_5 a v Berouně Q_{10} . Téhož dne i Vltava v Praze. Zde však sehrálo nezanedbatelnou roli vodní dílo Slapy, jehož vliv jsme již popsali (viz kapitola 3.5 této práce). Zopakujme, že místo odhadovaného $2920 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ Prahou protékalo o 655 m^3 méně, tedy $2265 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, díky čemuž nebyl překročen průtok Q_{20} . Stále však zůstává největší letní povodní za 20. století, za celkové období 1825-2015 by byla 7. v pořadí, pokud bereme v potaz ovlivněný průtok v Praze (Brázdil et al., 2005). Kvůli dlouhé postupové době, zapříčiněné charakterem povodí, kulminovala Bechyně v Lužnici průtokem Q_{2-5} až 11. července (viz příloha č. 6). Ještě pro úplnost zmíníme kulminaci Střely v Plasech dne 12. července s Q_2 .

Německé povodí Labe postihly povodně velikostí srovnatelné s Vltavou. V povodí Weisse Elster překonaly nejvyšší vodní stavy dlouhodobé červencové průměry z let 1925 – 1950 o 800 % (Bauer, 1956). Do města Plauen přišla první

povodňová vlna 10. července, následujícího rána v 7:00 povodeň kulminovala při 320 cm. Na úrovni města Greiz, kde se do Weisse Elster vlévá řeka Göltzsch, vrcholila první vlna 10. července v 10:30 vodním stavem 520 cm, o 22 hodin později zde povodeň kulminovala s 556 cm. I na dalších stanicích na Weisse Elster po město Leipzig (kde povodeň kulminovala 12. července vodním stavem 439 cm) se vyskytly dvě povodňové vlny, přičemž druhá vždy překonala všechny do té doby pozorované povodně (Böer et al., 1959).

Na řece Göltzsch se zaznamenaly také dva vrcholy v průběhu povodně, přičemž první byl výraznější a překonal všechny předchozí povodně. Ve městě Rodewisch nastala kulminace (302 cm) 10. července ve 4:00, do města Mylau povodeň přišla zhruba s hodinovým zpožděním o výšce 292 cm (Böer et al., 1959). Oproti tomu města ležící na řece Pleiße nezaznamenala historicky nejvyšší povodňové vlny, protože byla ochráněna přehradou Windischleuba. Ochranná bariéra u města Regis-Breitingen nevydržela nápor vody a řeka naplnila objemem zhruba 13 mil. m³ nedaleký povrchový důl (Bauer, 1956). Jak dokládá příloha č. 5, na horním toku Weisse Elster povodně dosáhly přibližně 100 až 200leté doby opakování, na středním toku je statistická periodičita částečně přes 200 let a na dolním úseku 50 – 100 let.

Obdobně tak jako na Weisse Elster, i v povodí řeky Mulde lze vysledovat dvě kulminace v průběhu 10. července a 11. července. Jejich časový postup je znázorněn na obr. 5.21. V tomto případě však rozestup mezi jednotlivými vlnami byl kolem 26 hodin (<http://www.umwelt.sachsen.de>). Fakt, že obě povodí okamžitě reagovala na srážky, svědčí o velké intenzitě srážek a značném nasycení povodí řeky Mulde.



Obr. 5.21: Časový průběh kulminací v povodí řeky Mulde. Na ose y je vynesena říční vzdálenost měřící stanice od místa soutoku Zwickauer a Freiburger Mulde, osa x je časová. Převzato z (http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/HW_Mulden.pdf).

Průtoky na zbylé části německého povodí zobrazuje tabulka 5.4. Dne 12. července kulminovalo Labe v Drážďanech a Děčíně (kde byl Q_k o $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vyšší), následujícího dne v Torgau. V Děčíně se jednalo o 7. nejvyšší letní průtok v období 1851-2015 (Brázdil et al., 2005; <http://voda.chmi.cz/>). 14. července se hlavní povodňová vlna dostala do Wittenbergu, kde se projevilo zvýšení průtoku o pravostranný přítok Schwarze Elster. V případě stanice Aken můžeme vysledovat vliv přítoku z Mulde. 11. července byl Q_d obou stanic shodný. Vliv řeky Mulde byl značný, jelikož rozdíl narostl při kulminaci 14. července na téměř $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Kulminace 15. července v Barby, navýšená o levostranný přítok Saale, uzavírá povodňovou epizodu na tocích povodí Labe. Pro stanici Calbe na řece Saale se jednalo o nejvyšší zaznamenaný průtok z období 1951 – 2002 (Müller et al., 2009a). Povodeň na Mohanu začala 13. července. Především $Q_k = 522 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ve Schweinfurtu je extrémní, srovnatelný s průtoky vyskytujícími se zde pouze v zimním období (Kohnen, 2011). Následujícího dne došla povodňová vlna o velikosti $Q_k = 374 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do Würzburgu.

Tab. 5.4: Průměrné denní průtoky na vybraných řekách povodí Labe od Děčína po Barby a na Mohanu v období 8. – 15. července 1954. Žlutě zvýrazněné buňky jsou maxima za celý červenec 1954.

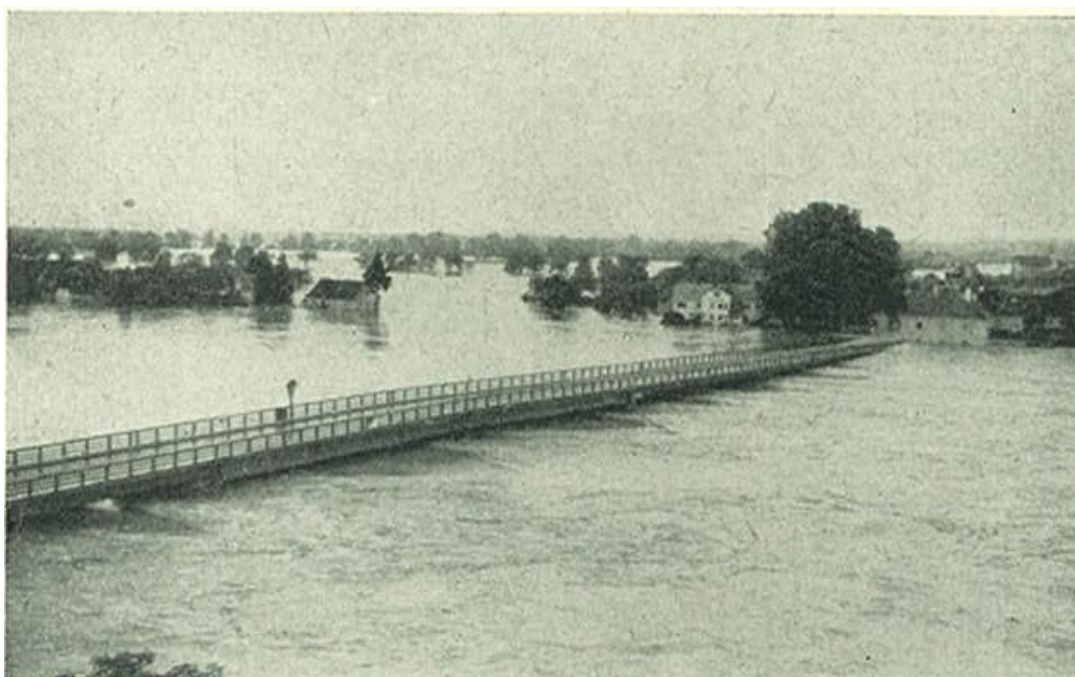
	Datum	8.7.	9.7.	10.7.	11.7.	12.7.	13.7.	14.7.	15.7.
Stanice	Tok	Průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]							
Drážďany	Labe	269	592	1400	1950	2300	2120	1960	1630
Děčín	Labe	269	650	1425	2170	2360	2215	1920	1460
Kemmern	Mohan	11	12	30	76	147	152	114	88
Schweinfurt	Mohan	38	35	74	219	409	522	376	256
Torgau	Labe	239	318	732	1340	1720	2370	2200	1930
Würzburg	Mohan	37	36	37	58	170	341	374	259
Wittenberg	Labe	222	222	381	686	960	2010	2470	2150
Aken	Labe	223	251	349	685	1640	2580	3420	3400
Calbe-Grizehne	Saale	38	37	40	50	184	363	409	440
Barby	Labe	275	321	361	677	1480	2490	3500	3940

5.5 Následky povodní

Povodňové škody a ohrožení obyvatel závisí na několika základních charakteristikách povodňové vlny (např. na rychlosti vzestupu hladiny, době výskytu maxima), trvání povodně i na jiných okolnostech. Podle rozboru největších přírodních katastrof střední Evropy následky povodňových událostí z roku 1954 zastiňuje obdobná epizoda ze srpna 2002 (Barredo, 2007). Jak doložíme, i v roce 1954 napáchaly povodně v celém regionu značné škody.

Začátkem července zasáhly území vydatnější srážkové úhrny. Už při této první události se v Alpách rozvodnily řeky, byly uzavřeny silnice a několik mostů pobořeno

(Bauer, 1956). Tuto epizodu ale zastínily intenzivní dlouhodobé deště ve druhém červencovém týdnu. Následky povodní v povodí Dunaje byly obrovské. Jen ve spolkové zemi Horní Rakousko byly škody na státních objektech vyčísleny na 40 milionů šilinků, přibližně 1,5 milionu dolarů. Ve všech větších městech na Dunaji v Rakousku přesáhl vodní stav 800 cm (Kresser, 1957). Například šířka zaplaveného území v Podunajské nížině byla více než 7 km (Embleton-Hamman, 1997). V Rakousku se škody zvětšily kvůli faktu, že země byla stále rozdělena do okupačních zón. Tím pádem musely záchranné sbory obou bloků spolupracovat. Například připravenější „americký“ břeh ve městě Linz zvětšil rozlití Dunaje do části spravované Rusy (<http://www.linz-sued.at/>). Obr. 5.22 ukazuje rozlití řeky Inn ve městě Schärding (vodní stav 1134 cm) a obr. 5.23 zatopení města Linz Dunajem (vodní stav 962 cm).

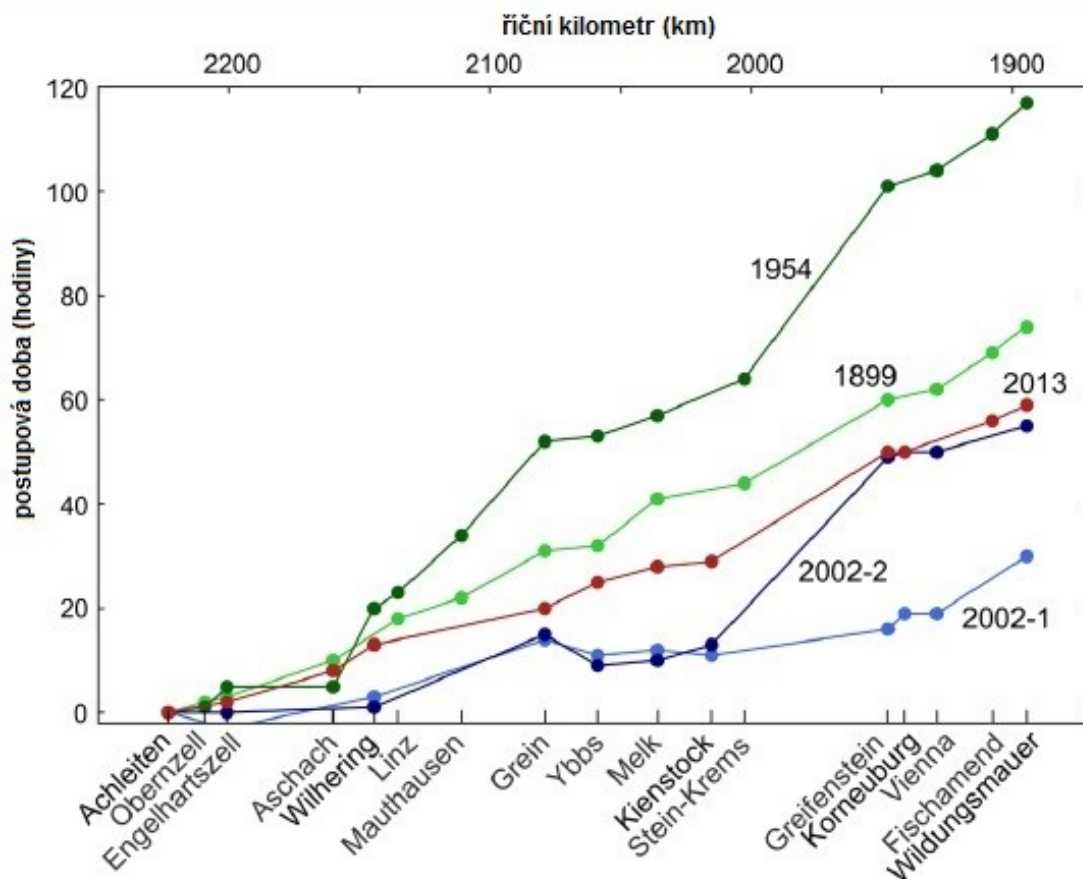


Obr. 5.22: Zatopení Schärdingu 10. července 1954. Převzato z (Kresser, 1957).



Obr. 5.23: Zatopení města Linz 11. července 1954. Převzato z (Kresser, 1957).

Vybřežení a následné zaplavení rozsáhlých niv v oblasti kolem města Linz můžeme také dokumentovat zobrazením postupových dob pro různé povodně na území Rakouska. Obr. 5.24 srovnává postupové doby u povodní 1899, 1954, obou epizod 2002 a 2013. Od Achleiten (soutok toků Inn a Dunaj) po Aschach jsou postupové doby srovnatelné. Následně až po stanici Grein se ale povodňová vlna z července 1954 výrazně zpomaluje. Tím pádem byla zhruba dvojnásobně pomalejší oproti roku 2013. Většina srážek se totiž lokalizovala do povodí bavorského Dunaje s celkem malým přítokem jižních částí, tedy z povodí řek Traun, Enns a Ybbs i s minimálním zapojením řeky Kamp. Na zpomalení postupu povodňové vlny se ale výrazněji projevilo rozlité do říční nivy kolem města Linz (Kresser, 1957). Možná také z tohoto důvodu překonal celkový odtok pro závěrový profil Korneuburg v červenci 1954 (přibl. 9,9 mld. m³) všechny ostatní povodně zobrazené na obr 5.24 (Blöschl et al., 2013).



Obr. 5.24: Postupové doby povodňových vln u vybraných povodní na rakouském Dunaji. Na ose x jsou vyneseny říční kilometry a odpovídající stanice po směru toku od rakousko-německé k rakousko-slovenské hranici, na ose y postupová doba (v hodinách) od kulminace v Achleiten. Čas 0 označuje 3. června 2013 18:00, 8. srpna 2002 02:00, 13 srpna 2002 12:00, 10. července 1954 08:00, 15. září 1899 10:00. Upraveno dle (Blöschl et al., 2013).

Jak už jsme se zmínili, na území Čech nebyla povodeň jako celek detailněji popsána, zachovaly se především záznamy kronikářů. Extrémně vysokého průtoku s dobou opakování více než 100 let dosáhla Úhlava v Klatovech a Otava v Písku (viz obr. 5.25), kde povodeň postihla 542 osob a zaplavila 236 domácností, některé byty až do výše 180 cm (Šindelář, 1998). Vzhledem k tomu, že ve městě byla vybudována nájezdová rampa ke stavbě nového mostu, mělo stejné množství vody katastrofálnější účinek než v roce 1890 (Barták, Krejcar, 2003).



Obr. 5.25: Povodeň v Písku 10. července 1954. Převzato z (http://web.quick.cz/most/Most_04.htm).

V celém povodí Weisse Elster napáchaly povodně velké škody na komunikacích, obytných a komerčních budovách, průmyslových i zemědělských staveních. Například v ulicích města Greiz dosahovala voda do výše jednoho metru, evakuace a péče o obyvatelstvo byly možné pouze lodí. Obdobně bylo zaplaveno i město Leipzig (viz obr. 5.26). Na mnoha místech byly poškozeny přehradní nádrže, byl zatopen i povrchový důl Blumroda, což vedlo ke snížení kulminačního průtoku (Bauer, 1956). Vysoké škody byly způsobeny na infrastruktuře (silnice, mosty, násypy). Jako příklad ničivé síly povodní je zničený železniční most přes Weisse Elster u města Gera. Průtok zde byl snížen nakupením materiálu před mostními pilíři. Zúžení koryta a zvýšení průtokové rychlosti na $6,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vedlo k odplavení masivních kamenných pilířů a celý most se zřítíl do řeky (Bauer, 1956). Odhady na vyčíslení celkových škod v povodí Weisse Elster se pohybují po přepočtu mezi 20 a 50 miliony euro v závislosti na zohledněných dotčených objektech (HWRP, 2011). Protržení ochranných hrází na řece Mulde vedlo k rozsáhlému zaplavení centra Zwickau, kde na hlavním trhu dosahovala voda do výše 2,1 m (<http://undine.bafg.de/servlet/is/12446/>). Niva středního a dolního toku řeky (široká kolem 1 km) byla samozřejmě také celá zaplavena vodou s velkým množstvím sedimentu.

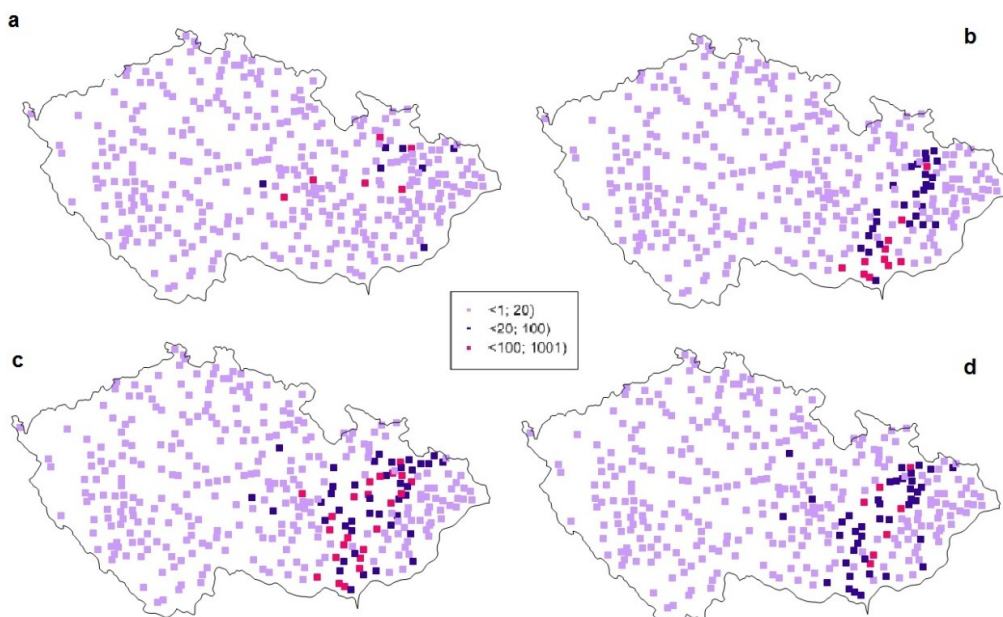


Obr. 5.26: Povodeň ve městě Leipzig. Převzato z HWRP (2011).

5.6 Extremita

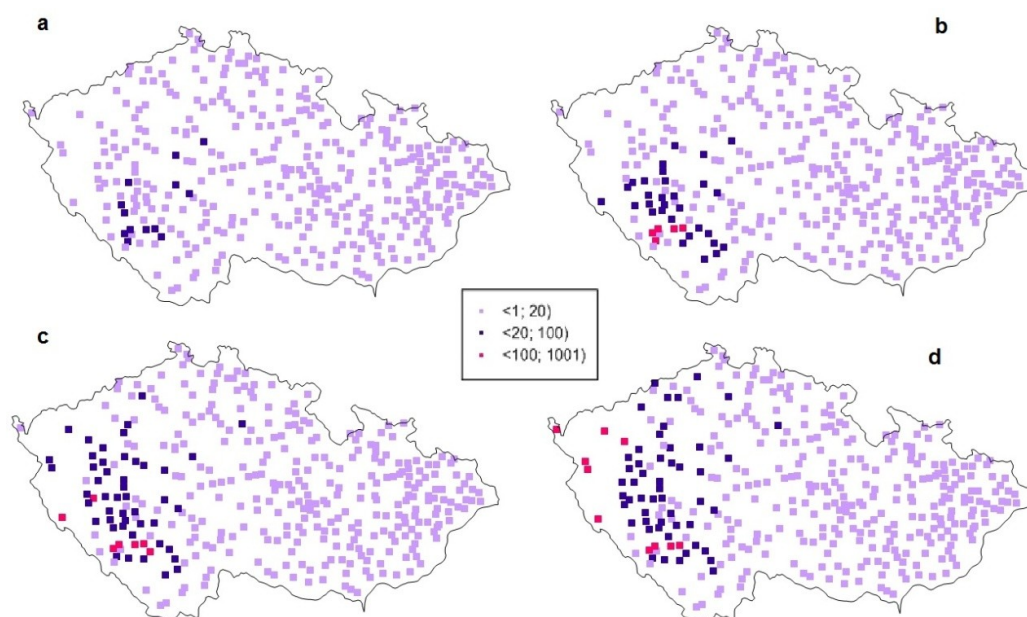
5.6.1 Extremita srážek

Nejdříve vyhodnotíme extremitu na základě dob opakování srážkových úhrnů pro ČR. Na obr. 5.27 jsou znázorněny doby opakování srážkových úhrnů R_1 až R_3 naměřených na stanicích v ČR při první srážkové epizodě (od 1. do 3. července 1954). Z jejich rozmístění je patrné zasažení převážně moravské části republiky. 1. července přesáhly 100letou hranici stanice spíše izolované, čímž můžeme usuzovat na srážky spojené s bouřkami. Maximálních hodnot s dobou opakování přes 1000 let dosahuje Lipník nad Bečvou a Náměšť na Hané, kde tato hodnota zůstává pro R_2 i R_3 , a to díky zcela ojedinělým srážkovým úhrnům z 1. července. Dalšího dne se posunula oblast intenzivních srážek směrem k jihovýchodu. Celkem 23 stanic, u nichž doba opakování překročila 100letou hranici, se objevuje na vykreslení R_2 od 1. do 2. července (viz obr. 5.27, část c). Vidíme jejich koncentraci v pásu mezi Znojmem a Ostravou, tedy v relativně nízkých nadmořských výškách mezi Českomoravskou vrchovinou a Jeseníky na západní straně a Javorníky s Moravskoslezskými Beskydy na východě. Tento aspekt může vypovídat o intenzivní srážkové činnosti také v okolních horách. Tam se ale srážkové úhrny s tak velkou dobou opakování neprojevíly.



Obr. 5.27: Doba opakování pro srážkové úhrny v ČR při první srážkové epizodě července 1954. Část a) 1. července; b) 2. července; c) 1. – 2 července; d) 1. – 3. července.

Významnější srážkové úhrny druhé epizody se vyskytly už pouze v západní polovině ČR, jak ilustruje obr. 5.28. Srážky s dobou opakování přes 100 let vychází u R_2 , R_3 i R_5 a objevily se v podstatě pouze v jihozápadní části republiky. Statisticky výjimečné srážkové úhrny, dosahující doby opakování 1000 let, se jako jediné zaznamenaly pro R_5 , a to na nejzápadnějších stanicích Aš a Chodský Újezd na Chebsku. První zmiňovaná stanice ještě u srážkového úhrnu za 7. – 9. července vykazovala jen dobu opakování menší než 20 let. I toto zjištění ukazuje na výjimečnost rozložení srážek, které dosahovaly nezvykle na západ.

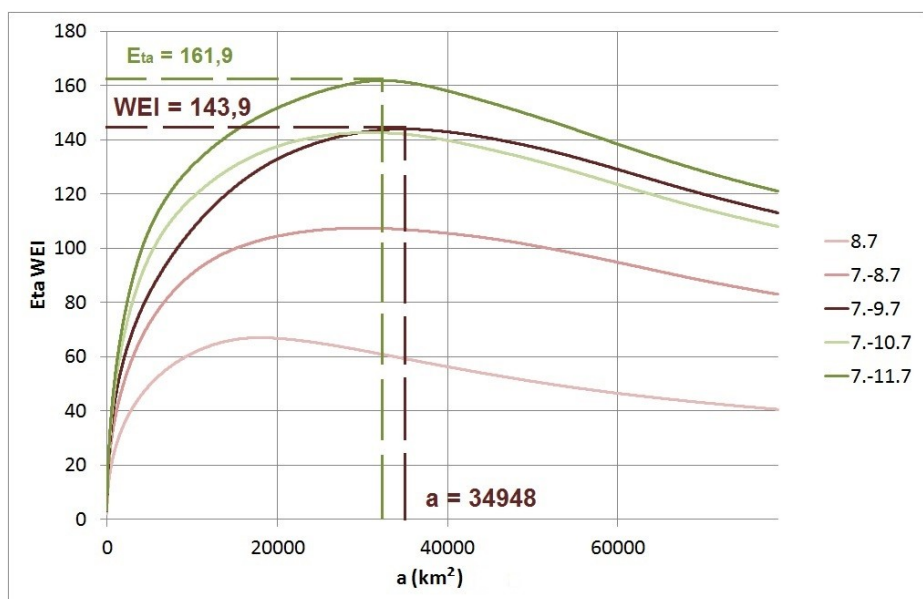


Obr. 5.28: Doba opakování pro srážkové úhrny v ČR při druhé srážkové epizodě července 1954. Část a) 8 července; b) 7. – 8.. července; c) 7. – 9 července; d) 7. – 11. července.

Meteorologické události mají odlišný vliv v závislosti na velikosti zkoumaného území. Případ, který se může jevit jako katastrofa v jednom místě, nemusí mít žádný následek v místě jen nepatrně vzdáleném. Extremita dané situace jako celku tedy vzrůstá s rozlohou zasaženého území. Dále je patrné, že délka působení extrémních podmínek bude mít vliv na výjimečnost a následky dané události. Tudiž byl pro komplexní posouzení extremity vyvinut index WEI, který v sobě kombinuje informaci o plošném působení a časovém trvání události (Müller, Kašpar, 2014; Müller et al., 2015).

V rámci ČR je možno vzhledem k podkladovým datům vypočítat hodnotu WEI pro červencové povodně, resp. zhodnotit extremitu srážek. V tomto případě jsme se rozhodli pro výpočet pro obě srážkové epizody, jak v prvních dnech měsíce (1. – 3. července 1954), tak v období od 7. do 11. července 1954. Obr. 4.1 ilustruje srovnání nejvyšších hodnot E_{ta} pro jednotlivá časová okna při první epizodě, konkrétně jednodenní, dvoudenní a třídenní srážky. Maximum $E_{ta} = 118$ vychází pro dvoudenní srážky 1. – 2. července, kdy bylo zasaženo i největší území. Výsledný WEI = 118 je ztotožněný s dvoudenním srážkovým úhrnem na území o rozloze 20376 km², protože zanedbatelný srážkový úhrn 3. července již nenavýšil hodnotu E_{ta} .

Obr. 5.29 ukazuje srovnání nejvyšších hodnot E_{ta} pro R_1 až R_5 od 7. do 11. července 1954. Vidíme postupný nárůst hodnoty E_{ta} s prodlužováním doby trvání až k třídennímu srážkovému úhrnu, která zaujímá plochu 34948 km² (téměř dvounásobnou oproti první epizodě) a odpovídá WEI. Hodnota E_{ta} pro 7. – 10. července poklesla díky oslabení srážek. Návrat srážkového pole nad většinu území Čech z 11. července (viz obr. 5.16) má sice za následek nárůst E_{ta} přibližně o 20 bodů, tuto hodnotu ale nemůžeme brát za konečné WEI, právě kvůli předchozímu poklesu E_{ta} . V šesté kapitole této práce uvádíme srovnání s ostatními povodněmi také na základě dílčích hodnot E_{ta} a výsledných WEI.



Obr. 5.29: Maximální hodnoty E_{ta} vypočtené pro srážkové úhrny pro různá časová okna 7. – 11. července 1954 s vyznačením WEI.

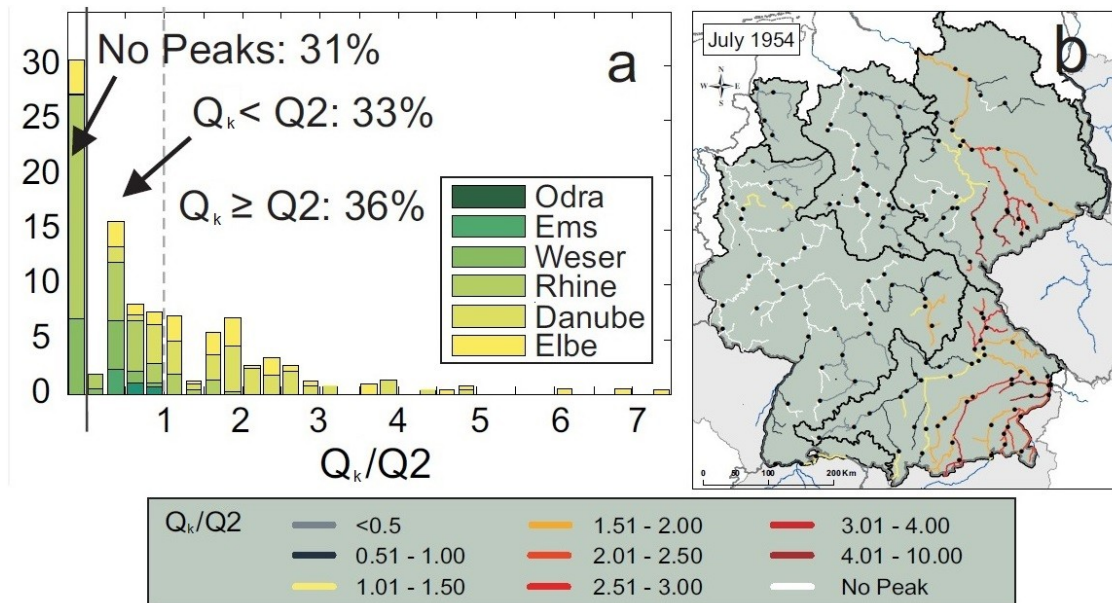
5.6.2 Extremita povodní

K zhodnocení extremity povodní se nabízí mnoho postupů, nejvyužívanější je porovnání na základě dob opakování dosažených průtoků. V případě Čech jsme již popsali dosažené n -letosti v části 5.4.2 této práce a také odkážeme na tabulkové srovnání uvedené v příloze č. 4. Doby opakování Q_k v povodí řeky Weisse Elster rozvádí Bauer (1956). Jeho závěry jsme zpracovali do přílohy č. 5. Můžeme upozornit na překonání dvoustleté doby opakování na několika stanicích včetně města Zeitz uzavírající povodí o ploše více než 2500 km². Nejnižší zaznamenaná n -letost byla 50 let.

V případě celého Německa předkládá zobrazení dosažených n -letostí u průtoků v červenci 1954 Uhlemann et al. (2010), jež využívá poměru kulminací k hraniční hodnotě dvouletého průtoku (Q_k/Q_2). Studie hodnotí povodně z hlediska celkového zasaženého území v rámci více povodí (tzv. „trans-basin flood“) pro Německo, kde vychází povodeň z roku 1954 jako největší letní událost mezi roky 1951 – 2002 včetně. Pro události, při nichž $Q_k \geq Q_2$, byly vyhodnoceny zmiňované poměry Q_k/Q_2 a sečteny délky řek zasažených povodí.

Obr. 5.30 nabízí prostorové rozložení extrémnosti průtoků dle Q_k/Q_2 . Můžeme si povšimnout skutečnosti, že většina řek zasažených povodní se nachází v povodí Labe a Dunaje. Celkové trvání povodně na území Německa vychází na 30 dní, zasaženo bylo 36,1 % délky všech toků. Největšího poměru $Q_k/Q_2 > 4$ nabývají toky Weisse Elster, Zwickauer Mulde a Raab. Zbytek povodí řeky Mulde má $Q_k/Q_2 > 3$, stejně jako Naab a Isar. Kulminační průtok byl 2,5krát vyšší nežli Q_2 na řekách Inn a Salzach. Německá část Labe po Wittenberg vykazuje Q_k/Q_2 mezi 1,5 – 2, stejně jako povodí řek

Regen, Amper a Mohanu po Bamberg. V případě Mohanu byl zaznamenán $Q_k > Q_2$ až po Würzburg, stejně jako prakticky celé povodí Labe a Dunaje v Německu.



Obr. 5.30: Povodí zasažená povodní z července 1954 v Německu. A) na ose x je poměr kulminačního průtoku k dvouletému průtoku (Q_k/Q_2), na ose y podíl (v %) zasažených toků, jednotlivá povodí jsou rozlišena barevně. B) Rozmístění velikosti průtoků je rozlišeno podle Q_k/Q_2 dle legendy dole, na bíle vyznačených řekách se nevyskytla povodeň. Převzato z (Uhlmann et al., 2010).

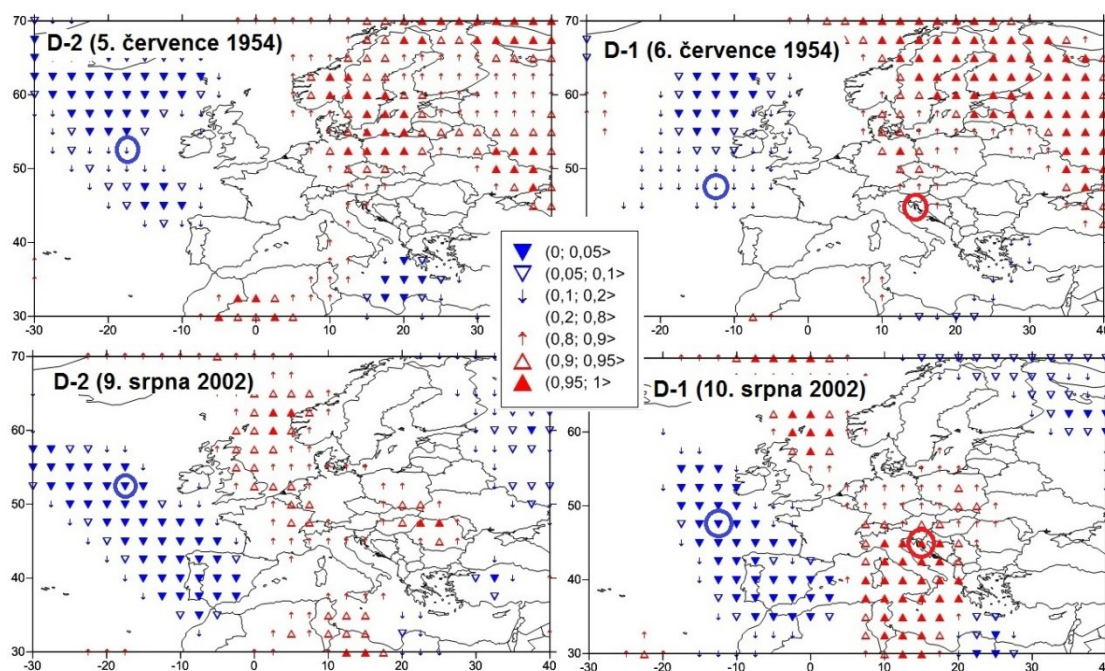
6 SROVNÁNÍ S OSTATNÍMI POVODNĚMI

V této kapitole porovnáme povodně z července 1954 s ostatními případy povodní z intenzivních trvalých srážek, které rovněž zasáhly střední Evropu, především povodně z posledních let, srpna 2002 a června 2013. Případ ze srpna 2002 je pro české území známější, jelikož se jednalo o největší ze všech povodní, které byly v Praze během standardních vodoměrných pozorování zaznamenány. (MŽP, 2005). Nejnovější extrémní povodeň z června 2013 postihla v podstatě celou zájmovou oblast a z mnoha hledisek se podobá právě událostem z července 1954 (Blöschl et al., 2013; Schröter et al., 2015).

Když se nejprve zaměříme na synoptickou situaci, zjistíme, že při všech povodňových událostech se nad centrální Evropou nacházela oblast nízkého tlaku vzduchu s obdobným rozložením tlakového pole a polohou středu cyklony. Trajektorie ve všech případech odpovídala dráze Vb, dle van Bebberovy klasifikace. Synoptické situace u povodní v letech 1954 a 2013 si byly více podobné. Ve vyšších vrstvách atmosféry se u obou případů vysunula azorská tlaková výše abnormálně na sever za spolupůsobení anticyklony nad západní Sibiří a přitom cyklonální proudění přivádělo vlhký vzduch původem ze Středomoří a západní Evropy do zájmového území. Od 31. května do 3. června 2013 byla srážkově významnější epizoda způsobená již zmíněnou cyklonou postupující po dráze Vb, 23. až 26. června bylo území pod vlivem brázd a následné cyklony s retrográdním pohybem (Sandev, Dvořák, 2013).

V obou případech se tedy vyskytly dvě intenzivnější srážkové epizody. Při druhé epizodě postupoval vždy tlakový útvar retrográdně, čímž zvýšil svůj vliv na severní část zájmového území. V roce 1954 postupovala cyklona zprvu klasicky po dráze Vb, poté z oblasti Polska retrográdně do Dánska, čímž podmínila opakovaně vypadávání srážek nejen na návětrných svazích Alp, Šumavy a Novohradských hor, ale i Krušných hor a na většině území německé části. V roce 2013 srážkové pásmo dosahovalo ještě více na západ, zasáhlo větší část povodí horního Rýnu (viz např. obr. 6.3). Taktéž v roce 2002 byly povodně zapříčiněny dvěma srážkovými epizodami. První (méně intenzivní) z 6. – 8. srpna přinesla cyklona postupující po trase označované Vc (z oblasti Středomoří přes Maďarsko a dále na východ k Černému moři), druhá putovala od 11. do 13. srpna po klasické dráze Vb s lehkou retrográdní tendencí (MŽP, 2005). U všech třech událostí se objevily dvě srážkové epizody. V roce 1954 dny D dělil týden, v srpnu 2002 pět dnů. V červnu 2013 byly ve střední Evropě dvě epizody velkoprostorových srážek trvalého charakteru s odstupem 20 dní, v jehož průběhu zasáhly ČR navíc přívalové srážky spojené s bouřkovou činností (Sandev, Dvořák, 2013).

Müller, Kašpar (2009) určili statisticky významné gridové body, ve kterých se projevují anomálie během největších srážkových epizod střední Evropy z let 1958 – 2002. Na obr. 6.1 jsme zobrazili srovnání anomálií FQV500 při povodních v letech 1954 a 2002 pro dny D-2 a D-1 spolu s umístěním zmiňovaných gridových bodů. U FQV500 ze severního směru se v daném gridovém bodě v případě roku 1954 ve dnech D-2 i D-1 vyskytují hodnoty z intervalu (0,1; 0,2>, tedy ne zcela vysoké v rámci zkoumaného souboru. Bod pro FQV500 z jižního směru neudává ve dni D-1 hodnoty z krajních intervalů. V kontrastu k tomu je vykreslení anomálií srpna 2002, kdy se ve všech třech zkoumaných bodech objevuje hodnota z nejkrajnějšího intervalu.



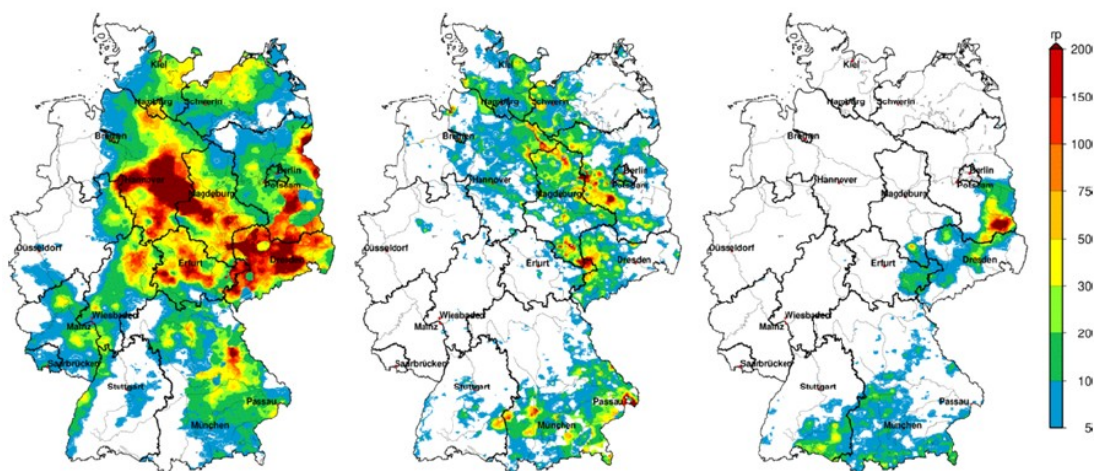
Obr. 6.1: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 500 hPa. Kolečko určuje statisticky významné gridové body pro danou veličinu v daný den, barva vyjadřuje směr vektoru dle legendy. Síť uzlových bodů použitých pro výpočet je znázorněna na obr. 5.2.

FQV850 z jihu ve dnech D+1 a D+2 nevykazuje v případě července 1954 ve významných gridových bodech pro žádné výrazné anomálie. U toku vlhkosti ze severu se 8. července 1954 (D+1) vyskytuje v označeném gridovém bodě anomálie z nejkrajnějšího intervalu. Pro tento den tedy anomálie FQV850 spadá do 219 nejextrémnějších hodnot. U srpna 2002 jsou hodnoty pro všechny významné body v nejkrajnějších 1% intervalech. To je dáno do jisté míry faktem, že anomálie ze srpnové povodně byly v mnoha ohledech nejintenzivnější z celého souboru zkoumaných povodní (Řezáčová et al., 2005a).

Blöschl et al. (2013) srovnává vývoj teplot, který je důležitým ukazatelem vzhledem k výrazné výškové členitosti povodí Dunaje. V roce 2002 nevypadávalo mnoho sněhu ani ve vyšších nadmořských výškách vlivem teplejší vzduchové hmoty.

Na konci května 2013 se sice nad úrovní 1600 m n. m. zaznamenaly srážky ve formě sněhu, následujícího dne ale většina sněhu v nadmořské výšce do 2000 m roztála a zapojila se do odtoku (Blöschl et al., 2013). Jak jsme již popsali, v červenci 1954 výrazný teplotní skok napomohl snížení kulminačních průtoků právě zadržením části srážek ve formě sněhu, a to již od 800 m n. m. (viz část 5.3 této práce).

Z hlediska předchozí nasycenosti porovnáme nejprve zmiňované povodně v Německu. Na obr. 6.2 přinášíme vykreslení dob opakování pro hodnotu indexu API_{30} v den D. Pro odvození využil Schröter et al. (2015) API_{30} pro dny D před povodněmi v letech 1960 – 2009. I přesto, že v červenci 1954 předcházela dnu D (7. červenec) významná srážková činnost (viz část 5.2 této práce), jsou výsledné doby opakování mizivé. To můžeme vidět na porovnání s rokem 2002 (den D odpovídá 6. srpnu) a především s rokem 2013 (den D je 30. května), kde na mnoha místech vycházela hodnota nad rámec dvousetleté doby opakování (Schröter et al., 2015). U rozboru povodní na horním Dunaji (jižní část našeho zájmového území) dochází Blöschl et al. (2013) ke shodnému výsledku, totiž že nasycenost povodí v květnu 2013 hrála základní úlohu při vývoji povodňové události. První srážková epizoda v srpnu 2002 značně nasýtla povodí Dunaje ve srovnání s předchozí nasyceností v roce 1954.

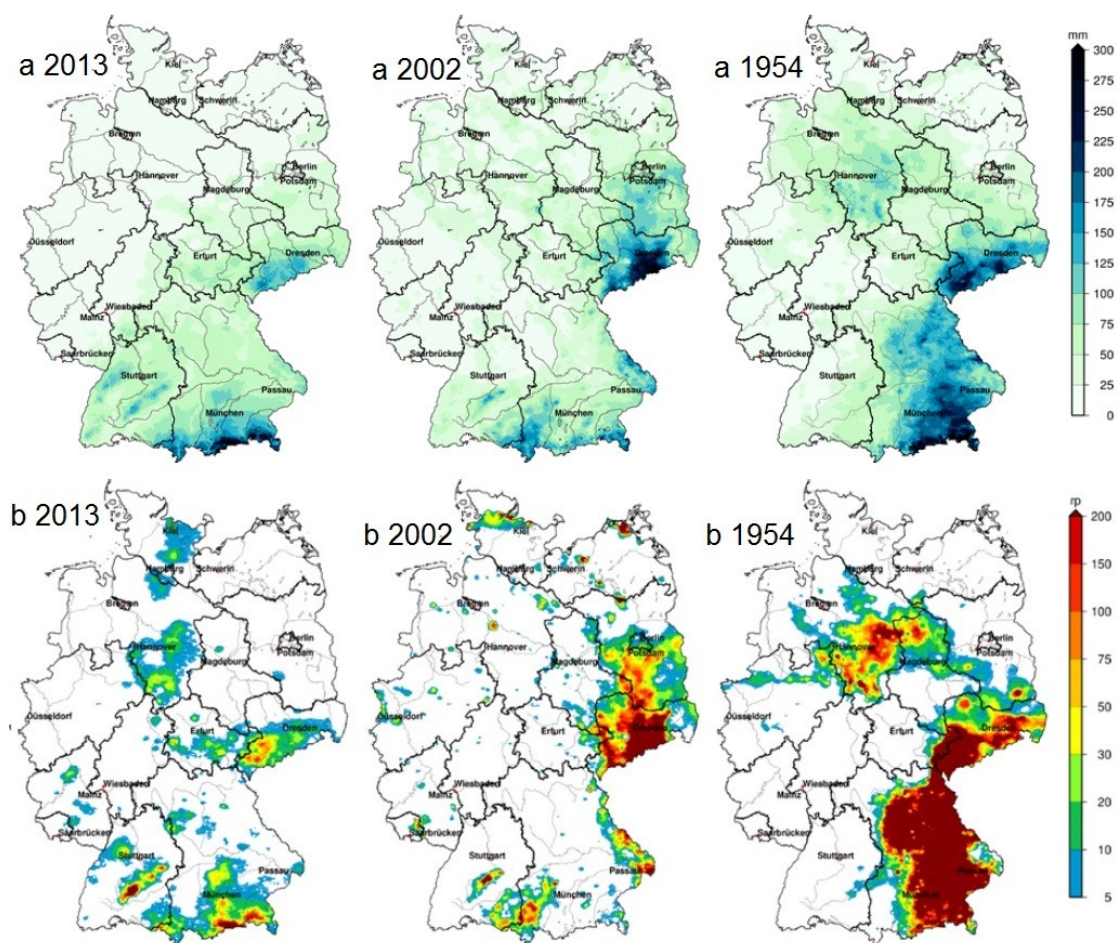


Obr. 6.2: Srovnání API_{30} v Německu pro červen 2013 (vlevo), srpen 2002 (uprostřed) a červenec 1954 (vpravo). Škála po pravé straně udává dobu opakování. Převzato z (Schröter et al., 2015).

Na území Čech můžeme uvést srovnání jen pro roky 1954 a 2002, indexy API_{30} u povodní 2013 nebyly kvantifikovány. V případě 6. srpna 2002 byla nasycenost více méně srovnatelná se 7. červencem 1954, všechny stanice v povodí českého Labe udávají API_{30} v intervalu 30 až 50 mm. Kdybychom se podívali na nasycenost před druhou srážkovou epizodou srpna 2002, uvidíme několikanásobný nárůst. 11. srpna se API_{30} pohybovalo od 60 mm (v povodí Berounky, kolem Mělníka a Ústí nad Labem) k 80 mm v okolí Prahy. Největších hodnot API_{30} dosahovaly stanice v jižních Čechách (Bechyně 102 mm, Písek 114 mm a České Budějovice 134 mm). Obdobných hodnot

API_{30} nabývají Čechy 8. července 1954, tedy až ve dni nejintenzivnějších srážek. I v tomto porovnání vystupuje mimořádnost srpnové události.

Při srovnání příčinných srážek se dostáváme k výrazným srážkovým úhrnům. Když se podíváme na srovnání pro Německo, všimneme si koncentrace maximálních třídních srážkových úhrnů do horských oblastí (viz obr. 6.3). U roku 2013 převažuje jasně oblast Alp, v roce 2002 naopak severní úbočí Krušných hor. Z případu v roce 1954 (na obr. 6.3 vpravo) vyplývá, že byly v obou horských oblastech naměřeny na větších plochách výrazné srážkové úhrny a vykreslení R_3 v podstatě vypadá, jako kdybychom sloučili srážky z let 2002 a 2013. Průměrné plošné R_3 na povodí Labe od Děčína po Magdeburg dosáhly 49,3 mm v roce 2013, v roce 2002 75,9 mm a 68,8 mm v roce 1954, tedy téměř srovnatelné výše. Větší rozdíly byly v povodí německého Dunaje po Passau, kde plošný průměr $R_3 = 111,2$ mm pro červenec 1954 (62,5 mm v roce 2002 a 75,7 mm v roce 2013) se výrazně vzdaluje novějším případům (Schröter et al., 2015). Doba opakování pro zobrazené srážkové úhrny byla v případě roku 2013 většinou do 50 let, jen ostrůvkovitě překročila 100letou hranici. V roce 2002 celé severovýchodní Krušnohoří po Drážďany dosáhlo n-letosti 200 let, území s R_3 s dobou opakování nad 100 let zasahovala až k Berlínu. Nejextrémnějších úhrnů dosáhl červenec 1954, kdy v Bavorsku a Sasku oblasti s $R_3 > 100$ mm překonaly hranici doby opakování 200 let, tedy více než polovina rozlohy u obou spolkových zemí.



Obr. 6.3: Maximální třídní srážkové úhrny (v mm, část a) a jejich n-letost (část b) v Německu pro červen 2013 (vlevo), srpen 2002 (uprostřed) a červenec 1954 (vpravo). Upraveno podle (Schröter et al., 2015).

Při hodnocení srážek se nabízí i srovnání s ostatními povodněmi na základě extremity. K tomuto účelu využijeme hodnoty E_{ta} a index WEI pro celou ČR uvedené pro roky 2002 a 2013 ve studii Müller et al. (2015). Údaje zobrazené v tab. 6.1, tedy maximální hodnoty E_{ta} pro jednotlivá časová okna v případě první i druhé srážkové epizody v červenci 1954, srovnáme s oběma povodněmi. Pro jednodenní srážkové úhrny vychází nejvyšší E_{ta} pro 12. srpna 2002 ($E_{ta} \approx 135$), dále $E_{ta} = 85,5$ dne 2. července 1954, kdy byly srážky koncentrovány především na menší ploše v oblasti Moravy. $E_{ta} \approx 80$ z 1. června 2013 můžeme srovnávat s E_{ta} z 2. července 1954, hodnota ze srpna 2002 se oběma výrazně vzdaluje. Výsledné WEI = 174 v srpnu 2002 je ztotožněné s třídní E_{ta} (11. – 13. srpna), obdobně jako v roce 1954, kdy WEI vychází 143,9 pro 7. – 9. července. Ve stejném časovém okně (od 1. do 3. června 2013) odpovídá $E_{ta} \approx 100$. Protože hodnota E_{ta} u povodní v roce 2013 stále stoupala, dosáhla maxima v období od 30. května do 3. června, tudíž se WEI rovná 123 (pětidenní E_{ta}) na ploše zhruba 43000 km². Navzdory faktu, že vychází pro rok 1954 pětidenní $E_{ta} = 161,9$ na znatelně menší plochu, jedná se o jediný případ, kdy hodnota

E_{ta} z července 1954 přesahuje obě zmiňované povodně. Pro období mezi 9. a 13. srpnem 2002 je pětidenní E_{ta} přibližně 145.

Tab. 6.1: Maximální hodnoty E_{ta} vypočtené pro srážkové úhrny pro různá časová okna v červenci 1954. Zvýrazněné hodnoty odpovídají WEI.

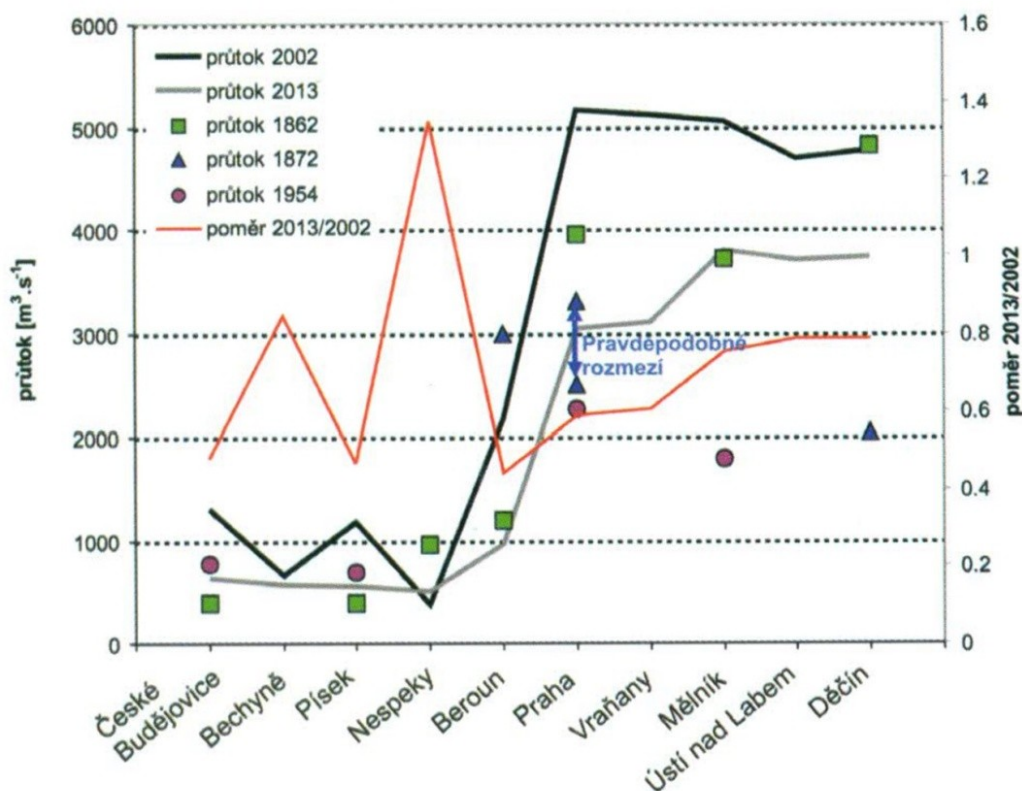
Datum	2.7.	1.-2.7.	1.-3.7.	8.7.	7.-8.7.	7.-9.7..	7.-10.7.	7.-11.7.
a (km ²)	9308	20376	19868	17904	30112	34948	30696	32320
E_{ta} WEI	85.5	118.0	98.5	66.9	107.4	143.9	142.6	161.9

V povodí horního Dunaje si byly velikostí průtoků nejpodobnější povodně 2013 a 1954. Vlna toku Inn je obecně rychlejší, než ta z bavorského Dunaje. V německém tisku byla samozřejmě povodeň v červnu 2013 srovnávána s červencem 1954: „V Passau (rok 2013) Dunaj vzrostl do více než 12,80 m, výrazně překonal záplavu století z roku 1954 s 12,20 metry“ (<http://www.welt.de/>). Při měření v Hofkirchen (na Dunaji 30 km před Passau) byl v roce 1954 $Q_k = 3320 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kulminační průtok v červnu 2013 bylo $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vyšší. Uvedeme alespoň dva možné důvody. Protože bylo tepleji, méně sněžilo, čímž se do odtoku zapojilo více srážek. Navíc v roce 2013 se srážky koncentrovaly podél severního okraje Alp, který má menší infiltrační kapacitu nežli na severu pánve, kde vypadávalo více srážek v červenci 1954. Celkový Q_k na soutoku řek Dunaj a Inn byl také větší v roce 2013 ($10000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oproti $9100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v roce 1954), oba tu překonaly 100letou dobu opakování. Ve Vídni se naměřil nejvyšší $Q_k = 11000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v roce 2013 oproti $10300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v srpnu 2002 a $9600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v červenci 1954 (Blöschl et al., 2013).

Vyhodnocením dob opakování v povodí Dunaje po Regensburg zjistíme, že oproti roku 1954, kdy byly $Q_k < Q_5$, přesáhla v letech 2002 i 2013 většina toků Q_{10} , některé i Q_{50} . V červnu 2013 dosahoval Isar na většině své délky k Q_{100} , čímž podmínil $Q_k > Q_{100}$ pro Dunaj od Regensburgu po Passau. Oproti tomu v roce 2002 byl průtok řek Isar a Inn v Německu minimálně navýšen ($Q_k < Q_5$). V roce 1954 byly tyto dvě povodí spolu s řekami Regen a Naab naopak nejvíce zasaženy, povětšinou $Q_k > Q_{50}$, na některých částech toků s $Q_k > Q_{100}$. V roce 2002 kulminoval Naab s $Q_k < Q_5$, v červnu 2013 $Q_k < Q_{10}$; u toku Regen byl Q_k roven Q_{50} v roce 2002 a Q_{10} v roce 2013. V povodí Mohanu se v červenci 1954 vyskytly vyšší průtoky než v roce 2002, avšak nedosahovaly velikosti Q_k z června 2013, kdy některé přítoky kulminovaly i s $Q_k > Q_{50}$ (Schröter et al., 2015).

Na německé části povodí Labe se nejvíce zvětšily průtoky v červnu 2013. Rozdíl je patrný zvláště v povodí řeky Saale, kde byl povětšinou $Q_k > Q_{50}$, na třech tocích dokonce $Q_k > Q_{100}$. Naopak v srpnu 2002 nepřesáhly doby opakování průtoků 5 let v celém povodí Saale. V červenci 1954 přesáhl n-letost 100 let jen Weisse Elster a

zbytek povodí řeky Saale kulminoval také s $Q_k < Q_5$. Povodí řeky Mulde vykazuje srovnatelné doby opakování u všech třech povodní. Tok Labe od Děčína po Magdeburg udává $Q_k > Q_{50}$ v obou případech 21. století, rozmezí Q_{10} až Q_{20} v červenci 1954. Pro povodí Labe v Čechách přináší srovnání obr. 6.4. Kulminační průtoky v srpnu 2002 převyšují na všech stanicích po Prahu srovnatelné Q_k z let 1954 a 2013 (krom stanice Nespeky, která jako jediná vykazovala v roce 2013 vyšší Q_k než v roce 2002). Od Prahy dále po toku Vltavy a Labe je vidět vliv Slapské přehrady, která zmírnila Q_k v červenci 1954 (viz část 3.5 této práce). Obr. 6.4 dále zobrazuje Q_k na českých stanicích i pro starší povodně v letech 1872 a 1862 (více přináší např. Elleder, 2007; Müller, 2007).



Obr. 6.4: Kulminační průtoky při různých dešťových povodních na stanicích Čech. Na ose x jsou vyneseny jednotlivé stanice, na hlavní ose y je průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), na vedlejší ose y je poměr mezi Q_k v roce 2013 a 2002. Převzato z (Daňhelka, Skřivánková, 2013).

Ze studie Uhlemann et al. (2010) je patrné, že povodeň z července 1954 byla největší studovanou událostí v kategorii letních povodní od roku 1951 do 2002 na území Německa, tudíž překonala i povodně ze srpna 2002. Při tomto srovnání bychom měli brát v potaz časové trvání, které Uhlemann et al. (2010) přisuzuje roku 1954. Metodicky tedy může zahrnout i tok Rýna (část od Bodamského jezera po Basilej) a jeho menší přítoky kolem Dortmundu (viz obr. 5.30).

7 DISKUZE

V této diplomové práci jsme se zabývali hydrometeorologickou charakteristikou povodňové události v červenci 1954 ve střední Evropě. Představili jsme obecně jak meteorologické mechanismy trvalých velkoprostorových srážek, tak i jejich vliv na odtok, hydrologickou odezvu a následky povodní (kapitola 3). Dále jsme popsali tyto mechanismy při povodních v červenci 1954 a vyhodnotili jejich extremitu (kapitola 5). V kapitole 6 jsme porovnali tento případ s největšími povodněmi stejného typu z posledních let, konkrétně ze srpna 2002 a června 2013.

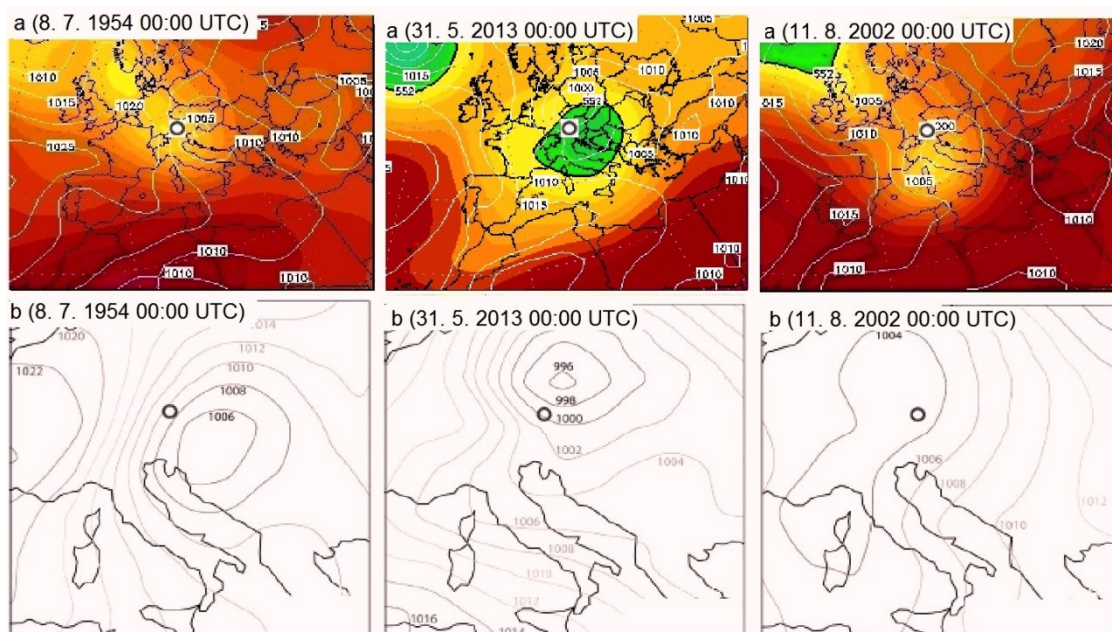
Před diskuzí výsledků bychom se měli zaměřit na data a použité metody. Zájmové území zahrnuje povodí tří evropských veletoků a zasahuje do tří států, tudíž datová základna je zcela odlišná a databáze nejednotné. Data jednotného formátu nejsou dostupná ve vyhovující kvalitě. Jelikož se také jedná o hodnocení povodně z minulosti, dostupné datové zdroje jsou omezené vzhledem k časovému odstupu. Především se projevila úplná chybějící databáze srážkových úhrnů ze stanic Horního Rakouska a malé staniční pokrytí pro červen 1954 v Čechách a následné vykreslení API_{30} . V případě vyhodnocení průtoků jsme využili hlavně databáze GRDC. Srážková i hydrologická data jsme doplnili o převzaté mapy a grafy z odborné literatury, jejíž dostupnost je také omezená (většina publikací se pochopitelně nachází v knihovnách Německa a Rakouska). Prohloubení zkoumané tematiky by napomohlo i srovnání výstupů z reanalýzy NCEP/NCAR pro povodně z června 2013, která je ovšem omezená rokem 2010.

Použité metody se mohou jen zčásti aplikovat na celé zájmové území. Při vyhodnocování jevů většího měřítka se dochází k podobným výsledkům. Výpočet indexu API_{30} zahrnuje konstantu k , jejíž hodnota kolísá od 0,8 do 0,98 (Schröter et al., 2015). Autoři citované práce používají $k = 0,9$ pro výpočet API_{30} Německu (60 % plochy zájmového území). My jsme použili hodnotu 0,93 odvozenou pro ČR Hladným (1962), které zabírá asi čtvrtinu zájmového území. Použití konstanty vyhovující větší části zájmového území by se mohlo projevit na zpřesnění předkládaných výsledků. Oproti tomu hodnocení extremity pomocí indexu WEI má smysl pouze pro celé území ČR kvůli porovnání s dalšími zpracovanými povodněmi.

Při popisu synoptické situace jsme samozřejmě zpracovali mapy tlakového pole a trajektorii srážkotvorných cyklon. V případě velkoprostorových dešťových povodní ve střední Evropě je tzv. dráha Vb dostatečně popsána a zdokumentována na mnoha případech (např. Mudelsee et al., 2004; Brázdil et al., 2005; Řezáčová et al., 2005a; Jacobeit et al., 2006). Podle studie HMÚ (1955) se synoptické situace podobné

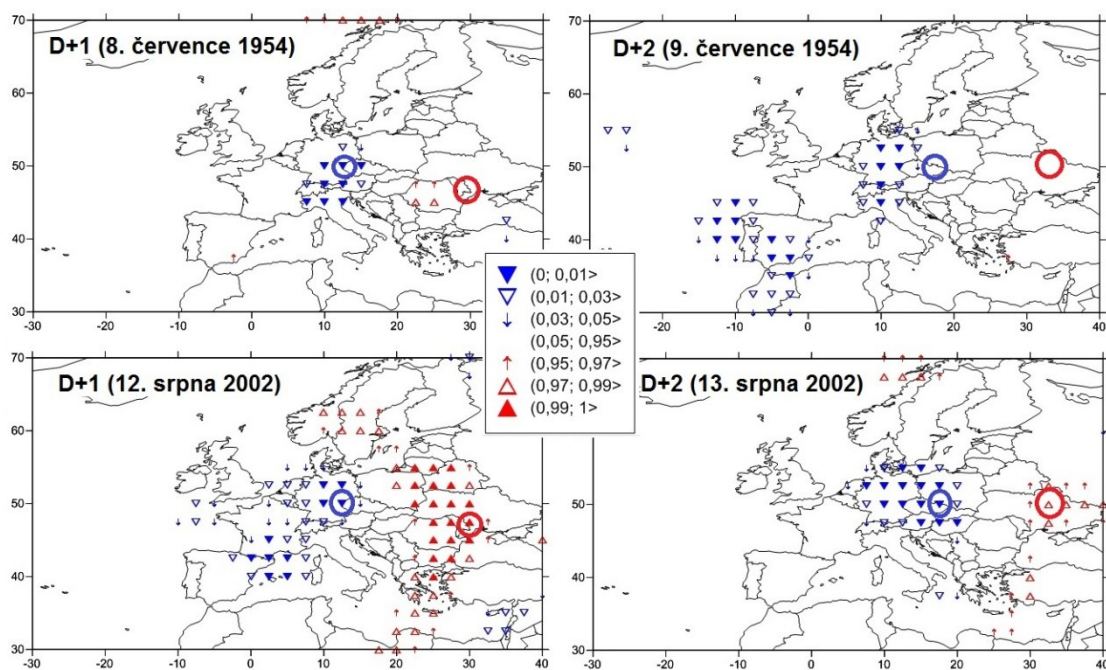
červenci 1954 vyskytují poměrně často, avšak s tím rozdílem, že postup cyklon je vždy výrazně rychlejší. V tomto případě spíše sehrál klíčovou úlohu zpětný pohyb tlakové níže.

Obr. 7.1 přináší porovnání tlakového pole v různých dnech u povodní 1954, 2002 a 2013. Část a) uvádí přízemní tlakové pole (bílé izobary) a absolutní topografii hladiny 500 hPa, část b) jsme převzali z práce Blöschl et al. (2013). Ve studii je použita pro porovnání synoptických situací u povodní z let 1954, 2002 a 2013 a datum vybráno pro den nejintenzivnějších srážek nad povodím horního Dunaje. Přibližný střed území udává kolečko (poloha Passau). Výběr dnů dle studie (Blöschl et al., 2013) shledáváme jako nesprávný. Podle části b) bychom mohli usuzovat, že se situace 1954, 2002 a 2013 dosti lišily. Zde je však potřeba upozornit právě na datum, které je dle našeho názoru zcela chybně zvoleno u roku 2002. 10. srpna nevypadávaly nad povodím Dunaje nejintenzivnější srážky, protože Passau se stále nacházelo na přední straně cyklony před pásmem hlavních srážek (viz obr. 7.1, část b). Naopak situace vyobrazené v části a) jsou si už velice podobné jak v přízemním tlakovém poli, tak i ve vyšších hladinách. Vždy se Passau nachází v týlové části cyklony, tedy v oblasti výskytu intenzivních srážek (Řezáčová et al., 2007). Dále si můžeme povšimnout, že ani pro 31. května 2013 se úplně neshoduje část a) se synoptickou situací předloženou v práci Blöschl et al. (2013).



Obr. 7.1: Přízemní tlakové pole ve střední Evropě pro různé povodňové události. Část a) uvádí přízemní tlakové pole (bílé izobary) a absolutní topografii hladiny 500 hPa (barevně); část b) přízemní tlakové pole. Datum je uvedeno v závorce, kolečko označuje pozici Passau. Upraveno podle (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>; Blöschl et al., 2013).

Kromě rozboru synoptických map jsme se dále zaměřili na hodnocení anomálií různých meteorologických prvků dle studie Müller, Kašpar (2009). Jelikož další studie (Müller et al., 2009b; Kašpar, Müller, 2010) ukázaly, že nejprokazatelnější je korelace s tokem vlhkosti, zaměřili jsme se hlavně na tuto veličinu. Anomálie FQV500 se v případě července 1954 neprokázala jako signifikantní, u FQV850 se shodují poznatky jen v den D+1 pro tok vlhkosti ze severního směru (viz obr. 7.2). Kolem určených bodů se v našem případě vyskytují hodnoty veličin z krajních intervalů, avšak s jednodenním zpožděním. Tento fakt můžeme vysvětlit, jelikož den D byl ve studii určen jakožto první den intenzivních srážek na území ČR. Omezením povodní v roce 1954 pouze pro ČR by měl být den D posunut spíše na 8. července, tudíž by rozložení toku vlhkosti ze severu v červenci 1954 odpovídalo do větší míry výsledkům prezentované studie. Naopak významné gridové body pro FQV850 z jihu (červená kolečka) nebyly v případě července 1954 vůbec potvrzeny, a to ani s jednodenním posunem. Vyobrazené anomálie se samozřejmě mohou pro různé události lišit, což dostatečně dokumentují právě popsané odchylky v roce 1954.



Obr. 7.2: Velikost meridionální složky toku vlhkosti vyjádřená hodnotou kumulativní distribuční funkce pro hladinu 850 hPa. Kolečko určuje statisticky významné gridové body pro danou veličinu v daný den, barva vyjadřuje směr vektoru dle legendy. Síť uzlových bodů použitých pro výpočet je znázorněna na obr. 5.2.

Vliv orografie na srážkové úhrny jsme shrnuli v části 3.2.3 této práce (viz např. Blumer, 1994; Kakos, 2001; Průchová, 2010). Teoretické zákonitosti můžeme rozšířit o praktický příklad ze zkoumané události. Srovnáme německou stanicí Obere Firstalm a rakouskou Steinberg am Rofan. Místa leží nedaleko jezera Aachensee v přibližně stejné nadmořské výšce (1000 m n. m.), jsou od sebe vzdálena 30 km a oddělena

hřebenem Karwendel o výšce přesahující 2000 m. Pro 8. července udává německá stanice na severní návětrné straně $R_d = 146$ mm, rakouská zhruba polovinu (78 mm). Tím můžeme ilustrovat zásadní vliv návětrí a závětrí ve složitém alpském terénu, čili se shodujeme s obecnými závěry.

V kapitole 6 mimo jiné srovnáváme předchozí nasycenost povodí v červenci 1954 s povodněmi v srpnu 2002 a červnu 2013, kdy hrála větší nasycenost klíčovou roli při utváření povodňových vln. Odezvou na srovnatelné i vyšší srážkové úhrny v červenci 1954 na většině území byly tudíž menší povodňové vlny, nežli v případě roku 2002 a 2013 (Vlasák, 2004; Brázdil et al., 2005; Schröter et al., 2015).

Extremitu srážek lze vyhodnotit vypočítáním indexu WEI. Tento postup jsme zvolili a aplikovali na celé území ČR dle studie (Müller, Kašpar, 2014). Vzhledem ke stejné metodice jsme mohli naše výsledky vzájemně porovnat s událostmi v roce 2002 a 2013, které přináší Müller et al. (2015). Z výsledků plyne, že studovaná událost překonala E_{ta} v pětidenních srážkových úhrnech obě zmiňované události, celkovou hodnotou WEI je však třídní E_{ta} . Podmínka neustálého nárůstu hodnoty E_{ta} je pochopitelná vzhledem k aplikaci indexu na povodňové události a tím pádem k porovnání s následnou hydrologickou odezvou. Pro rok 1954 jsme vypočítali pokles hodnoty o 0,9 %. Proto můžeme polemizovat nad výsledným určením WEI a spíše se zaměřit na mimořádně vysokou pětidenní hodnotu E_{ta} .

Extremitu povodní středoevropského regionu z hlediska průtoků v letním půlroce hodnotí více prací. Gvoždíková (2015) zpracovává období 1950 – 2010. Využívá dvou indexů, kdy první zohledňuje spíše rozlohu zasaženého území, druhý dává větší váhu intenzitě povodní. U obou vychází mezi povodněmi rok 1954 na druhém místě za srpnem 2002. Oproti tomu v případě studie Uhlemann et al. (2010), jež se omezuje na oblast Německa mezi roky 1950 – 2002 včetně, vychází rok 1954 na prvním místě. Řezáčová et al. (2005a) kombinuje srážkovou extremitu a následné průtoky, čímž vyhodnocuje povodně 1954 jako 3. v pořadí za srpnem 2002 a červencem 1997. Omezuje se pouze na území ČR v rozmezí let 1951 a 2002 včetně. Se závěry zmiňovaných autorů souhlasíme. Je zřejmé, že povodně v červenci 1954 byly výjimečné svou extremitou hlavně pro Českou republiku, Rakousko a Německo.

Jak z diskutovaných výsledků a porovnání plyne, samotné anomálie meteorologických veličin anebo jejich extrémy automaticky nevedou ke vzniku katastrofálních povodňových událostí. Protože velkoprostorové dešťové srážky trvalého charakteru jsou komplexní záležitostí, pro vznik následných extrémních událostí je potřeba spíše souhra více různých faktorů. Na druhou stranu jednotlivý bodový extrém se může vyskytnout i v rámci extrému většího měřítka – např. nejvyšší

srážkový úhrn za 24 hodin ve střední Evropě při srpnových povodních 2002 (Munzar et al., 2011).

.

8 ZÁVĚR

Povodně představují přírodní proces, kterému nelze zabránit. Pro centrální Evropu jsou právě povodně největším přírodním rizikem a mohou být příčinou rozsáhlých materiálních škod i ztráty na životech obyvatel. Jedná se tedy o stále aktuálnější problém, který zasahuje do života celé společnosti. Ze syntézy poznatků o povodni v červenci 1954 vyplývá, že její význam přetrvává do současnosti. Řadíme ji k historicky nejvýznamnějším povodňovým událostem jakožto největší povodeň teplého hydrologického půlroku 20. století v povodí Labe, horního Mohanu a horního Dunaje.

Předkládaná práce splňuje stanovené cíle a objasňuje meteorologické i hydrologické charakteristiky dané povodně ve středoevropském kontextu. Byl především komplexně doplněn rozbor této v Čechách neprávem přehlížené události. V případě synoptické situace se jeví jako kruciální retrográdní pohyb cyklony, čímž bylo možné zasažení velkého území opakovanými intenzivními srážkami. Srovnáním s povodněmi z let 2002 a 2013 jsme na základě indexu API_{30} zjistili, že předchozí nasycenost povodí nedosahovala zcela mimořádného stavu. Nezvykle vysoké příčinné srážky byly dále navýšeny v předpolí orografických celků (Bavorské a Severní vápencové Alpy, Šumava, Novohradské a Krušné hory). Například v rámci Německa se naměřily dosud nepřekonané třídní a měsíční extrémy. Povodňové vlny měly extrémní průběh a na mnoha místech dosáhly doby opakování přes 200 let.

Na konec jsme porovnali zjištěné výstupy s dalšími největšími povodněmi, a to hlavně z let 2002 a 2013. Zjištěny byly mnohé podobné rysy a zároveň popsána specifika července 1954. Na území ČR jsme jejich extremitu vyhodnotili na základě indexu WEI, jenž je ztotožněn s třídním srážkovým úhrnem. Při uvažování pětidenních hodnot dosahuje maxim, které přesahují srpen 2002 i červen 2013. Zde se jeví možnost dalšího hydrometeorologického porovnání této události s obdobně významnými povodněmi konce 19. století. Například bychom se mohli zaměřit na velké povodně na Labi v letech 1890 a 1897 nebo na povodeň z roku 1899 na Dunaji a porovnat je s našimi poznatky v rámci celého studovaného území.

SEZNAM CITOVANÝCH ZDROJŮ

- BALLABIO, C., PANAGOS, P., MONATANARELLA, L. (2016): Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geoderma*, č. 261, s. 110–123.
- BARREDO, J. I. (2007): Major flood disasters in Europe:1950-2005. *Natural Hazards*, č. 42, s. 125-148.
- BARTÁK, J., KREJCAR, M. (2003): Nejstarší most v České republice a více než pětisetletá povodeň na řece Otavě. *Tunel*, č. 2, s. 37-41.
- BAUER, L. (1956): Hochwasserabfluss und Landschaftshaushalt: geographisch-landschaftskundliche Probleme des Hochwasserabflusses, dargestellt am Beispiel des Juhihochwassers 1954 der Weissen Elster. Gotha. 77 s.
- BfG Report (2012): Posouzení českých a durynských přehrad při povodních na Vltavě a Labi v České republice a Německu matematickým říčním modelem. Projekt realizovaný v rámci EU Interreg-Project "LABEL - Adaptace na povodňová rizika v povodí Labe". Koblenz. 94 s.
- BECKER, A., GRÜNEWALD, U. (2003): Flood risk in Central Europe. *Science*, č. 300, s. 1099.
- BEURTON, S., THIEKEN, A.H. (2009): Seasonality of floods in Germany. *Hydrological Sciences Journal*, č. 54, s. 62-76.
- BLÖSCHL, G., NESTER, T., KOMMA, J., PARAJKA, J., PERDIGÃO, R. A. P. (2013): The June 2013 flood in the Upper Danube Basin and comparisons with the 2002, 1954 and 1899 floods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, s. 5197–5212.
- BLÖSCHL, G., VIGLIONE, A., MERZ, R., PARAJKA, J., SALINAS, J. L., SCHÖNER, W. (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser und Niederwasser. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, č. 63, s. 21-30.
- BLUMER, F. P. (1994): Höhenabhängigkeit des Niederschlages im Alpenraum. Disertační práce. Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, 242 s.
- BÖER, W., SCHUBERT, H., WILSER, O. (1959): Das Sommerhochwasser der Elbe im Juli 1954. Akademie-Verlag, Berlin. 190 s.
- BRÁDKA, J., DŘEVIKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁR, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. HMÚ, Praha. 32 s.
- BRATRÁNEK, A. (1956a): Vltavská kaskáda, možnost zlepšení ochrany Velké Prahy před povodněmi. *Vodní hospodářství*, č. 6, s. 142-145.
- BRATRÁNEK, A. (1956b): Zlepšení ochrany vnitřní Prahy před povodněmi. *Vodní hospodářství*, č. 12, s. 309-311.
- BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., ELLEDER, L., KAKOS, V., KOTYZA, O., KVĚTOŇ, V., MACKOVÁ, J., MULLER, M., ŠTEKL, V., TOLASZ, R., VALÁŠEK, H. (2005): Historické a současné povodně v České republice, Masarykova Univerzita v Brně a Český hydrometeorologický ústav v Praze, Brno a Praha. 369 s.

- BUCHTELE, J. (1972): Kategorizace povodňového režimu na tocích Vltavské kaskády. Sborník prací HMÚ, sv. 18, Praha. s. 65-140.
- CÍLEK, V. (1999): Velká povodeň na Berounce 2.-5. září 1890 - modelová situace pro 21. století?. Český kras, č. 25. s. 77-81.
- ČSN (1983): Názvosloví hydrologie. Československá státní norma 73 530. Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, Praha. 96 s.
- DAŇHELKA, J., SKŘIVÁNKOVÁ, P. (2013): Povodeň 2013 v České republice v kontextu povodní minulých, systému předpovědní povodňové služby a jeho budoucnosti. Meteorologické zprávy, č. 6, s. 163-167.
- ELLEDER, L. (2007): Historické extrémní případy povodní v povodí Labe a Vltavy. In: Langhammer ed.: Povodně a změny v krajině. Praha, s. 51-74.
- EMBLETON-HAMMAN, C. (1997): Austria. In: Embleton ed.: Geomorphological Hazards of Europe. Elsevier, s. 1-30.
- FLÖGL, H., BLASCHKE, H. (1980): Die Hochwasserretention der Salzkammergutseen. In: Hochwasserabwehr. Amt der Oberösterreich. Landesregierung. Linz. s. 127-146.
- FREI, CH., SCHÄR, CH. (1998): A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. International Journal of Climatology, č. 18, s. 873-900.
- FRICKE, W., KAMINSKI, U. (2002): Ist die Zunahme von Starkniederschlägen auf veränderte Wetterlagen zurückzuführen? GAW Brief des Deutsche Wetterdienstes, č. 12, s. 1-2.
- GLASEL, E. (1955): Das Juli-Hochwasser 1954 im österreichischen Donaugebiet. Beiträge zur Hydrographie Österreichs. Hydrograph. Zentralbüro im Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft. 139 s.
- GRAMS, C. M., BINDER, H., PFAHL, S., PIAGET, N., WERNLI, H. (2014): Atmospheric processes triggering the central European floods in June 2013. Natural Hazards and Earth System Sciences, č. 14, s. 1691-1702.
- GVOŽDÍKOVÁ, B. (2015): Extremita povodní na pomezí západní a střední Evropy. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 76 s.
- HAIDEN, T., KAHLIG, P., KERSCHBAUM, M., NOBILIS, F. (1990): On the influence of mountains on large-scale precipitation: a deterministic approach towards orographic PMP. Hydrological Sciences Journal, č. 5, s. 501-510.
- HANSLIAN, D., BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J., KAKOS, V. (2000): Vliv cyklon středomořského původu na vysoké denní úhrny srážek na Milešovice a Lysé hoře v období 1961-1995. Meteorologické zprávy, č. 2, s. 33-41.
- HERTIG, J. A., AUDOUARD, A., PLANCHEREL, A. (2005): Cartes des précipitations extrêmes pour la Suisse (PMP 2005). Lausanne.
- HLADNÝ, J. (1962): Některé poznámky k problematice parametrů srážko-odtokových vztahů. In: Sborník mezinárodní hydrologické konference Slovenské akademie věd a Ústavu hydrologie a hydrauliky, Bratislava, s. 20/1-20/11.

- HLADNÝ, J. (1971): K rajonizaci povodňových situací na území ČSR pro potřeby povodňové ochrany. *Studia Geographica* 22, Brno. s. 221–246.
- HMÚ, (1955): Povodeň Dunaja v júli 1954. Hydrometeorologický ústav, Bratislava. 16 s.
- Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 1954 (1955). Hydrographischer Dienst in Österreich, Wien.
- JACOBET, J., NONNENMACHER, M., PHILIPP, A. (2006): Atmospheric circulation dynamics linked with prominent discharge events in Central Europe. *Hydrological Science Journal*, č. 51, s. 946-965.
- KAKOS, V. (1978): Výskyt povodní na Vltavě v Praze ve vztahu k pražským meteorologickým pozorováním v Klementinu. *Meteorologické zprávy*, č. 4, s. 119-126.
- KAKOS, V. (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873 až 1982. *Meteorologické zprávy*, č. 6, s. 171-181.
- KAKOS, V. (1985): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Labe. *Meteorologické zprávy*, č. 5, s. 148-151.
- KAKOS, V. (2001): Maximální srážky na území ČR z pohledu synoptické meteorologie. In: Sborník přednášek ze semináře k výsledkům grantového projektu VaV/510/97 23.4.2001. Klub techniků ČVTVHS, Praha. s. 46-60.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W. (1996): The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, č. 3, s. 437–471.
- KAŠPAR, M., MÜLLER, M. (2010): Variant of synoptic-scale patterns inducing heavy rains in the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth*, č. 35, s. 477-483.
- KOHNEN, N. (2011): The Seasonality in Discharge of the Main River with Analysis of Flood Events. Seminární práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PŘF UK, Praha, 23 s.
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F. (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, č. 3, s. 259-263.
- KRÁL, V. (1999): Fyzická geografie Evropy. Academia, Praha. 348 s.
- KRESSER, W. (1957): Die Hochwässer der Donau. Springer-Verlag, Wien. 95 s.
- KYSELÝ, J., HALÁSOVÁ, O., KAKOS, V. (2006): Časová a prostorová proměnlivost povodní a extrémních srážek na území Čech. In: Sborník konference Bioclimatology and Water in the Land, Strečno. s. 1-17.
- LANGHAMMER, J. (2007): Úpravy toků a údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh povodní. In: Langhammer, ed.: Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. s. 271-294.
- MATĚJČEK, T. (2007): Malý geografický a ekologický slovník. Nakladatelství České geografické společnosti, Praha. 132 s.

- MKOL. (2004): Dokumentace povodně v srpnu 2002 v povodí Labe. Mezinárodní komise pro ochranu Labe, Magdeburg. 110 s.
- MKOL. (2005): Labe a jeho povodí. Mezinárodní komise pro ochranu Labe, Magdeburg. 258 s.
- MKOL. (2014): Hydrologické vyhodnocení povodně v červnu 2013 v povodí Labe. Mezinárodní komise pro ochranu Labe, Magdeburg. 53 s.
- MUDELSEE, M., BÖRNGEN, M., TETZLAFF, M., GRÜNEWALD, U. (2004): Extreme floods in central Europe over the past 500 years: Role of cyclone pathway "Zugstrasse Vb". *Journal of Geophysical Research*, č. 109, 21 s.
- MÜLLER, M. (2007): Hydrometeorologické podmínky vzniku významných dešťových povodní na území ČR. Disertační práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha, 125 s.
- MÜLLER, M.; KAŠPAR, M. (2010): Quantitative aspect in circulation type classifications – An example based on evaluation of moisture flux anomalies. *Physics and Chemistry of the Earth*, roč. 35, s. 484–490.
- MÜLLER, M., KAŠPAR, M. (2014): Event-adjusted evaluation of weather and climate extremes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, roč. 14, s. 473–483.
- MÜLLER, M., KAŠPAR, M., MATSCHULLAT, J. (2009a): Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951 to 2002. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, roč. 9, s. 441–450.
- MÜLLER, M., KAŠPAR, M., ŘEZÁČOVÁ, D., SOKOL, Z. (2006): Extremita meteorologických prvků před velkoprostorovými dešťovými povodněmi v ČR – index LSF. *Meteorologické zprávy*, č. 59, s. 65-75.
- MÜLLER, M., KAŠPAR, M., ŘEZÁČOVÁ, D., SOKOL, Z. (2009b): Extremeness of meteorological variables as an indicator of extreme precipitation events. *Atmospheric Research*, roč. 92, s. 308-317.
- MÜLLER, M., KAŠPAR, M., VALERIANOVÁ, A., HOLTANOVÁ, E., GVOŽDÍKOVÁ, B. (2015): Novel indices for the comparison of precipitation extremes and floods: an example from the Czech territory. *Hydrology and Earth System Sciences*, roč. 19, s. 4641–4652.
- MUNZAR, J., DEUTSCH, M., ELLEDER, L., ONDRÁČEK, S., KALLABOVÁ, E., HRÁDEK, M. (2006): Historical floods in Central Europe and their documentation by means of floodmarks and other epigraphical monuments. *Moravian geographical reports*, č. 14, s. 26-44.
- MUNZAR, J., ONDRÁČEK, S., AUER, I., DANCEWICZ, A., SZALAI, S. (2011): Jednodenní srážkové úhrny 300 mm a více ve střední Evropě. *Meteorologické zprávy*, č. 4, s. 107-112.
- MŽP (2003): Porovnání množství příčinných srážek v srpnu 2002 s pravděpodobnou maximální srážkou pro daná povodí. In: *Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002*. Ministerstvo životního prostředí, Praha. s. 79-90.
- MŽP (2005): *Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002*. Ministerstvo životního prostředí, Praha. 68 s.

- MŽP (2014): Vyhodnocení povodní v červnu 2013. Závěrečná souhrnná zpráva. Ministerstvo životního prostředí, Praha. 257 s.
- NOBILIS, F., HAIDEN, T., KERSCHBAU, M. (1991): Statistical considerations concerning Probable Maximum Precipitation (PMP) in the Alpine Country of Austria. *Theoretical and Applied Climatology*, č. 2, s. 89-94.
- NOVOTNÝ, J. (1963): Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách. *Sborník prací HMÚ*, sv. 2, Praha. 116 s.
- PORCÚ, F., CARACCILOLO, C., PRODI, F. (2003): Cloud systems leading to flood events in Europe: an overview and classification. *Meteorol. Appl.*, č. 10, s. 217-227.
- PRŮCHOVÁ, K. (2010): Vliv orografie na prostorové rozložení silných srážek na severovýchodě ČR. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PŘF UK, Praha, 95 s.
- RUDOLF, B. RAPP, J. (2003): The Century Flood of the River Elbe in August 2002: Synoptic Weather Development and Climatological Aspects. *Quarterly Report of the Operational NWP-Models of the Deutscher Wetterdienst*. s. 7-22.
- ŘEZÁČOVÁ, D., KAKOS, V., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., PEŠICE, P., SOKOL, Z. (2005a): Výzkum meteorologických příčin vývoje silných srážek a povodní, vývoj metod pro zpřesnění předpovědi plošných srážek. Závěrečná zpráva DÚ01 projektu VaV 650/4/03 „Výzkum vztahů mezi meteorologickými příčinami vývoje silných srážek a hydrologickou odezvou povodí“. ÚFA AV ČR. 33 s.
- ŘEZÁČOVÁ, D., PEŠICE, P., SOKOL, Z. (2005b): An estimation of the probable maximum precipitation for river basins in the Czech Republic. *Atmospheric Research*, č. 77, s. 407–421.
- ŘEZÁČOVÁ, D., NOVÁK, P., KAŠPAR, M., SETVÁK, M. (2007): Fyzika oblaků a srážek. Academia, Praha. 574 s.
- SANDEV, M., DVOŘÁK, M. (2013): Vyhodnocení cirkulačních podmínek v atmosféře v první polovině roku 2013. *Meteorologické zprávy*, č. 6, s. 167-175.
- SCHRÖTER, K., KUNZ, M., ELMER, F., MÜHR, B., MERZ, B. (2015): What made the June 2013 flood in Germany an exceptional event? A hydro-meteorological evaluation. *Hydrology and Earth System Sciences*, č. 19, s. 309-327.
- ŠINDELÁŘ, J. (1998): Raně gotický most krále Přemysla Otakara II. v Písku. Městský úřad Písek, Písek. 32 s.
- ŠTEKL, J., BRÁZDIL, R., KAKOS, V., JEŽ, J., TOLASZ, R., SOKOL, Z. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 140 s.
- ŠTERCL, P., TYL, R., PECHA, M. (2013): Průběh a extremita povodně v červnu 2013. *Meteorologické zprávy*, č. 6, s. 197-202.
- TETZLAFF, G., BORNGEN, M., MUDELSEE, M., RAABE, A. (2003): Comparison of maximum precipitation estimates with runoff depths for the 1342 and 2002 Central European flood events. *International Association of Hydrological Sciences*, č. 281, s. 59-64.

UHLEMANN, S., THIEKEN, A. H., MERZ, B. (2010): A consistent set of trans-basin floods in Germany between 1952–2002. *Hydrology and Earth System Sciences*, č. 14, s. 1277–1295.

VAN BEBBER, W. J. (1881): Die geographische Vertheilung und Bewegung, das Entstehen und Verschwinden der barometrischen Minima in den Jahren 1876 bis 1880. *Zeitschrift der österreichische Gesellschaft für Meteorologie*, 16, s. 414-419.

VAVRUŠKA, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. *Meteorologické zprávy*, č. 6, s. 111-114.

VLASÁK, T. (2004): Přehled a klasifikace historických povodní v povodí Otavy. Příspěvek na semináři: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní - 12.2.2004, Praha. s. 227-238.

SEZNAM POUŽITÝCH ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ

Archiv der Reanalysis-Übersichtskarten. [cit. 12.12.2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsrea2eur.html>>.

CCM2. JOINT RESEARCH CENTER, Institute for Environment and Sustainability (IES). [cit. 4.2.2016]. Dostupné z WWW: <<http://ccm.jrc.ec.europa.eu/php/index.php?action=view&id=24>>.

Das Hochwasser der Elbe im Sommer 1954. [cit. 21.3.2016]. Dostupné z WWW: <<http://undine.bafg.de/servlet/is/12446/>>.

Die größten Hochwasser im Gebiet der Mulden. [cit. 21.1.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/HW_Mulden.pdf>.

DVOŘÁK, P. (2008): Zdroje meteorologických informací na internetu a jejich využití. [cit. 14.3.2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.aeroweb.cz/print.asp?ID=1471>>.

Elbe steigt in Dresden über die 7-Meter-Marke. [cit. 21.12.2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.welt.de/vermischtes/article116751245/Elbe-steigt-in-Dresden-ueber-die-7-Meter-Marke.html>>.

ESRI. [cit. 1.2.2016]. Dostupné z WWW: <<https://maps.arcgis.com/>>.

HWRP Weisse Elster. [cit. 27.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.label-eu.eu/uploads/media/HWRP-Weisse_Elster_SN_2011-11-08.pdf>.

IHME1500. Internationale Hydrogeologische Karte von Europa 1:1.500.000. [cit. 7.2.2016]. Dostupné z WWW: <https://download.bgr.de/bgr/grundwasser/IHME1500/v11/shp/IHME1500_v11.zip>.

Kamenný most v Písku – katastrofy. [cit. 11.4.2016]. Dostupné z WWW: <http://web.quick.cz/most/Most_04.htm>.

Klimadiagramme weltweit. [cit. 1.2.2016]. Dostupné z WWW: <<https://klimadiagramme.de>>.

Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland (MGN). DWD. [cit. 1.3.2016]. Dostupné z WWW: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/extremniederschlag/download/mgn_deutschland_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2>.

Meteorologický slovník výkladový a terminologický. ČMeS. [cit. 31.12.2015]. Dostupné z WWW: <<http://slovník.cmes.cz>>.

NCEP/NCAR Reanalysis 1: Summary. [cit. 2.3.2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>>.

Pichling: Hochwasser 1954. [cit. 27.12.2015]. Dostupné z WWW: <<http://www.linz-sued.at/index.php?id=21>>.

Předběžná informace o hydrometeorologických aspektech povodní v červnu 2013. [cit. 21.12.2015]. Dostupné z WWW: <<http://voda.chmi.cz/pov13/pov6-2013.pdf>>.

Přehrady a povodně – možnosti regulace? [cit. 7.3.2016]. Dostupné z WWW: <<http://denik.obce.cz/clanek.asp?id=6632399>>.

Wetterrekorde Deutschland [cit. 17.4.2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.wetterdienst.de/Klima/Wetterrekorde/Deutschland/Niederschlag/>>

Wikipedia. [cit. 6.2.2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.wikipedia.org/>>.

Zpráva o povodňové situaci 2013 06. [cit. 21.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.poh.cz/profilfirmy/povodnovezpravy/Zprava_o_povodnove_situaci_2013_06.pdf>.

PŘÍLOHY

- Příloha 1: Tabulka vybraných hydrologických charakteristik dílčích povodí zájmového území.
- Příloha 2: Hypsografické křivky studovaných povodí
- Příloha 3: Izohyety 7. a 8. července 1954 v povodí Dunaje po Vídeň.
- Příloha 4: Tabulka dosažených n-letostí kulminačních průtoků na tocích ČR v průběhu 8. – 12. července 1954. Zdroj: (ČHMÚ).
- Příloha 5: Kulminační průtoky na vodočetných stanicích v povodí Weisse Elster.
- Příloha 6: Průtoky Otavy, Vltavy a Lužnice v červenci 1954. Osa x zobrazuje dny, osa y zobrazuje Q (m³.s⁻¹) a vložené grafy hodinové srážkové úhrny (mm).

- Příloha 1: Tabulka vybraných hydrologických charakteristik dílčích povodí zájmového území. Krom délky toku (d), plochy povodí (P) a průměrného průtoku v nejbližším měrném profilu od ústí toku, také různé ukazatele tvaru povodí. Délka povodí (L_p) je přímá vzdálenost ústí toku a nejbližšího bodu povodí, která se využívá k hodnocení tvaru povodí dle koeficientu protáhlosti⁵ α, koeficientu protáhlosti⁶ R_E a stupně vývoje toku⁷. Dále tabulka uvádí délku toku (L_t), převýšení, a průměrný sklon. Uspořádání říční sítě je ukazatelem víceméně subjektivním. Zdroj dat (MKOL, 2005; CCM 2; <https://www.wikipedia.org/>).

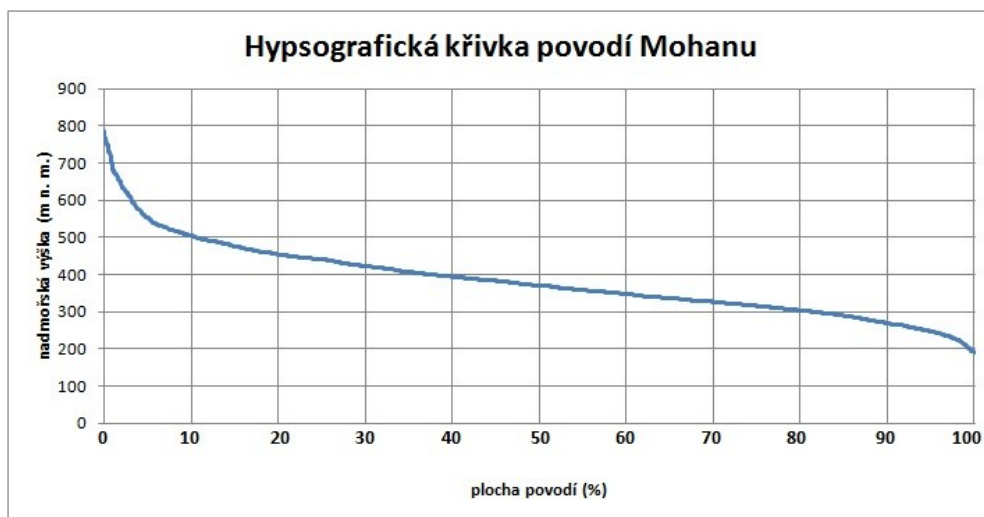
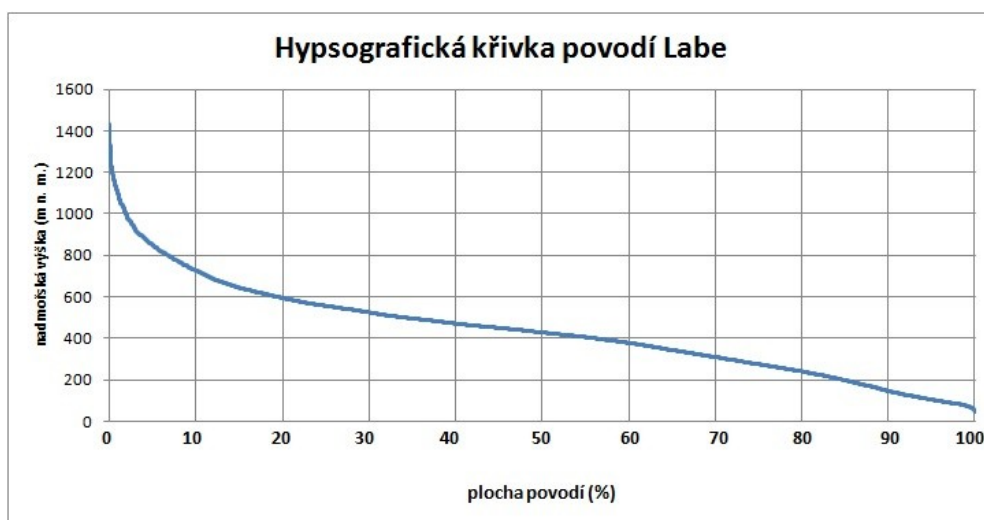
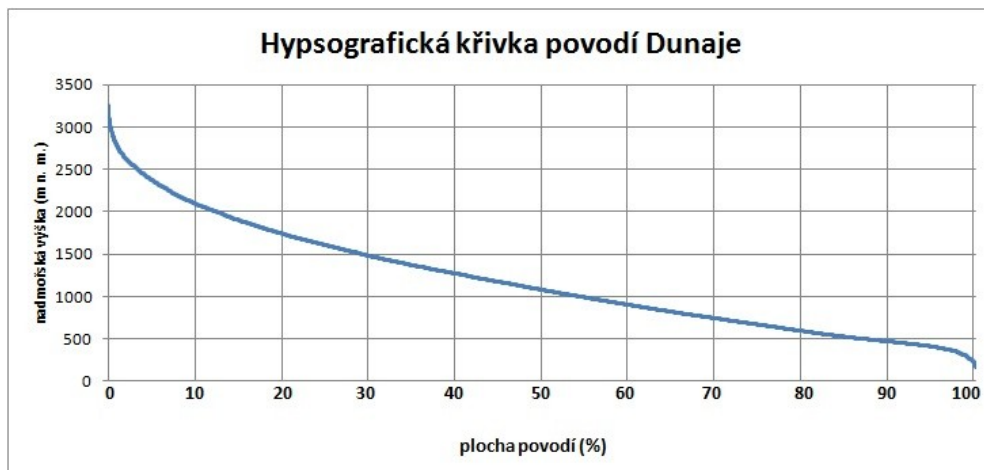
⁵ $\alpha = \frac{P}{L_p^2}$; protáhlé pro $\alpha < 0,18$; přechodný typ pro $0,18 \leq \alpha \leq 0,20$; vějířovité pro $0,20 < \alpha$

⁶ $R_E = \frac{2}{L_p} \sqrt{\frac{P}{\pi}}$; nabývá hodnot od 0 (protáhlé povodí) k 1 (ideální kruhové povodí)

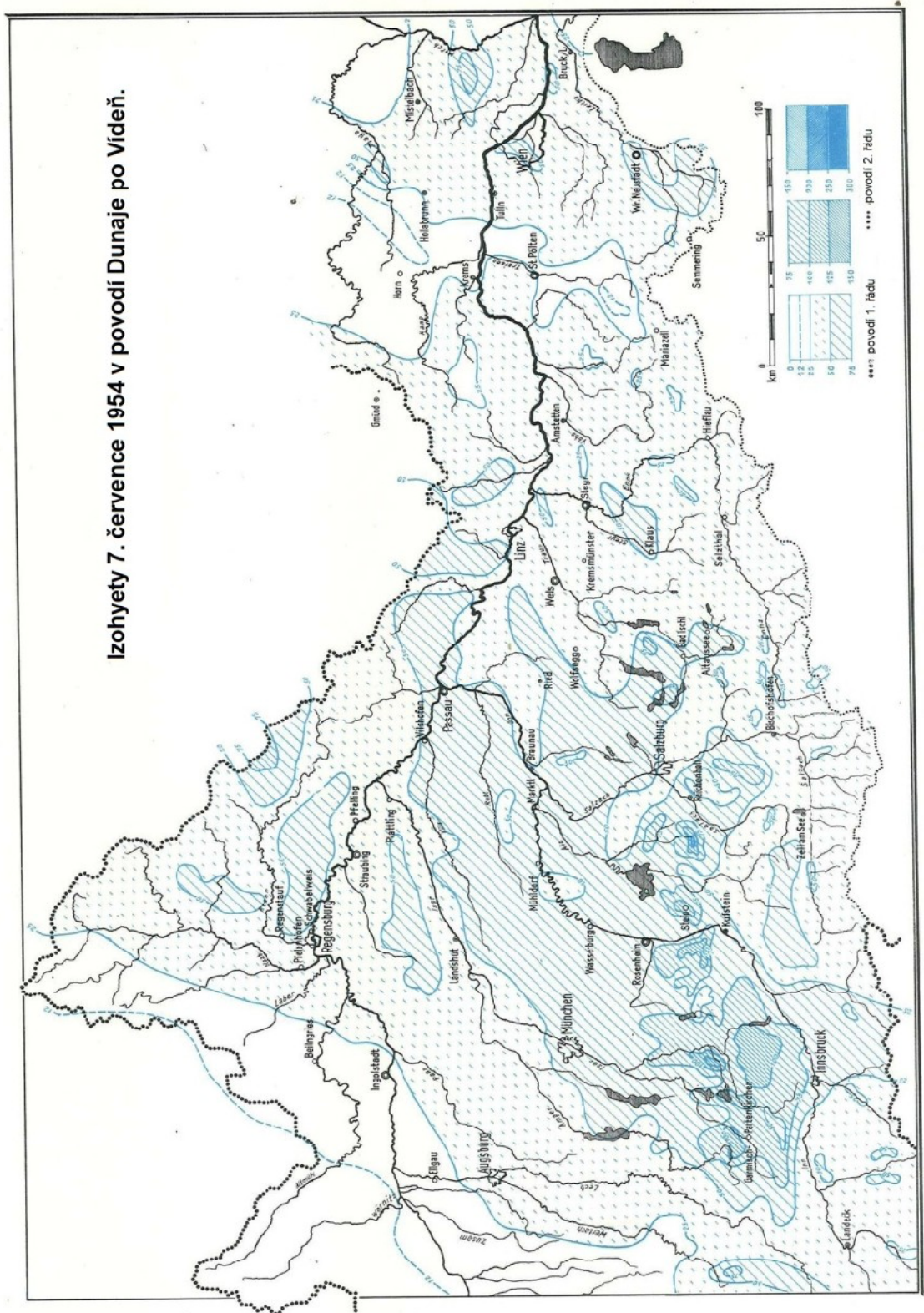
⁷ stupeň vývoje toku = $\frac{d}{L_t}$; hodnota vždy > 1; čím větší, tím tok více meandruje (srovnání např. Iller a Kamp)

Řeka	Povodí	Délka (km)	Plocha povodí (km ²)	Průměrný průtok v nejbližším profilu u ústí (m ³ ·s ⁻¹)	Lp povodí (km)	alfa	koefficient protáhlosti povodí α	koefficient protáhlosti povodí R_E	Lt toku (km)	Stupeň vývoje toku (míra krívolakosti)	Uspořádání říční sítě	převýšení toku (m)	průměrný sklon toku (‰)
Iller	Dunaj	147	2152	70	126	0,14	protáhlé	0,42	123	1,20	neuspořádané	315	2,14
Lech	Dunaj	264	3926	114	188	0,11	protáhlé	0,38	188	1,40	paralelní	1448	5,48
Altmühl	Dunaj	227	3258	17	129	0,20	přechodný typ	0,50	125	1,82	stromovitě	121	0,53
Naab	Dunaj	165	5432	50	111	0,44	vějířovitě	0,75	90	1,83	listovitě	449	2,72
Isar	Dunaj	295	8370	175	208	0,19	přechodný typ	0,50	197	1,50	nesouměrné	850	2,88
Inn	Dunaj	517	26130	740	289	0,31	vějířovitě	0,63	289	1,79	stromovitě	576	1,11
Traun	Dunaj	153	4277	133	100	0,43	vějířovitě	0,74	90	1,70	neuspořádané	689	4,50
Enns	Dunaj	256	6084	204	141	0,31	vějířovitě	0,62	135	1,90	neuspořádané	1505	5,88
Kamp	Dunaj	153	1753	9	72	0,34	vějířovitě	0,66	66	2,32	nesouměrné	740	4,84
Regnitz	Mohan	162	7523	57	104	0,70	vějířovitě	0,94	64	2,53	pravouhlé	111	0,69
Orlice	Labe	136	2036	22	73	0,38	vějířovitě	0,70	71	1,92	vějířovitě	585	4,30
Jizera	Labe	164	2193	24	89	0,28	vějířovitě	0,59	88	1,86	stromovitě	756	4,61
Vltava	Labe	430	28090	151	208	0,65	vějířovitě	0,91	166	2,59	listovitě	1015	2,36
Ohře	Labe	316	5614	37	173	0,19	přechodný typ	0,49	171	1,85	stromovitě	634	2,01
Schwarze Elster	Labe	179	5705	21	137	0,30	vějířovitě	0,62	115	1,56	stromovitě	328	1,83
Mulde	Labe	314	7400	70	172	0,25	vějířovitě	0,56	164	1,91	vějířovitě	713	2,27
Saale	Labe	413	24079	114	201	0,60	vějířovitě	0,87	204	2,02	listovitě	679	1,64
Dunaj	Dunaj	1344	101202	1910	609	0,27	vějířovitě	0,59	607	2,21	nesouměrné	933	0,69
Mohan	Mohan	424	14656	127	144	0,71	vějířovitě	0,95	142	2,99	vějířovitě	720	1,70
Labe	Labe	1058	97958	552	285	1,21	vějířovitě	1,24	427	2,48	nesouměrné	1566	1,48

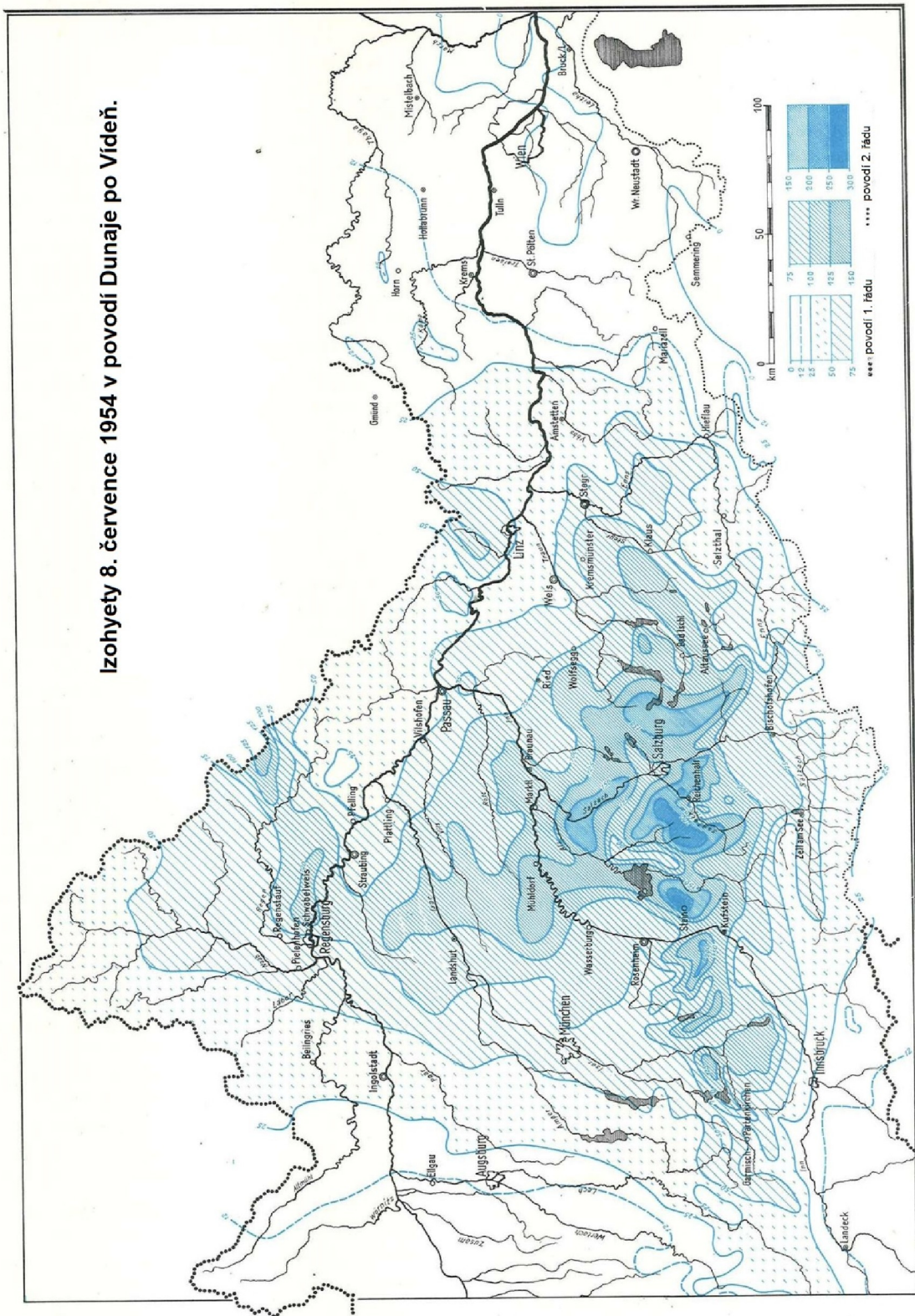
Příloha 2: Hypsografické křivky studovaných povodí. Zdroj dat (CCM 2).



Příloha 3: Izoehyety 7. a 8. července 1954 v povodí Dunaje po Vídeň.
 Upraveno podle (Glasel, 1955).



Izohyety 8. července 1954 v povodí Dunaje po Vídeň.



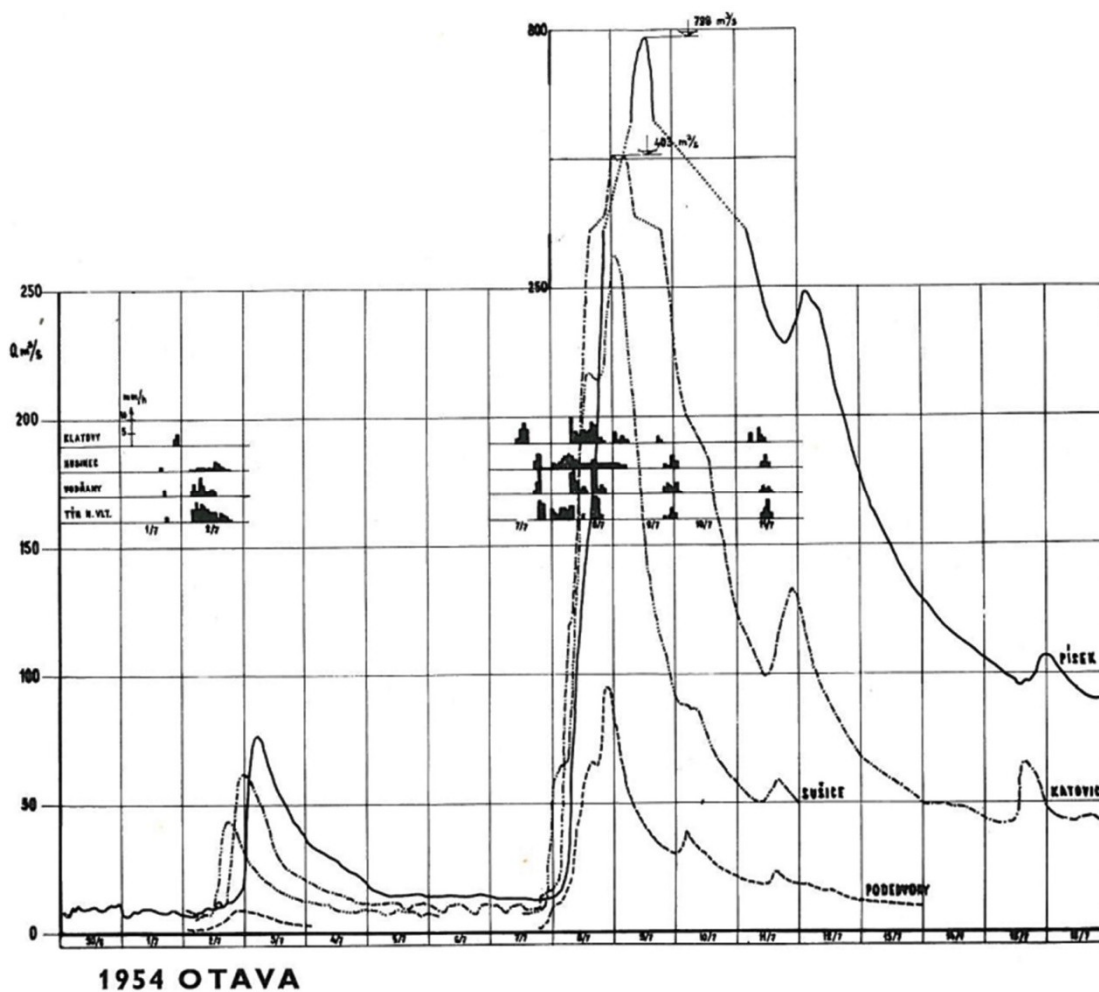
Příloha 4: Tabulka dosažených n-letostí kulminačních průtoků na tocích ČR v průběhu 8. – 12. července 1954. Zdroj: (ČHMÚ).

Stanice	Plocha povodí (km²)	Tok	Dosažená N-letost
Písek	2914	Otava	100
Klatovy	339	Úhlava	100
Karlovy Vary	2861	Ohře	50
Cheb	689	Ohře	50
Katovice	1133	Otava	50
Štěnovice	893	Úhlava	50
České Budějovice	2850	Vltava	50
Němčice	384	Volyňka	50
HERMAN	840	Blanice	20
Husinec	212	Blanice	20
Nová Huť	359	Klabava	20
Králov Dvůr	621	Litavka	20
Pilař	942	Lužnice	20
Citice	1732	Ohře	20
Sušice	534	Otava	20
Beroun	8285	Berounka	10
Svahy	216	Kosový Potok	10
Roudné	963	Malše	10
Římov	494	Malše	10
Rejštejn	334	Otava	10
Staňkov	700	Radbuza	10
Komáříce	401	Stropnice	10
Praha Modřany	26731	Vltava	10
Zbraslav	17827	Vltava	10
Březí	1826	Vltava	10
Plzeň Bílá Hora	4017	Berounka	5
Děčín	51123	Labe	5
Mělník	41838	Labe	5
Hamr nad Nežárkou	982	Nežárka	5
Louny I.	4962	Ohře	5
Lhota u Dobřan	1179	Radbuza	5
Plzeň Koterov	734	Úslava	5

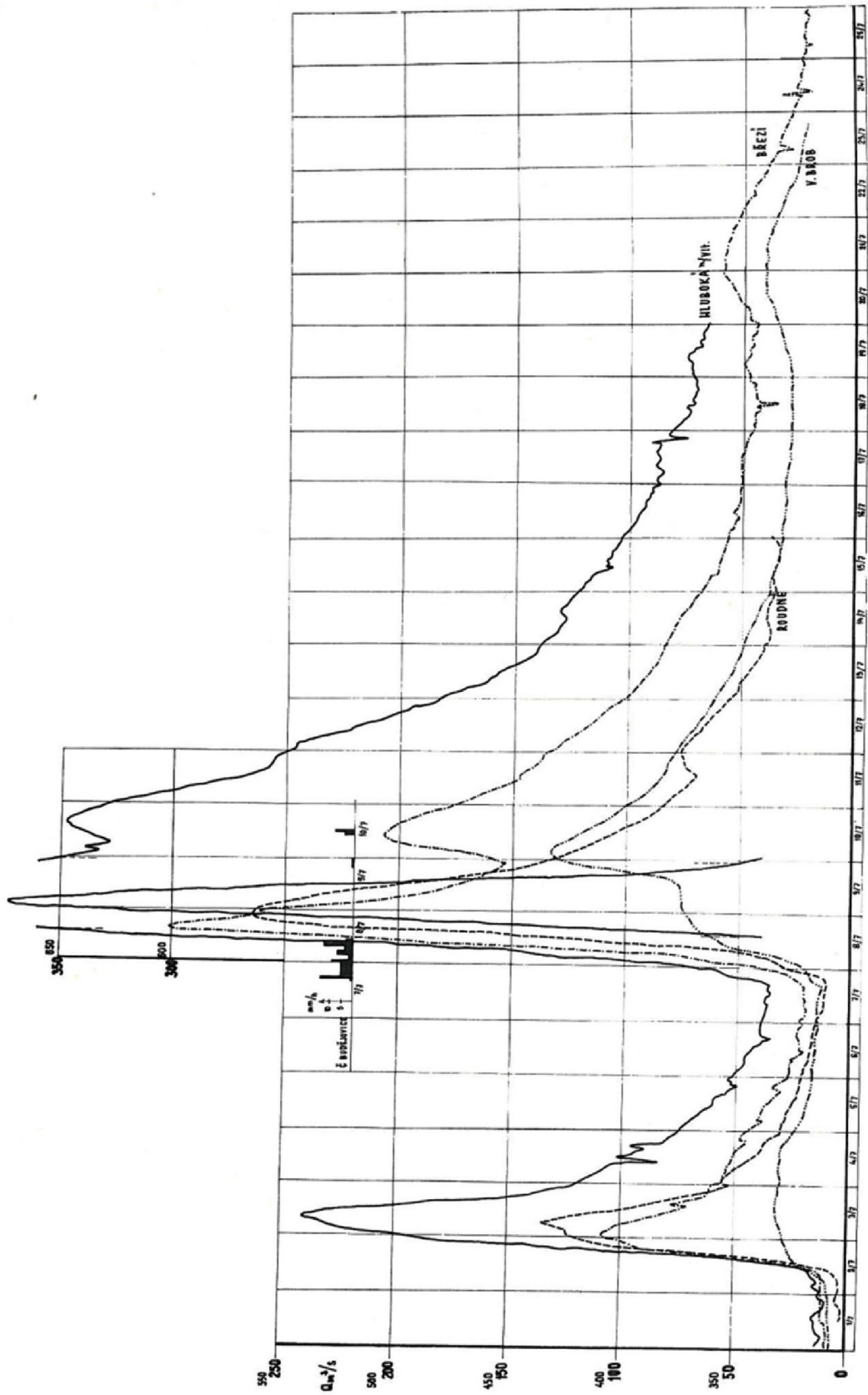
Příloha 5: Kulminační průtoky na vodočetných stanicích v povodí Weisse Elster. Zdroj dat (Bauer, 1956; HWRP, 2011).

vodočetná stanice	plocha povodí (km ²)	kulminační průtok (m ³ .s ⁻¹)	doba opakování	střední průtok ⁸ (m ³ .s ⁻¹)
Adorf	171	60	100 - 200	14
Magwitz	376	125	≈ 200	26
Greiz	1255	558	> 200	88
Gera-Langenberg	2181	669	100 - 200	132
Zeitz	2504	697	> 200	141
Mylau	155	120	100 - 200	25
Weida	296	123	50 - 100	31
Gößnitz	293	120	50 - 100	37

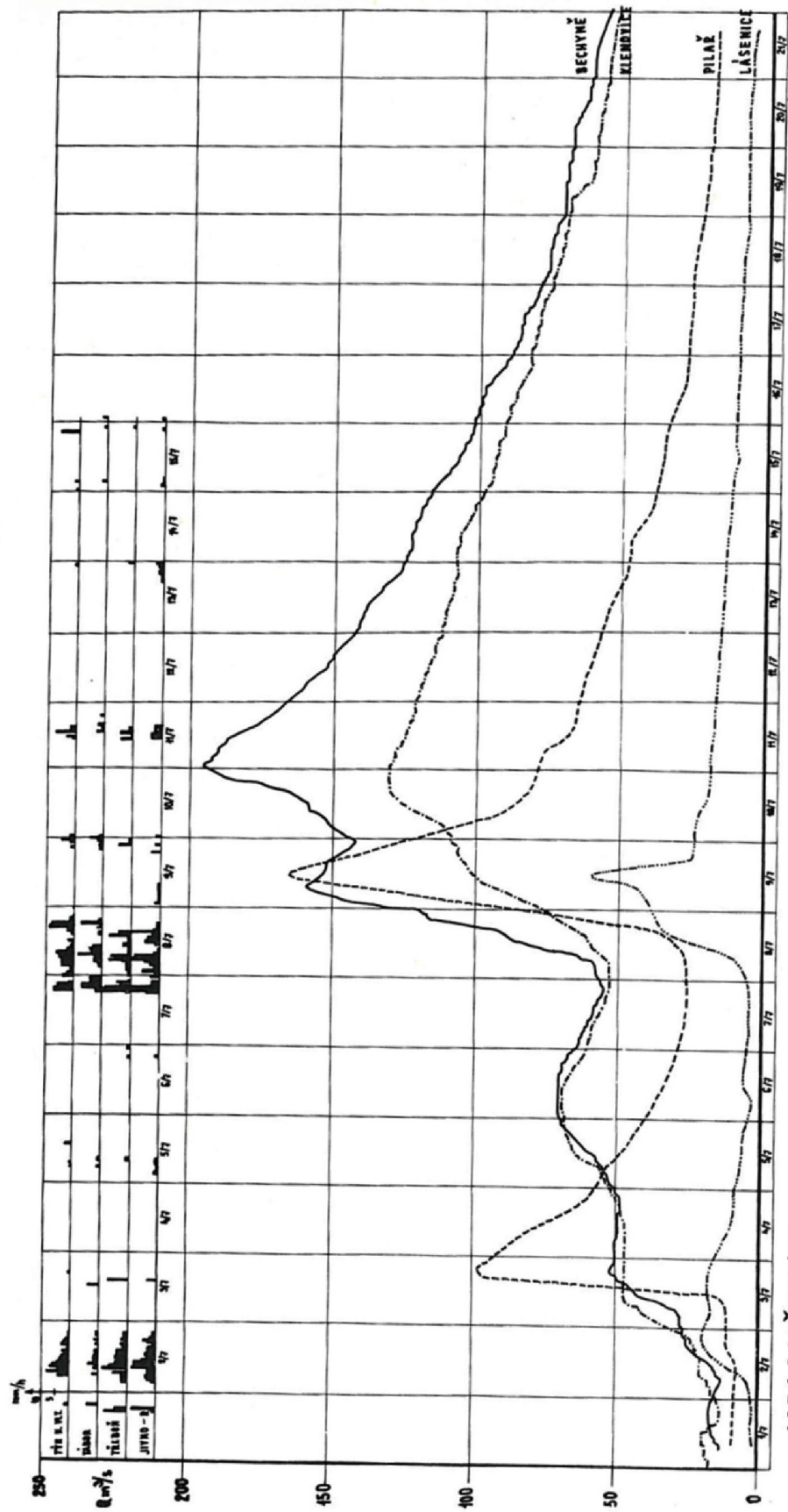
Příloha 6: Průtoky Otavy, Vltavy a Lužnice v červenci 1954. Osa x zobrazuje dny, osa y zobrazuje Q (m³.s⁻¹) a vložené grafy hodinové srážkové úhrny (mm). Převzato z (Buchtele, 1972).



⁸ střední průtok $MHQ = \frac{0,5 \cdot \Sigma(\text{kulminační průtok} + \text{průměrný roční průtok})}{\text{počet roků s povodní}}$



1954 VLTAVA



1954 LUŽNICE