

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**GEOINFORMATICKÉ MODELOVÁNÍ
SRÁŽKOVÝCH ANOMÁLIÍ VE STŘEDNÍ EVROPĚ**

**GEOINFORMATICAL MODELLING
OF THE PRECIPITATION ANOMALIES
IN CENTRAL EUROPE**

Diplomová práce

Tomáš KAFKA

duben 2009

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jiří Kastner

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citoval.

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 27. dubna 2009

.....
Tomáš Kafka

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce RNDr. Jiřímu Kastnerovi za inspiraci k zpracovávanému tématu, za věnovaný čas, cenné rady a připomínky během odborných konzultací při vzniku práce a také za vydatnou pomoc při závěrečných korekturách textu.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Milanu Říhovi, Mgr. Janu Karlovi a Mgr. Radku Jarešovi za předané praktické dovednosti, zejména infromatické, geoinfromatické a kartografické povahy.

Abstrakt

Tématem práce je metodické hodnocení prostorové variability srážkových anomálií ve střední Evropě s využitím nástrojů geografických informačních systémů (GIS). Různé on-line dostupné datové zdroje v řešené oblasti jsou představeny a vzájemně porovnány z hlediska jejich prostorové informace. Pro vzorovou analýzu za období 1950 - 2006 byl vybrán dataset *Ensembles gridded observational dataset (E-Obs)* v prostorovém rozlišení přibližně 25 x 25 km. Tato datová sestava je uložena ve vícerozměrném rastrovém formátu NetCDF, který je v práci podrobně představen. Tento způsob uložení dat je pro geografické analytické úlohy podporován desktopovým GIS softwarem - *ESRI ArcGIS* a pro práci s NetCDF daty E-Obs v jeho modulu *ArcMap* je vytvořena sada samostatných funkcí (*toolbox*). S využitím těchto nástrojů bylo pro řešené území z datasetu E-Obs vyextrahováno několik časových řad, vztažených k plochám referenčních podoblastí zájmového území. Za srážkové anomálie jsou pak v těchto řadách považovány události indikované extrémním denním srážkovým úhrnem, nebo dlouhodobým počtem po sobě jdoucích dní s nepřetržitým úhrnem srážek nebo naopak dlouhodobým bezsrážkovým obdobím. Podle intenzit příp. délky srážkových úhrnů a zasažené plochy jsou vybrány nejextrémnější epizody, které jsou dále v prostředí GIS modelovány. Dále je představena metodika prostorového hodnocení anomálií. Pro vyjádření lokálnosti srážek je využita analýza hlavních komponent. V zájmovém území jsou v závěru práce analyzovány změny v prostorové variabilitě srážkových úhrnů během anomálních period první a druhé poloviny hodnoceného období. Lokalizace jednotlivých anomálií je také srovnána s širšími geografickými souvislostmi a historickými záznamy o povodních.

klíčová slova: srážky, anomálie, NetCDF, GIS modely, střední Evropa

Abstract

The topic of this work is the methodological assessment of spatial variability in precipitation anomalies in central Europe using the tools of geographic information systems (GIS). Various on-line data sources for studied area are presented and compared each other in terms of their spatial information. For a model analysis for the period 1950 - 2006 was chosen dataset *Ensembles Gridded observational dataset (E-Obs)* in the spatial resolution of approximately 25 x 25 km. This data set is stored in a multidimensional raster format NetCDF, which is in the work presented in detail. This way of storing data for geographical analysis are supported by desktop GIS software - *ESRI ArcGIS*, and to work with NetCDF data E-Obs in its module *ArcMap* is developed a set of separate functions (*toolbox*). With the use of these instruments was from E-Obs dataset extracted several time series, related to the reference sub-areas. For precipitation's anomalies are considered in these series events indicated the extreme daily precipitation total, or long-term number of consecutive days with continuous rainfall, or long-term period without rainfall. According to intensities or length of precipitation totals and affected areas are selected most extreme episodes, which are modeled in GIS. It is presented the spatial evaluation methodology of anomalies. For demonstrating rainfall localization is the Principal component analyses used. For studied territory are at the end of the work analyzed the changes in spatial variability of precipitation totals during the anomalous period in first and in second half of the reporting period. Location of each anomaly is also compared with the wider geographical context and historical records of floods.

keywords: precipitation, anomalies, NetCDF, GIS models, Central Europe

Obsah

Úvod	7
Využití GIS v meteorologii a klimatologii	11
1.1. Aplikační možnosti GIS pro klimatologii.....	11
1.2. Meteorologické a klimatologické úlohy GIS	12
1.2.1. Odvozování prostorových dat.....	13
1.2.2. Aplikace klimatologických modelů a srážkových anomálií.....	16
1.3. Meteorologická a klimatologická informatika	19
Prostorová klimatologická data	21
2.1. Vlastnosti prostorových klimatických dat.....	21
2.1.1. Kvalitativní a kvantitativní charakteristiky.....	21
2.1.2. Technické vlastnosti.....	22
2.2. Jednotky	23
2.3. Extrakce dat	24
2.3.1. Extrakce dat z bodových měření.....	24
2.3.2. Extrakce informace z rastrových dat	28
2.4. Způsoby uložení prostorových klimatologických dat	30
2.5. Přehled nejvýznamnějších volně dostupných datových zdrojů (internet) .	31
2.5.1. Databáze nejvýznamnějších klimatologických institucí.....	31
2.5.2. Klimatologické datové portály, veřejné databáze a rozcestníky.....	39
Srážkové anomálie	42
3.1. Definice	42
3.2. Detekce anomálií v soustavách časoprostorových řad	42
3.2.1. Časoprostorové řady.....	42
3.2.2. Stanovení prahové hodnoty	45
3.2.3. Stanovení plošného rozsahu	48
3.3. Modelování srážkových anomálií	48
3.3.1. Modely srážkových anomálií.....	48
3.3.2. Prostorové hodnocení anomálií.....	54
ENSEMBLES Gridded Observational dataset (E-Obs)	60
4.1. Dostupnost dat	60
4.2. Prostorové rozlišení	60
4.3. Vznik datasetu	61
4.3.1. Zdroje časových řad	61
4.3.2. Zajištění kvality dat	62
4.3.3. Extrapolace dat	62
4.4. Přístup k obsahu.....	63
Network Common Data Form (NetCDF)	65
5.1. Vlastnosti souborů NetCDF.....	65
5.2. Softwarová podpora.....	66
5.2.1. Programovací jazyky.....	66
5.2.2. Prohlížeče NetCDF	67
5.2.3. Nástroje pro analýzy dat NetCDF.....	67

Algoritmické zpracování dat.....	69
6.1. Extrakce dat NetCDF v ArcGIS.....	69
6.2. Zpracování statistických dat referenčních ploch.....	70
6.3. Prostorové hodnocení srážkových anomálií.....	72
Referenční území a časové řady	73
7.1. Měřítko práce.....	73
7.2. Datový model	73
7.3. Řešené území	74
7.4. Referenční časové řady	75
7.5. Vlastnosti řešeného území, širší souvislosti.....	77
7.5.1. Výškopis	77
7.5.2. Vzdálenost od moře.....	77
7.5.3. Průměrný srážkový úhrn	77
7.5.4. Povodňová aktivita	77
Modelování srážkových anomálií ve střední Evropě.....	80
8.1. Detekování plošné anomálie v časové řadě.....	80
8.1.1. Vlhké srážkové anomálie	80
8.1.2. Suché srážkové anomálie	82
8.1.3. Detekované anomálie	82
8.2. Modely srážkových anomálií.....	83
8.2.1. Vlhké srážkové anomálie	83
8.2.2. Suché srážkové anomálie	86
8.3. Hodnocení	86
8.4. Srovnání vývoje prostorové variability anomálií.....	89
8.5. Geografické charakteristiky nejpostiženějších oblastí	91
8.6. Srovnání s historickými záznamy o povodních.....	93
Závěry a diskuse	95
Předměty zájmu a plnění cílů práce	95
Poznátky a diskuse.....	96
Výsledky vzorové analýzy.....	97
Literatura, zdroje	98
Seznam grafických a tabulkových příloh	102
Přílohy.....	103

Geoinformatické modelování srážkových anomálií

Každý přírodní geosystém na Zemi se projevuje mimo jiné i svými specifickými výjimečnými stavy, v krajním případě extrémními, a také jejich určitou periodicitou. Z atmosférických jevů jsou **projevy extrémní srážkové činnosti** pro lidskou činnost jedny z vůbec nejvýznamnějších extrémních jevů a každá jejich přítomnost se velmi negativně odráží v soudobých civilizačních potřebách, mnohdy i daleko více, než by se projevily čistě v přírodní sféře. Také proto jsou extrémní srážkové úhrny sledovány již od starověku. První souvislé srážkové řady pak vznikaly na konci 17. století v Anglii, ve střední Evropě pochází nejstarší souvislá přístrojová měření srážek z Pražského Klementina z května roku 1804. Dnes jsou již srážky předmětem každodenního zájmu i široké veřejnosti například v meteorologických předpovědích. S nástupem geografických informačních systémů (GIS) na konci 20. století začaly být ovšem měřené srážkové úhrny nově a stále častěji podrobovány také geoinformatickým analýzám, zkoumajících především širší geografické souvislosti jejich prostorové distribuce.

Ve většině dosud publikovaných prací, zabývajících se geoinformatickým zpracováním srážkových dat, je nevýznamnější část GIS aplikovaného výzkumu věnována samotné prostorové interpretaci dat z bodových, případně radarových nebo družicových měření, a hledání závislostí srážkových úhrnů na terénních charakteristikách zemského povrchu. V jistém smyslu však tímto úloha GIS v samostatné klimatologii obvykle končí, neboť vyhotovený srážkový model je následně dáván již do vztahů s různě-oborovými tematickými vrstvami a výstupy těchto prací pak mají tedy komplexnější, můžeme říci, spíše více-oborovou povahu.

Prioritním cílem této práce je bezprostředně navázat na metodiku tvorby prostorového modelu distribuce srážek, respektive na jeho již vytvořenou fyzickou podobu, a pokusit se z dlouhodobého průběhu modelovaných dat odvodit nové přidané informace klimatologické povahy. V předkládané práci jde tedy o hledání ukazatelů, charakterizujících časoprostorové vztahy srážkově anomálních událostí v regionálním klimatu.

S využitím prostorových nástrojů GIS je v této práci realizováno odvozování geografického modelu srážkových anomálií na základě prostorového modelu srážkových úhrnů, což je vystiženo v názvu práce jako **Geoinformatické modelování srážkových anomálií**.

Srážkově anomální událostí (srážkovou anomálií) se v předkládané práci rozumí stav, kdy je celkový srážkový úhrn v určitém místě vzhledem k dlouhodobému průměru extrémní. Může se jednat o oboustranné extrémy, to znamená buď silně nadlimitní úhrn během krátké

doby, celodenní intenzivní srážky, dlouhodobě nepřetržitý počet dní se srážkami anebo naopak dlouhodobě trvající období sucha (beze srážek).

Jako **prostorově významné** jsou uvažovány právě ty extrémní události, kdy je současně nebo bezprostředně na sebe navazující anomálií postižena plošně významná (většinová) část hodnoceného území.

Délka události, daná počtem srážkových dní, představuje základní časovou charakteristiku každé anomálie. Plochy, které jsou událostí postiženy, a celkové intenzity srážkových úhrnů umožňují odvozovat ukazatele, charakterizující **prostorové a objemové vlastnosti** těchto anomálních stavů. Těmito se tato práce zabývá přednostně. K tomu je využito nástrojů GIS, které obsahují komplexní infromatickou podporu prostorových analýz a umožňují tak vytvořit souhrnný geoinformatický model každé ze statisticky zjištěných extrémních událostí. Proto právě GIS představují účinný nástroj pro modelování a posuzování prostorového i intenzitního významu srážkových anomálií.

Svémi časovými, intenzitními i prostorovými ukazateli, hledanými v analytické části práce, je každá detekovaná anomálie charakteristická a je tak specificky popsána. Díky těmto popisujícím vlastnostem je pak možné jednotlivé extrémní události nejen vzájemně porovnávat, ale i například **srovnávat modelově odvozenou rizikovost události** se skutečnými historicky podloženými daty (informace o povodních a jejich rozsahu, o ekonomických škodách, v krajním případě až o obětech na lidských životech, způsobených srážkově podmíněnou přírodní katastrofou).

Časoprostorový vývoj anomálií a vývoj jejich charakteristik mohou představovat nové klimatologické ukazatele, které specificky indikují změny v chování klimatu. V širších souvislostech mohou tyto ukazatele naznačit prostorové **trendy distribuce srážek a jejich změny v čase** a tedy i významně přispět do diskusí o globálních změnách klimatu.

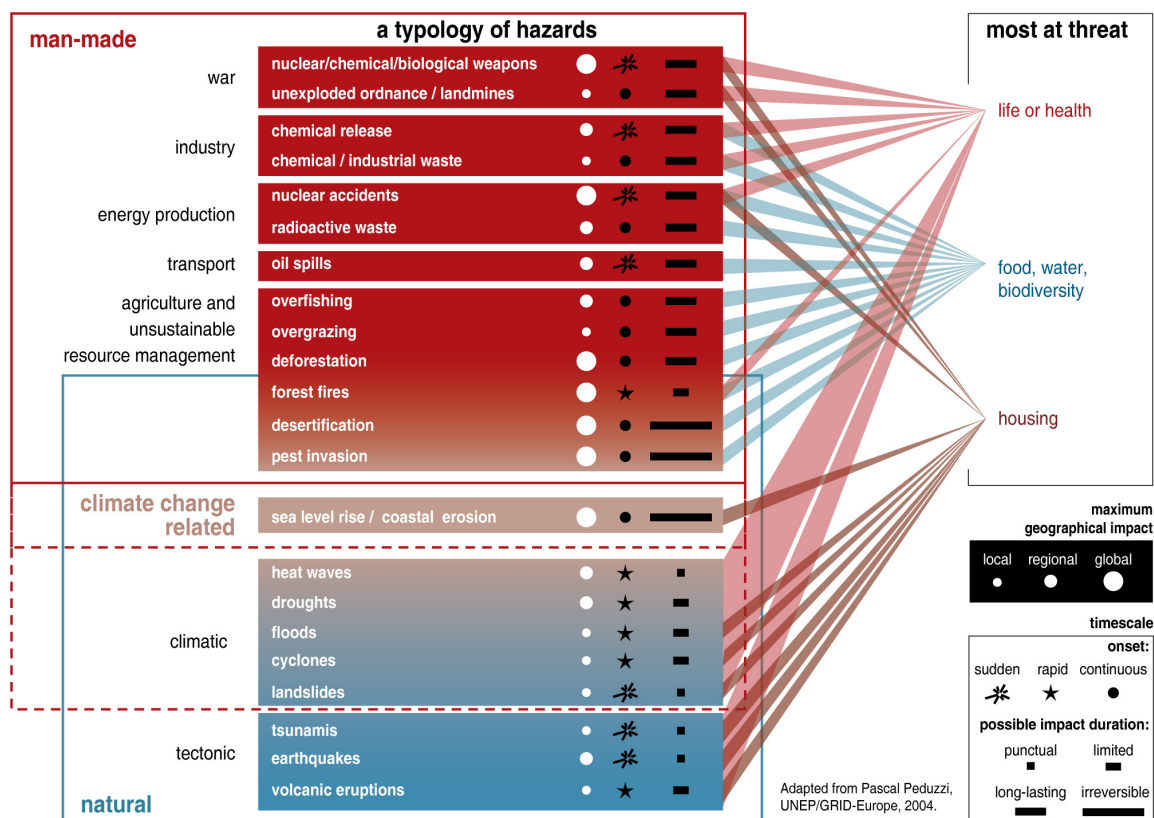
Klimaticky podmíněná rizika

Srážkově anomální událost v jakémkoliv projevu nemusí nutně znamenat ekonomické nebo dokonce lidský život ohrožující riziko. Stejně tak se ale i klimaticky jen průměrná událost může projevit zcela destruktivně (například v narušeném ekosystému). Výzkum srážkově anomálních událostí může tedy vést k otázkám dvojího typu:

- 1. Zda byla katastrofální událost důsledkem srážkové anomálie?*
- 2. Zda se srážkový extrém projevil rizikem pro ekosystém nebo společnost?*

UNEP/GRID (2005) rozlišují životní rizika podle jejich původu jako rizika zapříčiněná člověkem, rizika čistě přírodní a rizika podmíněná současně lidskou činností i přírodní sférou (viz obr. 1). Dále lze tato rizika členit podle časového měřítka, geografického rozsahu a nejvíce postižené lidské činnosti. Srážkami podmíněná nebo částečně podmíněná rizika (záplavy a sucha) patří mezi středně dlouhé, regionální a jsou nejzávažnějšími pro lidský život, zdraví a bydlení. jejich zapříčinění je z části podmíněno přírodou, z části i lidskou činností.

Obr. 1 Význam a pozice klimatických rizik v globálním kontextu



Zdroj: Typology of Hazards. UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library. 2005. [on line http://maps.grida.no/go/graphic/typology_of_hazards – 16.2. 2009]

Lze tedy říci, že zkoumání prostorové, objemové i časové variability extrémních srážkových projevů je veřejným zájmem. Zejména historické srovnání klimatických anomálií může částečně odhalit (anebo naopak popřít) jakékoli zákonitosti jejich výskytu v čase a prostoru i v širších geografických souvislostech.

Od výstupů práce ovšem nelze očekávat predikci budoucího vývoje extrémních událostí, neboť atmosféra je ve své podstatě jen odrazem veškerého dění na Zemi, do jehož chodu zasahuje i člověk, a to stále významněji, a jeho chování už samo o sobě je téměř nepredikovatelné.

Vývoj srážkových anomálií - hypotéza

Pro posouzení změn v prostorové distribuci srážek během extrémních jevů byla zformulována hypotéza: „*Srážkové události, které lze objektivně posoudit za extrémní, se během posledních několika desetiletí stávají plošně stále více rozsáhlejšími a tak rizikovějšími pro větší oblasti (více povodí) i při nižších intenzitách nebo kratší době jejich trvání.*“ Tato hypotéza bude na základě modelů srážkových anomálií v závěru práce potvrzena nebo zamítnuta.

Struktura práce

Předkládaná práce je vedle úvodu a závěrečné části členěna do osmi kapitol, které jsou řazeny, dle svého zaměření, do čtyř tematických částí – metodické části, technické části, analytické části a příloh (včetně elektronické přílohy ve formě CD). Každá část představuje uzavřený celek nezbytných poznatků, vysvětlujících použité postupy, vznik zkoumané databáze, aplikované algoritmy a konečně také prezentaci výsledků řešených analytických úloh.

Cíle práce – shrnutí

1. Zvolit (nebo vytvořit) databázi denních srážkových událostí, popsat a s jinými zdroji srovnat její vznik, zejména způsob její prostorové interpretace.
2. Vytvořit algoritmičké řešení analýzy časo-prostorového modelu srážek pro detekci plošně významných srážkových anomálií. (Postup by měl být optimalizován vzhledem k objemu zkoumaných dat.)
3. Využít nástrojů GIS ke konstrukci prostorového modelu extrémních srážkových událostí ve středoevropském prostoru.
4. Vytvořit metodiku hodnocení těchto anomálií (zejména prostorových vlastností) a aplikovat jí na detekované extrémní události ve střední Evropě
5. Zhodnotit časovou i prostorovou variabilitu anomálií v historickém vývoji a porovnat anomálie s širšími geografickými vlastnostmi řešeného území.

Využití GIS v meteorologii a klimatologii

1.1. Aplikační možnosti GIS pro klimatologii

Vůbec první počátky programových nástrojů, určených pro počítačovou kartografii, pro digitální vizualizaci prostorových dat a později pak i pro jejich analytické zpracování, tedy softwarů dnes již souhrnně nazývaných jako GIS (geografické informační systémy) lze spojit již se začátkem šedesátých let dvacátého století. (Bernherdson, 1992, cit. In Chapman, Thornes, 2001). Rychlý rozvoj mikropočítačů v této době umožnil vznik ponejprv v Severní Americe prvních informatických nástrojů pro tvorbu elektronických map, kterým byly kanadský CGIS a americký McIDAS (Chapman, Thornes, 2001).

Od té doby se využívání nástrojů GIS rychle rozšířilo po celém světě a s jejich dynamickým vývojem, jak v komerční sféře, tak i v „open source“ licencích, se tyto programy, respektive některé jejich softwarové realizace, vyvinuly z prapůvodních zařízení, umožňujících pouze zobrazování prostorových informací, v moderní a mocné expertní, analytické či modelující nástroje (Worboys, 1995 cit. in Chapman, Thornes, 2001). Mnohdy tyto programy využívají neefektivnějších databázových technologií pro samostatnou správu dat, podporují široké spektrum datových formátů a celkově se snaží o vzájemnou synergii i s dalšími v praxi často používanými programy, zaměřenými např. na analýzu obrazových dat dálkového průzkumu nebo tvorbu technických výkresů. V neposlední řadě jsou na nástroje GIS kladeny i estetické požadavky nejnovější počítačové kartografické tvorby.

Systémy GIS a jejich analytické nadstavby obvykle algoritmicky pracují s prostorovými proměnnými, které nabývají svých hodnot funkční závislostí na poloze dat, definované souřadnicovým systémem, a jednotlivých informačních datových vrstvách. Ze statistických srovnání datových vrstev vznikají nové prostorové informace, někdy i odvozené komplexní modely, které pak představují datový základ pro celou řadu navazujících aplikací. Při zkoumání klimatu mohou tyto datové vrstvy představovat například teplotní mapy, mapy tlakových polí či mapy srážkových úhrnů. Nad nimi odvozený řekněme „povětrnostní model“ je pak vstupem pro navazující aplikace, zkoumající například povodňová rizika, větrný potenciál nebo třeba doporučení k závlaze zemědělských ploch.

Základní charakterovou vlastností většiny klimatických a meteorologických jevů je právě výrazná prostorová, ale i časová variabilita. Proto je správné hledat v GIS důležitý nástroj nejen pro správu rozsáhlých prostorových dat s informacemi o klimatu a jejich vizualizaci formou

mapy nebo animace, ale především využívat s nimi otevírající se možnosti analytických řešení časoprostorových otázek nad dnes již některými i poměrně dlouhodobými klimatickými modely.

Technická realizace GIS je dnes ve většině případů řešena v objektově orientovaných programovacích jazycích (Chapman, Thornes, 2001). Díky tomu lze metodické postupy při řešení složitých prostorových úloh fázovat a jednotlivé kroky přehledně strukturovat. Řešení jednotlivých podúloh může být na sobě i zcela nezávislé, což je zřejmou výhodou a při navrhování a ladění algoritmického zpracování také nezbytným požadavkem na vlastní programový nástroj.

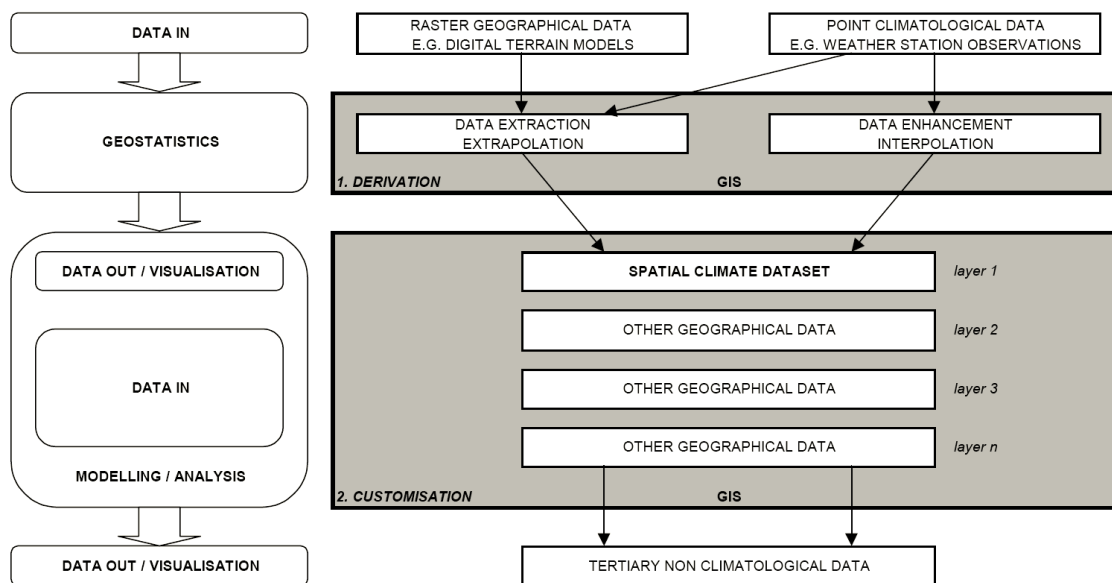
V meteorologii a klimatologii si lze objektový přístup řešení úlohy představit např. ve velmi zjednodušeném pohledu následovně: Na stanicích A – N o známé poloze (x, y) a nadmořské výšce (h) byl naměřen srážkový úhrn (s). Cílem je zjistit srážkový úhrn (S) v libovolném bodě v prostoru vymezeném nejzazšími polohami stanic. V prvním kroku úlohy řešíme závislost úhrnu na poloze $s = f_1(x, y)$, v druhém kroku řešíme závislost úhrnu na nadmořské výšce $s = f_2(z)$. Na ekvivalentní úrovni k těmto krokům však můžeme řešit i zřejmou závislost srážkového úhrnu na terénních charakteristikách okolí stanice (hledáme například srážkový stín většiny orograficky podmíněných srážek v oblasti), vegetačním pokryvu, vzdálenosti od oceánu a jiných. Výsledný srážkový úhrn může být pak výsledkem kombinace všech těchto funkcí $S = a * f_1 + b * f_2 + \dots + z * f_n$. Ty části této funkce, které se však nepodařilo vyřešit např. z důvodu nedostatku dat, nenalezení spolehlivé metodiky, nebo třeba neplatnosti závislosti v řešeném případě, lze do finálního výpočtu funkce S nezahrnout, aniž by S nebyl s určitou mírou spolehlivosti vypočítán.

V předkládané práci představuje vstupní zdroj dat již vyhotovený multidimenzionální model srážkových úhrnů. Tento model bude nejprve rozdělen do několika samostatných prostorových objektů – částí řešeného území, charakterizovaných svými vlastními časovými řadami, zjišťovanými v první fázi postupu. Tyto charakteristiky budou představovat vstupy do funkce detekující anomální událost a s využitím této informace budou pak ze zpracovávaného modelu vybrány jen ty časové úseky, zachycující anomálii. Vybrané úseky modelu pak budou opět vstupem pro další fázi zpracování dat v této práci, jejíž cílem je výsledné charakterizování jednotlivých srážkových anomálií.

1.2. Meteorologické a klimatologické úlohy GIS

Využití GIS v meteorologii a klimatologii bývá podle Chapmana a Thornse (2001) aplikováno pro dvojí typ úloh – pro odvozování dat a pro uživatelské zpracování.

Obr. 2 Dvojitý typ úloh pro GIS v meteorologii a klimatologii



Zdroj: Chapman, Thornes, 2001

V první úloze se nástrojů GIS využívá k samotnému odvození dat na základě bodových měření nebo rastrových dat (např. družicových snímků, elevačních modelů). Druhá úloha GIS je vázána na jeho kartografické, analytické a modelující funkce. Díky možnému propojení klimatologických dat s jinými prostorovými datovými vrstvami je pak typickým výstupem gisovskými zpracovávané úlohy nový prostorový model.

V rámci této práce proces odvozování dat připadá na vyhotovený vícerozměrný datový zdroj *ENSEMBLES Gridded Observational Dataset* (E-Obs), který je podrobně představen v samostatné kapitole (kap. 4), a nad ním je prováděná extrakce časových řad pro dílčí části řešeného území. Analytických úloh je řešeno hned několik. V první řadě jde o hledání významných srážkových anomálií, ať už extrémních úhrnů nebo dlouhodobých období sucha. Další úlohou je zjištění prostorového významu těchto událostí, jejich charakterizace a vzájemné srovnání v čase, k čemuž je využito vlastních komplexních modelů anomálních srážkových epizod.

1.2.1. Odvozování prostorových dat

Odvozování meteorologických a klimatologických datasetů bývá prováděno ve většině případech ze dvou typů naměřených dat. Data z tradičních měření představují například pravidelně odečítané záznamy z meteorologických stanic a observatoří (odečty ze srážkoměrů, teploměrů, anemometrů, heliografů, aj.) nebo data z pravidelně vypouštěných sond (meteorologické balóny). Technicky modernější výzkum některých vlastností atmosféry umožňuje moderní speciální pozemní měřicí přístroje (sodarová měření, radary, aj.). Společnou

vlastností takto zaznamenávaných dat je **bodový sběr**. Pořízené hodnoty a jejich časové řady jsou vztažené k jedné lokalitě, platné pouze pro její nejbližší okolí a ve většině případů ani není možné pozemním sběrem získávat data v prostoru spojitě. Plošná interpretace takovýchto dat je prováděna extrapolačními a interpolačními algoritmy na základě většího počtu různě rozmístěných měření.

Druhým typem měřených dat v meteorologii a klimatologii jsou data **dálkového průzkumu země** (DPZ), jejichž největší výhodou pro praktické potřeby meteorologických a klimatologických (geografických) informačních systémů je bezesporu získávání v jednom okamžiku plošně velmi rozsáhlých datových sestav, pořizovaných i v několika různých spektrech vlnových délek.

Zpracování bodových dat

Prioritním klimatologickým požadavkem na matematické funkce GIS je nejčastěji právě interpolace (nebo extrapolace) bodových dat. Například publikované práce kolektivů autorů **Daly a kol. (1994)** nebo **Hijmans a kol. (2005a)**, **Mitchell, Jones (2005)** a dosud nejnověji **Hofstra a kol. (2008)** se zabývaly výhradně metodikou prostorové interpretace bodových měření. Dle jejich závěrů je zřejmé, že zatímco u teplotních modelů lze při plošné interpolaci teplotního pole jen s využitím výškopisného modelu dosáhnout poměrně spolehlivých a víceméně shodných výsledků, u srážek, jimiž se tato práce výhradně zabývá, jsou metodické postupy voleny nejednotně. Kromě rozlišných použití typů matematických přístupů k interpolační metodě (deterministické i stochastické metody) je zřejmý nesoulad předurčen již hustotou staniční sítě řešených oblastí a prostorovým rozlišením gridu, do nějž jsou hodnoty interpolovány.

Počet a rozmístění stanic vzhledem k prostorovému rozlišení gridu, výškopisné charakteristiky řešené oblasti, vegetační pokryv, vzdálenost od oceánu nebo převládající směr proudění vzduchových hmot přinášejících srážky mohou patřit mezi parametry srážkového modelování. Pouze však některé z těchto parametrů lze matematicky jednoduše popsat nebo modelově reprezentovat v prostředí GIS. Nejpropracovanější modely srážkových úhrnů využívají vícestupňových interpolací, kdy v prvních krocích hledají nejprve prostorové trendy a závislosti distribuce srážek, na základě nichž jsou zjišťovány lokální průměry srážkových úhrnů za delší časové úseky. Teprve pak následuje vlastní interpolace krátkodobých srážkových úhrnů, představovaných relativními hodnotami, vztaženými k průměrům. Tento přístup byl využit např. pro interpolaci srážkových úhrnů datasetu E-Obs, používaného v této práci.

Standardní výbavou převážně komerčních programů GIS a jejich nadstaveb je široká škála nejrůznějších exaktních i aproximujících interpolačních procedur. Interpolační procedury

provádí výpočet neznámé hodnoty ze známých, prostorově lokalizovaných informací, a zahrnují například následující metody (Horák, 2008):

- konstrukce thiessenových (voroniových) polygonů, kterých následně využívá i interpolace metodou nejbližších sousedů a metodou přirozených sousedů
- triangulace s lineární interpolací (TIN)
- interpolace metodou vážených vzdáleností (IDW)
- radiální funkce a „vyhlazovací“ interpolace, prokládající mezi body křivky s nejmenší křivostí (spline)
- interpolace regresí polynomických rovnic, popisujících povrch
- trendové funkce
- pravděpodobnostní interpolace představována různými variantami krigingu a jejich kombinacemi (cokriging).

Matematický aparát těchto procedur bývá popsán v dokumentaci jednotlivých programů, avšak jimi vzniklé výstupy by měly být před dalším zpracováním nebo prezentováním vždy porovnávány jak s jejich počátečně očekávanými a reálnými možnostmi, tak i s výsledky alespoň některého z jiných možných postupů.

Datový model, použitý v analytické části předkládané práce, využívá kombinace interpolačních metod „Thin-plate spline“ a „kriging“. Podrobně jsou tyto metody popsány v druhé kapitole v části 2.3.1.

Odvozování z dat DPZ

Zpracovávání prostorových dat pořízených DPZ a jejich GIS analýzy mají význam zejména při konstrukci přízemních „klimaticko-povrchových“ modelů. Příkladem může být „Mapa teploty zemského povrchu“, kterou z družicových dat vytvořil Schadlich a kol. (2001, cit. in Chapman, Thornes, 2001) funkční závislostí na digitálním modelu terénu a hodnotách, naměřených družicí METEOSAT v infračervených vlnových délkách. Obdobný přístup využil například i El Garounani (2000, cit. in Chapman, Thornes, 2001) ke konstrukci „Mapy evapotranspirace v Tunisku“. Dalším příkladem odvozování modelů GIS analýzou dat DPZ je „Mapa teplotních vlastností korun lesních porostů v Singapuru“, kterou pro potřeby plánů záchrany deštného pralesa v Singapuru zkoumal Nichol (1994, 1995) cit. in Chapman, Thornes, 2001 na základě geografických vektorových dat, dat landuse a snímků LandsatTM. A LandsatTM využil také Suga a kol. (1995, cit. in Chapman, Thornes, 2001), který, v kombinaci s daty NOAA – AVHRR*, pomocí nástrojů GIS sledoval změny teploty na mořské hladině v Japonském moři.

* National Oceanic and Atmospheric Administration, Advanced Very High Resolution Radiometer

Při hodnocení srážkových anomálií, které jsou z informací o srážkovém úhrnu v čase vymezeny, mohou data DPZ (meteorologických družic) znamenat datové podklady nejen pro stanovení jejich celkového plošného rozsahu, ale i pro jejich charakteristiky spíše dynamické povahy. Např. kdy a kde srážková oblačnost vznikala, jak dlouho a kudy postupovala nebo kde došlo k jejímu konečnému rozpuštění. Tyto charakteristiky extrémních srážkových událostí, odvozované z dat DPZ, nejsou v rámci této práce (a jejího rozsahu) řešeny. Představují však další možnosti pro navazující studie srážkových anomálií.

1.2.2. Aplikace klimatologických modelů a srážkových anomálií

Význam klimatických a meteorologických modelů přirozeně zasahuje i mimo samotný obor klimatologie, neboť představuje nejen důležitá vstupní data navazujících aplikací, ale často již rozhodovací podklady pro další lidskou činnost. Následuje několik různě oborových příkladů podle Chapman, Thornes (2001) resp. finální zprávy COST Action 719 (2008), jejichž další výzkum nebo přímo praxe klimatologických modelů využívá, a kde analýzy srážkových anomálií mohou tedy najít své uplatnění.

Zemědělství. Odvozené klimatické modely mají významný potenciál v agroklimatickém modelování (Chapman, Thornes, 2001). Příkladem takové studie je „Agroklimatický model jihozápadního Švédska“ (Soderstrom, Magnusson, 1995 cit. in Chapman, Thornes, 2001), který vznikl kombinací modelu přízemních teplot, radiačního modelu (odvozeného z DMT) a modelu odvodňovací sítě (vytvořeného z digitálních mapových vrstev reprezentujících informace o půdních vlastnostech, jako je například obsah živin, vodní stres, plodnost, aj.) (Chapman, Thornes, 2001).

V zemědělství jsou ze srážkových anomálií nejrizikovější dlouhodobá sucha. Úrodu však může negativně ovlivnit i zvýšená četnost krátkodobých extrémních srážkových událostí, například silná krupobití.

Ekologie. Aplikace klimatologických datových sestav v ekologickém modelování byla v mnoha vědeckých studiích představena při modelování ekologické biodiverzity. Výskyt rostlinných i živočišných druhů je vázán na určité teplotní charakteristiky, srážkové poměry, případně jiné specifické klimatické ukazatele. Podmíněnost tohoto výskytu byla zkoumána s využitím GIS například ve floristických studiích, zabývajících se biodiverzitou fazolí v Latinské Americe (Jones a kol., 1997), šířením kapradin** ve Skotsku (Birnie a kol., 2000) a v mnoha dalších studiích, modelujících výskyt vzácných rostlinných druhů nebo naopak

* Fazole zahradní - *Phaseolus vulgaris* , ** Hasivka orličí - *Pteridium aquilinum*

běžných, volně a rychle se šířících rostlinných společenstev. Biodiverzita fauny byla modelována například v pracích, studujících geografickou diverzitu hmyzu, klimatické vlivy na plže i například na tahy některých ptáků.

Přímo pro ekologické modelování biodiverzity rostlinných i živočišných druhů s využitím klimatického modelu Worldclim (viz. část kap. 2.5., Hijmans a kol., 2005a) byl pod podporou institucí *International Plant Genetic Resources Institute, UC Berkeley Museum of Vertebrate Zoology, International Potato Center* aj. vyvinut nekomerční GIS software DivaGIS (Hijmans a kol., 2005b), který je v 5. verzi volně distribuován prostřednictvím svých webových stránek [<http://www.diva-gis.org/>] a prostřednictvím internetového portálu „*Sourceforge.net*“ [<http://sourceforge.net/projects/divagis>] je volně stažitelná také poslední verze tohoto programu DivaGIS 6 Anapurna.

Dlouhodobé změny klimatických poměrů či často se opakující anomálie mohou ovlivnit nebo i narušit přírodní ekosystémy. Modely srážkových anomálií mohou proto představovat jedny z podkladových dat právě pro studie např. biodiverzitních změn druhových společenstev přírodních systémů.

Lesnictví. V lesnictví bývají GIS analýzy klimatologických modelů aplikovány zejména pro hodnocení expozice lesních porostů vůči proudění větrů. Z anomálních stavů bývá studován zejména výskyt a směr extrémně silných větrů a hodnocena jimi vzniklá škoda na porostech. Ze srážkových anomálií jsou nebezpečná spíše dlouhodobá sucha, zvyšující riziko vzniku požárů.

Zdravotnictví. Šíření některých virových infekcí je silně podmíněno regionálními klimatickými vlastnostmi a oblastními topografickými charakteristikami (Berquist, 2001). Terénní mapování nemocí postižených oblastí pomocí technologie GPS v kombinaci s klimatickými daty dálkového průzkumu umožňují efektivně modelovat šíření nákazy endemických nemocí (např. malárie, onchocerciasis, lymphatic filariasis, aj.), což přispívá k operativnějšímu plánování preventivních i léčebných opatření v rizikových oblastech (Berquist, 2001).

Srážkové anomálie mohou bezpochyby buď i přímo podmínit nebo výrazně podpořit šíření nebezpečných virových onemocnění.

Předpověď počasí. GIS se staly klíčovou komponentou v předpovědních systémech počasí, kde jsou stejné analytické funkce prováděny napříč různými isobarickými hladinami (Chapman, Thornes, 2001). Z takto vzniklého synoptického modelu je dále interpretován předpokládaný vývoj počasí v nadcházejících časových úsecích.

Zjištěné srážkové anomálie mohou předpovědním modelům ukazovat například vzorová data pro testování předpovědi extrémních událostí za výjimečných synoptických stavů.

Hydrologie. Prostorová interpretace srážkových úhrnů je nezbytným základem hydrometeorologického modelování, které, vedle zájmu mnoha vědeckých studií, našlo již poměrně široké uplatnění i v komerční sféře.

Právě plošný rozměr extrémní události je téměř klíčovou informací pro modelování průtoků na závěrových bodech odvodňovaných oblastí a tedy i např. zjišťování záplavových území vodních toků nebo doby překročení retenční kapacity vodních nádrží. Vedle extrémních dešťových událostí má velký význam také modelování sněhové pokrývky, a to z důvodů vlivů jejího odtávání na říční síť a její záplavové území.

Doprava. Využití GIS v kombinaci s klimatickými modely v dopravním modelování představuje krajně specifické úlohy. Zájmem klimatických prostorových analýz v tomto oboru bylo například hodnocení maximálních teplot povrchů silnic, návrhů efektivního odklizení sněhové pokrývky, ekonomicko-ekologické posouzení solení silniční sítě nebo plánování přepravy radioaktivního materiálu vzhledem k meteorologickým a demografickým poměrům v oblastech na trase transportu (Chapman, Thornes, 2001).

Známa četnost a rozsah extrémních událostí může spíše jen napomoci některým rozsáhlým regionům při optimalizaci krizového plánu během zimní kalamity nebo při lokalizaci varovných ukazatelů podél rizikových silničních úseků (např. častými silnými srážkami, větrem nebo námrazou.)

Urbánní enviromentalistika. Klimatické modely jsou také jedním z parametrů modelování znečištění ovzduší v urbánních oblastech. Šíření vzdušných polutantů je ovlivněno zejména teplotními poměry v přízemní vrstvě atmosféry. Srážkově podmíněné jsou ale například emise prachových částic. Zdravotně rizikové navýšení prašného znečištění ovzduší lze očekávat zejména v období dlouhodobého sucha.

Hodnocení extrémních such v urbánních oblastech (ale i na rozsáhlých zemědělských plochách v době bez vegetačního krytu) může přispět například hygienickým studiím při řešení protiprašných opatření.

Energetika. Energetika je typické průmyslové odvětví, kde se GIS uplatňuje v širokém spektru řídicích, analytických a kontrolních úloh. Klimatických modelů v GIS je využíváno například pro hodnocení očekávané spotřeby tepla, při plánování instalace rozvodných sítí, nebo návrhů staveb elektráren s alternativními zdroji paliv.

Četné srážkové anomálie bouřkového původu mohou indikovat v oblasti zejména riziko poškození rozvodných sítí, způsobené silným větrem nebo zásahem blesku.

Hodnocení klimatických změn. „Většina, pokud ne všechny z výše diskutovaných výzkumů, jsou současně potenciálním předmětem zájmu studií o klimatických změnách. GIS se stal nástrojem pro vizualizaci výstupů klimatických modelů, jako například modelu všeobecné cirkulace atmosféry, pomocí nichž jsou předpovídány globální dopady různých hypotetických scénářů nadcházejících klimatických změn.“ (Chapman, Thornes, 2001).

Právě hodnocení srážkových anomálií, tak jak je prezentováno v analytické části této práce, je příkladnou studií, zkoumající změny klimatu ve zvoleném regionu během posledního století.

1.3. Meteorologická a klimatologická informatika

Za meteoro-klimatologickou informatiku můžeme v širším smyslu považovat všechny nástroje pro správu a analýzu databází časoprostorových dat, určených nebo použitelných v meteorologickém a klimatologickém vědním oboru. Náleží mezi ně nejen samotná software realizace konkrétních jakkoli složitých algoritmů, ale i způsoby a metody pro efektivní ukládání dat (datové formáty, databáze), komprimaci dat, komunikační protokoly pro přenos dat, způsoby internetové distribuce a vizualizace dat, matematické předpisy funkcí pro zpracování dat, modely mezidatových závislostí a také metodické poznatky pro další technický a poznávací progres v tomto dynamickém informatickém odvětví.

Nejefektivnější nebo nejpropracovanější nástroje klimatologické informatiky jsou dnes již úzce specializované a byly vyvinuty univerzitními týmy či profesionálními institucemi často přímo „na míru“ konkrétním klimatologickým úlohám. Mezi takové patří zejména modely pro interpolaci srážkových dat v závislosti na digitálním modelu terénu (např. modely PRISM – regresní model, ANUSPLIN – spline model, nebo AURELHY – krigingový model), a dále také prognostické modely budoucích klimatických scénářů.

Ty všeobecnější nástroje spíše představují přímou technickou podporu, určenou k širšímu využití (např. Matlab, Surfer) anebo pro širší veřejnost. To např. formou nekomerčních software (jako je DivAGIS), poskytnutím zdrojových kódů (PyClim, CDO, CDAT) anebo terminálovým rozhraním pro vzdálený přístup k datům přes internet.

Komerční GIS software, stejně tak i některé GIS programy pod GNU licencí postupně rozšiřují svou podporu datových formátů na datové typy, které jsou pro ukládání meteorologických záznamů a práci s klimatologickými daty efektivnější.

Jedním z posledních rozšiřujících se standardů pro uchovávání spojitých dat v meteorologii a klimatologii je datový formát NetCDF. Tento vícerozměrný (multidimenzionální) rastr umožňuje efektivní přístup k datům, snadnou aktualizovatelnost, a

účinná je i jeho komprese. Pokud dvě z dimenzí souboru popisují geografickou polohu „buňky“, lze jím obsažená data považovat za prostorová a v podobě rastrových pohledů mohou být načítány do prostředí GIS. Podrobně je tento formát představen v samostatné kapitole (kap. 5).

Data klimatologické informatiky jsou pro veřejnost přístupná v širokém spektru webových portálů a veřejných databází. Jenom několika nejvýznamnějším je věnován podrobnější přehled v části 2.5. druhé kapitoly. Avšak veřejně přístupná jsou i prostorová topografická data, která představují důležité vstupní vrstvy pro některé interpolační techniky (např. SRTM – digitální elevační model).

V souhrnu lze klimatologickou informatiku, díky jejím specifickým požadavkům na uchování a práci s daty, považovat za samostatné informatické odvětví, přesněji řečeno za specializaci geoinformatiky. Předkládaná práce se vybrané problematice této části geoinformatiky (modelování srážkových anomálií) věnuje zčásti metodicky a zčásti prakticky.

Prostorová klimatologická data

Získání spolehlivých prostorových dat, ať už z pozemních měření nebo z dat dálkového průzkumu Země, v dostatečně podrobném rozlišení a v rozsahu, pokrývajícím celé řešené území i časové období, je prvopočáteční a nejtěžší úlohou vlastních analytických výzkumů. Kvalita podkladových dat se silně projeví na výsledných výstupech analýzy a postup jejího řešení oproti metodickému vzoru (pokud takový je) je proto nutno této kvalitě uzpůsobit, třeba i za cenu vynechání některých kroků teoretického postupu, které by v důsledku nedostatečné kvality podkladů mohly výstup značně zkreslit.

Ačkoli koncepčně je hodnocení srážkových anomálií v této práci řešeno metodicky co nejméně závisle na datových podkladech, vzorová analýza pro střední Evropu, včetně jejích algoritmických řešení, byla prováděna nad jedním vybraným datasetem. Smyslem této kapitoly je proto představení vlastností klimatických prostorových dat, zvláště pak i způsoby jejich vzniku, uložení a distribuce. Provedeno je zejména srovnání použitého datasetu E-Obs s vybranými postupy z jiných studií a byl sestaven i přehled alternativních datových zdrojů. Právě vzájemné srovnání umožní i lepší zdůvodnění volby použitého zdroje.

2.1. Vlastnosti prostorových klimatických dat

Klimatologická data, datové sestavy, případně odvozené modely lze charakterizovat jak **kvalitativně**, na základě jejich prostorového a časového rozlišení a odborného zhodnocení věrohodnosti prezentovaných dat, tak i **kvantitativními** ukazateli, zejména počtem a délkou záznamů. Současně lze data hodnotit také **technicky**, podle způsobu zpracování původních naměřených hodnot.

2.1.1. Kvalitativní a kvantitativní charakteristiky

Z hlediska kvality i kvantity obsažených dat lze zpracovávané databáze charakterizovat jako

- vyhovující požadavkům navazujících úloh
- nevyhovující

Kvalita dat se odvíjí od měřítka navazujících požadavků na dataset. Pokud je prostorová analýza zpracovávána v určitém rozlišení (definované jako $n \times m$ hodnocených buněk hodnot),

předpokladem nejvyšší kvality je aspoň jedna naměřená hodnota pro každou buňku prostorového rozlišení. Podíl záznamů na počet buněk pak vypovídá o prostorové kvalitě modelu.

Obdobně i časový krok analýzy by měl být přinejmenším shodný, lépe však vyšší, než je nejmenší časové rozlišení záznamů. (Tzn. posuzování denních hodnot vyžaduje spíše hodinové záznamy, vícedenní události lze posuzovat z denních záznamů, pro sezónní události postačí měsíční rozlišení podkladových dat apod.)

To, zda časové řady nebo hodnoty vytvořených modelů nabývají reálných hodnot, je na posouzení zpracovatele studie, a také v případě kvantity dat je na zpracovateli, aby dokázal, že data pokrývají v dostatečné míře časový úsek i prostorové vymezení zpracování. Je zřejmé, že čím jsou geoinformaticky zpracovávané úlohy oborově specifičtější, zvláště pokud nejsou všeobecně aplikovatelné a algoritmizované, tím je odborný a lidský faktor kontroly postupu významnější, často zcela rozhodující.

2.1.2. Technické vlastnosti

Před distribucí či veřejným zpřístupněním mohou být data zpracována výpočetním postupem, který provádí vyhledávání a korekce chyb, nebo z měřených dat přímo odvozuje nové informace. Podle aplikovaných postupů při zpracování lze data členit na

- surová – nezpracované záznamy z měření
- upravená – korigované časové řady
- odvozená – vypočtené indexy, zkonstruované modely

Podle prostorové povahy jsou data

- lokalizovaná v bodech měření
- prostorově modelovaná

V případě **surových dat** (nezpracovaných záznamů z měření) určuje jejich kvalitu topograficky definovaná poloha měřících zařízení a časový krok odečítání hodnot. U surových dat lze očekávat určité množství systematických i nesystematických chyb, kterým měření podléhá.

V některých veřejných databázích jsou za účelem vyšší věrohodnosti některé nesystematické chyby již odstraňovány (např. interpolací chybějících hodnot) nebo je k záznamům přidán určitý ukazatel spolehlivosti.

Výhodou surových dat je algoritmická nezávislost na distributorovi dat. Naopak vlastní korekce chyb, zejména u velkoobjemových dat, mohou představovat časově i technicky

náročnou práci, stejně tak jako vlastní extrapolace bodových dat do prostoru, která je navíc sama zatížena další systematickou chybou.

Základním předpokladem pro **metodicky odvozené datové sestavy** je zpracovatelem již zaručená oprava či vymazání nahodilých chyb měření a v případě prostorových modelů také vhodně aplikovaná a kvantitě záznamů uzpůsobená extrapoláčnická technika. Informace o použitých postupech by měly být známy a nejlépe distribuovány současně s modelem.

Nevýhodou odvozených modelů je velká závislost na zpracovateli. Dva v prostoru na sebe navazující podrobné modely různých zpracovatelů nelze sloučit do jednoho, nebo to přinejmenším není korektní přístup, pokud nebyla závislost modelů předem testována.

Odvozené datové sestavy lze také typizovat do dvou kategorií také podle jejich **časově-stálostní povahy**. Jsou to sestavy:

- **dynamické**, u kterých se hodnoty mění v závislosti na čase (a prostoru). V rámci nadefinovaného časového měřítka jsou tato data spojitá. (Například denní srážkový úhrn, maximální denní teplota vzduchu, počet deštivých dní za měsíc, aj.)
- **statické**, kde je pro vymodelovanou hodnotu rozhodujícím parametrem geografická poloha a čas pouze vymezuje období, ze kterého byla informace zjištěna. (Například klimatické normály, dosažená minima a maxima, odvozené dlouhodobé indexy, atd.).

Pro vlastní analytická zpracování jsou stejně důležité podklady dynamické, které představují předmět zkoumání, tak i v čase konstantní modely, jejichž význam je srovnávací.

2.2. Jednotky

Srážkové úhrny jsou vyjadřovány v objemových jednotkách, kdy naměřená hodnota představuje výšku vodního sloupce na standardizované ploše. Evropským standardem rozměru srážkového úhrnu je milimetr.

1 mm srážek představuje 1 litr vody na ploše 1 m².

Vzhledem k tomu, že se srážkové úhrny často vyskytují v menším objemu, jsou v databázích ukládány tyto úhrny jako např. 0,1 násobky 1 mm. Předchází se tak možným potížím, způsobených odlišným softwarovým přístupem k desetinné tečce a čárce.

V případě rastrových a gridových dat je nutné v dokumentaci databáze zjistit, zda uvedená hodnota pro každou buňku znamená celkový objem srážek na rozloze buňky, nebo průměrný úhrn, platný pro celý plošný rozsah buňky. V použitém datasetu E-Obs je pro každou buňku vypočten průměrný denní úhrn, vyjádřený v milimetrech.

2.3. Extrakce dat

Podkladová data, která byla v rámci hodnocení srážkových anomálií použita, představují extrapolované modely z pozemních měření v síti stanic evropských hydrometeorologických ústavů a institucí. Díky srážkovému modelu E-Obs, získanému pro účely této práce, se metodika extrapolace bodových dat stala jen teoretickou částí této práce. Seznámení s postupem, jakým byl tento dataset sestaven, a jeho srovnání s metodami, aplikovanými v jiných studiích, je však nezbytné pro obhájení kvality zpracovávaných dat a tomu přizpůsobených navazujících postupů analýzy.

Většina algoritmických úloh v předkládané práci je prováděna nad rastrovými daty nebo z nich extrahovanými informacemi v tabulkových databázích. Tyto operace byly prováděny analytickými nástroji GIS pro prostorové analýzy (zde funkce extenze *Spatial Analyst* programu *ESRI ArcGIS*) a vlastními programovými skripty. Postup extrakce informace z rastrových souborů je popsán rovněž v této kapitole.

2.3.1. Extrakce dat z bodových měření

Mezi nejužívanější techniky pro extrapolaci (interpolaci) dat z bodových měření bývávají používány postupy využívající thiessenovy (voroniové) polygony (metoda přirozených sousedů), lineární interpolace v triangulační síti, interpolace s vážením vzdálenostmi (např. IDW), interpolační funkce s nejmenší křivostí modelovaného prostoru (spline), výpočty pomocí polynomiálních regresí, nebo funkce, odvozující neznámé hodnoty z pravděpodobnosti jejich výskytu (kriging).

V případě srážkových úhrnů je však prostorová interpretace srážkoměry naměřených hodnot značně komplikovaná a těžko matematicky popsatelná, neboť rozložení srážek v geografickém prostoru je (na rozdíl např. od teploty, tlaku aj.) nespojité. Z tohoto důvodu lze očekávat větší spolehlivost u interpolací hodnot průměrovaných z delších časových úseků, kdy již je možné předpokládat alespoň jednu srážkovou událost v každém místě pozorování (v Evropě), než z krátkodobých dat.

Druhou nepravidelností v distribuci srážek a tedy další komplikací při převádění bodově měřených dat do prostoru je orografická podmíněnost srážkových úhrnů. Proto je často nezbytné do interpolační funkce vložit parametry výškopisu, polohopisu a při interpolaci tak od sebe oddělit prostorové trendy distribuce srážek od měřených dat.

Interpolace relativních hodnot

Velmi zjednodušený postup prostorové interpretace srážkových úhrnů byl představen již v předchozí (bakalářské) práci (Kafka, 2006), na níž tento text částečně navazuje. Předmětem interpolace byly každoroční sezónní úhrny (úhrny za roční období vyjádřené jako součet měsíčních úhrnů) pro více než třicetileté období 1971 – 2005. Pro každou z přibližně padesáti řešených staničních řad byl vyjádřen dlouhodobý průměr za celé sledované období a datový soubor měsíčních, resp. sezónních úhrnů byl k němu standardizován. Prostorové vyjádření srážkových úhrnů pro jednotlivé roční doby hodnocených let tak byla realizováno interpolací (metodou přirozených sousedů) relativních odchylek, vyjádřených jako n -násobek dlouhodobého průměru. Dále byl testován vliv nadmořské výšky stanice a bylo ukázáno, že nadmořská výška má mírný vliv na variabilitu měřených dat (zejména v létě), avšak nemá vliv na standardizované hodnoty dlouhodobé řady.

Interpolaci relativními hodnotami lze však využít pouze pro dlouhodobé úhrny, které nabývají nenulových hodnot a spíše v oblastech s homogenním reliéfem, u kterého se neočekává rozhodující význam pro srážkotvorbu.

Extrapolace absolutních hodnot

V aplikovaných postupech posledních prací jsou používány sofistikovanější matematické postupy, které umožňují provádět extrapolaci absolutních hodnot, což v naprosté většině případů vyžaduje víceparametrové extrapolace. Obvyklé postupy k tomu využívají kombinace více extrapolačních (interpolačních) metod. Mezi nejužívanější patří např. regresní modely nebo *Thin-Plate spline* a kriging, kterých bylo využito i pro sestavení datového modelu, zpracovávaného v analytické části této práce, velmi častá je pak parametrizace průběhu extrapolace (interpolace) s využitím digitálních modelů terénu.

Thin-Plate spline

Spline je interpolační křivka, přimykající se ke známým referenčním bodům a splňující specifické počáteční požadavky na její průběh. Matematický předpis pro tuto křivku představují polynomiální funkce lichého řádu.

Metoda *Thin-Plate spline (TPS)* simuluje s využitím spline křivek deformaci nekonečného a nekonečně tenkého kovového plátu, který představuje pravoúhlá síť souřadnic (Baranová, 2006). Tento plát se „tvaruje“ tak, aby dosáhl co největší shody s tvarem referenčního objektu (Baranová, 2006). Rozdíly mezi objekty vystihuje deformace pásu, tedy souřadnicové sítě, která se projeví transformační funkcí např. skloněním, rotací nebo ohýbáním. V deformaci

se rozlišuje afinní složka (lineárně popsatelné transformace sítě – změna velikosti, rotace, jednosměrná komprese) od neafinní složky (nepravidelné změny tvaru sítě.) a míra prohnutí pásu, vyjadřující energii potřebnou k ohybu (tzv. „*bending energy*“), tedy míru lokálnosti změn tvaru (Baranová, 2006).

Interpolaci pomocí *Thin-Plate spline (TPS)* metody vyvinuli Whaba a Wndelberg (1980), pro klimatickou analýzu ji poprvé použil Hutchinson (1991). Vzhledem k prostorové povaze rozmístění krátkodobých srážkových událostí v plošně rozsáhlých regionech (např. střední Evropa) je však „ohýbání plátu“ značně složité, neboť změna tvaru by byla v mnoha případech silně lokální. TPS bylo proto využito pouze k interpolaci dlouhodobějších průměrů například při konstrukci datasetu *Worldclim* (Hijmans, 2005a), při sestavování *Všeobecného archivu srážkových a klimatických dat Austrálie* (Jeffrey a kol., 2001), nebo výpočtu modelu měsíčních klimatických průměrů v Číně (Hong a kol., 2005), aj., zatímco krátkodobé události jsou řešeny spíše geostatistickými metodami - krigingem.

Kriging

Kriging je regresní technika pro interpolaci dat, která odhad hodnoty v interpolovaném bodě počítá jak v závislosti na vzdálenostech od ostatních známých bodů (podobně jako IDW) tak i v závislosti na jeho prostorové pozici k těmto bodům (Kraus, 2007). Princip obecně předpokládá, že čím jsou si dva body blíže, tím se více ovlivňují, což je vyjádřeno z korelační funkce v tzv. semivarianci. Semivariance je v sobě si blízkých bodech minimální (oba body mají téměř stejný vliv), avšak s rostoucí vzdáleností se její hodnota zvyšuje, přičemž je zajištěno, aby součet vah obou bodů byl vždy roven 1 (Kraus, 2007). Pro závislosti semivariací na vzdálenostech mezi dvěma body (graf této závislosti se nazývá variogram) je volen nejvhodnější funkční předpis (model), který minimalizuje rozptyl mezi observovanými a interpolovanými hodnotami (Kraus, 2007) a podle něhož je prováděn i konečný odhad interpolované hodnoty.

Metoda krigingu předpokládá charakterovou homogenitu observovaných dat. Pokud je v datech známý trend, který lze popsat deterministickou funkcí, je možné touto funkcí do modelu vložit (interpolace *universal krigingem*, bez trendu se jedná o *ordinary kriging*).

Ovšem v případě srážkových úhrnů, kdy pochází podkladová data z několika odlišných klimatických oblastí, není homogenita dat v celém datovém souboru zajištěna a hrozí riziko, že bude interpolace vykazovat jen málo přesné hodnoty (v porovnání se skutečností v krajním případě i chybové hodnoty), a to zejména v regionech s větším rozpětím dat. To se týká řešených oblastí, které zahrnují například jak dešťové, tak i aridní areály, ale může se to projevit i nad daty s výrazně extrémnějšími srážkovými úhrny v horských oblastech a současně daty poměrně vyrovnaného chodu srážek v nížinných rovinách. Pokud není homogenita dat předem

prokázána, data srážkových úhrnů by měla být v rámci řešeného regionu před interpolací homogenizována. Kriging byl mimo jiné využit i pro konstrukci datasetu E-Obs (viz kapitola 4).

Extrapolace nad výškopisným modelem

Vzhledem k tomu, že jsou srážkové úhrny ovlivněné terénními charakteristikami, bývá interpolace v GIS samostatnou funkcí korigována o výškopisný model terénu, který tak vstupuje do interpolace jako další parametr.

Extrapolace pomocí výškopisných modelů umožňuje dobré odhady dat pro oblasti, kde je síť meteorologických stanic jen velmi řídká (COST Action 719, 2008). Rastrové digitální modely terénu (DTM) nebo elevační modely (DEM) jsou nejprve zjednodušeny do nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN), ve které jsou pro každý z trojúhelníků pomocí řady jednoduchých algoritmů vyjádřeny jejich mikroklimatické charakteristiky (Bernhardson, 1992 cit. in, COST Action 719, 2008). Příkladem takového přístupu je americký systém PRISM (*Parameter elevation Regressions on Independent Slope Model*; Daly a kol., 1994, 2000), který byl úspěšně použit pro sestavení kvalitních prostorových modelů po celém světě (Chapman, Thornes, 2001). PRISM je expertní systém, vytvářející z bodových měření GIS kompatibilní modely odhadů klimatických proměnných na základě prostorových vztahů (vzdálenost od stanice) a zejména jejich závislostí na terénních a polohopisných charakteristikách jako je nadmořská výška, sklonitost a orientace svahů nebo vzdálenost od pobřeží (Chapman, Thornes, 2001).

Dalším speciálním postupem pro meteorologické extrapolace dat, zejména srážek, je metoda AURELHY (*Analyse Utilisant le Relief pour l'Hydrométéorologie*), která uvažuje topografické charakteristiky oblasti pomocí analýzy hlavních komponent a krigingu (COST Action 719, 2008).

V Evropě sestavil velmi spolehlivý víceregresní teplotní a srážkový model Agnew, Palutikof (2000, cit. in. Chapman Thornes, 2001) nad výškopisným modelem v rozlišení 1×1 km pro oblast Středomoří, který vychází, vedle zeměpisné polohy a nadmořské výšky, také z parametrů pro kontinentalitu, sklonitost, orientaci svahů a tzv. „pevninsko-mořského“ koeficientu (v orig.: *ratio of land to sea*; Chapman, Thornes, 2001 a COST Action 719, 2008). Přesnost výsledků byla vysoká s 87 % úspěšností v letním období a 97 % pro zimní období (Chapman, Thornes, 2001).

Další příklady extrapolace s využitím topografických proměnných jsou řešeny v rámci prostorově spíše lokálních studií. Podle Chapman, Thornes (2001) dosáhl pro oblast Katalánska Ninyerola a kol. (2000) opět s víceregresní analýzou přesnosti 79-97 % u teplotního resp. srážkového modelu, a Goodale a kol. (1998) interpoloval měsíční srážky polynomiální regresí s chybou 5-15 mm, teplotu s chybou 0,2 - 0,5 °C a sluneční svit s odchylkou 6-15 minut.

Příklady použití dalších interpolačních technik

V praxi je však uplatňováno mnoho dalších interpolačních technik, od jednoduchých lineárních interpolací až po využití složitých konstrukcí neurálních sítí. Volba použité metody je vždy závislá na měřítku a objemu zpracovávaných dat i požadavcích na přesnost výstupů. Z literatury, zpracovávané v této rešerši, a z datasetů, představených v následující části této kapitoly, je možné odkázat např. na použití metody přirozeného souseda z thiessenových (voroniových) polygonů pro konstrukci *Hulme global gridded monthly precipitation dataset* (CRU; Hulme, 1999), dále pak použití spline interpolace při sestavování datové sestavy *Cramer & Leemans Climate Data* (PIK; Leemans, Cramer, 1991), metodu vážených vzdáleností použil např. Dai a kol. (1997) pro interpolaci měsíčních srážek (viz dataset *GISS* v části 2.5.1).

Bliže se tato rešerše dalšími postupy nezabývá, nicméně v dokumentacích různých distribuovaných datových sestav (např. zmíněných v části 2.5. této kapitoly) by měly být podrobně představeny.

Srovnání postupů

Pro modelování srážkových úhrnů se jako nejvhodnější interpolační postup jeví použití vícekrokového postupu, který umožňuje účelně využít nejlepších vlastností několika různých metod prostorové interpretace dat. V jednotlivých krocích mohou být hledány prostorové trendy distribuce srážek, závislost srážkových úhrnů na terénních charakteristikách, dlouhodobé průměry a krátkodobé anomálie. Výhodná je i kombinace interpolace absolutních hodnot a k nim vztažených relativních vztahů, která také přispěje k vyšší homogenizaci interpolovaných dat.

Hofstra a kol. (2008) představili srovnání šesti různých interpolačních postupů, včetně jejich porovnání přesnosti prostorové interpretace měsíčních průměrů, součtů a denních relativních odchylek pro srážkové úhrny a data přízemní teploty. V případě srážkových úhrnů, dle závěrů této porovnávací studie, vyšel právě kriging jako nejvhodnější metoda pro interpolaci denních hodnot, zatímco pro průměrné měsíční srážky je výhodnější deterministická metoda Thin plate spline. Vzhledem k tomu, že autoři této porovnávací studie jsou současně spoluautoři datasetu *Ensembles observational gridded dataset* (E-Obs), obě tyto metody (kriging i TPS), současně s výškopisnou korekcí, byly aplikovány při jeho sestavování.

2.3.2. Extrakce informace z rastrových dat

Zpracovávaný model srážkových úhrnů je reprezentován vícedimenzionálním rastrovým souborem. Vzhledem k technickým možnostem při zpracování dat, nebylo možné pracovat s celým podkladovým rastrem, ani analyzovat časový vývoj pro každou buňku rastru samostatně.

Pro zjednodušení hardwarové i algoritmické náročnosti postupu hledání srážkových anomálií byla nad zpracovávaným rastrem provedena „zonální extrakce dat“, neboli „zonální statistika“.

Zonální statistika je analytický nástroj pro vytváření popisné charakteristiky (celkový součet, průměr, minimum, maximum, medián, nejčetnější a nejméně četná hodnota, rozptyl, standardní odchylka, aj.) pro definované oblasti (zóny) nad prostorovými daty, spadajícími pod tyto oblasti. Funkce umožňuje z dat vysokého prostorového rozlišení generalizovat prostorové informace do rozlišení, daného vymezením oblastí. Výstupem jsou nová prostorová data, např. formou souhrnné tabulky, která jsou vztažena k vymezeným plochám. V této práci je zonální statistika využita pro extrakci denních dat z rastru srážkových úhrnů pro dílčí oblasti řešeného území a vytvoření tak reprezentativních časových řad, určených k další analýze.

Druhým matematicko-statistickým nástrojem, kterým jsou v této práci extrahována data z rastrového souboru, je **hledání překročení prahové hodnoty** soustavy prostorových dat. Tato funkce prochází strukturovanými časoprostorovými daty (realizované formou rastrů o stejném rozlišení) a napříč jednotlivými buňkami rastru zjišťuje, kolikrát byla v datech překročena stanovená prahová hodnota.

Další metodou použitou v analytické části práce pro extrakci prostorových dat je **výpočet statistických ukazatelů napříč časoprostorovou soustavou dat**. Výstupem aplikované funkce je odvozená souhrnná prostorová informace o stejném rozlišení (nový rastr) obsahující popisnou statistiku (podobně jako zonální statistika) vstupních datových vrstev.

Posledním z nástrojů pro extrakci dat z rastrových souborů, který je v analytické části práce použit, je funkce pro **analýzu hlavních komponent**.

„Metoda hlavních komponent (*PCA – principal component analysis*) pracuje z matematického hlediska s kovarianční maticí a jejími charakteristickými (vlastními) čísly, resp. ortonormálními charakteristickými vektory. Pomocí nich je určována taková lineární kombinace původního vektoru proměnných, která vysvětluje maximální část celkové variability dat. Opakování vede k postupnému konstruování nových, umělých veličin, takzvaných hlavních komponent původního vektoru proměnných. Celková variabilita všech těchto nových proměnných je stejná jako u veličin původních. Často se však stane, že převážnou část celkové variability vysvětluje jen několik prvních hlavních komponent. Těmi lze tedy bez velké ztráty celkové informace nahradit vektor všech původních proměnných, čímž se podaří (leckdy citelně) zredukovat původní dimenzi dat“ (Hrach, Mihola, 2006).

Hlavní komponenty jsou vzájemně nezávislé a jsou seřazeny podle svého příspěvku k vysvětlení celkového rozptylu pozorovaných proměnných, takže 1. komponenta vysvětluje

největší množství rozptylu, 2. menší a podíly vysvětleného rozptylu se u dalších komponent zpravidla rychle snižují (Horák, 2002).

Transformační vztah mezi hlavními komponentami (Z) a proměnnými (X) vyjadřují rovnice:

$$Z_1 = c_{11}X_1 + c_{12}X_2 + \dots + c_{1k}X_k, \text{ kde } \sum_{j=1}^k c_{1j}^2 = 1, \text{ pro 1. hlavní komponentu}$$

$$Z_k = c_{k1}X_1 + c_{k2}X_2 + \dots + c_{kk}X_k, \text{ kde } \sum_{j=1}^k c_{kj}^2 = 1, \text{ pro k. hlavní komponentu,}$$

kde jsou koeficienty lineární kombinace ($c_{11} - c_{kk}$) určeny z dat, přičemž

$$c_1 = (c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1k})^T \text{ až } c_k = (c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kk})^T$$

jsou ortonormální vlastní vektory (standardizované) korelační matice vstupních dat.

V meteorologii se hlavních komponent využívá například při vyhodnocování předpovědi počasí, v klimatologii jsou aplikovány při hledání topografického vlivu na srážkové úhrny. Analýza hlavních komponent, jak je použita v předkládané práci, představuje transformaci rastrů (proměnných), představující jednotlivé denní srážkové úhrny, do rastrů hlavních komponent, za účelem zhodnocení plošného rozptylu nejintenzivnějších srážek během anomální události.

2.4. Způsoby uložení prostorových klimatologických dat

Meteorologické události mohou být pro potřeby matematického popisu polohy pro GIS charakterizovány různými prostorovými prvky, což vyžaduje i širší škálu datových formátů pro práci s daty. Podle Chapman Thorne (2001) je například úder blesku typickým bodovým prvkem, déšť je prostorově spojitý a je proto obvykle uložen v rastrovém formátu, naopak spojitě oblasti s n-násobným překročením imisního limitu polutantu ovzduší jsou matematicky definovány plošným polygonem a například tlakové pole nejlépe vystihují liniové vektory izolinií.

Nejvšeobecnějším uložením dat představují textové dokumenty (txt, csv, ...), ve kterých jsou informace o poloze (souřadnicemi nebo odkazem na jiná prostorová data) a k ní vztažená veškerá data uložena v určité snadno dekódovatelné struktuře (odděleny tabulátory, středníky, mezerami, čárkami aj.). Někdy je tato struktura již standardizovaná (např. formát xml, případně formáty pro komunikaci s gps - gpx) nebo je určena pro konkrétní software, účel, a uložení dat je pak vnímáno jako např. tabulkový formát (dbf) nebo dokument spread-sheetového programu (xls, ods), či formátovaný text určený pro internetové prohlížeče (html).

Uložení dat ve vektorových formátech je dáno softwarem, ve kterém byla data vytvářena. Může jít o data CAD systémů, grafických programů nebo programů GIS. Softwarová podpora některých těchto formátů může být jen velmi úzká, jiné se postupně stávají veřejným standardem.

Rastrová data jsou nejčastěji uložena v tradičních obrazových formátech (tif, gif, jpeg, bmp), u nichž kvalitu dat, vedle prostorového rozlišení, může ovlivnit i způsob jejich komprese (pouze u ztrátových kompresí.), transformace do souřadnicového systému (jiného, než ve kterém byly vytvořeny) nebo volba barevné škály (důležitá pro vzájemné srovnávání více souborů). Proto využívá většina GIS vlastních rastrů v podobě tzv. gridů, kde je střed a rozměr každé buňky matematicky nadefinován a jejich hodnoty jsou uloženy v samostatné databázi.

Předkládaná práce představuje pro klimatologické účely speciálně vyvinutý multidimenzionální formát NetCDF (nc), jehož výhodou je právě uložení prostorových dat ve více rozměrném prostoru. Hodnota buňky rastru je funkcí proměnných např. X, Y, Z, čas aj. Podrobně je tomuto formátu věnována samostatná kapitola (kap. 5).

2.5. Přehled nejvýznamnějších volně dostupných datových zdrojů (internet)

Ačkoli je v této práci použit výhradně jeden dataset srážkových úhrnů, v internetovém prostoru je v současné době k dispozici mnoho dalších zdarma dostupných datových zdrojů. Dříve než byla použita datová sada zvolena za nejvhodnější, bylo provedeno důkladné srovnání volně dostupných dat, jejichž výsledky představuje následující přehled:

2.5.1. Databáze nejvýznamnějších klimatologických institucí

CRU data - Hulme global gridded monthly precipitation dataset Climatic Research Unit of University of East Anglia (CRU)

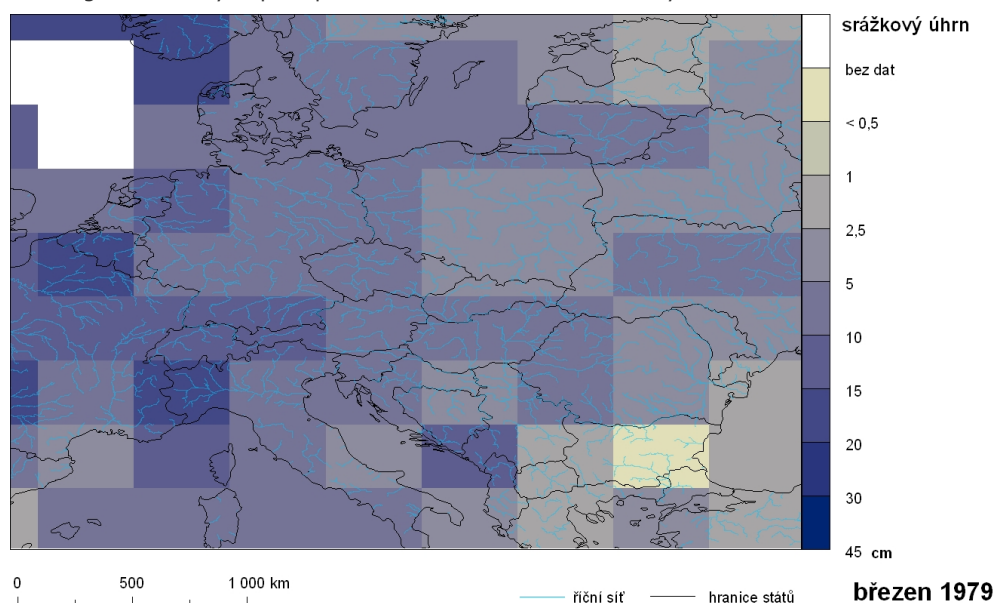
[<http://www.cru.uea.ac.uk/>]

Gridová data „Hulme global gridded monthly precipitation dataset“ prezentují průměrné měsíční srážkové úhrny vypočtené v celosvětovém pokrytí pro období 1900 – 1998. Dataset je při prostorovém rozlišení $2,5 \times 3,75^\circ$ tvořen 1418 buňkami. Z tohoto počtu bylo však možno jen pro 726 buněk vypočíst hodnoty, pokrývající celý časový úsek dat. Maximální počet staničních řad v jednom roce byl 6655. Grid je dostupný také ve verzi s prostorovým rozlišením $5 \times 5^\circ$.

Data jsou distribuována v strukturovaném textovém souboru. Každou buňku gridu uvozuje řádek s informacemi o lokaci buňky (číslo, zeměpisná šířka a délka centra buňky, stát, ve kterém se nachází, aj.), následuje 99 řádků představujících mezerou oddělené hodnoty pro průměrné měsíční srážky za jednotlivé měsíce a jejich celkový součet.

Typ datasetu:	gridový, dynamický
Časové rozlišení:	měsíčních úhrny za období 1900-1998
Prostorové rozlišení:	velikost buňky gridu $2,5 \times 3,75^\circ$ a $5 \times 5^\circ$ v celosvětovém pokrytí
Objem:	gridy vychází z až 6655 staničních řad
Obsah:	měsíční srážkové úhrny
	webové stránky odkazují na další rozličné datasety s různou tematikou
Web:	http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/ http://www.mikehulme.org/category/data/
Dokumentace:	Hulme, 1999
Poznámka:	Ve formátu NetCDF je tento dataset stažitelný rovněž z JISAO Climate Data Archive. [http://jisao.washington.edu/data_sets/hulme/]

Obr. 3 Ukázka grafického výstupu v prostředí ArcGIS: Srážkové úhrny za měsíc březen v roce 1979



Zdroj: Autor z dat CRU in JISAO Climate data archive, 1999

CGIAR – CSI & CRU - TS 2.1. Database

Consultative Group for International Agriculture Research - Consortium for spatial information (CGIAR–CSI) & Climatic Research Unit of University of East Anglia (CRU)

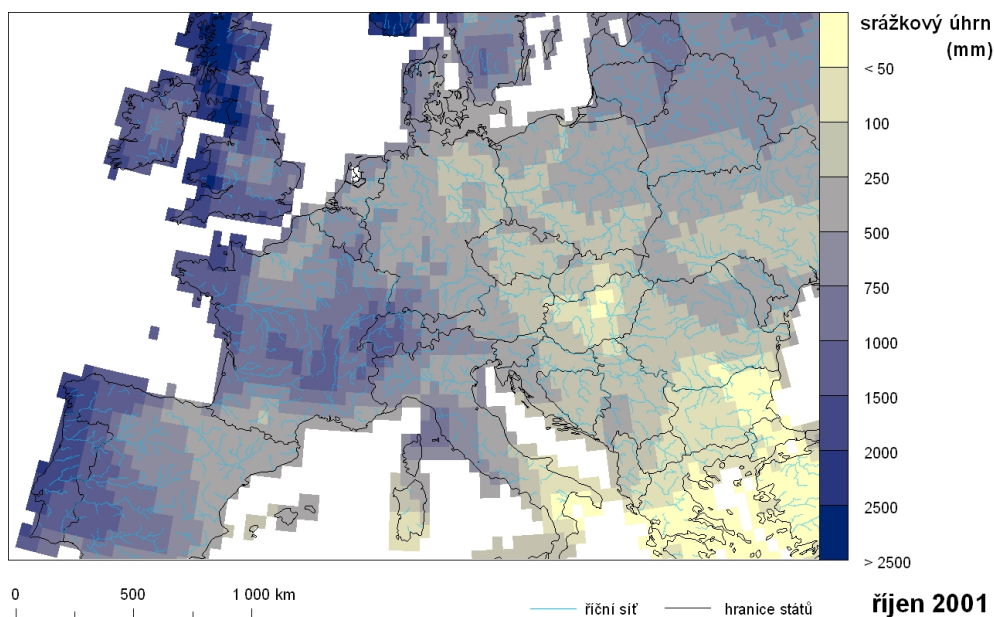
[<http://csi.cgiar.org/> , <http://www.cru.uea.ac.uk/>]

V gridu extrapolované měsíční hodnoty klimatologických veličin jsou prostřednictvím CGIAR-CSI geoportálu dostupné pro celý svět. Databáze je tvořena více než 1200 časovými řadami, tvořenými měsíčními hodnotami za období 1901 – 2002. Model vychází z datových sad CRU a s přispěním *International water Management* institute byl upraven do formátu ArcGIS grid, který je na geoportálu rovněž k dispozici. V něm je každá buňka definována jednoznačným ID, jednotlivé hodnoty měsíčních záznamů jsou pak dostupné odděleně v samostatných textových dokumentech po 20-letích a přes obsažené ID je lze v prostředí GIS propojovat

s gridem. Data je možné stáhnout v komprimovaném souboru buď pro celý svět, pro zvolený makroregion anebo pro buňku čtvercové sítě $5 \times 5^\circ$ prostřednictvím http i FTP protokolu.

Typ datasetu:	gridový, dynamický
Časové rozlišení:	měsíční hodnoty za období roky 1901 – 2002
Prostorové rozlišení:	velikost buňky v mřížce $5 \times 5^\circ$, pokrytí všechny kontinenty (vyjma Antarktidy)
Objem:	rastr je odvozený z 1224 časových řad
Obsah:	denní minimální a maximální teplota, teplotní rozpětí, srážkový úhrn, počet srážkových dní, frekvence mrazových dní, tlak vodní páry, oblačnost
Web:	http://cru.csi.cgiar.org/ http://data.giss.nasa.gov/precip_cru/maps.html - prohlížeč (verze TS 2.0)
Dokumentace:	Mitchel, Jones, 2005

Obr. 4 Ukázka grafického výstupu v prostředí ArcGIS: Srážkové úhrny za měsíc říjen v roce 2001



Zdroj: Autor z dat CGIAR-CSI & CRU – TS 2.1. Database, 2005

ECA&D – European Climate Assessment & Dataset

Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)

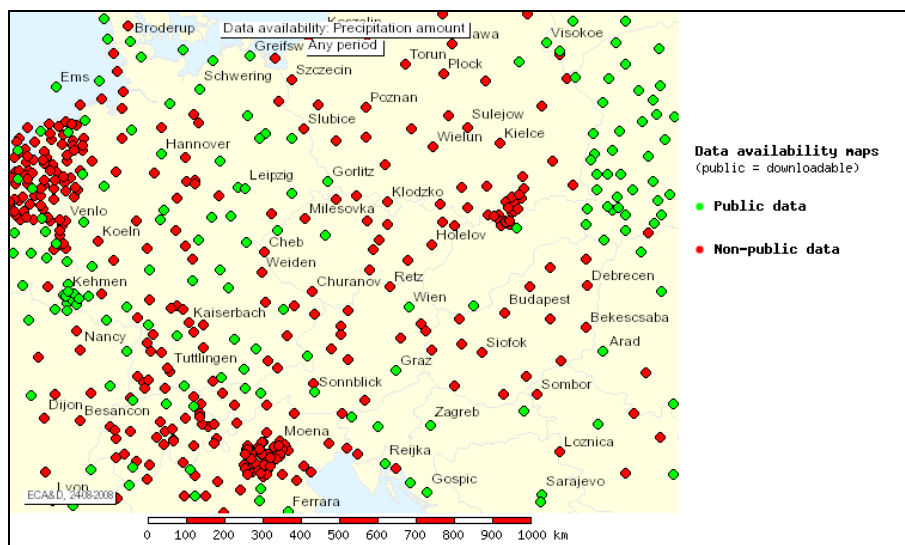
[<http://eca.knmi.nl/>]

Jedná se o volně dostupný dataset, sestavený *Královským Nizozemským meteorologickým institutem* (KNMI). Na tvorbě této databáze se podílí 53 institucí ze 41 evropských a středomořských zemí a dataset se tak skládá z více než sedmi tisíc časových řad naměřených na více než dvou tisících meteorologických observatořích. Nejstarší data v databázi jsou z konce 19. století, ne všechna jsou ale volně dostupná. Data jsou lokalizována bodově v místech

jednotlivých stanic. Záznamy jsou dostupné v textových souborech, přičemž každá řada představuje nový soubor, denní hodnoty jsou v řádcích těchto souborů. Propojování dat je možné přes kódy stanic, stanicím je přiřazena poloha definovaná zeměpisnými souřadnicemi i nadmořskou výškou. Homogenita dat je nezávisle testována, výsledky testů – klasifikace, zda jsou data „použitelná“ / „nejistá“ / „pravděpodobně chybná“, je součástí datových souborů.

Typ datasetu:	bodový s testovanou spolehlivostí
Časové rozlišení:	denní záznamy, nejstarší záznamy od roku 1874 po současnost
Prostorové rozlišení:	všechny evropské země (kromě Běloruska a Moldávie), navíc ze severoafrických zemí ještě Alžírsko a Turecko
Objem:	1048 řad je volně stažitelných z celkově 7033 řad na 2317 stanicích.
Obsah:	oblačnost, vlhkost, denní teplota (maximální, minimální, průměrná), srážkový úhrn, tlak, výška sněhu, sluneční osvit
Web:	http://eca.knmi.nl/ , http://climexp.knmi.nl/ - prohlížečka dat
Dokumentace:	Klein Tank a kol. ¹ , 2002

Obr. 5 Dostupnost srážkových úhrnů ze stanic zapojených do projektu ECA&D



Zdroj: Převzato z internetových stránek <http://eca.knmi.nl/>

ECA&D Indices of extremes

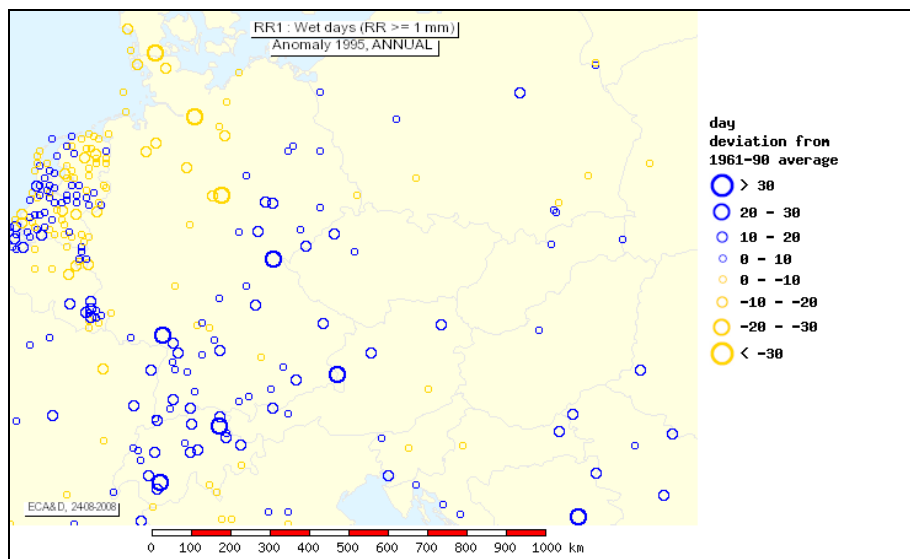
Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)

[<http://eca.knmi.nl/>]

Analytické zpracování dat ECA&D. Různými indexy jsou vyjádřeny trendy a anomální stavy jednotlivých tematických časových řad pro každý rok a roční období, vztahených k třicetiletému normálu z období 1961 – 1990. Veškeré indexy jsou vysvětleny v dostupné literatuře a prostřednictvím webového rozhraní je lze generovat v grafické i textové podobě.

Typ datasetu:	bodový, statický normál a dynamické indexy
Časové rozlišení:	roční hodnoty pro roky 1946 – 2007, normál je za období 1961 – 1990
Prostorové rozlišení:	všechny evropské země (kromě Běloruska a Moldávie), navíc ze severoafrických zemí ještě Alžírsko a Turecko
Objem:	1048 řad je volně stažitelných
Obsah:	více než čtyřicet odvozených klimatologických indexů
Web:	http://eca.knmi.nl/ , http://climexp.knmi.nl/ - prohlížečka dat
Dokumentace:	Klein Tank a kol. ² , 2002

Obr. 6 Ukázka grafického výstupu: Denní odchylky od normálu za období 1961-90



Zdroj: Převzato z internetových stránek <http://eca.knmi.nl/>

ENSEMBLES GRIDDED OBSERVATIONAL DATASET (E-Obs), v. 1. 1.

ENSEMBLES

[<http://www.ensembles-eu.org/>]

Evropský gridový dataset teplotních a srážkových úhrnů ve vysokém rozlišení až 25×25 km za období 1950 – 2006 představuje datovou základnu této práce, podrobně je proto popsán v samostatné kapitole (kap. 4). Data jsou uložena ve vícerozměrném rastrovém formátu NetCDF, který je popsán rovněž v samostatné kapitole (kap. 5). Interpolované hodnoty vychází převážně z datasetu *ECA & D* (představený výše v textu), a databází projektů *STARDEX*, *Global Climate Observing System (GCOS)*, *Global Historical Climatology Network (GHCND)*, *Mesoscale Alpine Programme (MAP)* a národních meteorologických institutů a služeb.

Typ datasetu:	gridový, dynamický
Časové rozlišení:	denní srážkové úhrny za období 1950 - 2006
Prostorové rozlišení:	velikost buňky gridu 25×25 km, 50×50 , Evropa
Objem:	rastr je odvozený ze 700 až 2000 srážkových řad pro každý den

Obsah:	srážkové úhrny,
Web:	http://eca.knmi.nl/download/ensembles/ensembles.php
Dokumentace:	Haylock, 2008

Global Historical Climatology Network (GHCN)

NOAA/NESDIS/NCDC

[<http://www.ncdc.noaa.gov/>]

Celosvětová databáze GHCN obsahuje historické měsíční záznamy pro teplotu, srážky, tlak. Svým počtem stanic (pro srážky obsahuje přes 43 tis. řad z různých databází – mnohé se však duplikují) představuje sestava světově nejrozsáhlejší databázi staničních řad. Délka jednotlivých řad se liší, internetové stránky udávají, že několik tisíc observatoří obsahuje data starší než rok 1950 a několik set řad je měsíčně aktualizováno měsíčně prostřednictvím zpráv CLIMAT. Přístup k datům (v komprimovaných formátech) je prostřednictvím FTP služby. data jsou uložena v tabulkově strukturovaných souborech, k dispozici jsou i vytvořené referenční řady v pravidelných gridech o rozlišení $5^\circ \times 5^\circ$, které vznikly vážením hodnot všech stanic na ploše příslušné buňky.

Typ datasetu:	bodový, referenční řady v gridech
Časové rozlišení:	1697 – současnost (měsíčně aktualizováno)
Prostorové rozlišení:	celý svět, poloha stanic uvedena v desetínách stupně, gridy $5^\circ \times 5^\circ$
Objem:	přibl. 6 tis stanic (teplota), 7,5 tis stanic (srážky), 2 tis (tlak)
Obsah:	srážkové úhrny, teplota, tlak, anomálie
Web:	http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/ghcn-monthly/index.php
Dokumentace:	Peterson, Easterling, 1994

Ilustrace k datasetu viz obr. 12 a obr. 13 v kapitole 3

GISS – Observed Land Surface Precipitation Data: 1850 - 1995

Goddard Institute for Space Studies (GISS), Dai a kol., 1997

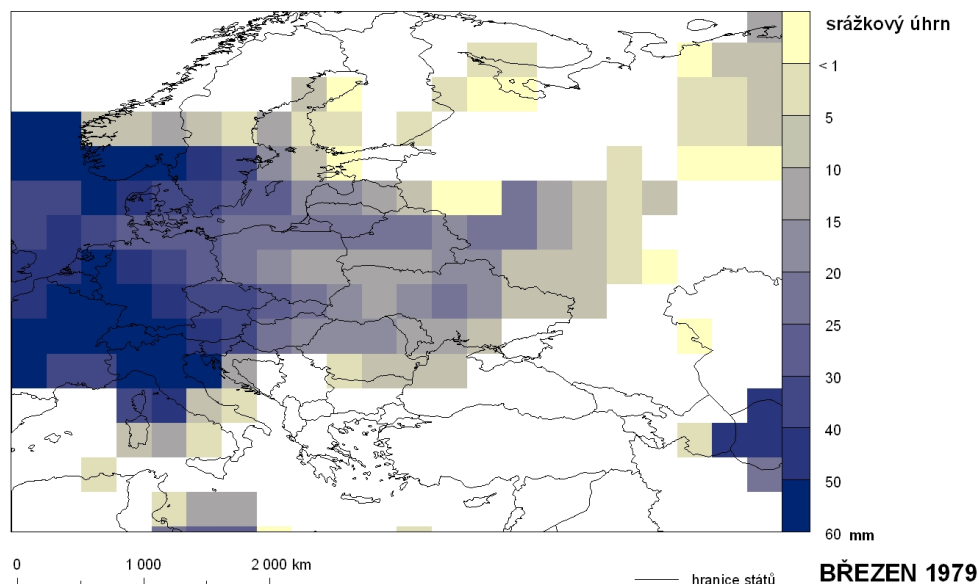
[<http://data.giss.nasa.gov/>]

Dataset obsahuje měsíční srážkové úhrny za období 1850 – 1995 a průměrné měsíční srážkové anomálie za období 1951 – 1979. Data jsou uloženy v gridu o rozlišení $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ ve formátu NetCDF a binárním uložení pro FORTRAN. Grid není spojitý, byl interpolován pouze v oblastech, odkud pochází srážková data.

Typ datasetu:	gridový, dynamický, srážkové anomálie
Časové rozlišení:	měsíční úhrny za období 1850 - 1995
Prostorové rozlišení:	velikost buňky gridu $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, celosvětové pokrytí (nespojitě)

Objem:	odvozeno z 5328 stanic
Obsah:	měsíční srážkové úhrny, průměrná měsíční srážková anomálie
Web:	http://data.giss.nasa.gov/precip_dai/
Dokumentace:	Dai a kol., 1997

Obr. 7 Srážkový úhrn v březnu 1979



Zdroj: Autor, z dat GISS

PIK - Cramer & Leemans Climate Data

Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)

[<http://www.pik-potsdam.de/>]

Databáze *Postdamského Institutu Pro Výzkum Klimatu* (PIK) představuje v celosvětovém pokrytí vypočtené měsíční normály vybraných nejčastěji zkoumaných klimatologických prvků (průměrná teplota, teplotní rozmezí, srážky, dešťové dny a dobu slunečního svitu) za období 1931 – 1961. Normály byly vypočteny s využitím spline interpolací v gridu o prostorovém rozlišení $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ zeměpisné délky a šířky.

Typ datasetu:	gridový, statický
Časové rozlišení:	měsíční normály za období 1931 - 1960
Prostorové rozlišení:	velikost buňky gridu $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, celosvětové pokrytí
Objem:	6 280 stanic (teplota), 6 090 srážky
Obsah:	průměrná teplota, průměrné teplotní rozmezí, průměrný srážkový úhrn, průměrný počet dešťových dní a průměrná doba slunečního svitu
Web:	http://www.pik-potsdam.de/members/cramer/climate/ http://www.pik-potsdam.de/research/data/
Dokumentace:	Leemans, Cramer, 1991

WORLDCLIM v. 1.4

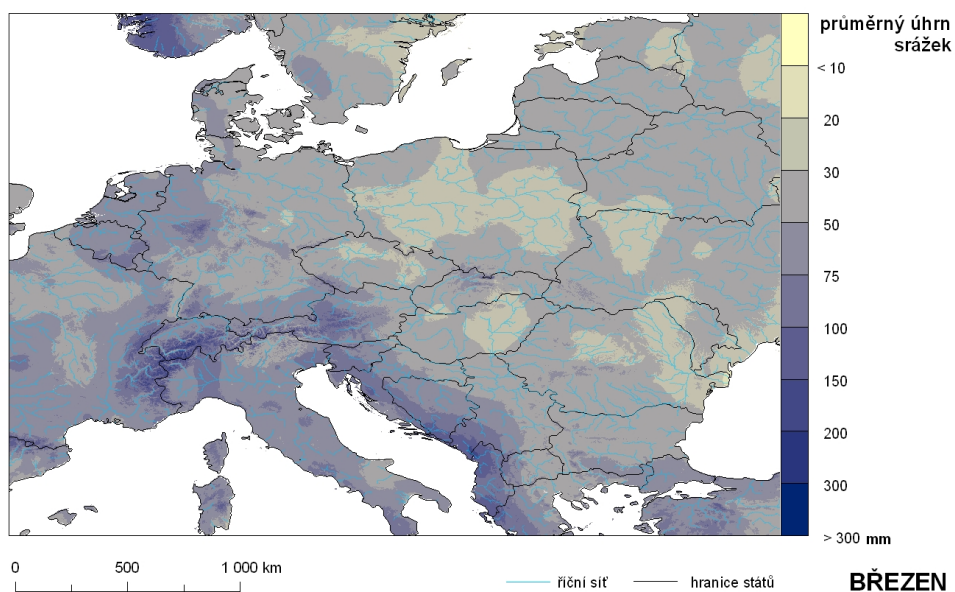
Museum of Vertebrate Zoology (MVZ), University of California, Berkeley (UCB),
International Center for Tropical Agriculture (CIAT), RAINFOREST CRC

[<http://www.worldclim.org/>]

Dataset představuje v celosvětových gridech o rozlišení 30" (přibližně 1 km²) až 10" sestavu měsíčních klimatických normálů a některých bioklimatických indexů pro období 1950 – 2000. Datová sestava byla odvozena převážně nad databází Global Historical Climatology Network (GHCN), doplněnou o mnoho dalších lokálních státních či regionálních databází, což v součtu znamená více než 47 tisíc srážkových řad (25 tisíc řad pro průměrnou teplotu) o minimální délce 10 let. Interpolace dat využívá metody Thin-plate spline (v aplikovaném modelu ANUSPLIN) a elevačního modelu SRTM. Z oficiálních internetových stránek je Worldclim stažitelný v obecně formátovaném gridu a v gridu pro ESRI ArcGIS, z portálu EDIT Geoplatform je dostupný i rastrový formát pro gis software IDRISI.

Typ datasetu:	gridový, statický
Časové rozlišení:	měsíční normály za období 1950 - 2006
Prostorové rozlišení:	velikost buňky gridu: 30", 2.5', 5' a 10', celosvětové pokrytí
Objem:	vychází ze 47 554 stanic (srážky), 25 542 stanic (průměrná teplota), 14 835 stanic (teplotní maxima, minima)
Obsah:	minimální teplota, maximální teplota, srážky, bioklimatické indexy, nadmořská výška
Web:	http://www.worldclim.org/
Dokumentace:	Hijmans ¹ , 2005
Poznámka:	dataset je dostupný také prostřednictvím portálu: http://edit.csic.es/

Obr. 8 Průměrný březnový úhrn srážek



Zdroj: Autor, z dat Worldclim v. 1. 4.

2.5.2. Klimatologické datové portály, veřejné databáze a rozcestníky

CISL – Research data archive

UCAR, NCAR

[<http://cdp.ucar.edu/>]

Nejvýznamnějším rozcestníkem je internetový server CISL-RDA provozovaný institucemi *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) a *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), který obsahuje vlastní rozsáhlou sbírku záznamů meteorologických a oceánografických observatoří, odvozených prostorových dat i data dálkového průzkumu Země. Po bezplatném zaregistrování (zřízení si účtu) je většina obsažených dat volně dostupná.

Smyslem zřízení a provozu tohoto serveru je datová podpora atmosférických a geovědních výzkumů, zejména topografických, batymetrických, studií vegetace nebo landuse.

Datasety jsou členěny přibližně do 50 tematických kapitol, doplněny jednotnými metadaty a uloženy v různých formátech podle toho, jak byly sestaveny původními zpracovateli. Po bezplatném zaregistrování je většina datasetů volně přístupná ke stažení.

Následuje přehled témat dostupných datasetů a jejich číslování.

010.0-039.9	Daily Northern Hemisphere Grids	480.0-508.9	Surface Hourly Observations and Precipitation
060.0-069.9	Daily NMC Northern Hemisphere Grids	509.0-524.9	Surface Summary of Day
070.0-079.9	Daily NMC Tropical Grids	525.0-529.9	Climatological Data
080.0-084.9	Daily NMC Global Grids	530.0-549.9	Ship Data
085.0-089.9	Monthly Mean Grids	550.0-559.9	Streamflow Data
090.0-092.9	NCEP Reanalysis Data	560.0-589.9	Monthly Mean Surface Data
100.0-109.9	Daily Southern Hemisphere (and Tropical) Grids	600.0-629.9	Meteorological Projects and Experiments
110.0-116.9	ECMWF and USSR Global Grids	670.0-673.9	Satellite Data
117.0-129.9	ECMWF ERA40 Grids	674.0-680.9	Mesoscale Brightness Data
180.0-192.9	Stratospheric Grids	681.0-704.9	Miscellaneous Satellite Data
193.0-195.9	Time-Series Grids	705.0-711.9	Satellite-Observed Ozone Data
196.0-199.9	Special Climatological Analyses	712.0-749.9	Miscellaneous Satellite Data
200.0-239.9	Climatological and Monthly-Mean Grids	750.0-799.9	Geophysical Data
240.0-249.9	Daily U.S. Navy Hemispheric and Global Grids	800.0-802.9	Miscellaneous Data
250.0-269.9	Oceanographic Data and Analyses	803.0-807.9	Ozone Data
270.0-299.9	Climatological and Monthly-Mean Grids	808.0-839.9	Miscellaneous Data
300.0-349.9	Special Meteorological Analyses	840.0-849.9	Radar Data
350.0-369.9	Upper-Air Observations	850.0-899.9	Miscellaneous Data
370.0-389.9	Special Meteorological Observations	900.0-909.9	Station Library Information
390.0-409.9	Time-Series Raobs	950.0-959.9	Paleoclimatological Data
430.0-439.9	Monthly-Mean Raobs	990.0-999.9	Special Datasets Supporting NCAR Scientist
460.0-479.9	Surface Synoptic Observations		

web: <http://dss.ucar.edu/datasets/>, <http://dss.ucar.edu/catalogs/free.html>

Vybrané datové sestavy:

ds288: CRU - Hulme global gridded monthly precipitation dataset

[<http://dss.ucar.edu/datasets/ds228.0/>]

Dataset je již uvedený a popsáný výše v tomto textu.

ds570: World Monthly Surface Station Climatology, 1738-cont

[<http://dss.ucar.edu/datasets/ds570.0/>]

Každoročně aktualizovaná sestava měsíčních dat vybraných měřicích stanic z celého světa. Nejstarší data pochází z roku 1738. Časové řady jsou dostupné v strukturovaných textových souborech, uvedena je i geografická poloha stanice, včetně nadmořské výšky. Součástí datasetu jsou rovněž dlouhodobé průměry.

Typ datasetu:	bodový, dynamický
Časové rozlišení:	od roku 1738 do současnosti,
Prostorové rozlišení:	klimatologické stanice celého světa, topografická poloha uvedena s přesností na desetinu stupně, nadmořská výška uvedena v metrech
Objem:	přibližně 100 tis. řad
Obsah:	teplota vzduchu, vlhkost, srážkový úhrn, tlak přepočtený na hladinu moře, tlak na zemském povrch, doba slunečního svitu
Web:	http://dss.ucar.edu/datasets/ds570.0/
Dokumentace:	obsažena v metadatech
Autorské organizace:	DOC/NOAA/NESDIS/NCDC - National Climatic Data Center NESDIS, NOAA, U.S. Department of Commerce HARVARD/HCO - Harvard College Observatory, Harvard University FSU/METEO - Meteorology Department, Florida State University UCAR/NCAR/CGD/CAS - Climate Analysis Section, Climate and Global Dynamics Division, National Center for Atmospheric Research, University Corporation for Atmospheric Research

PRUDENCE

Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change risks and Effects

[<http://prudence.dmi.dk/>]

Projekt PRUDENCE je zaměřen na studium antropogenních klimatických změn v Evropě a jejich možných dopadů v různých oblastech lidské činnosti (Déqué, 2004). Prostřednictvím výše uvedeného webového odkazu je veřejně zpřístupněna sbírka různých klimatických modelů a scénářů budoucího vývoje (v období 2070 – 2100) pro 18 modelovaných měsíčních a sezónních klimatických ukazatelů.

Další lokální i celosvětové databáze prostorových klimatologických dat svým významem nebo rozsahem již přesahují zájem této práce. Např. portál NOAA – *National Climatic Data Center* patří co do objemu dat a dalších odkazů ve světovém srovnání mezi nejobjemnější, avšak převážný obsah dat je přirozeně věnován území Spojených států a severoamerickému kontinentu. Samozřejmě tedy existuje ještě široké spektrum internetových portálů a webových stránek, které jsou provozovány výzkumnými institucemi nebo třeba jen jedinci a které často mimo jiné odkazují již na uvedené databáze, popřípadě i data, která jsou

v některé z těchto databází obsažena. Někdy jsou však tato data upravena do jiné formy, např. přeuložením do jiného formátu (viz servery JISAO nebo EDIT Geoplatform), což má pro uživatele význam zejména v případě některých prostorových dat, kdy je omezen podporou datových formátů softwaru, který pro správu a zpracování dat užívá.

Nejvýznamnějšími producenty klimatických dat jsou bezpochyby národní meteorologické instituty, avšak přímá dostupnost surových dat je závislá na datové politice příslušné organizace.

Následuje již jen nekomentovaný přehled některých dalších vybraných webových klimatologických portálů, které byly při hledání vhodné veřejné databáze klimatologických dat uvažovány, nebo jsou v textu práce okrajově zmíněny, nebo z nich byly čerpány některé ilustrace.

UC & CSIC & AEMet: <http://www.meteo.unican.es/ensembles/index.html>

CSES: <http://www.cses.washington.edu/data/gridded.shtml>

EDIT Geoplatform: <http://edit.csic.es/>

IIASA-LUC GIS database: http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/GIS/clim_eur.htm

JISAO: <http://jisao.washington.edu/>

NOAA – NCDC: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>

PRISM Group: <http://www.prism.oregonstate.edu/>

WMO: <http://www.wmo.int/>

Tyndall Centre for Climate Change Research , University of East Anglia (UK)
<http://www.tyndall.ac.uk/> , climate data: <http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/data/index-table.html>

Srážkové anomálie

3.1. Definice

Srážkovou anomálií se v této práci rozumí stav, kdy je celkový srážkový úhrn v místě vzhledem k dlouhodobému průměru extrémní. Může se jednat o **silně nadlimitní úhrn během krátké doby** (z přivalových dešťů, opakovaná bouřková činnost, aj.), **dlouhodobý déšť** (intenzivní celodenní déšť z frontálních srážek, zejména při okluzích), **dlouhodobý počet dní se srážkovým úhrnem** anebo **dlouhodobé sucho** (souvislé dny bez srážek nebo s jen minimálním úhrnem). Délka srážkových dní a intenzita srážek jsou základní charakteristiky těchto událostí.

Prostorově významnou se anomální událost stává, pokud současně nebo bezprostředně na sebe navazující postihuje plošně významnou část hodnoceného území. Pokud anomálie zasahuje jen malé území, je chápána jako **lokální**. Zejména v prostoru významné anomálie lze na základě polohy ploch, které postihují, a také intenzity úhrnů charakterizovat prostorovými indexy, jimiž se tato práce přednostně zabývá v třetí části této kapitoly.

3.2. Detekce anomálií v soustavách časoprostorových řad

Anomální události v **časoprostorových řadách** jsou zjišťovány statistickými metodami pro zkoumání dlouhodobých řad. Na základě statistických charakteristik, například průměru, rozptylu, směrodatné odchylce, zjištění lokálních maxim a minim, délky poklesových a rostoucích úseků relativně vyjádřené řady se stanoví **prahová hodnota**, jejíž překročení detekuje extrémní událost. Na základě současného počtu překročení prahové hodnoty v celé soustavě dat lze odvodit **plošný rozsah** anomálie.

3.2.1. Časoprostorové řady

Každou časovou řadu, kterou lze v geografickém prostoru jednoznačně lokalizovat polohopisnými souřadnicemi, lze považovat i za časoprostorovou. Více různých časoprostorových řad tvoří soustavu. Pokud je celá soustava vztažená k určitému regionu, je tento charakterizován nejen historickým průběhem zkoumaných hodnot, ale i vzájemnými relacemi mezi těmito řadami v soustavě.

Staniční řady

Staniční řady představují záznamy absolutních hodnot, naměřených na jednotlivých stanicích, o nichž je přesně známá jejich geografická poloha. Aby se předešlo mezistaničním rozdílům v rozptylu měřených hodnot z různých oblastí, jsou datové řady obvykle

standardizovány např. ke svému průměru a celá soustava je dále statisticky zpracovávána v relativním vyjádření měřených hodnot.

Širší vazby obsažených prostorových informací jsou ovlivněny počtem stanic, jejich prostorovým uspořádáním a zejména hustotou jejich pokrytí zkoumaného regionu. Je zřejmé, že pokud není hustota sítě stanic pravidelná, nelze anomálii, zjištěnou na několika sobě blízkých stanicích, považovat za významnou pro celou oblast, a naopak extrémní událost u jedné stanice, ojedinělé v širším okolí, může v souhrnném hodnocení celé soustavy zaniknout.

Významnou úlohu má i délka zkoumaných řad. Obecně platí, že pro zkoumání delších časových úseků (například sezónních událostí) postačí menší počet řad a naopak vyšší časové rozlišení vyžaduje výrazně hustší pokrytí prostoru pravidelně observovanými daty. Vyšší spolehlivost analýzy zaručují dlouhodobé časové řady, *Mezinárodní meteorologická organizace (WMO, 1989)* považuje za základ klimatického zpracování dat (klimatický normál) alespoň 30-letou časovou řadu. Minimální by měla být i „děravost“ řad, obvykle je udáván maximální počet přípustných chybějících hodnot do 10 – 20 %. Např. v datasetu E-Obs byly z extrapolace bodových dat vynechány záznamy, které obsahovaly více než 20 % chybějících hodnot pro každý měsíc (*Haylock a kol., 2008*), při tvorbě klimatického modelu Worldclim za období 1950 – 2006 byly uvažovány pouze řady o minimální délce 10 let (*Hijmans, 2005a*).

Požadavkem na každou staniční řadu je homogenita měření během celého záznamu. Pokud došlo například ke změně způsobu měření (v případě srážek například přechod z klasického srážkoměru na automatizovaný) nebo v případě přemístění stanice, měl by již být záznam uvažován jako oddělené samostatné řady.

Gridové řady

Při detekování anomálií z gridových řad jsou záznamy ze stanic matematickými metodami (interpolace a extrapolace dat) převáděny na pravidelnou síť stejných buněk – grid, kde pro každou buňku existuje samostatná časová řada, což umožňuje daleko komplexnější statistické hodnocení prostorových dat.

Kvalita analýzy gridových dat je však podmíněna zejména rozlišením gridu a zvoleným extrapolacním postupem jeho vzniku, který je zvolen či přizpůsoben počtu stanic, jejich hustotě pokrytí i struktuře rozmístění ve zkoumané oblasti. Uvedené charakteristiky, včetně rozlišení gridu, jsou současně základní parametry algoritmické náročnosti realizace tohoto postupu.

Optimálním počtem stanic je u gridů s vyšším rozlišením alespoň jedna observovaná řada na buňku gridu (*Haylock a kol., 2008*), u gridů s nižším rozlišením je počet stanic vyšší, např. *Dai a kol. (1997)* udává pro grid s rozlišením $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ počet stanic 5 až 10 na jednu buňku.

S využitím GIS lze na gridové řady aplikovat nejrůznější analytické metody pro práci s rastry, protože časová soustava gridů představuje vícedimenzionální matici hodnot. Prahové hodnoty mohou být vypočtené zvlášť pro každou buňku rastru.

Výhodou analýzy v gridu je interpolací minimalizovaný vliv nepravidelnosti staniční sítě a při dostatečném pokrytí oblasti měření je i extrapolace datové sestavy do určité míry rezistentní vůči „děravým“ místům v záznamech. Krátkodobé řady pak umožňují lokální zpřesnění extrapolace. Protože je však analýza prováděna nad modelovanými hodnotami, mohou být některé anomálie již extrapolacním algoritmem vyhlazeny.

Speciální gridové řady

Za speciální gridové řady lze považovat například soustavy nepravidelných gridů, které jsou tvořeny více buňkami různých velikostí. Navržení takové nepravidelné sítě bývá využito za účelem zpřesnění výpočtu bodů v lokalitách, kde lze očekávat například vyšší rozptyl měřených hodnot.

Jiný speciální grid může vzniknout při extrapolaci dat, když jsou mezi blízké stanice, kde není průběh časových řad ve vzájemné korelaci, umístěny algoritnické bariéry, které zamezí extrapolaci dat do některých buněk z těchto stanic současně.

Soustavy časových řad nebo rastrů z upravené gridové sítě lze zpracovávat stejně jako gridové řady. Výhodou postupu může být přesnější extrapolace. Nevýhodou je další navýšení požadavků na extrapolacní metody a tedy i náročnosti postupu.

Referenční řady

Referenční sestavy představují účelové zpracování rozsáhlejších databází (časoprostorových řad) do takového modelu, který při minimální ztrátě (časoprostorové) informace reprezentuje původní datovou sestavu odvozenými daty o výrazně nižším objemu. Toto „zjednodušení“ databáze má obvykle význam pro snížení algoritnické nebo technické náročnosti dalších analytických úloh, prováděných nad sestavou.

Metodiku pro vytvoření referenčních řad podrobně představili [Peterson a Easterling \(1994\)](#), když ji aplikovali při tvorbě databáze GHCN, a [Mitchell, Jones \(2005\)](#) při konstrukci datasetu CRU TS 2.1.

V případě, že je k dispozici již hotový gridový model srážkových úhrnů, avšak jeho zpracování by, vzhledem k rozloze, rozlišení nebo délce řady vyžadovalo nepřiměřeně náročný postup, lze vytvořit tzv. referenční model. Tím může být buď nový grid s menším rozlišením, nebo **model referenčních ploch**.

Referenční plochy jsou definované části řešeného území, pro které lze pro každý časový krok vypočítat dílčí samostatné statistické charakteristiky. V případě takového získávání hodnot z rastru v GIS se hovoří o tzv. zonální statistice rastru (viz. odst. 2.3.2). Pro každou podoblast a každý den je tak vypočítán například celkový součet hodnot, průměr, směrodatná odchylka, minimum a maximum, což pak ve statisticky zpracovávané databázi představuje pět kompletních časových řad. K těmto řadám je připojený i údaj o rozloze území, ke kterému jsou vztaženy.

Definování referenčních ploch může být libovolné. Vhodná je přibližně podobná rozloha a geografická logičnost. Pokud se u zkoumané veličiny očekává jistá prostorová podmíněnost (například orografická), mělo by tuto skutečnost vymezení ploch zohlednit. V případě dat srážkových úhrnů mohou referenční plochy představovat např. hydrologická povodí vodních toků v území. Větší počet ploch o menších rozlohách zachová vyšší kvalitu získávaných časových řad z hlediska prostorové informace, nižší počet ploch (větší rozlohy např. v oblastech, kde lze očekávat nízkou heterogenitu dat) snižuje náročnost procesu zpracování dat.

Pokud jsou podkladovými daty pouze staniční řady, mohou být referenční plochy reprezentovány například Thiessenovými polygony, jejichž středy jsou v místech stanic.

Detekce anomálie referenčními řadami byla aplikována i v této práci, kdy za referenční plochy bylo vybráno šestnáct oblastí řešeného území střední Evropy, které jsou vymezeny na základě hydrologických povodí nejvýznamnějších vodních toků řešeného území.

3.2.2. Stanovení prahové hodnoty

Pro stanovení prahové hodnoty pro detekování anomálie časové řady se využívá statistických charakteristik této řady. Anomálie (extrémy) v řadě mohou identifikovat hodnoty, které vykazují:

- dlouhodobé maximum (minimum)
- překročení statisticky stanoveného n -násobku průměru řady
- překročení stanoveného n -násobku směrodatné odchylky datového souboru, např. Dai a kol. (1997) pro měsíční srážky a sucha (vlhké a suché události vymezuje 1σ , extrémní události $2,5\sigma$). n -násobek σ je volen z pravděpodobnosti výskytu události a nesouměrnosti histogramu srážkových časových řad (Dai a kol., 2007)
- průměrné překračování za n -dobý časový úsek (například n -letá srážka)
- souvislý úsek hodnot stejných vlastností (například dlouhodobé sucho – dny beze srážek), o určité nejmenší délce, jejíž výskyt je nižší než zjištěná pravděpodobnost výskytu
- nadlimitní hodnotu indexu denních intenzit, tj. počtu srážkových dní na počet bezesrážkových dní (SDII – *Simply daily intensity index* podle Moeberg a kol., 2006)

Zde navržená metodika, která byla i aplikována v analytické části práce, využívá období *n*-dobé srážky (tzv. „*n*-dobé odchylky“) pro detekování extrémních intenzivních srážkových událostí a pravděpodobnost výskytu po sobě jdoucích srážkových, resp. bezsrážkových dní pro zjištění dlouhodobých anomálních událostí.

N-dobá odchylka

Intenzivní srážkové události jsou v datové sadě indikovány srážkovým úhrnem, který překračuje průměr celé řady průměrně jednou za nejméně *n*-leté období, tzn. průměrnou *n*-letou odchylkou od průměru.

Protože bylo řešené území (oblast střední Evropy) rozděleno na více referenčních ploch, pro něž byly vypočteny srážkové řady denních úhrnů (průměr za oblast.), byla zjišťována hodnota *n*-leté odchylky pro každou řadu samostatně (viz následující tabulka.)

Tab. 1 N-dobé srážky v šestnácti 57-letých řadách

Opakování srážky	za období 1950 – 2006		referenční oblasti (celkem 16)				
			hodnota n-dobé odchylky			počet překročení průměrné (ze všech řad) n-dobé odchylky	
	počet dní	podíl	nejméně	nejvíce	průměr	Nejméně	nejvíce
Měsíční	694	3.33%	4.73	5.94	5.29	479	908
Roční	58	0.28%	9.04	13.74	11.38	16	117
Pětileté	12	0.06%	12.03	19.73	16.00	0	31
Desetileté	6	0.03%	12.77	21.52	17.70	0	23
Dvacetileté	3	0.01%	14.20	27.89	19.80	0	10

Zdroj: Vypočteno na základě dat E-Obs, 2006, referenční plochy viz kap. 7, obr. 28

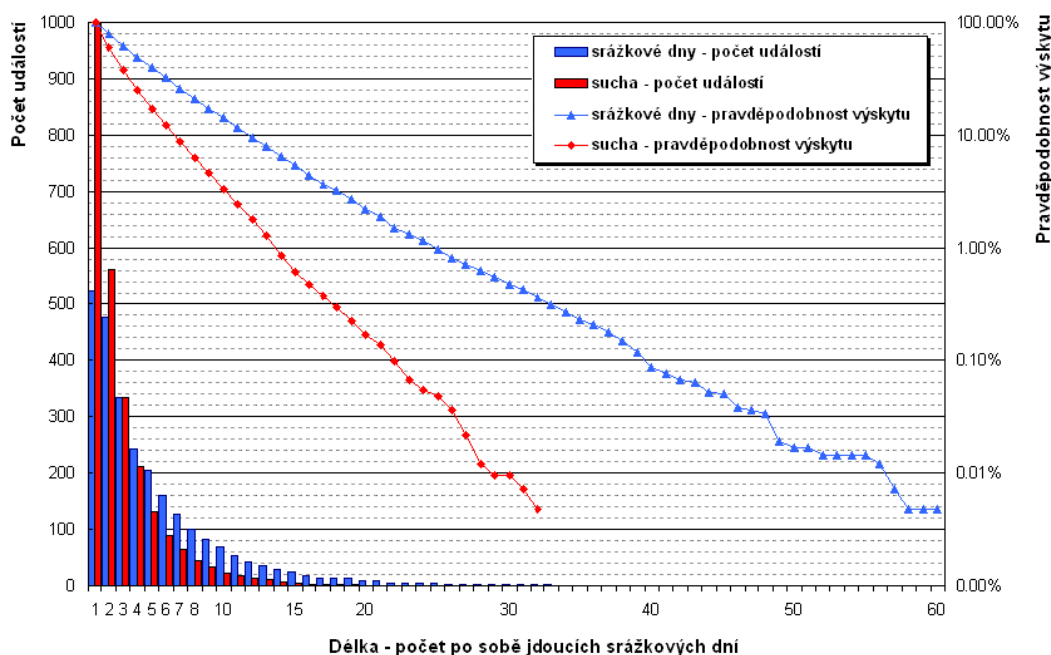
Z uvedené tabulky je zřejmé, že rozdíly *n*-dobé odchylky mezi řadami narůstají s délkou průměrného opakování. Pokud by byla prahovou hodnotou anomálie zvolena pro každou řadu hodnota její *n*-dobé srážky, bylo by dosaženo v každé řadě stejného počtu událostí, indikujících srážkovou anomálii. Ovšem takto indikované anomálie by pak při souhrnném hodnocení celé oblasti nebyly, vzhledem k významným rozdílům prahové hodnoty, vzájemně dobře srovnatelné. Pokud by byla prahovou hodnotou zvolena průměrná hodnota *n*-dobé odchylky, některé řady by anomální událost (od pětiletých opakování) nevykázaly vůbec. Jako nejvhodnější prahová hodnota pro extrémní událost v celé oblasti (všech řad) je tedy volena hodnota nejmenší *n*-dobé odchylky zpracovávaných řad.

Stanovení doby průměrného opakování srážky určuje citlivost algoritmu pro detekci anomálie. Současně je nutné vzít v úvahu počet anomálních událostí, které budou takto zjištěny a dále zpracovávány. Pro potřeby této práce se jeví analýza srážkových událostí s pětiletou odchylkou za optimální.

Pravděpodobnost výskytu po sobě jdoucích stejných vlastností hodnot

„Stejnou vlastností hodnot“ se v této práci rozumí skutečnost, zda se srážkový úhrn během dne vyskytl (úhrn je kladný) nebo byl den beze srážek (srážkový úhrn je roven 0). Po sobě jdoucí srážkové dny vymezují v řadě srážkové úseky, naopak bezesrážkové dny určují období sucha. Pravděpodobnost výskytu délky úseku shodných vlastností se vyjádří z kumulativních četností těchto úseků, nasčítaných podle jejich délky (viz následující graf).

Obr. 10 Srážkové události 1950 - 2006 podle délky po sobě jdoucích srážkových dní



Zdroj: Vypočteno z dat E-Obs, průměr za referenční plochy - viz kap. 7

Z uvedeného grafu (reprezentuje průměrné četnosti a pravděpodobnosti z referenčních řad řešeného území v analytické části práce za 57-leté období, tzn. téměř 21 tis. dní) je patrná výrazně vysoká četnost krátkodobých bezesrážkových i srážkových událostí. Pravděpodobnost výskytu úseků s nepřetržitými srážkovými resp. bezesrážkovými dny exponenciálně klesá s jejich délkou. Polovina srážkových událostí má délku do tří dní, desetina je maximálně dvanáctidenní. V případě bezesrážkových událostí (po sobě jdoucích dní beze srážek) vykazuje více než polovina z nich maximálně dvoudenní trvání, desetina bezesrážkových period představuje týden bez srážkového úhrnu.

Volba prahového parametru pro výskyt po sobě jdoucích stejných vlastností hodnot je citlivou otázkou z pohledu klimatologického, vzhledem ke skutečnosti, že za srážkový den je považován den i s minimálním úhrnem srážek (zde se navíc jedná o průměrný srážkový úhrn nad referenční plochou o rozloze přibližně 45 tis. km²). Takové dny po sobě mohou následovat i po dobu několika týdnů. Pro další, podrobnější studia srážkových anomálií lze doporučit uvážení citlivějšího nastavení srážkového dne z hlediska srážkového úhrnu. V analytické části předkládané práce, která se zabývá pouze těmi nejextrémnějšími projevy srážkové činnosti, byl

parametr délky nepřetržitých srážkových i bezsrážkových úseků volen s ohledem na počet detekovaných anomálií, určených k dalšímu zpracování. Z tohoto důvodu byly za anomálii považovány dlouhodobé události s pravděpodobností výskytu méně než 1 %, což ve zpracovávané datové sestavě znamená 25 dní nepřetržitých dní se srážkami a 14 po sobě jdoucích dní beze srážek.

3.2.3. Stanovení plošného rozsahu

Plošný rozsah události, který charakterizuje, zda jde o anomálii plošně rozsáhlou nebo jen lokální, lze stanovit např. na základě počtu řad (staničních, gridových nebo vztažených k referenčním plochám), u nichž je v tomtéž období sledovaný jev (srážkový úhrn) nad prahovým limitem.

Při algoritmickém řešení hodnocení plošného rozsahu lze využít hodnotícího indexu. Pro posouzení srážkových anomálií byla v této práci použita následující metodika:

- srážkovou anomálii indikuje den s překročením stanovené prahové hodnoty, všechny srážkové dny, které na tento bezprostředně navazují (před i po něm), jsou považovány za dny srážkové anomálie
- každý den srážkové anomálie je ohodnocen koeficientem, který vyjadřuje podíl srážkového úhrnu tohoto dne na dlouhodobém průměru. Toto ohodnocení je navíc navýšeno o hodnotu předešlého dne (pokud byl srážkový), takže výsledný koeficient, který anomálii hodnotí, s každým jejím dnem narůstá úměrně své intenzitě.
- každý den srážkové anomálie je ohodnocen také koeficientem, který vyjadřuje počet nepřetržitých předchozích dní se shodnou vlastností
- pro každý den celého sledovaného období je zjištěn součet hodnotících koeficientů anomálií. Při součtu mohou být jednotlivé koeficienty váženy plochou, ke které jsou vztaženy.
- za plošně významné anomálie jsou považovány ty události, u kterých součet hodnotících indexů přesáhne stanovený limit. Tento limit je odvozen statisticky, určujícím faktorem však může být i počet anomálních událostí, které mají být touto cestou detekovány a podrobeny další analýze.

3.3. Modelování srážkových anomálií

3.3.1. Modely srážkových anomálií

Modely srážkových anomálií jsou vyjadřovány statistickými indexy, vypočtenými nad časovými řadami (viz. například dataset *ECA&D Indices of extremes*, obr. 6). Z hlediska využití GIS pro modelování anomálních událostí, což je prioritní zájem této práce, jsou významné prostorové modely anomálií.

Mezi nejužívanější modely shrnující srážkové anomálie patří mapy odchylek od průměrných srážkových úhrnů nebo mapy směrodatných odchylek datových sestav, avšak ze specifických statistických hodnocení datových řad lze v literatuře nalézt i mnohé další metodické

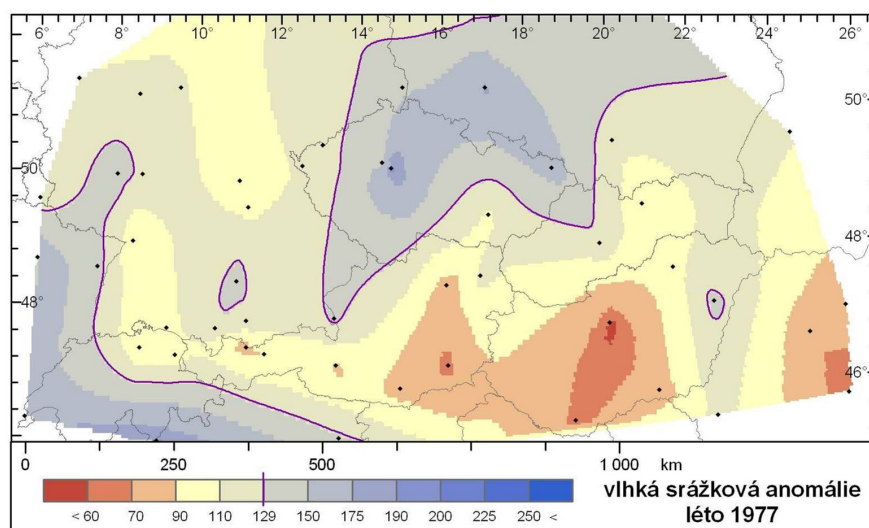
postupy modelového vyjádření anomálních událostí. Časté je ale také vyobrazení absolutních hodnot, např. formou izohyet součtu srážkového úhrnu. Mapy jednotlivých srážkových anomálií představují obvykle spíše podkladová data (nebo ilustrace) pro hodnocení jiných extrémních událostí (např. povodní) nebo pro hledání časoprostorových vztahů se stavem atmosféry v jiných oblastech, zatímco zde budou představovat podklady pro jejich vzájemné prostorové zhodnocení.

Pro potřeby navazujícího analytického zpracování každé ze srážkových anomálií byly v rámci předkládané práce použity tři modely – *model ploch překročení*, *součtový model* a *model I. hlavní komponenty události*. Tyto modely lze kategorizovat jako **regionální**, protože jejich aplikace vyžaduje gridy s vysokým rozlišením, aby byla v nich obsažena informace smysluplná, a proto také s ohledem na současné technické možnosti je jejich výpočet možné realizovat pro menší subkontinentální regiony. V literatuře se lze setkat častěji s **globálními modely** anomálií, které analyzují celosvětové pokrytí.

Mapa odchylek

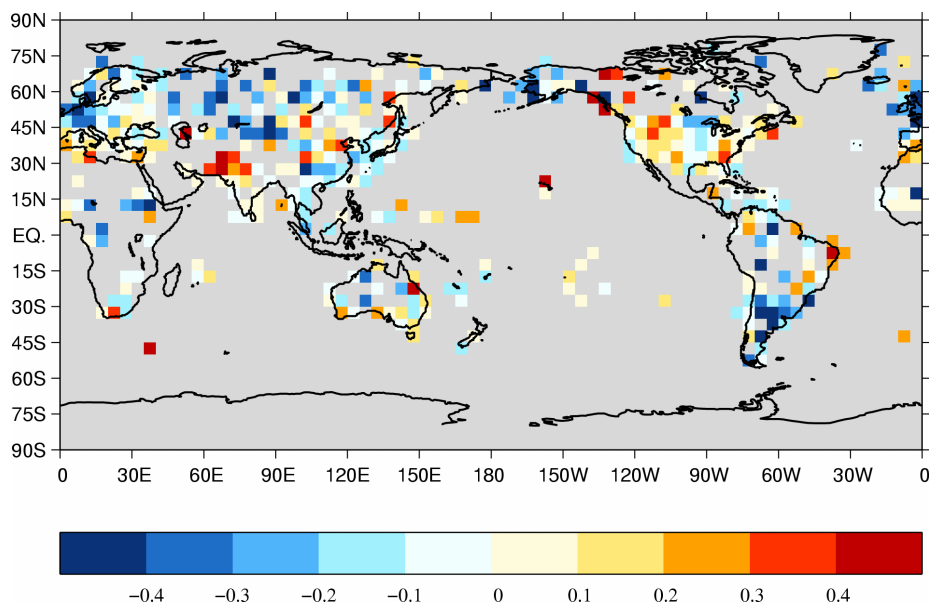
Mapa odchylek je běžným a velmi jednoduchým modelovým vyjádřením anomálních událostí, které lze aplikovat pro malé oblasti i globální mapy. Model přímo prezentuje (např. barevnou škálou) samotnou detekci konkrétní anomálie prostřednictvím n-násobků směrodatné odchylky (resp. dlouhodobého průměru) viz obr. 11 nebo absolutními odchylkami viz obr. 13. Ilustrace na obr. 13 prezentuje čtyřleté průměry měsíčních dat (1998 – 2002) datasetu GHCN, normalizované směrodatnou odchylkou měsíčních záznamů z období 1960 – 2002. Vlhké anomálie mají záporné znaménko.

Obr. 11 Vlhká srážková anomálie v létě 1977



Pozn.: 100% = průměr 1971 – 2006, $\sigma = 129$ % vymezuje anomální úhrn
Zdroj: Autor (v práci Kafka, 2006), z dat CISL – ds570

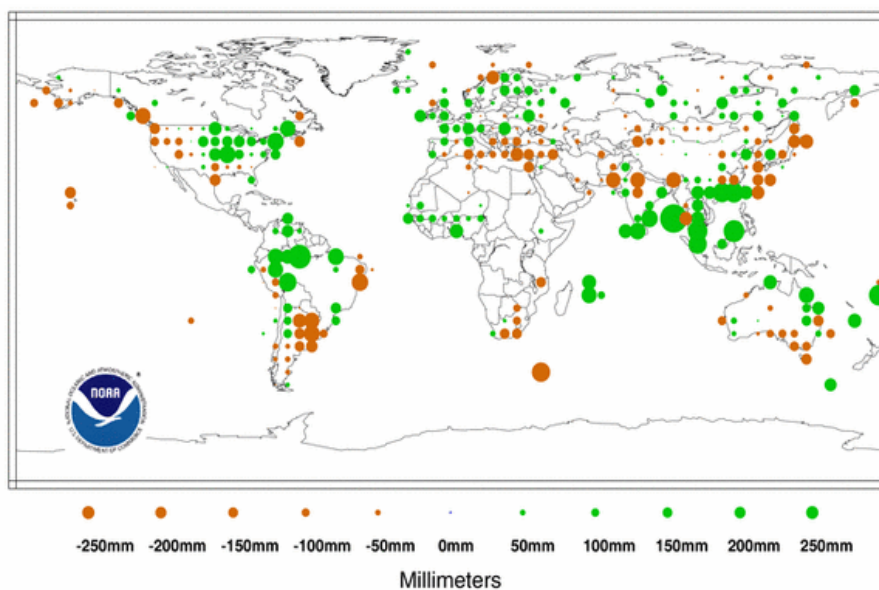
Obr. 12 Srážkové anomálie v letech 1998 - 2002



Pozn.: Měsíční hodnoty \bar{x} (1982-2002) / σ (1960 - 2002)

Zdroj: GHCN, [on line: http://jisao.washington.edu/data_sets/ghcn/prec/]

Obr. 13 Srážkové anomálie 2008



Pozn.: srážky za leden – prosinec 2008 jako odchylky od průměru 1961-1990

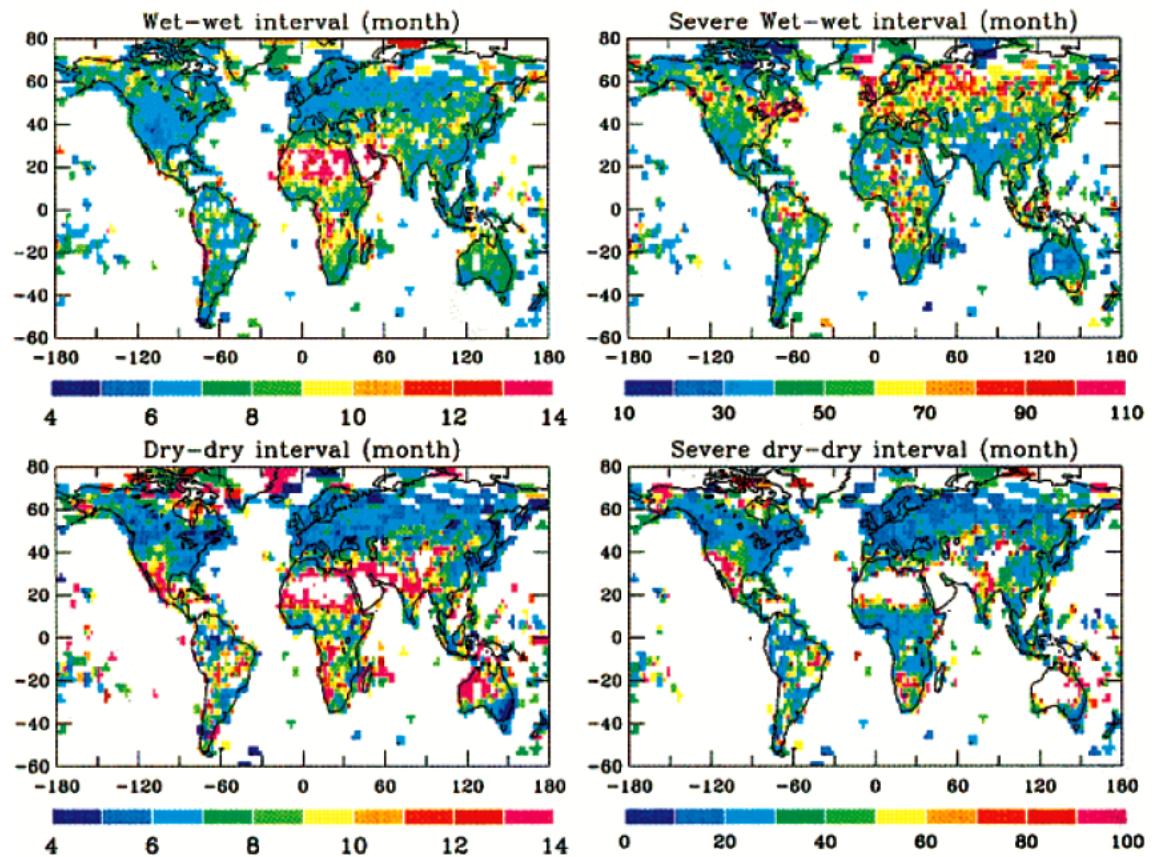
Zdroj: GHCN, [on line: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/ghcn/ghcngrid-prcp.html>]

„Wet to Wet, Dry to Dry“ model

Model „Wet to Wet“ resp. „Dry to Dry“ použil Dai a kol. (1997) pro hodnocení extrémních srážkových událostí v období 1900 – 1988. Obsahem tohoto modelu je průměrná délka neextrémních událostí mezi dvěma extrémními. Na obr. 14, převzatého z Dai a kol. (2008) tento model prezentuje měsíční srážkové a bezsrážkové události jako průměrný počet měsíců

mezi jejich výskytem. V uvedených schématech se rozlišují významné události (statisticky detekovány 1σ – směrodatnou odchylkou) a extrémní události (detekovány $2,5\sigma$).

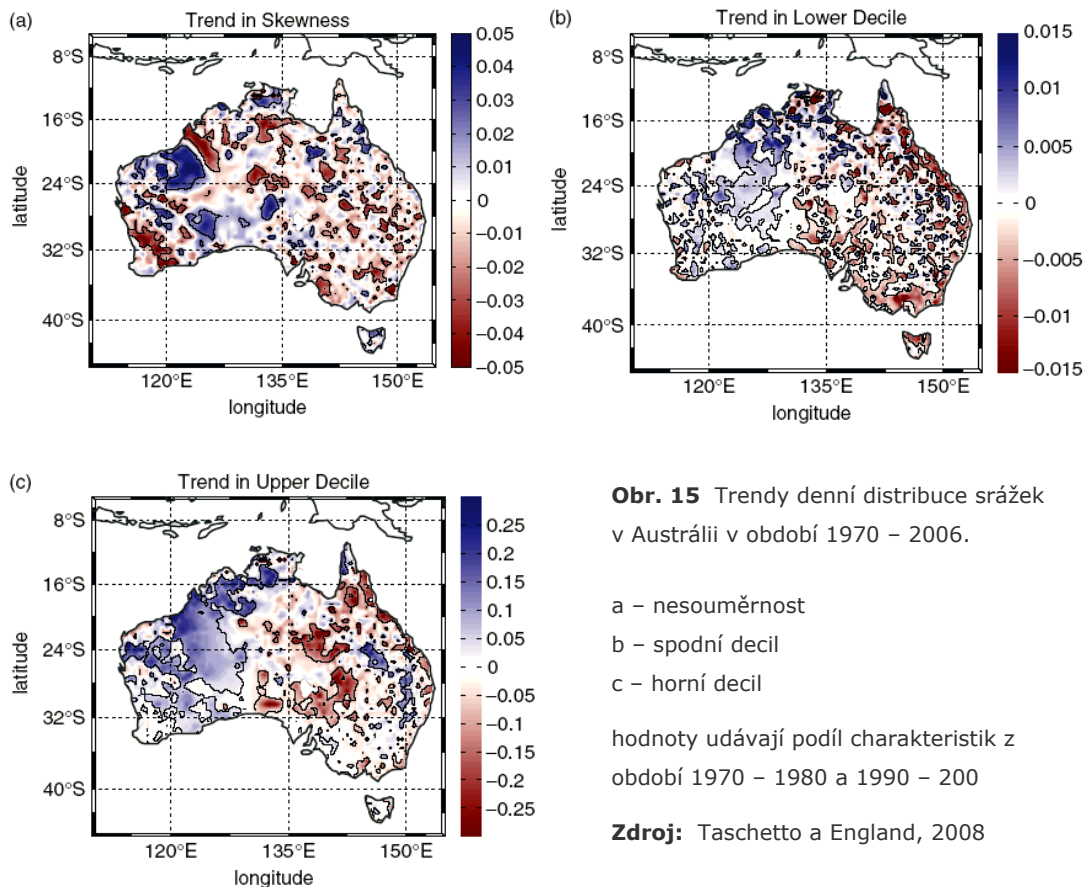
Obr. 14 Extrémní srážkové události a sucha v období 1900 – 1988



Zdroj: Dai a kol., 2008

Trendové modely

Trendové modely zachycují změny vybraných statistických charakteristik. Pokud jsou zkoumány změny extrémů těchto charakteristik, znázorňují tyto modely prostorový vývoj anomálií. Příklad lze nalézt ve studii „*An analysis of late twentieth century trends in Australian rainfall*“ (Taschetto a England, 2008). Zde bylo srovnávána desetiletá období 1970 – 1980 a 1990 – 2006 pomocí tří statistických charakteristik: nesouměrnost, hodnota spodního decilu a hodnota horního decilu. Obsahem následujících schémat je podíl těchto charakteristik mezi zkoumanými obdobími.



Obr. 15 Trendy denní distribuce srážek v Austrálii v období 1970 – 2006.

- a – nesouměrnost
- b – spodní decil
- c – horní decil

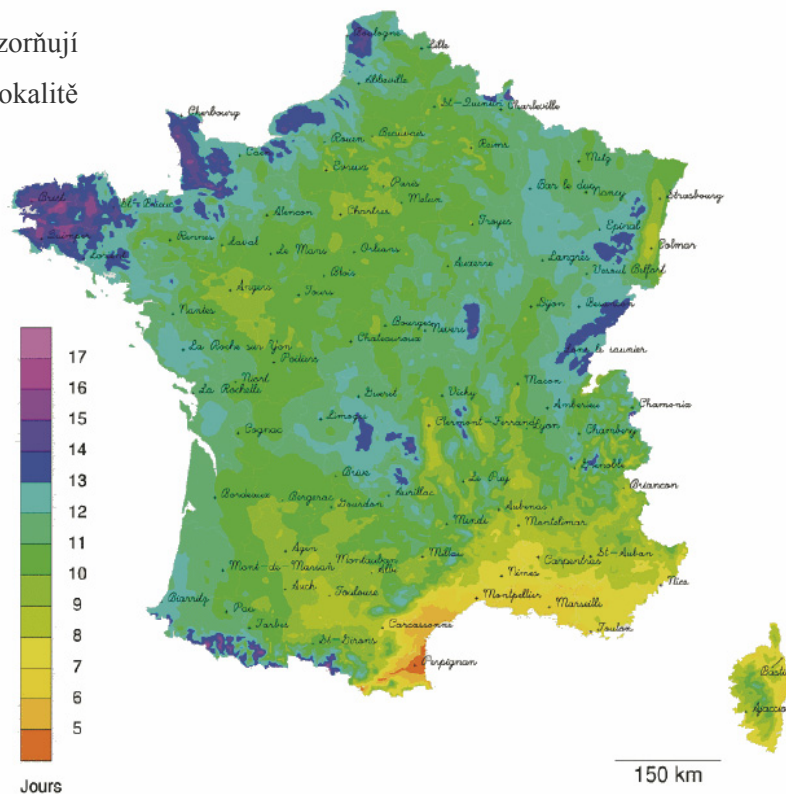
hodnoty udávají podíl charakteristik z období 1970 – 1980 a 1990 – 200

Zdroj: Taschetto a England, 2008

Model ploch překročení

Plochy překročení znázorňují kolikrát byla v dané lokalitě překročena prahová hodnota měřených (modelovaných) hodnot za sledované období.

Obr. 16 Průměrný počet dní se srážkami ≥ 1 mm, Francie



Zdroj: Aurelhy, presentation.

[on line: www.ipsl.jussieu.fr/CLIMSTAT/CARGESE/TALKS/OLIVIER/PRESENTATION_AURELHY.pdf - 31.3.2009]

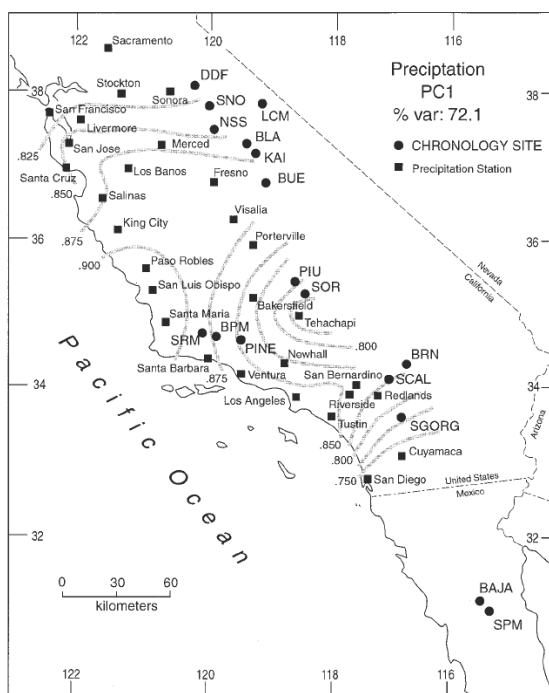
Hlavní komponenty

Analýza hlavních komponent umožňuje souhrnně zhodnotit soustavy datových řad tím, že je transformuje do jiných vzájemně nezávislých sestav, které vysvětlují největší množství rozptylu původních hodnot a tím bez velké ztráty celkové informace redukuje dimenzi původních dat (viz druhá kapitola, část 2.3.2).

Pomocí hlavních komponent rekonstruovali **Haston a Michaelsen (1996)** časovou a prostorovou variabilitu srážek v jižní Kalifornii za posledních 400 let. Na obr. 17 jsou znázorněny současné srážkové stanice, chronologické body (historické záznamy o srážkách) a izoliny stejných srážkových úhrnů první hlavní komponenty, která vysvětluje přibližně 72 % rozptylu srážkových událostí v oblasti.

V této práci byla navržena analýza hlavních komponent jako model rozptylu rozmístění srážkové anomálie. Je nutno uvážit, že hlavní komponenta vysvětlí srážkovou anomálii pouze, pokud je v její lokalizaci časoprostorová závislost. Z toho důvodu lze hlavní komponentu použít jako model ke zhodnocení míry lokální koncentrace srážek během trvání anomálie. Tu lze nejvíce očekávat zejména u krátkodobých intenzivních srážkových událostí. Vzhledem k tomu, že je však srážková anomálie vymezená nepřetržitými srážkovými dny před i po překročení limitu, a to na všech plochách referenčních oblastí, může se během takto vymezeného časového úseku vyskytovat i větší počet dní s minimálním srážkovým úhrnem a celková délka periody může nabývat i několika desítek dní. Ke zjednodušení postupu se proto jako vstupní data mohou zvolit pouze dny s významným srážkovým úhrnem. * Ten je zde definován jako den, kdy je

Obr. 17 Prostorová variabilita srážek v jižní Kalifornii během posledních 400 let



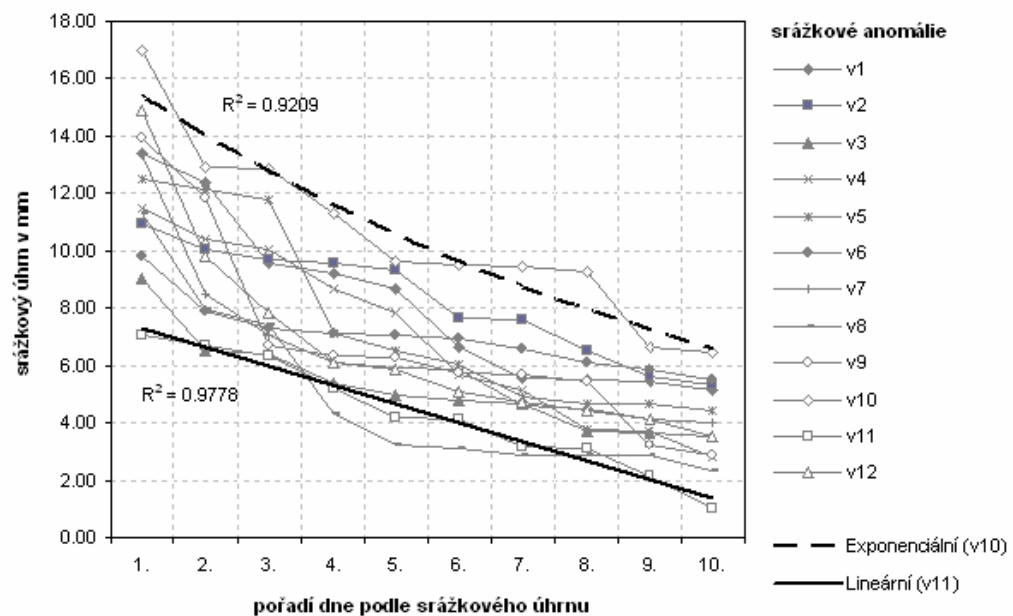
Zdroj: Haston a Michaelsen, 1996

* **Pozn.** Toto zjednodušení je účelové a nezbytné vzhledem k technickým možnostem GIS. V použitém programu ESRI ArcGIS, je maximální možný počet vstupních rastrů pro funkci *Principal component analysis* stanoven na dvacet. Pokud je délka srážkové periody delší, lze vstupní data nahradit například klouzavými maximy nebo výběrovou volbou rastrů, obsahujících nejvyšší maximální úhrny, nejvyšší odchylky od průměru nebo největší celkový objem spadlých srážek v oblasti. Během zpracování srážkových anomálií v řešené oblasti bylo zjištěno, že u dlouhodobých anomálií je lokálnost koncentrace srážek minimální a srážky jsou distribuovány spíše rovnoměrně v celém území.

celkový objem srážek v oblasti nadprůměrný a současně pro žádnou z dílčích oblastí nebylo zjištěno překročení poloviny limitu pro detekci srážkové anomálie.

Z výsledků analytické části práce vyplývá, že vzestupně seřazená distribuce srážek během srážkových anomálií má lineární až exponenciální trend (viz obr. 18). Uvážíme-li skutečnost, že analýza hlavních komponent hledá lineární kombinaci původních vrstev k odstranění redundance dat, lze hlavní komponentu, která vysvětluje vysoký podíl variability původních dat, považovat za model prostorového rozmístění srážek během hodnocené epizody. Z výsledků analytické části práce vyplývá, že tímto podílem je přibližně třicet procent.

Obr. 18 Deset dní s nejvyšším srážkovým úhrnem během vlhkých anomálií 1950 - 2006



Pozn.: Vynášen je průměrný srážkový úhrn pro celé zájmové území, označení anomálií (v1 – v12) odpovídá tabulce 5 v 8. kapitole

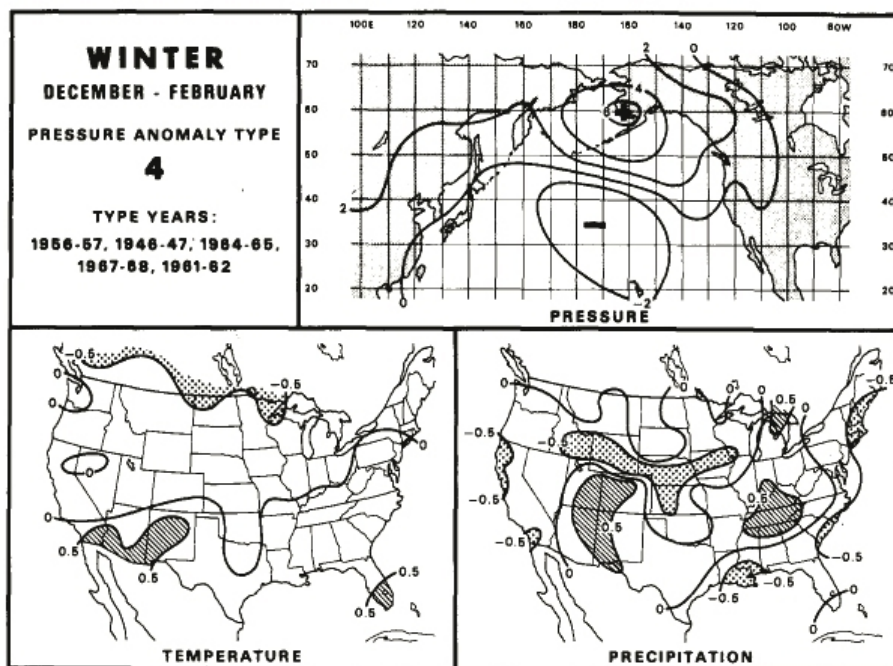
3.3.2. Prostorové hodnocení anomálií

Hodnocení výskytu srážkových anomálií je obecně zaměřeno spíše na hledání souvislostí s poruchami všeobecné cirkulace atmosféry, zejména s projevy extrémních klimatických jevů (ENSO), a se změnami regionálních klimatických charakteristik (oteplování). Často jsou také srážkové anomálie a jejich průběh hodnoceny z hlediska jejich vlivu na hydrologickou síť, případně z hlediska jiných rizik pro lidskou činnost. Vzájemné hodnocení srážkových anomálií a sestavení jejich určité klasifikace a typologie je spíše nová úloha, neboť dosud v literatuře nebyla příliš často řešená.

V minulosti kategorizovali troposférické anomálie podle společných vlastností např. Blasing a Lofgren (1980), kteří typizovali tlakové pole v oblasti severního Pacifiku a

regionalizovali jím podmíněné teplotní a srážkové poměry v severní Americe. Ukázka je na následující ilustraci (obr. 19). Současné nástroje GIS otvírají pro podobnou studii široké možnosti prostorových analýz a mohou tedy technicky podpořit návrhy nových originálních metodik, umožňujících posuzovat míru rizikovosti klimatických změn a jimi zapříčiněných anomálií. Předkládaná práce vychází výhradně z databáze o srážkových úhrnech, a proto i navržená metodika hodnocení anomálií uvažuje pouze jejich vlastností v prostorové distribuci srážek. Jak však ukáže závěr práce, navržené charakteristiky anomálií, resp. jejich vývoj, lze chápat jako korektní indikátory změn chování zemského klimatu.

Obr. 19 Ukázka prostorového hodnocení klimatických anomálií v Severní Americe v práci z roku 1980



Zdroj: Blasing, Lofgren, 1980

Následující tabulka přehledně prezentuje navržené ukazatele metodického zpracování srážkových anomálií v této práci. Jedná se o ukazatele časoprostorové variability událostí, které byly výše popsanými postupy detekovány jako extrémní. Smyslem těchto ukazatelů je umožnit snadné souhrnné hodnocení vývoje prostorové variability těchto událostí v čase. Vedle číselné charakteristiky je navržen i slovní popis kategorizace anomálií. Kromě ukazatelů *Typ*, *Délka* a *Fáze*, které lze odvodit z grafu časových řad, jsou všechny charakteristiky prostorově podmíněny a jsou odvozovány nástroji GIS. Za tabulkou následují podrobnější komentáře k jejich vlastnímu výpočtu.

Tab. 2 Hodnocené charakteristiky srážkových anomálií

NÁZEV UKAZATELE	TYP	POPIS	HODNOTA (při denním rozlišení)	KATEGORIE
Typ	V, D, S	typ anomálie	popis	vlhké / dlouhodobě vlhké / dlouhodobě suché
Délka	V, D, S	doba trvání srážkové události, délka dlouhodobého sucha	počet dní	krátkodobé / střednědobé / dlouhodobé
Mezianomální období	V, D, S	délka období mezi dvěma po sobě jdoucími anomáliemi	počet dní	
Fáze	V, D, S	výskyt více extrémních epizod stejného typu	počet fází	jednofázové / vícefázové
Význam	V, D, S	významové hodnocení anomálie	index	závažné / rizikové / extrémní
Objem	V, D	celkový objem spadlých srážek během události	[mm ³]	
Intenzita periody	V, D	průměrná výška srážek za den srážkové periody	[mm]	málo intenzivní / intenzivní / silně intenzivní
Intenzita nadprůměrných srážek	V	průměrná výška srážek na den pro nejintenzivnější dny anomálie	[mm]	
1. plocha překročení	V: S:	podíl ploch s alespoň jedním překročením limitu na rozloze území podíl ploch s průměrným úhrnem menším než 0,1 mm	[%]	lokální / rozsáhlé / celoplošné
Stupeň vyvinutosti	V: D, S:	maximální počet překročení limitu v jednom bodě počet dní s nejdelším nepřetržitým úsekem srážkového úhrnu (resp. bezesrážkových dní)	počet dní	
Vyvinutost	V, D, S	podíl maximálního počtu dní s nadlimitním úhrnem, nebo délky nejdelších úseků na celkové délce	indexová hodnota	málo vyvinuté / vyvinuté / silně vyvinuté
Intenzita plošného postižení	V: D, S:	průměrný denní podíl ploch s překročením limitu na celkové rozloze průměrný podíl délek srážkových (resp. suchých) období v referenčních řadách na celkové délce anomálie	indexová hodnota	malé postižení / významné postižení / rizikové postižení

Lokálnost	V	míra plošné koncentrace nejintenzivnějších srážek	indexová hodnota	Lokálně koncentrované / regionálně koncentrované / bez prostorových vazeb
Kompaktnost	V, S	kompaktnost prostorového rozmístění anomálie	počet kompaktních ploch	kompaktní, roztroušené
Rizikovitost	V, S, D	rizikovitost anomálií je funkcí zjištěných vlastností	[%]	

Výpočet ukazatelů:

Typ – rozlišují se celkem tři typy charakterizovaných srážkových anomálií: vlhké anomálie (V), stanovené na základě extrémních úhrnů srážek, dlouhodobé vlhké anomálie (D), vymezené délkou po sobě jdoucích srážkových dní a dlouhodobé suché anomálie (S), detekované délkou po sobě jdoucích bezsrážkových dní.

Délka – u vlhkých anomálií vyjadřuje počet nepřetržitých dní se srážkami, které předcházely nebo nadcházely dni s nadlimitním srážkovým úhrnem, započítány jsou všechny dny, které nadlimitnímu dni předcházely nejdříve (resp. následovaly nejpozději) na kterékoliv časové řadě (referenční oblasti), kde byla anomálie detekována během stejného období. U dlouhodobých anomálií se jedná o nepřetržitý počet dní se srážkami (vlhké) resp. beze srážek (suché).

Mezianomální období – vyjadřuje u všech typů anomálních epizod počet neextrémních dní mezi dvěma po sobě jdoucími anomáliemi.

Fáze – V případě, že se dvě nebo více extrémních srážkových epizod stejného typu vyskytuje prakticky bezprostředně po sobě, je takováto událost považována za jednu anomálii o více fázích (např. srážkový úhrn v období 30.6. – 1.8. 1997). Jednotlivé fáze lze odvodit z vývojového grafu hodnotícího indexu (viz obr. 41 v kapitole 8).

Význam – je vypočten jako nejvyšší dosažená hodnota významového hodnocení anomálie. Každá z posuzovaných časových řad je v denním kroku hodnocena hodnotou srážkového úhrnu pro dny, které předcházely nebo nadcházely dni s anomálním úhrnem srážek. Součet tohoto ohodnocení (vážený referenční plochou, ke které je vztažena) představuje celkové významové ohodnocení, jehož maximum je považováno za význam anomálie. V případě vícefázových anomálií se sčítá dosažený význam jednotlivých vln (součet lokálních maxim hodnotící řady).

U dlouhodobých anomálií je hodnotící index za každý bezsrážkový den dlouhodobého sucha navýšen o jednu jednotku. Význam představuje maximální hodnota součtu tohoto indexu pro všechny referenční řady. (U suchých anomálií byla hodnotící řada realizována v záporných číslech, význam tedy představuje dosažené minimum hodnotící řady.)

Objem – celkový objem srážek spadlých během anomální události je vypočten jako součet hodnot (buněk) všech rastrů, násobený rozlohou buňky (pokud hodnota buňky rastru vyjadřuje průměrný úhrn na své rozloze, jako je tomu u datasetu E-Obs). U suchých anomálií nemá význam tento ukazatel vyjadřovat, hodnota by byla zavádějící.

Intenzita periody – je celkový objem srážek během srážkové periody standardizovaný na jednotku času (den) a plochy (1 m^2), čímž vyjadřuje průměrnou výšku vodního sloupce atmosférických srážek. U suchých anomálií se tento ukazatel neuvádí, platí to samé co pro ukazatel *Objem*.

Intenzita nadprůměrných dní – je intenzita periody vypočtená pouze pro dny, kdy je průměrný denní úhrn srážek v celé řešené oblasti vyšší než dlouhodobý průměr.

Pro dlouhodobé anomálie (vlhké i suché), které jsou definovány délkou bezesrážkových období, tento intenzitní ukazatel nemá smysl uvažovat.

I. Plocha překročení – udává v procentech z celkové rozlohy řešeného území podíl plochy, na které byl během anomální události nejméně jedenkrát překročen limit pro srážkovou anomálii. Je vyjádřen z rastru „*Ploch překročení*“ jako součet všech ploch (buněk rastru) s nenulovým počtem překročení limitu. Analogicky k tomu platí, že druhá plocha překročení vyjadřuje podíl rozlohy s nejméně dvojnásobným překročením limitu atd.

Suché anomálie jsou definovány jako více než n-denní bezesrážkové úseky. Během anomální periody, definované průběhem těchto úseků ve všech dílčích oblastech, se může vyskytnout v každé referenční řadě několik srážkových dní (i s minimálním úhrnem), někdy následovaných opět bezesrážkovou periodou. Ta je v případě jednofázové události však již pro sucho podlimitní událostí a může lokálně pokračovat i v období mimo vymezení anomálie. Plošné hodnocení suchých anomálií proto oproti srážkovým anomáliím vychází z celkového součtu srážkových úhrnů během suché periody. I. Plocha překročení je pak definovaná jako plocha, na které nebyl zaznamenán průměrný denní srážkový úhrn pro celou událost vyšší než 0,1 mm. Tento limit bývá zpravidla považován za srážkový den pro srážkovou periodu (Nosek, 1972).

U dlouhodobých vlhkých srážkových anomálií se plocha překročení neuvažuje.

Stupeň vyvinutosti – prezentuje nejdelší překračování limitu srážkové anomálie v jednom místě (v jedné buňce rastru) jako maximální počet překročení limitu pro detekci anomálie během anomální periody. Stupeň vyvinutosti představuje celkový počet ploch překročení.

U dlouhodobých anomálií je stupeň vyvinutosti stanoven délkou nejdelšího srážkového, resp. bezesrážkového úseku v některé z referenčních oblastí.

Vyvinutost – udává podíl nejdelšího překračování srážkové anomálie na celkové délce události. Lze jej vyjádřit jako podíl *Stupně vyvinutosti* na délce anomálie, stejný výpočet platí i pro dlouhodobé anomální periody.

Intenzita plošného postižení – vyjadřuje průměrný denní podíl ploch s překročením limitu na celkové rozloze I. plochy překročení. Počítá se pouze pro dny, kdy byl limit v některém bodě překročen. V případě, že by srážkový limit byl překročen maximálně jednou, nebo by docházelo k překračování v identických místech, bylo by plošné postižení rovno I. ploše překročení. V případě, že je limit překračován vícekrát a v různých místech, je tento index vždy nižší. Teoretická 100 % intenzita plošného postižení připadá na událost, kdy je limit překročen každý den ve všech místech I. plochy překročení).

U dlouhodobých anomálií je index vztažen k referenčním plochám, pro něž je vyjádřen podíl délek detekovaných srážkových resp. suchých období v referenčních řadách na celkové délce anomálie. Index představuje (vážený) průměr těchto koeficientů.

Lokálnost – prezentuje míru plošné koncentrace nejintenzivnějších srážek. Indexová hodnota, která vyjadřuje, zda byly srážkové úhrny soustředěné do jedné lokality, širšího regionu, nebo mezi nimi nelze nalézt prostorovou souvislost, je vypočtena z vlastních hodnot hlavních komponent jako příspěvek první komponenty.

U dlouhodobých anomálií nemá význam hledat míru prostorové koncentrace suchých nebo srážkových ploch.

Kompaktnost – udává u vlhkých anomálií počet kompaktních oblastí (rozsáhlejších ploch), které obsahují centra nejintenzivnějšího překračování limitu pro srážkové úhrny. Tyto plochy vymezuje přibližně polovina ploch překročení.

U dlouhodobých vlhkých anomálií se tento ukazatel neuvažuje, u suchých anomálií vyjadřuje tento ukazatel počet souvislých ploch vymezených *plochou překročení* (tzn. průměrného denního úhrnu 0,1 mm).

Rizikovost – ukazatel, který shrnuje předchozí indexy (kromě délky mezipanomálního období). Každý z těchto indexů je vyjádřen relativně k jeho průměrné hodnotě v členění podle typu anomálie. Průměr těchto relativních průměrů udává rizikovost anomálie. Ukazatel rizikovosti tak třídí tabulkový výstup hodnocených anomálií na ty závažnější a méně závažné.

ENSEMBLES Gridded Observational dataset (E-Obs)

Evropský projekt ENSEMBLES se v rámci úlohy „*Globální změna a ekosystémy*“ integrované do svého programu na období 2004-2008 zaměřil mimo jiné i na vytvoření předpovědního systému klimatických změn, jehož prvotní součástí bylo sestavení gridového modelu klimatických charakteristik ve vysokém rozlišení – *Ensembles gridded observational dataset* (E-Obs). Díky tomu vznikla (po bezplatné registraci) volně dostupná datová sestava, která je v současné době pro Evropské území, v porovnání s ostatními datasety, nejpropracovanějším modelem srážkových úhrnů a teplot. Vysoká spolehlivost extrapolace klimatologických dat, přiměřené prostorové rozlišení, časové rozlišení po dnech i efektivita uložení dat ve vícedimenzionálním formátu činí z tohoto modelu vhodný datový podklad pro navazující klimatologicko-prostorové analýzy v evropských regionech, a to již o jejich rozlohách větších než několik desítek tisíc km².

4.1. Dostupnost dat

Data jsou dostupná prostřednictvím oficiálních webových stránek projektu [<http://www.ensembles-eu.org/>]. Po zaregistrování jsou data opakovaně přístupná v komprimovaném formátu (velikosti stažitelných souborů jsou přibližně několik stovek MB). Po dekompresi je datový soubor „.nc“ (o velikosti několika GB) čitelný pro softwarové nástroje podporující formát NetCDF.

Od listopadu 2008 je k dispozici druhá verze gridového datasetu (verze 1.1.) pro denní přízemní hodnoty teplotního maxima, minima, průměru a denních srážkových úhrnů včetně standardních chyb ke každému tématu a včetně elevačního modelu. Třetí aktualizace databáze je plánována na jaro 2009.

Data pokrývají období 1950 – 2006 a jsou k dispozici ve dvou prostorových rozlišeních gridu, což je v klasické zeměpisné síti stanoveno velikostí buňky 0.25° nebo 0.5°. Časové rozlišení dat je jeden den.

4.2. Prostorové rozlišení

Rozlišení výpočetního gridu, v kterém byla prováděna interpolace dat z meteorologických observatoří, bylo stanoveno na 0,1° × 0,1°. Zeměpisné souřadnice φ , λ , určující polohu stanic, byly transformovány na kartografické tak, aby byl severní zeměpisný pól posunut v poledníkovém i rovnoběžkovém směru do polohy 39,25° s. š. a 162° z. d. Bylo

prokázáno, že při transformaci kartografických souřadnic na rovinné (gridové) dochází díky tomuto otočení ve studovaném území k nejmenšímu plošnému zkreslení a oblast je tak pokryta minimálním počtem buněk, což zvyšuje i efektivitu práce s rastrem.

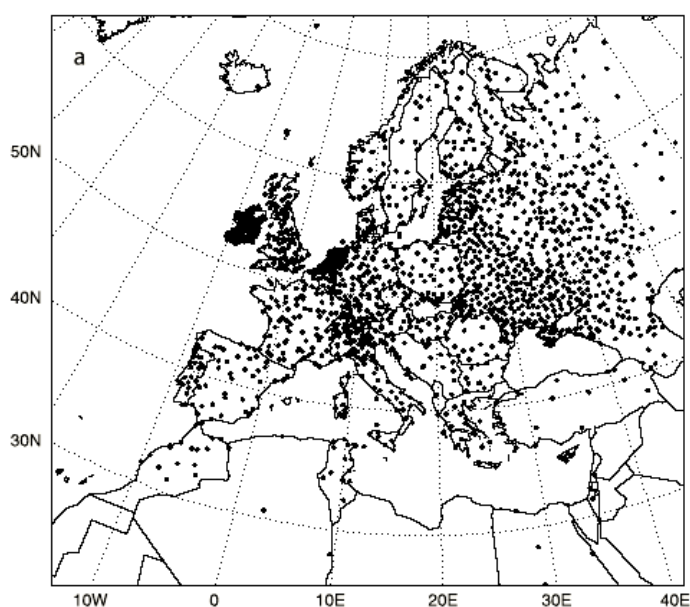
Interpolované hodnoty srážkových úhrnů v jednotlivých buňkách jsou funkcí dvou charakteristik: 1. naměřeného měsíčního úhrnu na okolních stanicích (interpolace metodou TPS) a 2. vypočtené pravděpodobnosti výskytu denní srážky (prostorový model vznikl krigingem). Vzhledem k této dvojí funkční povaze prostorové interpretace srážek bylo přesnějších modelových výsledků dosaženo nejprve interpolováním hodnot ve větším rozlišení, než je finálně distribuovaný grid. Ten vznikl teprve následným průměrováním vyinterpolovaných hodnot pro buňky rastru menšího rozlišení. Finální rastry datasetu jsou tedy distribuovány v prostorových rozlišeních odpovídajících přibližně 25×25 km a 50×50 km.

4.3. Vznik datasetu

4.3.1. Zdroje časových řad

Podkladové časové řady, vstupující do modelu, pochází z databáze *Královského Nizozemského Meteorologického Institutu* (KNMI), jehož součástí je rovněž *ECA&D* dataset (viz 2. kapitola, část 2.5). Tento dataset v současné době obsahuje přibližně 250 staničních řad o délkách záznamů větších než 50 let. Další staniční řady pochází z vědeckovýzkumných projektů *STARDEX*, *Global Climate Observing System* (GCOS), *Global Historical Climatology Network* (GHCND), *Mesoscale Alpine Programme* (MAP) nebo přímo z dat spolupracujících národních meteorologických institutů a služeb.

Obr. 20 Staniční síť (E-Obs)



Zdroj: Haylock a kol., 2008

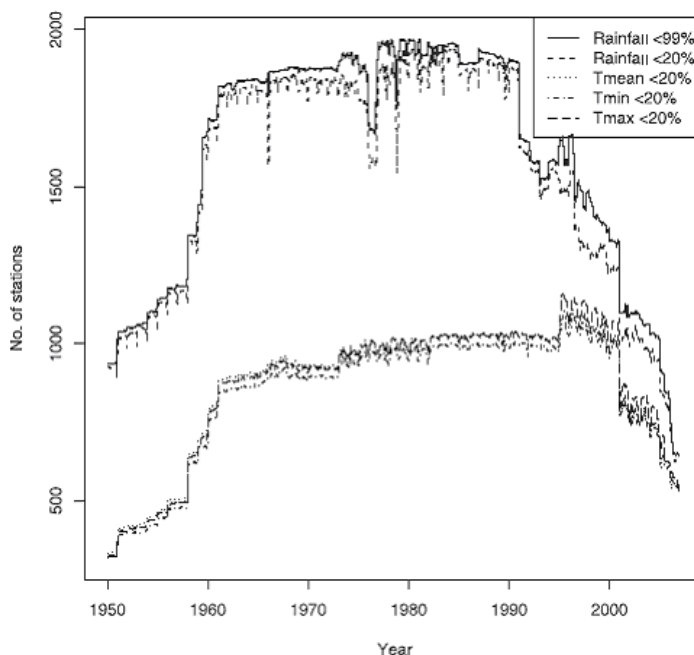
Z přiloženého schématu rozložení staniční sítě měřících stanic, zapojených svými záznamy do projektu na obr. 20, je patrné největší pokrytí v zemích Beneluxu a Spojeného království, nejhřidší síť je na Pyrenejském, Balkánském a Skandinávském poloostrově.

Na území, vymezeném v analytické části této práce, se nachází přibližně dvě stě měřících stanic.

4.3.2. Zajištění kvality dat

Extrapolace srážkových úhrnů (a průměrných měsíčních teplot) byla prováděna pouze nad záznamy, jejichž celkový počet nepředstavoval více než 20 % chybějících hodnot v každém měsíci každého roku. Tento limit, dle autorů, neodstranil z výpočtu takové množství stanic, které by se projevilo větší chybovostí extrapolace, ale současně zajistil dostatečnou spolehlivost extrapolovaných dat, kterou lze u souvislejších, méně „děravých“ záznamů spíše očekávat.

Obr. 21 Vývoj počtu stanic (E-Obs)



Zdroj: Haylock a kol., 2008

optimalizací sítě evropských měřicích stanic, kdy dochází k hromadnému rušení stanic v hustě pokrytých oblastech a naopak zakládání nových v oblastech bez dosavadního měření.

4.3.3. Extrapolace dat

Extrapolace bodových dat využívá tři krokové interpolace, kombinující interpolační metody *Thin-Plate Spline* pro extrapolaci celoměsíčních průměrů společně s krigingem k nim vztahených relativních denních odchylek, vyjádřených jako pravděpodobnost výskytu srážky.

Prvním krokem bylo vyinterpolování celoměsíčního průměru s využitím třídimenzionálního (zem. délka, zem. šířka a nadmořská výška) *Thin-Plate spline* (popsán v druhé kapitole, část 2.3.1). Tento krok zajišťuje nalezení prostorového trendu v datech napříč geografickou polohou stanic. V druhém kroku interpolace pak byly *univerzálním krigingem* interpolovány denní úhrny srážek, vyjádřeny relativně k celoměsíčního úhrnu. V třetím kroku této extrapolace pak byly interpolované odchylky i měsíční průměry dány do vzájemného

Počet stanic, které vstupovaly do extrapolace srážkových úhrnů, se pohyboval v rozmezí 700 až 2000 (z celkového počtu 2316 stanic). Vývoj tohoto počtu znázorňuje graf na obr 21 (srážky jsou v horní skupině linií). Z tohoto grafu je patrný prudký nárůst celkového počtu stanic přibližně do roku 1960, následovaný jen mírným navyšováním ještě do roku 1990 a pak prudký pokles až do současnosti. Tento pokles může být vysvětlen například

matematického vztahu, jehož výstupem jsou výsledné denní úhrny v objemových jednotkách, resp. v mm / m². Data vyjadřují průměrný úhrn na rozloze buňky gridu.

Tento postup extrapolace dat vyšel, dle autorů datasetu, v porovnání s pěti dalšími různými technikami jako nejhodnější, což bylo publikováno i v práci *Comparison of six methods for the interpolation of daily European climate data* (Hofstra a kol., 2008).

Součástí distribuovaného datasetu je i datová vrstva denních standardních chyb extrapolace, uložená rovněž ve formátu NetCDF (ovšem v jednotkách 0.1 mm). Průměrná chybovost je podle Hofstra a kol. (2008) závislá na počtu stanic, ze kterých byla extrapolace dat konstruována. Byly také porovnávány extrapolované a skutečné, observované hodnoty, zejména extrémy, které extrapolací postup vyhlazuje. Podíl srážkových úhrnů nejvyšších 5 % modelovaných a 5 % observovaných hodnot (95. percentil) je v desetileté periodě přibližně 0.9, podíl srážkových úhrnů v horních kvartilech je přibližně 0.75 a pro 50 % nejvyšších hodnot srovnávaných záznamů je tento podíl 0.66 Hofstra a kol. (2008).

V roce 2009 prezentovali spoluautoři datasetu (Hofstra a kol., 2009) E-Obs také jeho test z hlediska homogenity gridovaných dat. Závěry této zprávy poukazují v tomto směru na některá slabá místa (kde test ukázal nízkou homogenitu modelovaných dat), zejména oblasti s řidším pokrytím stanic jako je sever Norska, Skotsko, Itálie, Balkánský poloostrov, severní Rusko a část střední Evropy. Při pohledu na obr. 20 lze v střeoevropském prostoru očekávat pro srážkový model nejnižší homogenitu (tedy i nejvyšší chybovost extrapolovaných dat) v oblasti jižního a východního Slovenska.

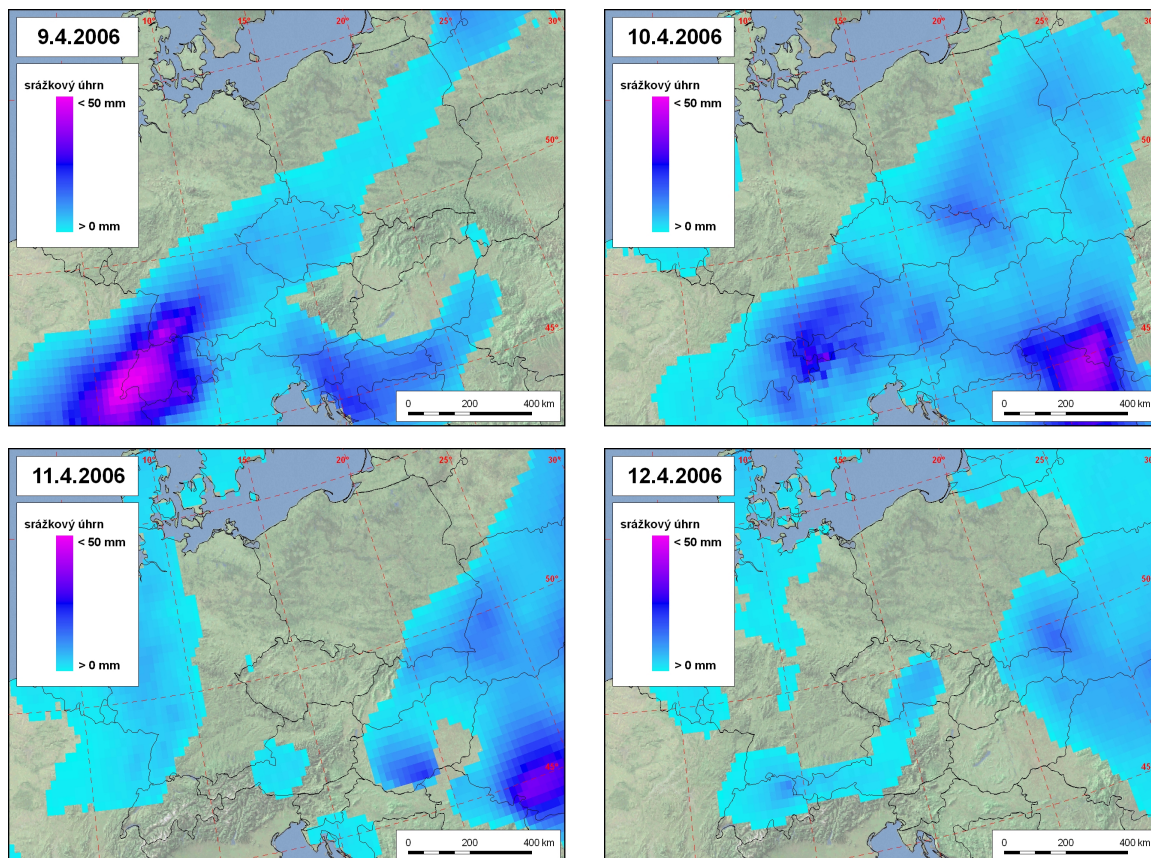
4.4. Přístup k obsahu

Data E-Obs datasetu jsou uložena v multidimenzionálním rastrovém formátu NetCDF, jemuž je věnována následující kapitola. Tento soubor je možné prohlížet ve speciálních prohlížečích, podporujících soubory typu .nc , nebo jej lze načíst přímo v některých programech GIS. Podpora a způsob načtení souborů tohoto typu by měl být obsažen v dokumentaci jednotlivých softwarů, přímou podporu GIS v současné době poskytují například *GRASS GIS* a *Quantum GIS* z GNU licencovaných programů, z komerčních softwarů pak *ESRI ArcGIS* nebo *Cadcorp SIS* (podle oficiálních webových stránek uvedených produktů).

Algoritmické zpracování datasetu E-Obs v této práci je podrobně popsáno v samostatné kapitole (kap 6). Na tomto místě je však nutno upozornit na technické nesnáze při práci s tímto datasetem. Mezi potíže, zapříčiněné programem ArcGIS, patří například chybné vnímání formátu (datumu) časové dimenze (na místo „dd.mm.rrrr“ jej „někdy“ vnímá jako „dd.mm.rrrr hh:mm:ss“), vysoké zatížení operační paměti při analytických operacích nad rastrem, nebo nemožnost načtení dvou nc. souborů zároveň. Producentům E-Obs lze vytknout odlišnost

v kódování časové dimenze (datumu) mezi distribuovanými rastry (teplota, srážky, standardní chyby). Do budoucna lze zřejmě očekávat, že tyto nedostatky budou odstraněny, prozatím lze potíže s kódováním datumu obejít vytvořením vlastních skriptů (pro ArcGIS snadno např. v jazyce Python) pro zobrazování datových vrstev.

Obr. 22 Vizualizace E-Obs datasetu v prostředí ArcGIS – Denní srážkové úhrny 9.4. – 12.4. 2006



Zdroj: Autor, srážkové úhrny podle E-Obs.

Network Common Data Form (NetCDF)

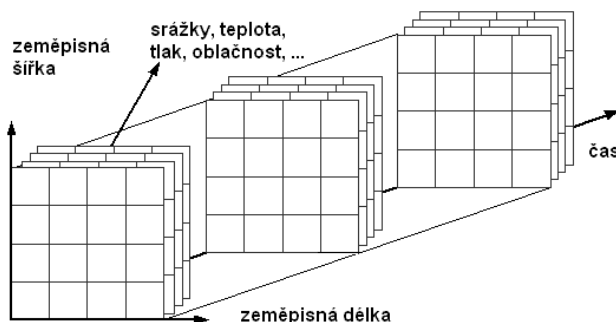


Tato kapitola představuje výtah z on line dokumentace NetCDF.

[<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/>]

Network Common Data Form, zkráceně NetCDF, je více rozměrný způsob uložení strukturovaných dat, tvořený datovými soubory, přístupovým rozhraním a vlastní knihovnou funkcí, umožňujících operace s daty. Tento systém je vyvíjen v rámci programu *Unidata* konsorcia *University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)**, který je zaměřen na poskytování datových služeb, vyvíjení expertních nástrojů a výzkum kyber-infrastruktury pro vědecké systémy o Zemi a Zemské atmosféře.

Obr. 23 Příklad uložení meteorologických dat do n-rozměrného souboru NetCDF



Zdroj: Autor

Soubory NetCDF jsou tvořeny nejen vlastními strukturovanými daty, ale obsahují i jejich abstrakci, popisující jednotlivé dimenze (rozměry) a další potřebné doplňující informace - metadata (např. jednotky). Rozhraní NetCDF obsahuje nadefinované operace, které je možné nad daty provádět, včetně jejich načítání a ukládání. Díky tomu je přístup k datům umožněn přímo, bez potřeby znalosti podrobností o uložení dat. Softwarová implementace objektu NetCDF představuje práci s datovým souborem jako s abstraktním datovým typem, což ovšem omezuje práci s daty pouze na funkce rozhraním umožněné.

5.1. Vlastnosti souborů NetCDF

Navrhování datové struktury souborů NetCDF bylo do značné míry ovlivněno požadavky a stávajícími potížemi při práci s vědeckými daty. Důraz byl kladen zejména na

* UCAR - neziskové konsorcium založené v 50. letech 20. století vědci ze 14 amerických univerzit pro podporu výzkumu atmosférických jevů. <http://www.ucar.edu> Program UNIDATA: <http://www.unidata.ucar.edu>

snadnou interpretovatelnost, přenositelnost a aktualizovatelnost datové sady. Nejvýznamnější vlastnosti NetCDF jsou uvedeny níže. Soubory jsou obvykle identifikovány koncovkou „.nc“ nebo „.cdf“.

Přímý popis – hodnoty obsažené v buňkách polí prezentují datasetem definovanou skutečnou informaci. To má význam zejména při vizualizaci dat např. formou mapy v GIS nebo prostorovém diagramu. Ke dvojrozměrnému zobrazení dimenzemi parametrizovaného stavu lze přistupovat jako k rastru, resp. vybrané gridové vrstvě původního souboru. Narozdíl od některých rastrových souborů pak již není nutná transformace obrazových (rastrových) dat do stupnice skutečných hodnot.

Přenositelnost – data jsou uložena v binárním kódu, tedy ve formě, která může být zobrazena na kterémkoliv počítači. Binární uložení je nezávislé na znakové sadě nebo formě uložení neceločíselných hodnot. Rovněž komprese těchto souborů dosahuje vysokého stupně (přibližně až na 5% původní velikosti), díky čemuž jsou komprimované soubory NetCDF snadno přenositelné sítí nebo malými přenosnými disky.

Přímý přístup – pro načtení informace nemusí program načítat celý soubor, ale volá pouze dimenzemi nadefinovanou vrstvu. Při práci v aplikacích GIS to znamená efektivnější načítání dat a také i značné snížení nároků na operační paměť počítače, zejména u velkoobjemových dat.

Prodlužitelnost – nová data mohou být začleněna do souboru, aniž by bylo nutné je vzájemně slučovat do nového souboru nebo předefinovávat jeho původní strukturu. Tato vlastnost je důležitá zejména pro aktualizaci hotových datových sad.

Jednotnost dat – informace ve všech buňkách souboru jsou stejného datového typu.

Nezávislost na platformě – z operačních systémů je rozhraní podporováno různými operačními systémy, z těch nejběžnějších je to MS Windows, UNIX, Linux, nebo MacOS.

Struktura souboru je představována dvěma částmi - hlavičkovou a datovou. Hlavičková část obsahuje veškeré informace o jednotlivých dimenzích, attributech a proměnných. V případě prostorových dat mají alespoň dvě dimenze fixní velikost (X a Y, resp. zeměpisná šířka a délka, případně Z jako čas), zbývající dimenze souboru mohou být neomezené délky. Datová část obsahuje samotná strukturovaná data.

5.2. Softwarová podpora

5.2.1. Programovací jazyky

UCAR - Unidata vyvinul do současné doby podporu formátu NetCDF pro několik programátorských rozhraní, konkrétně pro kompilované jazyky C, C++, Fortran (standard 77 a

90). Z interpretovaných jazyků lze k datům NetCDF přistupovat i skrze Javu, a skriptovací jazyky Matlab, Perl, Python, nebo Ruby.

5.2.2. Prohlížeče NetCDF

Nejrůznější nekomerční i licencované programy již podporují načítání a ukládání těchto souborů, jejich rastrovou či grafovou vizualizaci a některé matematické, statistické a analytické funkce. Jejich přehled včetně odkazů na oficiální stránky nebo zdrojové kódy je uveden v on-line dokumentaci Unidata [viz: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/software.html>].

Vedle vyvolávání multidimenzionálních dat ze souboru formátu NetCDF poskytují tyto aplikace také důležitý náhled na metadata, která v první řadě informují o vlastnostech dimenzí tohoto souboru, zejména jejich názvy, rozměry a formáty (měřítka) rozměrů.

Obr. 24 Metadata E-Obs, vizualizace v programu ncBrowse

Dimensions	
Name	Description
longitude	length = 470: (degrees_E)
latitude	length = 213: (degrees_N)
time	length = 20819: (days since 1950-01-01 00:00)

Attributes	
Name	Value
CDI	Climate Data Interface version 1.0.5
Conventions	CF-1.0
history	Tue Feb 12 19:19:08 2008: ncatted -a units,prcp,m,c,mm/day -a scale_factor,prcp,c,f,0.1 rr...
ENSEMBLES_ECAD_VER_NO	1.0
CDO	Climate Data Operators version 1.0.6 available from http://www.mpimet.mpg.de/cdo

Variables			
Name	Description	Dimensions	
prcp	(mm/day)	[time,latitude,longitude]	

Zdroj: Screenshot z programu ncBrowse, [<http://www.epic.noaa.gov/java/ncBrowse/>]

5.2.3. Nástroje pro analýzy dat NetCDF

Protože bylo rozhraní NetCDF vyvinuto v první řadě pro vědecké účely, je vyvíjena jeho softwarová podpora v první řadě pro univerzitně nejužívanější programové nástroje, které umožňují vícerozměrná pole dále zpracovávat (matematické a statistické analytické funkce) a přistupovat k nim jako k geoprosotorovým datům.

Pro maticové operace nad více rozměrnými daty NetCDF tak lze využít např. program **MATLAB** (*Matrix laboratory*), jenž pro vědeckotechnické výpočty využívá vlastní skriptovací jazyk (vzorové skripty viz např. link: http://jisao.washington.edu/data_sets/index.html), nebo on-line dokumentace NetCDF odkazuje na další nekomerčně či amatérsky vyvinuté funkce i „toolbox“).

Podporu NetCDF jako rastrového GIS formátu zajišťuje jeho implementace do knihovny **GDAL** (*Geospatial Data Abstraction Library*). Ze současných programů GIS formát NetCDF tak plně podporuje **GRASS GIS**, **QGIS** (GNU licence), **ArcGIS** (komerční, výrobce ESRI, od verze 8.3) a **Cadcorp SIS** (komerční, výrobce Cadcorp). Ostatní GIS tento formát dosud nepodporují. **Manifold System** však umožní načíst takto uložená data jako tabulku (pokud jde o jednodimenzionální data), rastr (pro 2D), nebo skupinu rastrů (3D) a pro načtení vybrané vrstvy NetCDF do GIS programů **MapInfo** a **Intergraph GeoMedia** lze obdobně využít konverzních programů (např. *Grid Translator Pro*, výrobce *Geomatic Systems*.)

Přímo pro klimatologické účely byla vyvinuta řada převážně nekomerčních produktů, umožňujících analýzu multidimenzionálních dat ve formátech NetCDF, GRIB, nebo HDF-SDS (t.j. jiné vícerozměrné rastrové formáty používané pro ukládání meteorologických dat.) Níže jsou uvedeny jen vybrané příklady.

Climate data operatos (CDO) je (podle *CDO Users's guide*) soustava metod, naprogramovaná v jazyce C a určená pro analýzu vícerozměrných modelů klimatických dat uložených ve formátu NetCDF. Po kompilaci distribuovaných zdrojových kódů lze jednotlivé metody volat z příkazového řádku, případně je možné skripty implementovat do vlastní aplikace.

CDO je vyvíjen německým institutem *Max-Planck Institute für Meteorologie* a jednotlivé programové skripty včetně dokumentace jsou volně přístupné prostřednictvím svých webových stránek od roku 2008 [<http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/software/cdo/>]. Ve verzi 1.2.1. z listopadu 2008 je obsaženo více než 200 metod pro manipulaci a analýzu modelu klimatických dat ve vícedimenzionálních gridech, z toho 34 funkcí představuje výpočet klimatologických indexů.

Climate data analysis tools (CDAT) [<http://www2-pcmdi.llnl.gov/cdat>] je objektivě orientovaná softwarová infrastruktura naprogramovaná v jazyce Python, která integruje soustavou programových balíčků pro správu gridových dat (*Climate data management system*), jejich analytické a matematické operace (*Numerical Python*) i vizualizaci (*Visualization and Control System*). Pro CDAT bylo vyvinuto i uživatelské grafické rozhraní – VCDAT. Tento nástroj je vyvíjen v Kalifornii v USA v rámci programu PCDMI (*Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison*).

Mezi další obdobné nástroje patří ještě například desktopový **Grid Analysis and Display System** (GrADS, [<http://www.iges.org/grads/>]), vyvíjený v *Center for Ocean-Land-Atmospheric Studies* (COLA) a *Institute of Global Environment and Society* (IGES) v americkém státě Maryland. A z řady dalších lze zmínit i balíčky klimatických analytických metod pro jazyk python **PyClimate** [<http://www.pyclimate.org/>] a

Scientific Python [<http://dirac.cnrs-orleans.fr/plone/software/scientificpython>]

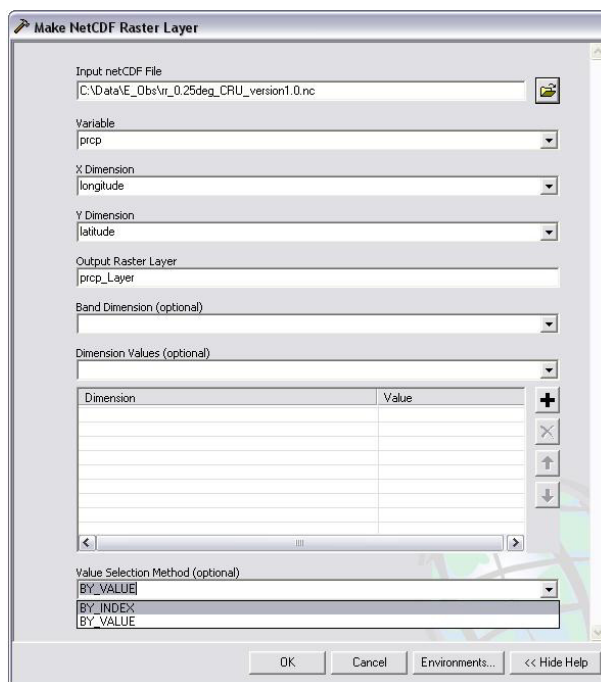
Algoritmické zpracování dat

V předchozích částech předkládané práce byla představena metodika pro detekování plošných srážkových anomálií, která bude aplikována na analytické hodnocení těchto událostí pro oblast střední Evropy. Byly rovněž srovnány klimatologické databáze a z nich zvolen datset E-Obs, na základě něhož bude tato analýza provedena v plné délce období, jež pokrývá (tj. 56 let). Vzhledem k dennímu rozlišení zpracovávaných dat bylo nutné celý metodický postup algoritmizovat tak, aby mohl být proveden inforatickými nástroji zcela automaticky, v efektivním čase, a aby bylo možné analytické výpočty provádět a srovnávat i při různém nastavení volitelných parametrů. Algoritmizaci tohoto postupu reprezentují nástroje programu *ESRI ArcGIS* pro práci s multidimenzionálními daty a pro rastrové analýzy a vlastní skripty v programovacím jazyce Python pro tento software. Dále jsou to pak makra v jazyce *Visual Basic for Application* (VBA), vložená do spread-sheetové aplikace *Microsoft Excel*. Tato kapitola souhrnně vysvětluje postup zpracování dat a popisuje pro tento účel vyvinuté nástroje, které jsou součástí přílohové části. Postup byl rozdělen do několika fází.

6.1. Extrakce dat NetCDF v ArcGIS

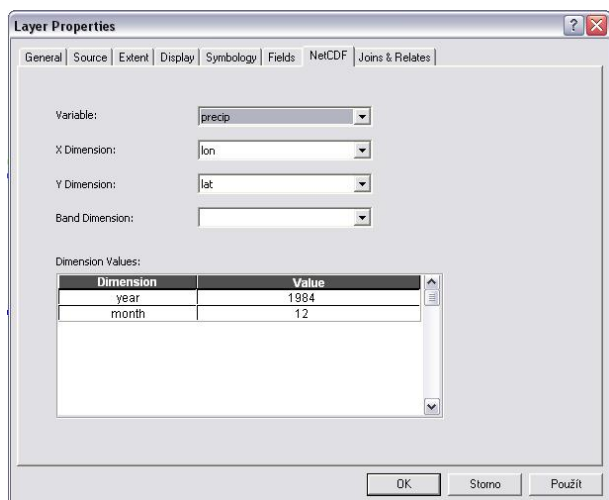
Datový soubor NetCDF není nahráván do modulu ArcMap přímo, ale s pomocí nástrojů *Multidimensional Tools* se vytvoří náhledová datová vrstva, skrze níž lze k datům přistupovat podle zvolené hodnoty třetí dimenze (zde času) jako k jedné samostatné vrstvě. Pro načtení rastrové vrstvy slouží funkce *Make NetCDF Raster Layer*. Vedle nastavení vstupních parametrů (dimenzí) lze zvolit i způsob pozdějšího vyvolávání vrstev souboru – buď podle hodnoty (tzn. datumu ve správném formátu) nebo podle indexu (tzn. čísla datové vrstvy, zde dne, vzestupně seřazeného a začínajícího 0; viz obr. 25) Po spuštění této funkce proběhne komunikace programu s rozhraním NetCDF a do okna otevřeného ArcMapu

Obr. 25 Načtení NetCDF rastru do prostředí ArcMap



(nástroj lze použít pouze pokud je okno otevřeno) je nahrána náhledová vrstva. Ve vlastnostech této vrstvy lze, kromě statistik a nastavení pro vizualizaci dat, volit na záložce NetCDF zobrazení třetí dimenze. V případě datasetu E-Obs je třetí dimenze určena pouze datumem (formát dd.mm.rrrr hh:mm:ss), jinak konstruovaná data, např. Dai a kol., 2008, však mohou vyvolávat náhled i na základě více dimenzí (nebo atributů popisujících třetí dimenzi, jako je i na obr. 26).

Obr. 26 Volba zobrazované dimenze (ArcMap)



V rámci této práce byly vytvořeny efektivnější nástroje pro práci s multidimenzionálním datovým formátem NetCDF distribuované databáze E-Obs. Funkce **EObs_NahledDne** umožňuje zobrazit jednu datovou vrstvu E-Obs (jeden den) podle zadaného datumu (parametry: den, měsíc rok). Funkce nejprve převede datum na index dne (pořadí) a následně volá metodu ArcGIS *SelectByDimension* podle čísla dne. Stejného algoritmu využívá i funkce **EObs_NáhledDni**, která je cyklická a umožňuje zobrazit sekvenci po sobě jdoucích dní. (Pro tuto funkci je třeba do ArcMapu načíst více náhledových vrstev, např. stačí jen rozkopírovat původní. Poslední znaky názvu těchto vrstev musí obsahovat vzestupné číslování, např. den1, den2, den3 atd.).

Pro extrakci rastrových dat do referenčních ploch (výpočet *zonálních statistik*) byla vytvořena funkce **EObs_DenZonalStat**. Tato funkce opakovaně načítá po sobě jdoucí dny do jedné náhledové vrstvy, po každém načtení na tuto vrstvu vyvolá ArcGIS metodu extenze *Spatial Analyst* - funkci *Zonal Statistics Table*, jejímž výstupem je informační tabulka (dbf) s vypočtenou popisnou statistikou pro vektorově (nebo rastrově) definované plochy. Ty jsou jedním ze vstupních parametrů vytvořené funkce. Vytvářené dbf tabulky se ukládají do zvolené složky, přičemž do jejich názvu je před koncovku vkládáno číslo dne. Každá referenční plocha je reprezentována samostatným řádkem v tabulce.

6.2. Zpracování statistických dat referenčních ploch

K detekování srážkových anomálií v časových řadách pro referenční plochy bylo využito VBA maker v prostředí *Microsoft Excel*. Algoritmus tohoto zpracování je rozdělen do čtyř kroků. Vstupní parametry jsou v dialogových oknech vyžadovány po spuštění funkce, lze je však zadat i do vyhrazených buněk na parametřovém listě.

Prvním krokem je samotné načtení výstupních dat z analytické funkce GIS pro výpočet *zonálních statistik* v referenčních plochách do jedné databáze (zde ve formě excelovské tabulky). Jednotlivé řádky představují dny, sloupce pak obsahují časové řady pro příslušné referenční plochy.

V druhém kroku jsou referenční řady převedeny na relativní odchylky od průměru (podíl denní hodnoty na průměru za celé sledované období).

Třetí krok prochází každou z časových řad (v relativním vyjádření) a dle nastavených parametrů ji hodnotí. V případě, že je srážkový úhrn některého z dní klasifikován jako anomální událost, nebo je délka po sobě jdoucích srážkových dní nadlimitní, provede algoritmus významové ohodnocení všech dní, které v dané řadě náleží do anomální události (tzn. všechny po sobě jdoucí dny se srážkami v případě vlhkých anomálií a všechny po sobě jdoucí bezsrážkové dny pro dlouhodobá sucha). V případě intenzivních anomálií odpovídá významové ohodnocení 10 násobku příslušné denní odchylky od průměru, navýšené o tuto hodnotu z předchozího dne. V případě dlouhodobých anomálií je význam stanoven aktuální délkou události.

V posledním kroku se do sloupců následujících sloupce významových ohodnocení (zvláště je počítáno hodnocení intenzivních a dlouhodobých anomálií) vypočte jejich celkový součet. Tento součet je vážený rozlohami referenčních ploch, ke kterým řady přísluší. (Plocha průměrné rozlohy má váhu 1, plochy větších rozloh mají váhu vyšší přímo úměrně rozloze. Z časového hlediska je efektivnější tento výpočet provést v *Excelu* vzorcem, než makrem.). Na základě prahového významového hodnocení pro součet významu (lze stanovit např. z grafu významového hodnocení, viz obr. 34) jsou třetím makrem v pořadí hledány plošné anomálie.

V příloze jsou makra využita také pro automatické vykreslování grafů průběhu anomálií.

Obr. 27 Volitelné parametry při algoritmickém zpracování referenčních řad

PARAMETRY JEDNOTLIVÝCH KROKŮ

1 VYTVOŘENÍ ČASOVÝCH ŘAD Z DBF SOUBORŮ

CESTA K DBF SOUBORŮM
F:\Dokumenty\Diplomka\Data\DBF\

ČÍSLO PRVÍHO DNE 100000 DATUM PRVÍHO DNE 1.1.1950

POČET OBLASTÍ 16 POSLEDNÍ DEN 31.12.2006

POČET DŮ 20819

VYPLŇUJ OD ŘÁDKU 2

ZÁJMOVÝ SLOUPEC H

Sestav časové řady

3 ZHODNOCENÍ SOUČTOVÝCH ŘAD - HLEDÁNÍ ANOMÁLIÍ

POČET DŮ 20819

POČET OBLASTÍ 16

Hledej anomálie

VLHKÉ ANOMÁLIE
Limit indikující extrémní, např. přívalový úhrn.
průměrný počet opakování jednou za ... dní
1825 5 letá srážka
tzn. ... % v jedné řadě to odpovídá 0.05% 12.0343 n-násobku průměru

Limit indikující dlouhodobou srážkovou událost.
[vyjadřuje počet po sobě jdoucích dní se srážkami]
od 25 . dne včetně

SUCHÉ ANOMÁLIE
Limit indikující dlouhodobé sucho
[vyjadřuje počet po sobě jdoucích dní bez srážek]
14

4 ZHODNOCENÍ ANOMÁLIÍ - HLEDÁNÍ PLOŠNÉ VÝZNAMNÝCH

PLOŠNÉ VÝZNAMNÉ ANOMÁLIE - součet bodových ohodnocení

pro intenzivní vlhkou anomálii 3000 bodů

pro dlouhodobou vlhkou anomálii 200 bodů

pro dlouhodobou suchou anomálii 106 bodů

Hledej plošné anomálie

Počet nalzených vlhkých anomálií: 12

Počet nalzených dlouhodobých vlhkých anomálií: 6

Počet nalzených suchých anomálií: 11

6.3. Prostorové hodnocení srážkových anomálií

Každá z detekovaných srážkových anomálií byla prostorově modelována navrženými modely, jejichž přehled, výpočet i názorné ukázky jsou obsaženy v osmé kapitole, část 8.2. Tyto modely srážkových anomálií představují rastrové (příp. textové) výstupy analytických nástrojů extenze *Spatial Analyst* programu ArcGIS (ve verzi 9.2.). Jedná se o funkce

Cell Statistic – ze soustavy vstupních rastrů o stejném prostorovém rozlišení vytvoří novou rastrovou vrstvu, představující zvolené popisné statistiky (součet, průměr, směrodatná odchylka, minimum, maximum, medián, rozpětí a počet odlišných hodnot), vypočtené samostatně pro polohu každé buňky.

Greater Than Frequency – funkce prochází soustavou vstupních rastrů o stejném prostorovém rozlišení a hodnotí kolikrát byl v každém bodě (poloze buňky) překročen prahový limit. Výstupem funkce je nový rastr, prahovým limitem může být rovněž rastrová vrstva. Zde byla tato limitní vrstva vyjádřena jako 12 násobek průměrného srážkového úhrnu v jednotlivých referenčních plochách.

Principal Component Analyses – je nástroj, který vstupní rastrová data lineárně transformuje do nových vrstev, tzv. hlavních komponent tak, aby došlo k odstranění redundancí ve vstupních datech a minimální počet nových souborů vysvětloval maximální část celkové variability vstupních dat. Výstupem jsou nové rastrové soubory (maximálně stejný počet jako vstupních) a textový dokument, obsahující matici korelace, matici kovariance, vlastní hodnoty komponent a matici vlastních vektorů.

Referenční území a časové řady

Analytická část této práce si klade za cíl vymodelovat, charakterizovat a zhodnotit dlouhodobé změny v prostorovém uspořádání anomálních srážkových úhrnů. Vybraná databáze E-Obs i zvolené, výše představené metodické postupy geoinformatického modelování srážkových anomálií a jejich algoritmická a technická řešení jsou použita pro zpracování extrémních srážkových událostí pro oblast střední Evropy za období 1950 – 2006. Řešená oblast a referenční časové řady jsou představeny v následujícím textu této kapitoly, modelům srážkových anomálií je věnována následující kapitola.

7.1. Měřítko práce

V prvních fázích metodické i technické přípravy práce byly srážkové anomálie hledány jen v sezónních a měsíčních úhrnech přibližně třicetiletých období (např. i v bakalářské práci [Kafka, 2006](#)). Vzhledem k relativně krátkodobé povaze většiny srážkových epizod se však ukázalo, že významnější prostorové souvislosti může odhalit teprve podrobnější časové měřítko analýzy. Tato studie je proto řešena v časovém kroku **denních dat**. Uvážíme-li dále signifikantní změny v chování zemského klimatu v posledních několika dekadách let, bylo rovněž žádoucí hledat změny v prostorové a časové variabilitě napříč delším historickému úseku. Proto je práce realizována nad daty **56 let** dlouhého období.

Prostorové rozlišení analytických úloh je stanoveno použitým datovým rastrovým modelem o velikosti buňky přibližně **25 × 25 km** (konkrétně $0,25^\circ \times 0,25^\circ$), které je pro prostorové analýzy řešeného území, o celkové rozloze přibližně **725 tis. km²**, postačující.

Jenom pro představu, při tomto časovém a prostorovém měřítku práce vstupuje jen do analýzy přibližně **30 mil. hodnot**, charakterizujících vývoj srážkových úhrnů řešené oblasti.

7.2. Datový model

Pro analýzu denních srážkových úhrnů byl jako nejvhodnější datový zdroj vybrán dataset *Ensembles gridded observational dataset* (E-Obs) v distribuované verzi 1.1., který představuje vícedimenzionální rastrové uložení extrapolovaných dat denních úhrnů ve vysokém rozlišení. Při délce časové řady 56 let tento model čítá téměř 21 tis. hodnot denních srážkových úhrnů pro každou buňku rastru. Podrobně byl představen v samostatné kapitole (kap. 4).

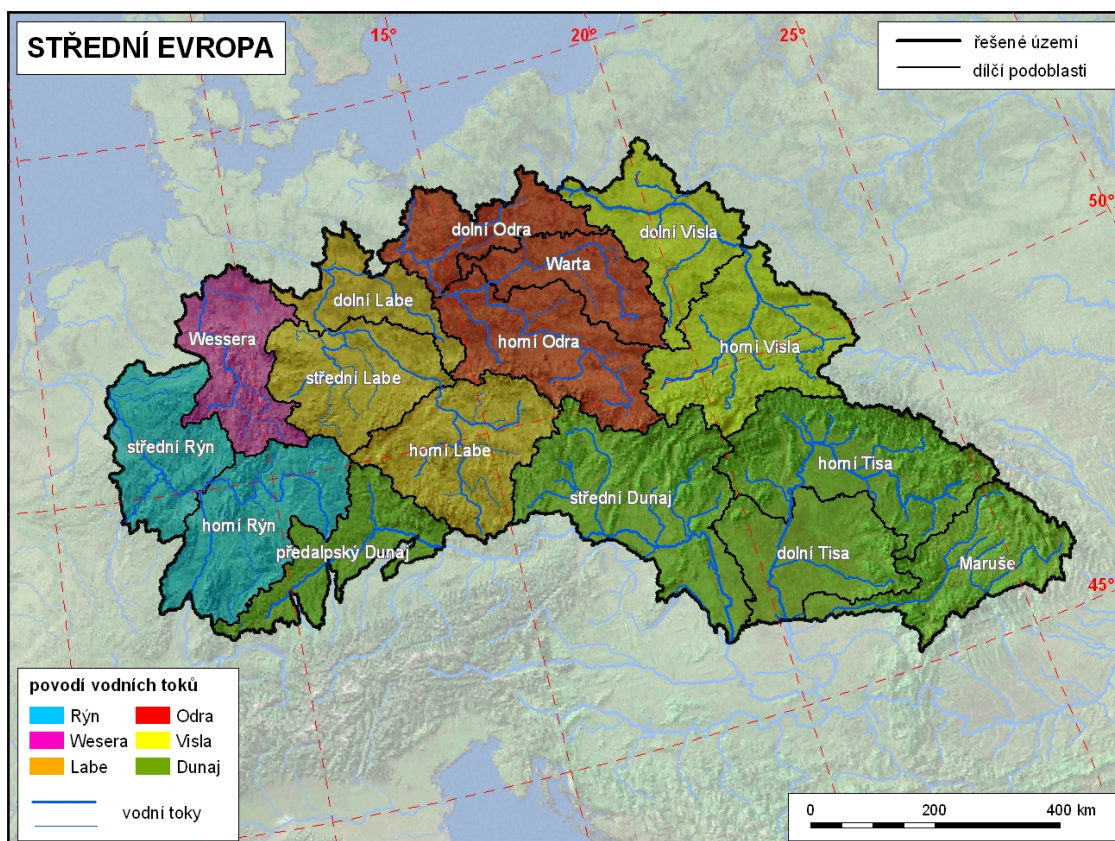
7.3. Řešené území

Řešené území představuje oblast střední Evropy, má rozlohu přibližně 0,72 mil. km² a rozkládá se na povodích vodních toků Rýn, Wesera, Labe, Dunaj, Odra a Visla.

Pro potřeby analytického hodnocení srážkových událostí v této oblasti bylo území rozčleněno do šestnácti dílčích podoblastí – referenčních ploch, ke kterým byly z datového modelu vypočteny časové řady. Vymezení těchto podoblastí proběhlo nad hydrologickými povodími významných evropských vodních toků. Rozlohy dílčích podoblastí se pohybují v rozmezí 25 – 75 tis. km², největší oblastí je střední Dunaj, nejmenší dolní Labe. Názvy všech podoblastí jsou odvozeny od vodního toku, který oblast odvodňuje. Graficky je řešené území a vymezení dílčích podoblastí znázorněno na obr. 28.

Původní vektorová data pro hydrologická povodí (před jejich sloučením) pochází ze serveru *European Environment Agency* (EEA) [<http://www.eea.europa.eu/>]. Datová vrstva byla publikována pod názvem „*European river catchments*“ v září 2008 a je volně dostupná v sekci Dataservice [<http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/> - staženo v listopadu 2008].

Obr. 28 Vymezení dílčích podoblastí řešeného území



Zdroj: Autor, s využitím dat EEA

7.4. Referenční časové řady

Nad datasetem E-Obs byly pro každou dílčí podoblast zkonstruovány časové řady srážkových úhrnů. K tomuto bylo využito programu ESRI ArcGIS, který pomocí vytvořeného jednoduchého skriptu (python) umožňuje opakovaně provádět výpočet „zónálních statistik“ rastru. Zde konkrétně je tímto nástrojem myšlena funkce „Zonal Statistic As Table“. Funkce prochází rastrem buňku po buňce v polygonem (nebo rastrem) vymezené oblasti a provádí pro danou oblast výpočet základní popisné statistiky jako je celkový součet, průměr, minimum, maximum, medián, nejčtenější a nejméně četná hodnota, rozptyl a standardní odchylka. Výstupem je souhrnná (dbf) tabulka.

Takto zjištěná statistická data denních srážkových úhrnů pro každou podoblast lze graficky znázornit spojenými grafy.

1. součtová řada (S) – je vyjádřena jako rozdíl aktuální hodnoty (D_i) od průměru (D_x), podělený průměrem a navýšený o tuto hodnotu, vypočtenou pro předcházející den:

$$S_i = \frac{D_i - D_x}{D_x} + S_{i-1}$$

- Pokud je srážkový úhrn roven průměru, hodnota S_i nabývá hodnot 0.
- Když je aktuální hodnota $D_i = 0$ (tj. den beze srážek), S_i klesá o hodnotu -1.
- Časová řada začíná i končí ve stejné hodnotě.
- Není podmíněno, že maxima a minima řady znamenají extrémní událost.

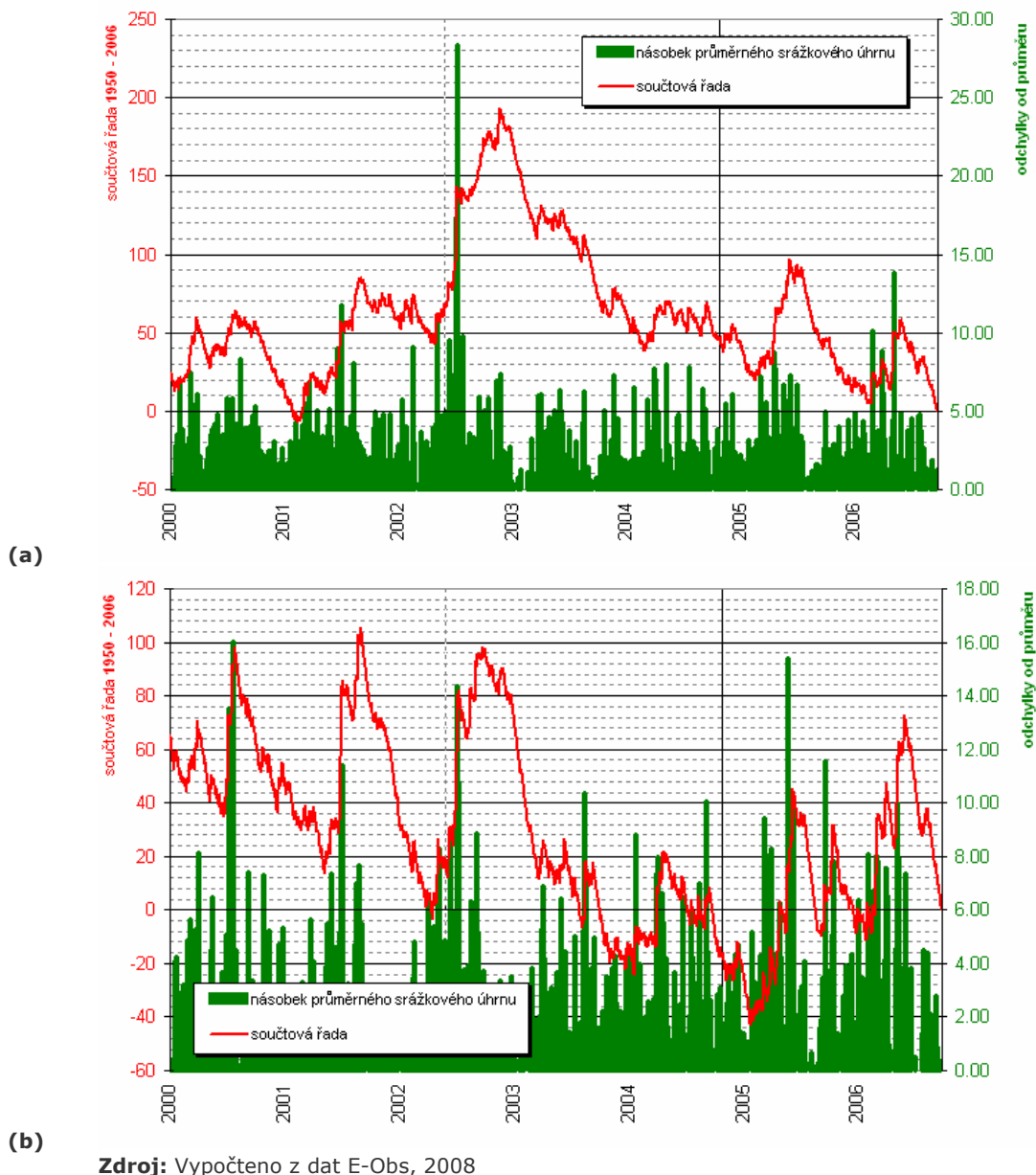
2. relativní odchylky od průměru (ROP) – jsou vyjádřeny jako násobky průměrného úhrnu:

$$ROP = \frac{D_i}{D_x}$$

- Pokud je srážkový úhrn roven průměru, hodnota ROP je rovna 1.
- V bezsrážkovém dni je ROP nulové.
- Největší lokální maxima řady představují extrémní události, v případě denních srážkových úhrnů v řešené oblasti nelze očekávat globální minimum řady.

Grafy a, b na obrázku 29 demonstrují průběhy obou časových řad v úseku posledního sedmiletí sledovaného období (1950 – 2006) pro dvě vybrané oblasti. Extrémní srážkové úhrny indikují výrazné odchylky od dlouhodobého průměru a skokové nárůsty grafu součtové řady. Délky srážkových epizod vymezují v tomto měřítku přehledněji rostoucí úseky grafu součtové řady než nenulové odchylky od průměru, stejně tak suché události zde lépe vystihují klesající úseky součtové řady. Grafy ROP naopak lépe prezentují intenzitu extrémního srážkového úhrnu.

Obr. 29 Časové řady 2000 – 2006 v oblasti horní Labe (a) a střední Dunaj (b)



Za **anomálie referenčních řad** jsou považovány tři typy událostí:

- Limit, který indikuje událost **vlhké srážkové anomálie**, byl stanoven jako nejmenší průměrná **5-letá odchylka** od průměru ze zkoumaných referenčních řad. Pokud k tomuto překročení dojde, jsou pak za epizodu srážkové anomálie považovány všechny srážkové dny, které tomuto dni předcházely i po něm následovaly.
- Pokud je v referenční řadě dlouhodobý úsek nepřetržitých srážkových dní, jedná se o **dlouhodobou vlhkou anomálii**. Délka tohoto úseku byla stanovena pravděpodobností výskytu méně než 1 % v datovém souboru jako 25 dní.

- c) Pokud je v referenční řadě dlouhodobý úsek bezsrážkových dní, jedná se o **suché anomální období**. Délka tohoto úseku byla stanovena pravděpodobností výskytu méně než 1 % v datovém souboru jako 14 dní.

7.5. Vlastnosti řešeného území, širší souvislosti

Tvorba srážek je ve středoevropském prostoru silně podmíněna výškopisnými charakteristikami území, částečný vliv lze v některých oblastech přisuzovat i vzdálenosti od moře ve směru převládajícího proudění vzduchových hmot. Extrémní projevy srážkové činnosti jsou bezpochyby častou příčinou povodňové aktivity na evropských vodních tocích. Spíše pro komplexnější geografickou představu o zkoumaném území jsou tyto jeho vlastnosti znázorněny v následujícím grafickém přehledu.

7.5.1. Výškopis

Reliéf, resp. jeho výšková členitost, má významný vliv na tvorbu srážek (orograficky podmíněné srážky). Volba zájmového území proto probíhala i s ohledem na morfologické vlastnosti reliéfu, maximální nadmořské výšky (přes 2000 m n.m.) jsou dosahovány jen při jihovýchodních hranicích v Karpatském oblouku a v Západních Karpatech, celkově však lze území z hlediska výškopisu považovat za poměrně homogenní celek.

7.5.2. Vzdálenost od moře

Vzhledem ke své poloze na rozvodí tří umoří se naprostá většina hodnocené oblasti rozkládá ve vzdálenosti do 500 km od nejbližšího moře. Hranice posuzovaného území nedosahuje mořské pobřežní čáry, největší část území má nejbliže k Baltskému moři, většina jeho jižní části je nejbliže k Jaderskému moři.

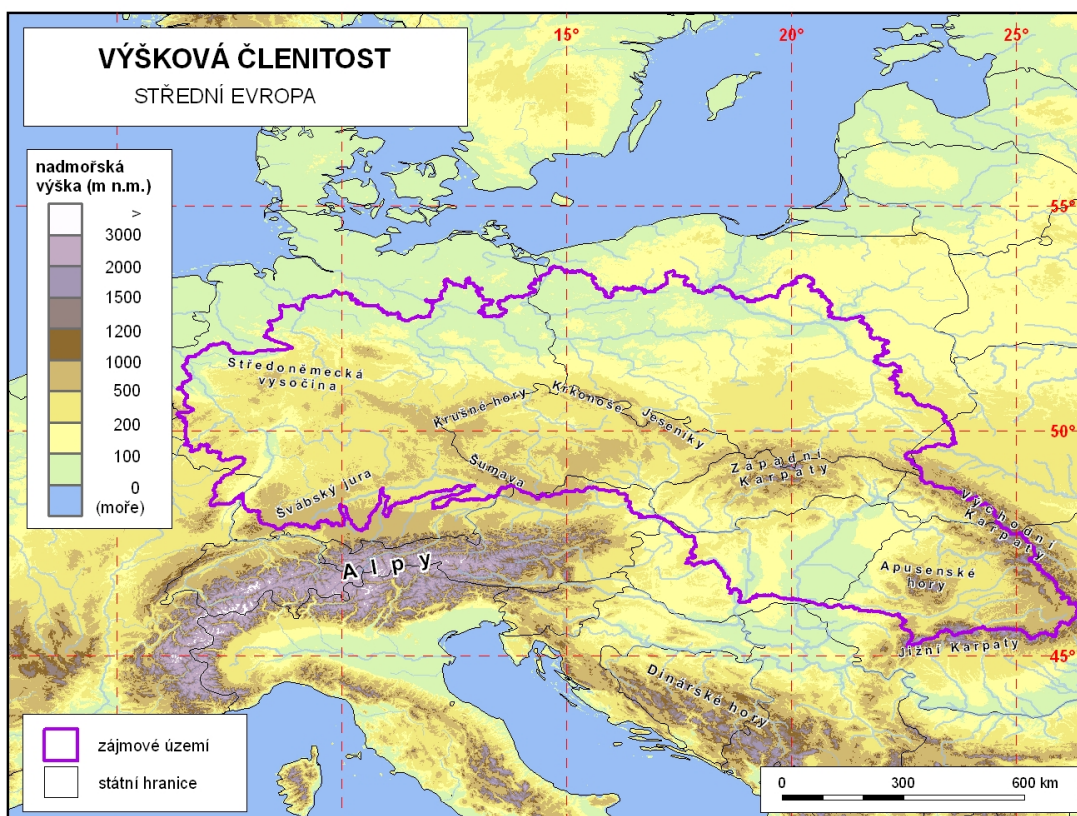
7.5.3. Průměrný srážkový úhrn

Průměrný roční srážkový úhrn se v řešeném území pohybuje mezi 490 -1500 mm, avšak vysoké průměry (nad 1000 mm) jsou dosahovány jen lokálně ve vyšších partiích horských celků.

7.5.4. Povodňová aktivita

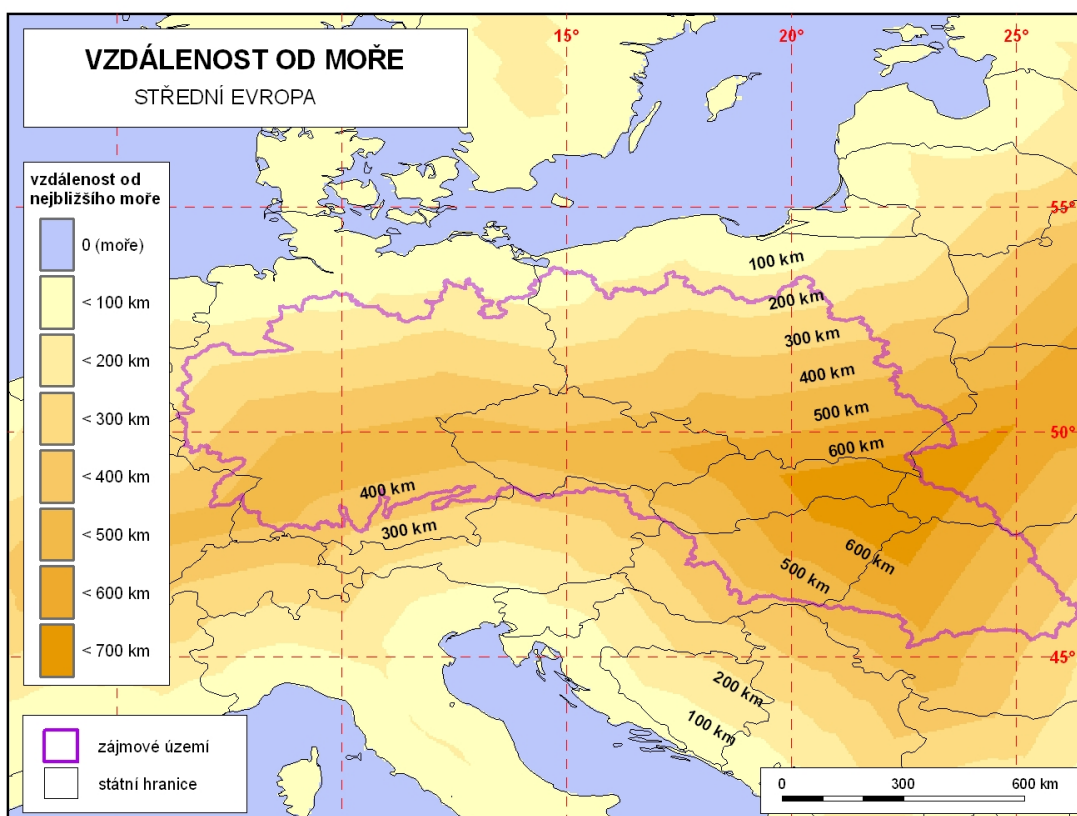
Data o povodňové aktivitě pochází ze serveru *Dartmouth Flood Observatory* [<http://www.dartmouth.edu/~floods/>, vektorový formát pro gis software MapINFO], kde jsou zmapovány plochy, postižené povodňovými událostmi od roku 1985 do roku 2007. Byly zjištěny společné průniky těchto ploch a jejich počet (obr. 33). Z této mapy je zřejmé, že alespoň jedna povodňová událost se týkala prakticky celého řešeného území, nejčastěji byl povodňový stav zaznamenán v jihovýchodní části hodnoceného území (až 16 povodní), na horním toku Rýna a v povodí Moravy.

Obr. 30 Výšková členitost střední Evropy



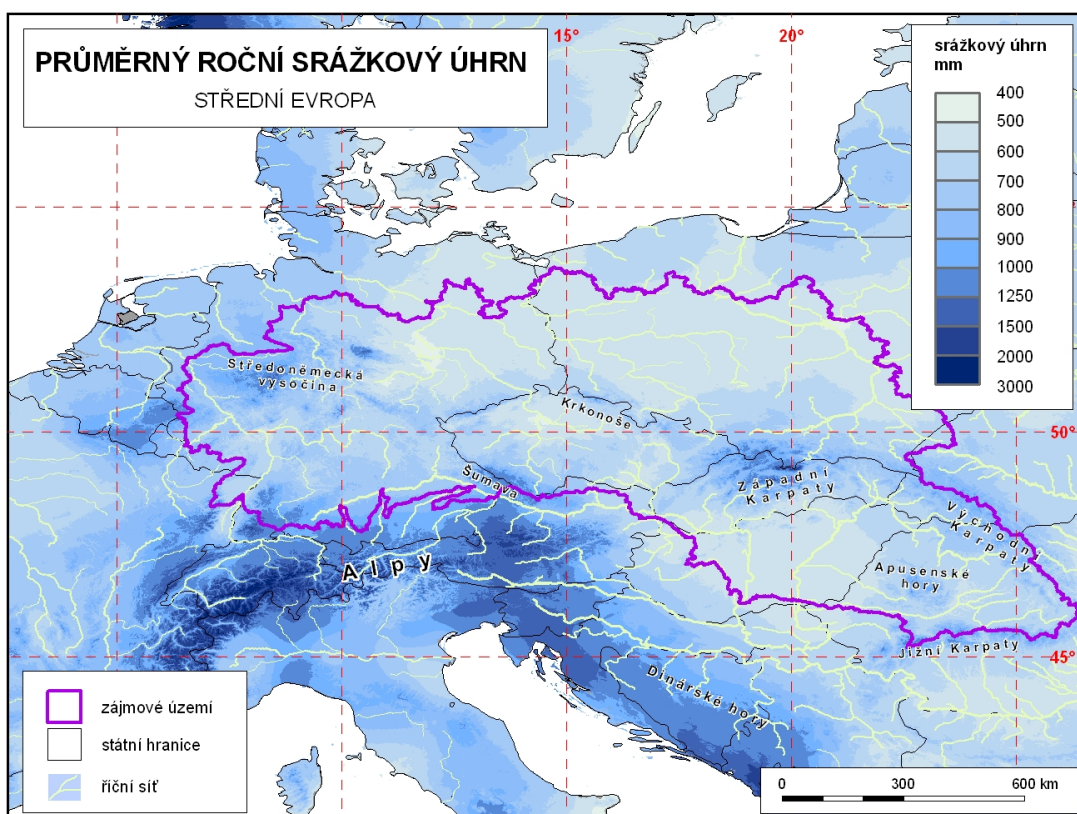
Zdroj: Autor, výšková členitost z dat EDIT Geoplatform [<http://edit.csic.es/> - listopad 2009]

Obr. 31 Vzdálenost od moře pro středoevropský prostor



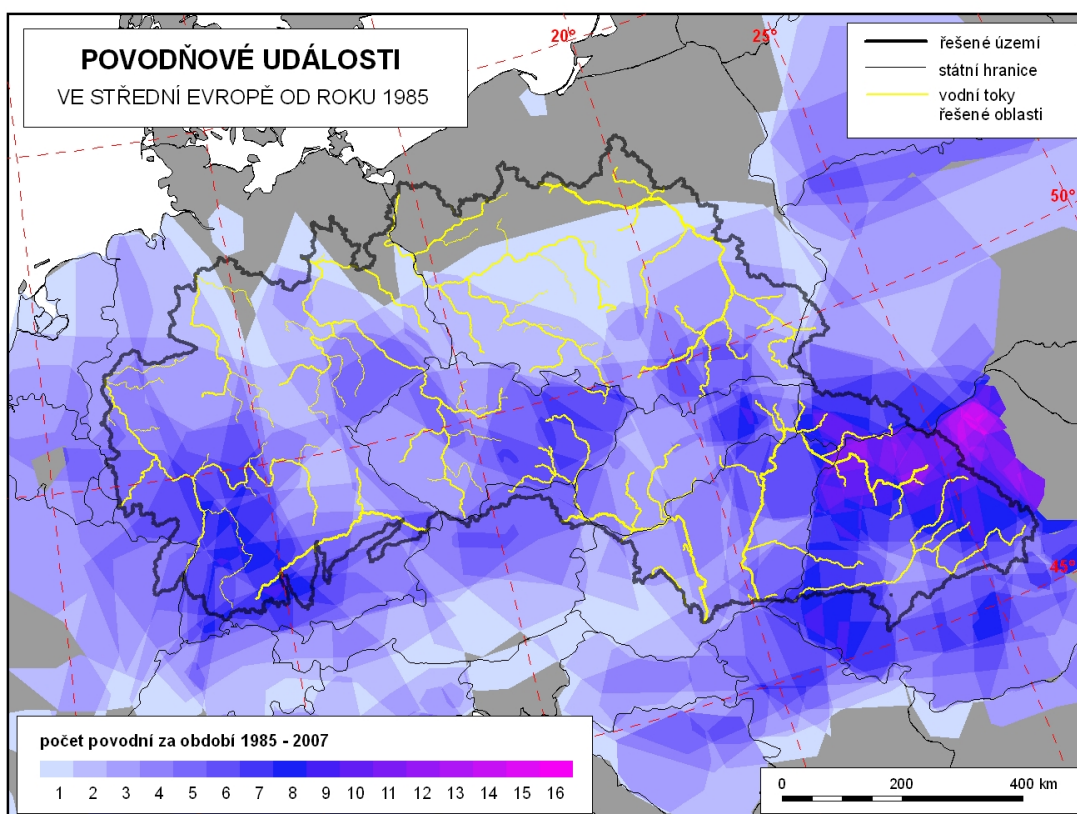
Zdroj: Autor, vzdálenost od oceánu z dat EDIT Geoplatform [<http://edit.csic.es/> - listopad 2009]

Obr. 32 Průměrný roční srážkový úhrn ve střední Evropě



Zdroj: Autor, srážkový úhrn z Worldclim - EDIT Geoplatform [BIO12, <http://edit.csic.es/> - listopad 2009]

Obr. 33 Povodňové události ve střední Evropě (1985 – 2007)



Zdroj: Autor na základě dat Dartmouth Flood Observatory

Modelování srážkových anomálií ve střední Evropě

Modelování srážkových anomálií je rozřazováno do několika kroků. Prvním krokem bylo samotné vytvoření referenčních časových řad pro dílčí oblasti posuzovaného území (viz. 2. kap., část 2.3.2.). Následující postup pak nejprve detekoval anomálie časových řad, provedl jejich klasifikaci, vypočetl významové ohodnocení a rozhodl o jejich prostorovém významu. Z denních srážkových úhrnů každého dne trvání anomálie pak byly pro jednotlivé anomálie sestaveny komplexní modely, díky nimž lze u těchto událostí charakterizovat jejich prostorové vlastnosti, vzájemně je srovnávat a srovnávat s jinými geografickými datovými vrstvami.

8.1. Detekování plošné anomálie v časové řadě

8.1.1. Vlhké srážkové anomálie

Všechny srážkové události byly pro každou z dílčích oblastí zhodnoceny relativní intenzitou srážkového úhrnu a délkou srážkových period. Hodnocení udává významový koeficient. Celá srážková epizoda je charakterizována součtovou řadou (součtovým indexem) tohoto koeficientu, což znamená, že s délkou trvání tento index narůstá o hodnoty předešlých dní. Hodnocená srážková událost začíná po posledním nejbližším bezesrážkovým dnem před překročením limitu a končí nejbližším dnem beze srážek po přivalovém úhrnu. Plošně významná anomálie je stanovena prahovým limitem pro celkový součet významového indexu jednotlivých referenčních řad. Stanovení tohoto limitu je znázorněno graficky na obr. 34.

Dlouhodobé srážkové anomálie jsou určeny počtem po sobě jdoucích srážkových dní, přičemž každý den je ohodnocen 1 b. Pro dílčí oblasti je rovněž počítána součtová řada tohoto hodnocení a plošně významnou anomálii určuje překročení prahové hodnoty pro součet hodnotícího indexu referenčních řad.

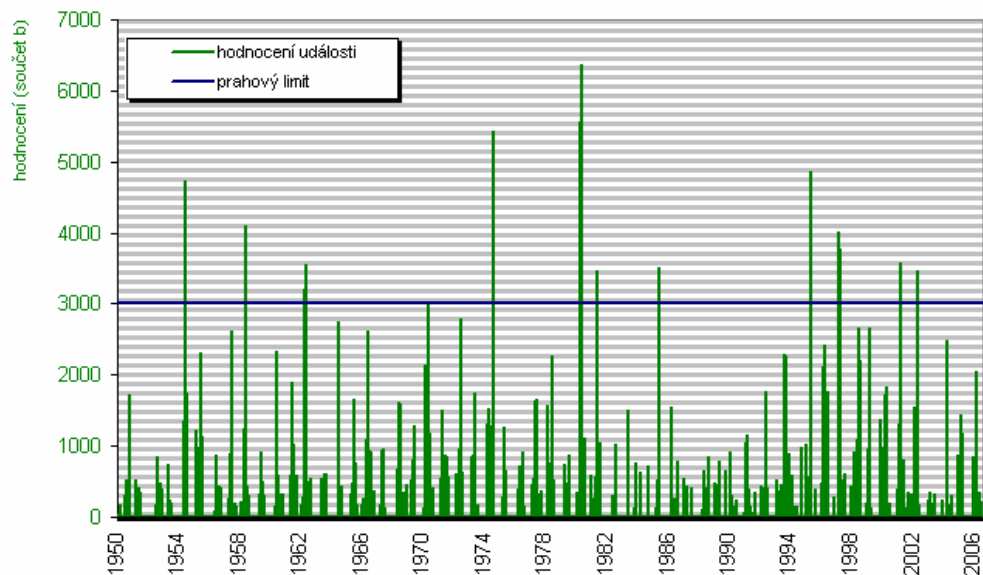
Tab. 3 Limity pro vlhké srážkové anomálie

INDEX	POPIS	HODNOTA INDEXU	LIMIT ANOMÁLIE	VÝZNAMOVÉ HODNOCENÍ	LIMIT PRO PLOŠNOU ANOMÁLIÍ
I ₁	Přivalový úhrn	D_i / D_x	12	$I_1 \times 10 \text{ b}$	$\geq 3000 \text{ b}$
I ₂	Srážkový den anomálie	D_i / D_x	$D_i > 0$	$I_1 \times 10 \text{ b}$	
I ₃	Dlouhodobé srážky	i	$i > 14$	+ 1 b za každý den (i)	$\geq 200 \text{ b}$

Pozn.: D_i = denní srážkový úhrn, D_x = průměrný denní srážkový úhrn, i = pořadí dne souvislých srážek

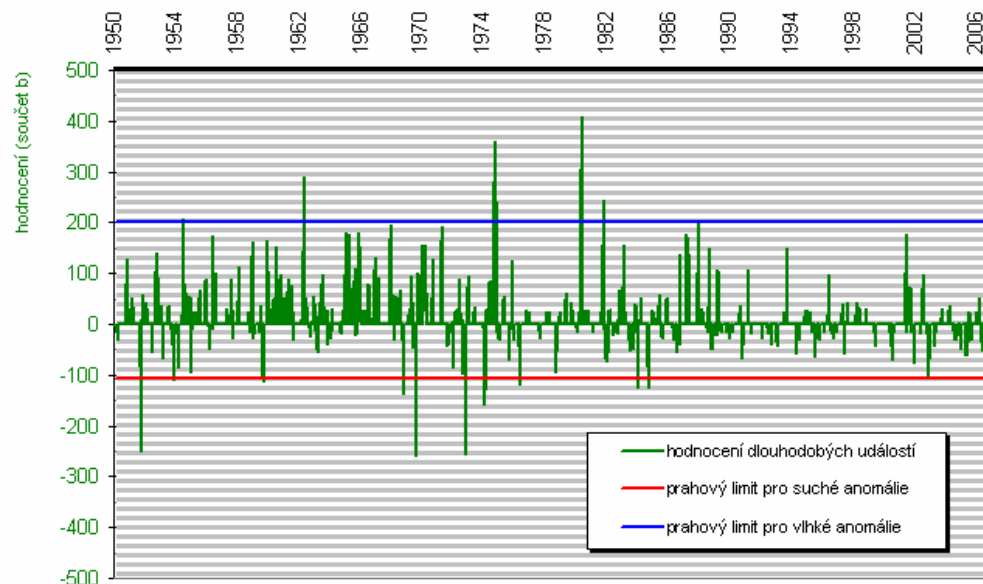
Tímto parametrickým postupem bylo v časových řadách dílčích povodí odhaleno celkem 48 (horní Tisa) až 87 (dolní Visla) srážkových událostí s výjimečným srážkovým úhrnem, z toho se počet „pouze dlouhodobých“ anomálií pohybuje v rozmezí 4 (Warta) až 50 (střední Rýn).

Obr. 34 Graf souhrnného hodnocení a limit pro vlhké srážkové anomálie



Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

Obr. 35 Graf souhrnného hodnocení a limit pro dlouhodobé srážkové anomálie



Pozn.: Hodnocení dlouhodobých such je v grafu znázorněno se záporným znaménkem

Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

Při prahové hodnotě překročení 3000 b., resp. 200 b. pro součet denních hodnocení všech šestnácti povodí bylo označeno celkem 12 událostí jako vlhké srážkové anomálie a 6 událostí jako dlouhodobé vlhké anomálie. Z těchto dlouhodobých anomálií jsou čtyři události současně klasifikovány i jako anomálie intenzivních úhrnů. Pouze tyto detekované anomálie byly v dalším postupu práce prostorově modelovány a analyzovány.

8.1.2. Suché srážkové anomálie

Suché srážkové anomálie v časové řadě denních úhrnů indikuje počet po sobě jdoucích dní beze srážek a hodnocení těchto epizod je analogické k hodnocení dlouhodobých srážkových anomálií – každý den dlouhodobého sucha je ohodnocen koeficientem předchozího dne, nevyšším o jeden bod. Epizoda začíná prvním bezsrážkovým dnem (koeficient je roven 1) a končí posledním dnem beze srážek (hodnota koeficientu představuje celkový počet dní.)

Tab. 4 Limity pro suché srážkové anomálie

INDEX	POPIS	HODNOTA INDEXU	LIMIT ANOMÁLIE	VÝZNAMOVÉ HODNOCENÍ	LIMIT PRO PLOŠNOU ANOMÁLIÍ
I ₄	Dlouhodobé sucho	j	14	+ 1 b za každý den (j)	≥ 107 b

Pozn.: j = pořadí dne souvislého bezsrážkového období

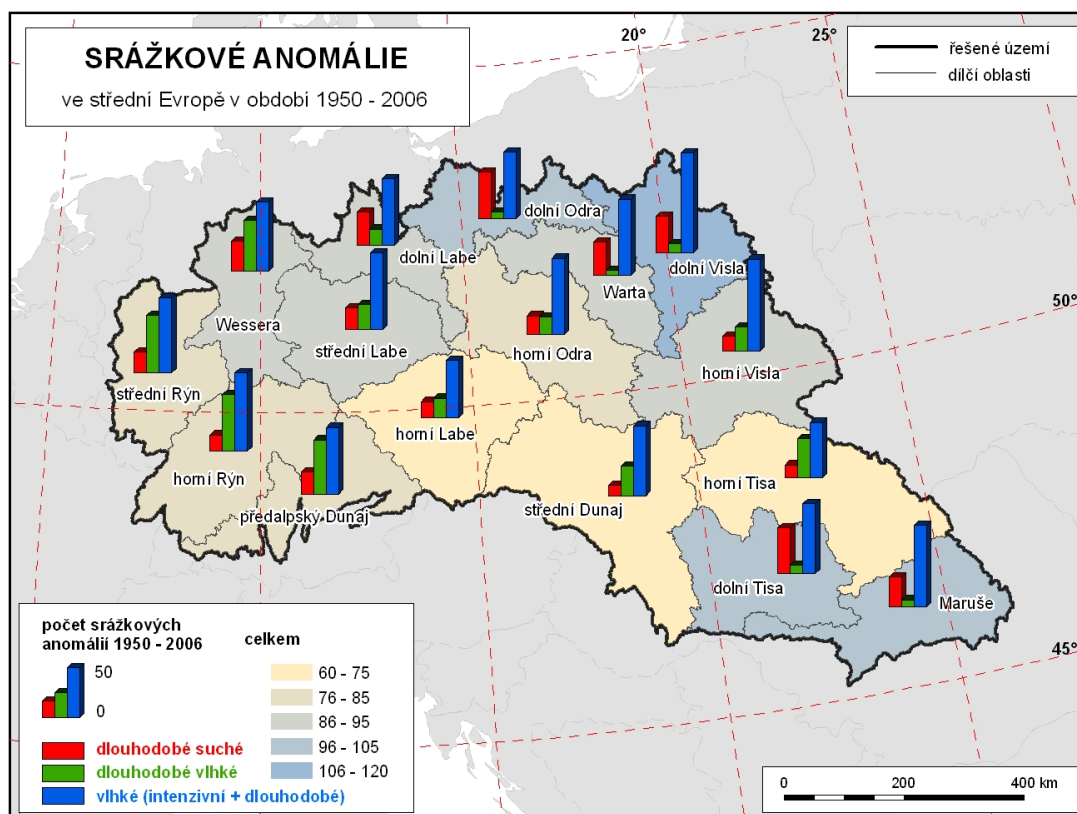
Těmito limity bylo v posuzovaném území nalezeno 9 (střední Dunaj) až 41 (dolní Odra) výjimečných událostí, představujících dlouhodobé sucho v každé z dílčích oblastí.

Pro součet denních významových ohodnocení všech dílčích oblastí byl stanoven limit 107 b, který indikuje pro celou řešenou oblast plošně významné sucho (viz graf na obr. 35). Touto prahovou hodnotou bylo ve sledovaném období zjištěno celkem 9 suchých anomálií, které byly dále hodnoceny z hlediska svých časoprostorových charakteristik.

8.1.3. Detekované anomálie

Následující kartogram souhrnně prezentuje dosažené výsledky hodnocení anomálií v referenčních řadách. Nejvíce anomálních událostí je detekováno v severovýchodní a jihovýchodní části řešeného území, kde silně převládají anomálie z intenzivních dešťů nad dlouhodobými vlhkými anomáliemi a současně zde byl identifikován i největší výskyt suchých anomálií. V západní části zkoumaného území dominují dlouhodobé vlhké anomálie. V centrální části je počet dlouhodobých anomálií vyrovnán (kolem 20ti za 56 leté období), anomálie z intenzivních srážek převažují (přibližně dvojnásobně.)

Obr. 36 Srážkové anomálie v dílčích oblastech



Zdroj: Autor, vypočteno nad daty E-Obs

8.2. Modely srážkových anomálií

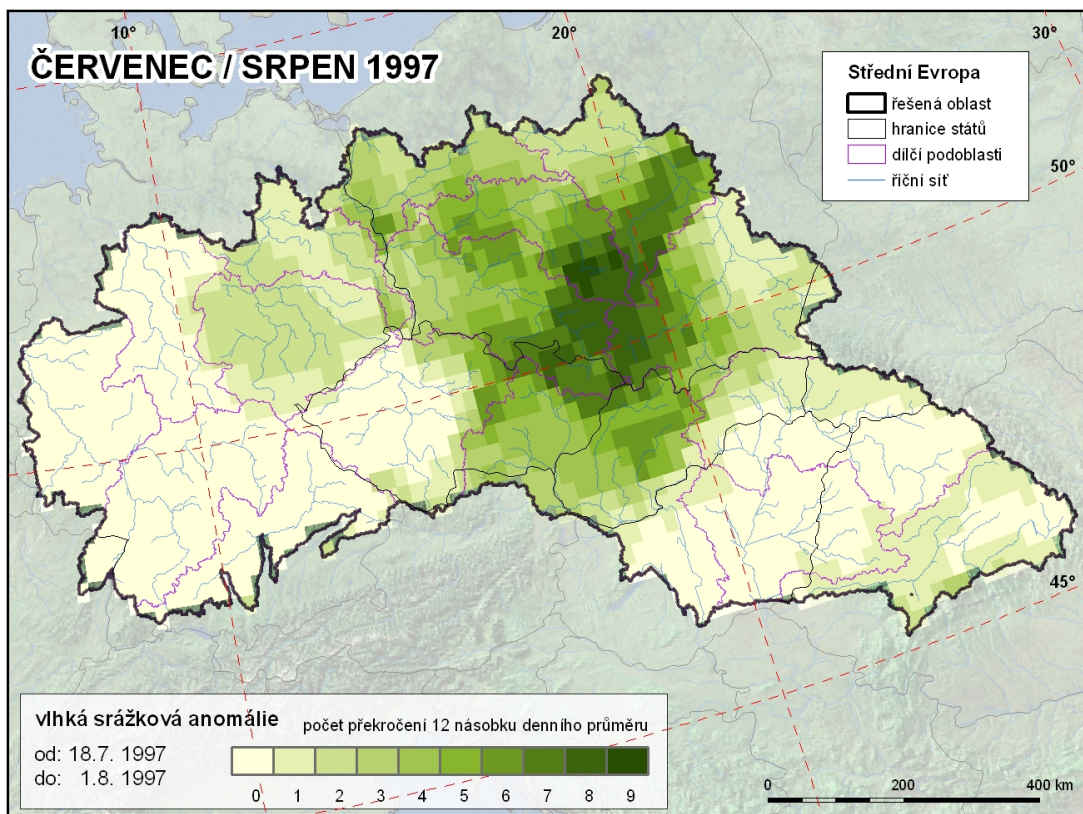
Modely suchých i vlhkých srážkových událostí byly vytvářeny s využitím analytických nástrojů GIS. Cílem těchto modelů je co nejvýstižnější zjednodušení několikadenních srážkových úhrnů do jedné souhrnné mapy, která umožní extrémní epizody prostorově charakterizovat a vzájemně srovnávat.

8.2.1. Vlhké srážkové anomálie

Byly vytvořeny tři rastrové modely pro vlhké srážkové anomálie s využitím nástrojů softwaru ArcGIS (ESRI) a jeho extenze *Spatial Analyst*. Prvním model představují „*Plochy překročení limitu*“, druhým modelem je „*Součtová mapa srážkového úhrnu*“ a třetí model představuje „*Hlavní komponenty srážkové události*“.

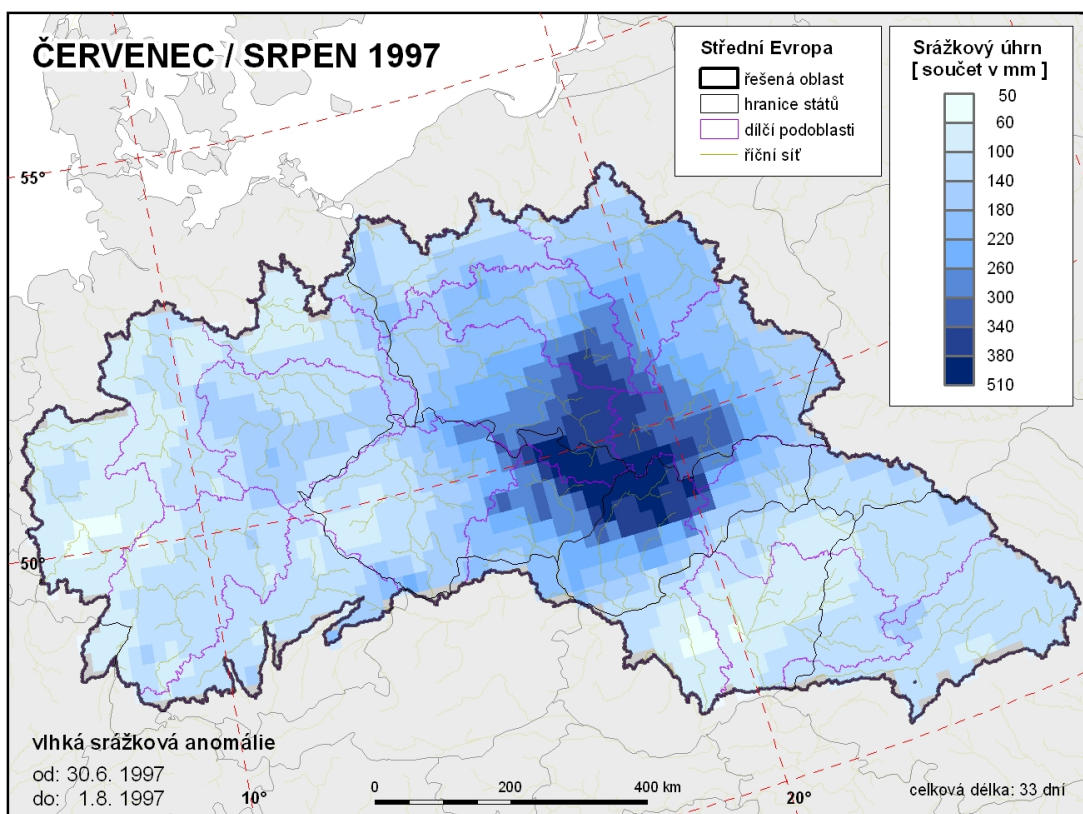
Plochy s počtem překročení srážkového limitu byly odvozeny funkcí *Greater Than Frequency*, jejíž výstup hodnotí kolikrát během srážkové události byl v každé buňce rastru překročen stanovený limit. Ten byl zvolen jako 12 násobek průměru pro příslušnou dílčí oblast zájmového území. Součtová mapa je výstupem funkce „*Cell Statistic*“. Vzorová ukázka pro událost z období července a srpna roku 1997 následuje v kartogramech na obr. 37 a obr. 38.

Obr. 37 Plochy překročení - srážková událost červenec/srpen 1997 (dále pod označením V10)



Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

Obr. 38 Součtová mapa - srážková událost červenec/srpen 1997 (dále pod označením V10)



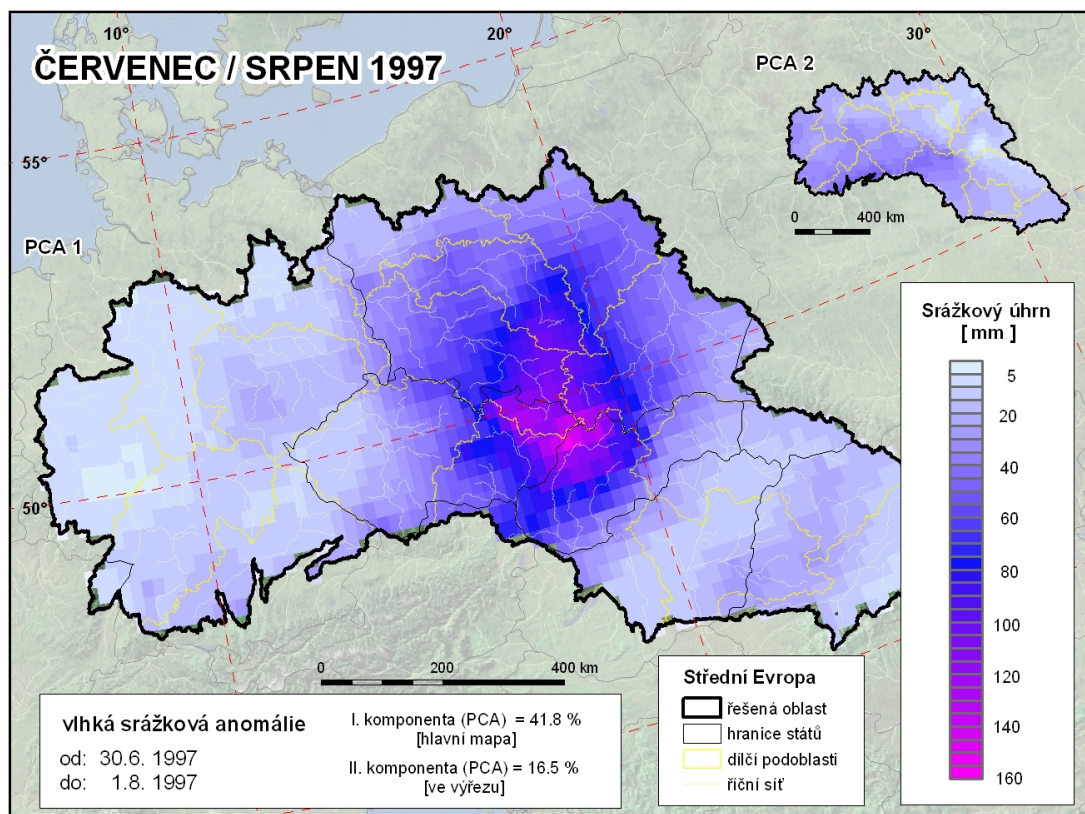
Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

Hlavní komponenty srážkové události lze v programu *ESRI ArcGIS* (včetně kovarianční matice, korelačních matice, vlastních hodnot komponent a matice vlastních vektorů) vypočítat pomocí funkce *Principal Component Analysis*.

Jako vstupní vrstvy do této analytické operace jsou voleny rastry, reprezentující dny s celkově nadprůměrným srážkovým úhrnem, nebo dny, kdy bylo v některé z dílčích oblastí dosaženo srážkového úhrnu většího než polovina denního limitu pro anomálii. Softwarovou nevýhodu této funkce v tomto GIS je však omezení maximálního počtu vstupních dat. Při práci s multidimenzionálním souborem NetCDF je výpočet proveden maximálně do 20 vstupních rastrů.

Následující obrázek prezentuje I. hlavní komponentu (a ve výřezu i II. komponentu), vypočtenou pro extrémní srážkovou epizodu z léta 1997. Vlastní hodnota I. komponenty je přibližně 42 %, druhá komponenta vysvětluje asi 17 % hodnot celkového rozptylu srážkových úhrnů během anomálního období.

Obr. 39 Srážková událost červenec/srpen 1997 (V10) - I. a II. hlavní komponenta



Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

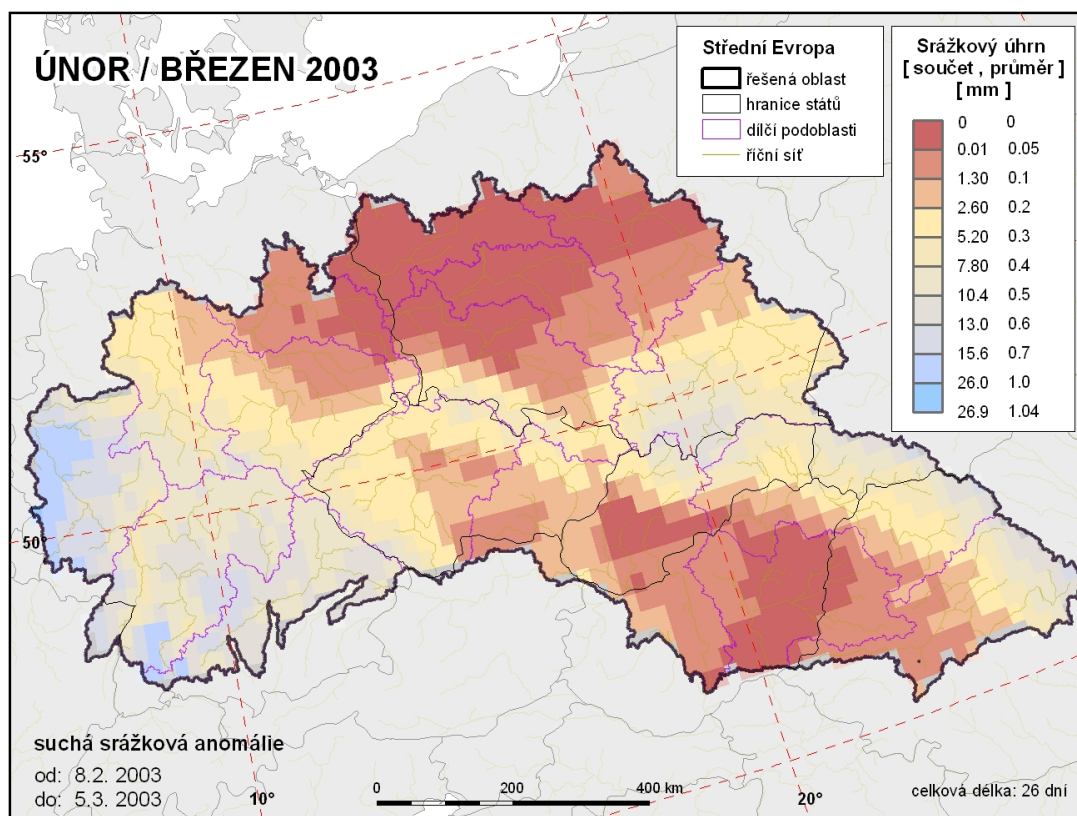
Lokalizace nejvyšších hodnot rastru I. komponenty je silně podobná součtovému rastru, přičemž tyto maximální hodnoty dosahují v I. komponentě přibližně třetinové hodnoty celkového součtu. Tato vlastnost modelu byla zkoumána u všech detekovaných anomálií a bylo potvrzeno, že s vyšší vlastní hodnotou I. hlavní komponenty je i „podíl srážkového úhrnu v hlavní komponentě“ na „celkovém srážkovém úhrnu“ v oblastech největších extrémů vyšší. Například u

události V4 ($PCA_1 = 53 \%$) v místech největšího celkového součtu obsahuje rastr hlavní komponenty přibližně polovinu maximálních hodnot. Naopak událost V8 ($PCA_1 = 28 \%$) je v místech součtového maxima dosahováno v I. komponentě jen 10 – 25 % celkového součtu. Srážkové anomálie s vyšší vlastní hodnotou hlavní komponenty jsou proto prostorově více vymezenější, přičemž prahová hodnota mezi lokálnějšími a rozptýlenými anomáliemi je přibližně na hranici 30 %.

8.2.2. Suché srážkové anomálie

Pro suché srážkové anomálie je navržen jeden prostorový model. Sucha jsou modelována jako „*Součet srážkových úhrnů*“ za celou délku suché epizody, přičemž podíl tohoto součtu na délce udává průměrný srážkový úhrn v daném místě během suché anomálie. V programu ArcGIS lze součet vypočítat funkcí „*Cell Statistic*“.

Obr. 40 Součtová mapa - suché období únor/březen 2003 (dále pod označením S11)



Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

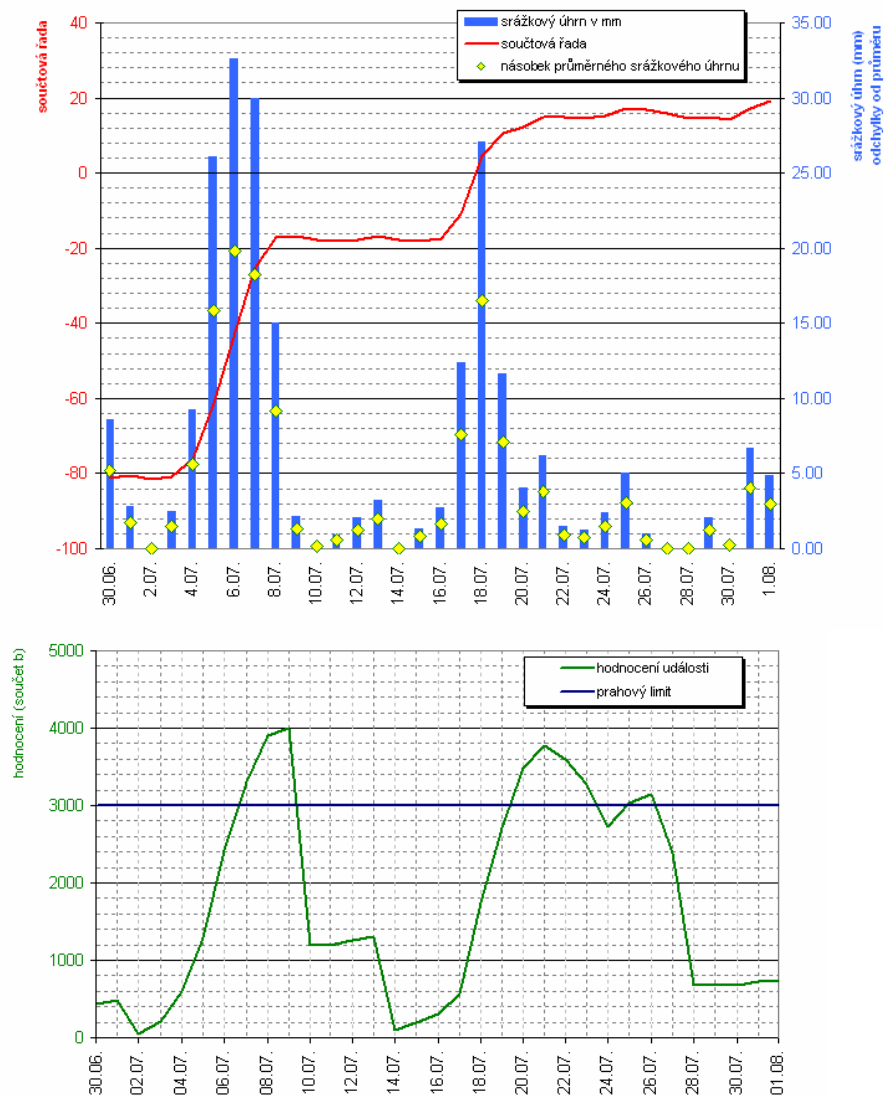
8.3. Hodnocení

Každá událost v zkoumané soustavě řad, u které byla překročena limitní hodnota pro výjimečný stav, byla klasifikována patnácti charakteristikami časových a prostorových vlastností, uvedených a popsanych v kapitole 3. (Celkový přehled viz. tabulka 5). Hodnocení je odlišné pro různé typy anomálií, některé ukazatele pro intenzivní srážkové události nemá

například význam vyjadřovat pro dlouhodobé anomálie a některé ukazatele srážkových period nelze vyčísřit pro epizody dlouhodobých such. Vývoj těchto ukazatelů však pro každý typ anomálie názorně demonstruje časoprostorové změny hodnocených extrémních událostí.

Ukazatele o délce, počtu fází a významu lze odvodit z hodnotícího grafu, který je prezentován vzorovou ukázkou extrémní epizody z léta 1997 na obr. 41. V grafu jsou zřetelné obě fáze této anomálie, které dosáhly přibližně shodného významového ohodnocení.

Obr. 41 Hodnocení srážkového úhrnu během epizody červenec/srpen 1997 (V10), (a) průběh referenčních řad v oblasti středního Dunaje, (b) vývoj hodnotícího indexu v celé oblasti



Zdroj: Vypočteno z dat E-Obs

Ostatní zkoumané ukazatele vychází z prostorových analýz nástrojů GIS, realizovaných nad výše uvedenými datovými modely. Index rizikovosti pak tyto ukazatele shrnuje, přičemž rizikovost 100 % udává anomálii, u níž je hodnocení každého ukazatele v průměru průměrné.

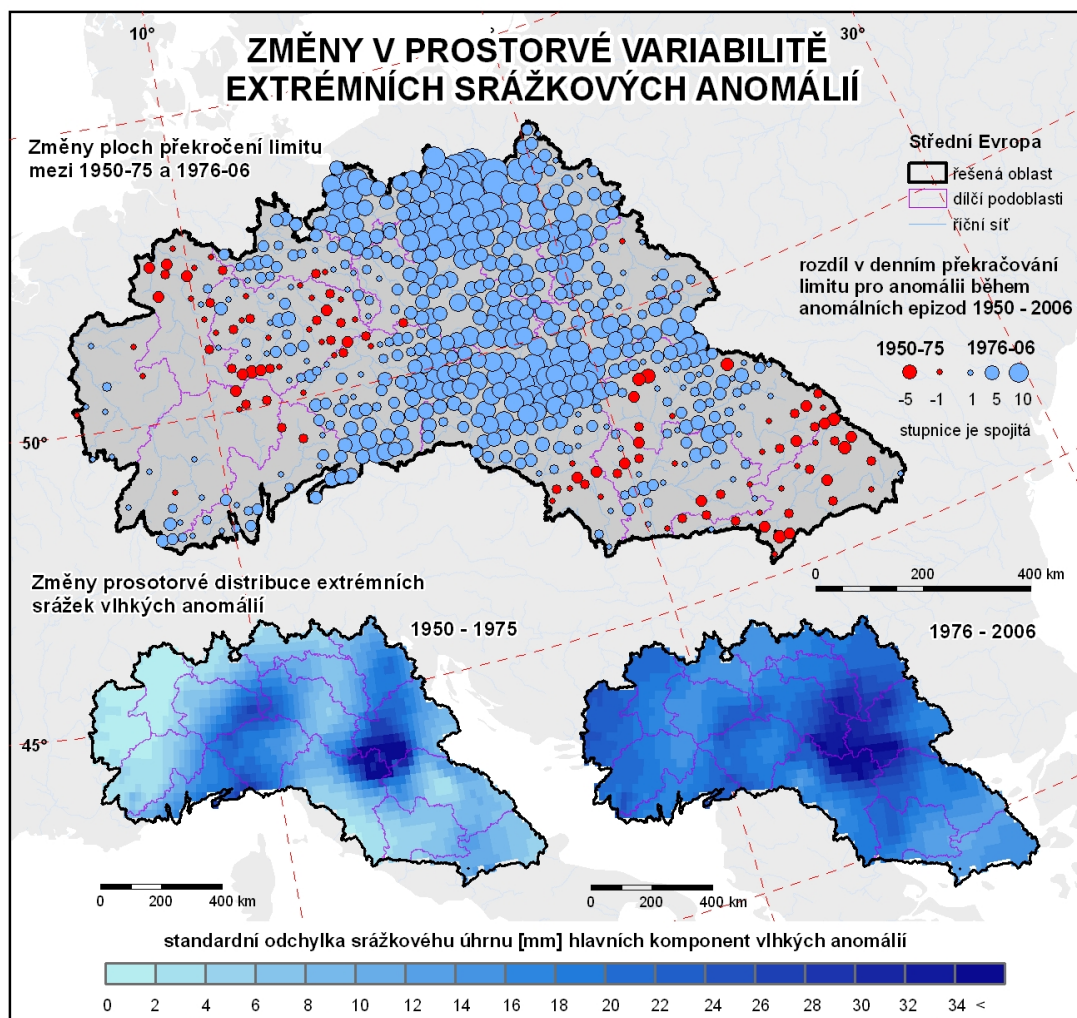
Tab. 5 Souhrnné hodnocení srážkových anomálií ve střední Evropě za období 1950 – 2006

OZNAČENÍ	TYP	POŘADÍ	pozn.	OD	DO	OBDOBÍ	DĚLKA [dny]	MEZI-ANOMÁLNÍ OBDOBÍ [dny]	FÁZE	VÝZNAM	OBJEM [km ³]	INTENZITA PERIODY [mm/den]	INTENZITA NADPRŮM. SRÁŽEK [mm / den]	I. PLOCHA PŘEKOROČ. (%)	STUPEŇ VYVINUTOSTI	VYVINUTOST	INTENZITA PLOŠNÉHO POSTIŽENÍ	LOKÁLNOST	KOMPAKT-NOST	RIZIKOVOST
V1	V	1	D1	25.6.1954	31.7.1954	léto	37	-	1	4729	96.95	3.7	5.0	61.4	6	0.16	17.6	40	1	102%
V2	V	2		18.6.1958	8.7.1958	léto	21	1418	1	4096	82.04	5.5	6.3	48.2	4	0.19	17.8	34	1	95%
V3	V	3	D2	26.4.1962	7.6.1962	jaro	43	1388	1	3547	85.65	2.8	3.3	16.1	3	0.07	5.7	40	1	74%
V4	V	4		14.7.1970	27.7.1970	léto	14	2959	1	3000	55.36	5.5	6.9	44.3	5	0.36	15.9	53	1	99%
V5	V	5	D3	29.9.1974	6.11.1974	podzim	39	1525	1	5421	109.79	3.9	4.6	64.5	7	0.18	13.1	36	1	104%
V6	V	6	D5	14.6.1980	1.8.1980	léto	49	2047	1	6366	137.52	3.9	4.3	51.0	10	0.20	9.8	29	2	116%
V7	V	7		11.7.1981	30.7.1981	léto	20	344	1	3473	59.83	4.2	4.9	38.4	5	0.25	11.8	51	1	89%
V8	V	8		26.7.1985	10.8.1985	léto	16	1457	1	3503	43.94	3.8	4.4	42.2	4	0.25	13.3	49	1	84%
V9	V	9		23.8.1995	9.9.1995	léto	18	3665	1	4857	60.46	4.7	5.9	56.8	5	0.28	14.4	28	3	105%
V10	V	10		30.6.1997	1.8.1997	léto	33	660	2	4005	116.16	4.9	6.9	59.9	9	0.27	20.3	42	1	125%
V11	V	11		29.6.2001	28.7.2001	léto	30	1428	1	3580	81.20	3.8	4.3	54.7	7	0.23	14.0	34	2	100%
V12	V	12		31.7.2002	17.8.2002	léto	18	368	1	3467	61.95	4.8	5.2	50.1	4	0.22	17.2	39	4	106%
D1	D	1	V1	25.6.1954	1.8.1954	léto	38	-	1	206	97.45	3.6	-	-	37	0.97	46.4	-	-	89%
D2	D	2	V3	26.4.1962	7.6.1962	jaro	43	2825	1	291	85.65	2.8	-	-	43	1.00	66.9	-	-	96%
D3	D	3	V5	21.9.1974	6.11.1974	podzim	47	4489	1	280	125.18	3.7	-	-	45	0.96	48.9	-	-	100%
D4	D	4		14.11.1974	22.12.1974	zima	39	8	1	359	69.98	2.5	-	-	37	0.95	59.8	-	-	91%
D5	D	5	V6	14.6.1980	1.8.1980	léto	49	2001	1	410	137.52	3.9	-	-	48	0.98	61.8	-	-	112%
D6	D	6		9.10.1981	6.1.1982	Podzim+zima	90	434	2	276	159.87	2.5	-	-	55	0.61	22.0	-	-	112%
S1	S	1		28.9.1951	31.10.1951	podzim	34	-	1	250	-	-	-	35.2	32	0.94	55.7	-	1	110%
S2	S	2		16.11.1953	21.12.1953	zima	36	747	1	109	-	-	-	49.5	24	0.67	24.9	-	1	86%
S3	S	3		23.9.1959	19.10.1959	podzim	27	2102	1	112	-	-	-	42.5	26	0.96	30.3	-	1	87%
S4	S	4		25.11.1968	16.12.1968	zima	22	3325	1	136	-	-	-	80.3	22	1.00	40.5	-	1	98%
S5	S	5		4.10.1969	22.10.1969	podzim	19	292	1	259	-	-	-	87.6	19	1.00	88.2	-	1	121%
S6	S	6		10.12.1972	8.1.1973	zima	30	1145	1	255	-	-	-	86.6	30	1.00	55.0	-	1	120%
S7	S	7		26.2.1974	19.4.1974	Zima+jaro	53	414	2	193	-	-	-	29.1	32	0.60	28.8	-	1	111%
S8	S	8		17.6.1976	11.7.1976	léto	25	790	1	119	-	-	-	20.3	21	0.84	32.0	-	2	88%
S9	S	9		3.3.1984	24.3.1984	jaro	22	2792	1	124	-	-	-	58.9	22	1.00	36.6	-	1	91%
S10	S	10		27.10.1984	17.11.1984	podzim	22	217	1	124	-	-	-	21.9	21	0.95	36.6	-	2	90%
S11	S	11		8.2.2003	5.3.2003	zima	26	6657	1	107	-	-	-	50.0	26	1.00	31.7	-	2	99%

8.4. Srovnání vývoje prostorové variability anomálií

Pro intenzivní plošné srážkové anomálie byly zkoumány změny v jejich prostorové variabilitě během hodnoceného období. To bylo rozděleno do dvou časových úseků: na období 1950 – 1975 a období 1976 – 2006. Pro tyto úseky byl vypočten součet ploch překročení a standardní odchylka prvních hlavních komponent anomálií. Vzájemné srovnání prezentuje následující grafický přehled (obr. 42).

Obr. 42 Změny v prostorové variabilitě extrémních srážkových anomálií



Pozn.: Poloha bodových značek odpovídá gridu E-Obs v prostorovém rozlišení přibližně 25 × 25 km.
Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

V prvním z kartogramů je zjevný výrazný nárůst ploch intenzivních anomálií zejména v centrální a severní části území. V centrální části řešené oblasti je tento nárůst způsoben spíše plošně rozsáhlejšími západo-karpatskými anomáliemi, které tuto oblast postihují v obou časových úsecích, avšak v druhé polovině jsou prostorově více vyvinuty západním směrem, a to až do oblasti severní Moravy. Současně je však větší počet překročení dán také tím, že jsou anomálie v druhé půli, podle zkoumaných charakteristik, dlouhodobější a vyvinutější. V severní

části území je nárůst dán výskytem anomálií, které v předchozím období v této oblasti zaznamenány nebyly. Naopak jihovýchodní část řešeného území zaznamenala v druhém třicetiletí nižší počet překročení anomálního limitu během extrémních epizod. Západní část hodnocené oblasti nevykazuje výrazné rozdíly v plošném postižení intenzivními srážkovými anomáliemi.

Dvojce kartogramů, hodnotící prostorové změny distribuce nejextrémnějších srážek, prezentuje výrazně rozsáhlejší (prakticky celoplošné) srážkové úhrny v druhé polovině posuzovaného období. První polovina tohoto období je naopak charakteristická lokálnějšími a místy i extrémnějšími srážkami během plošných intenzivních anomálií.

Společně s pohledem na hodnotící tabulku (tab. 5) lze tedy souhrnně konstatovat, že plošné intenzivní srážkové anomálie v první půli sledovaného období byly více prostorově vymezenější, většina srážek spadla během několika dní s nejintenzivnějšími úhrny, a proto je i počet dní s překročením limitu nižší a naopak vyšší je intenzita plošného postižení. Anomálie v 2. polovině jsou lokalizovány i do více ploch, jsou kratší a proto i méně objemnější, avšak vyskytují se častěji, postihují rozlehlejší plochy a během trvání anomálie je limit extrémního úhrnu překračován s výrazně vyšší četností. Proto jsou také anomálie druhé poloviny charakterizovány větší rizikovostí a všechny anomálie posledního desetiletí pak patří z hlediska prostorové distribuce srážek z celého sledovaného období mezi extrémnější.

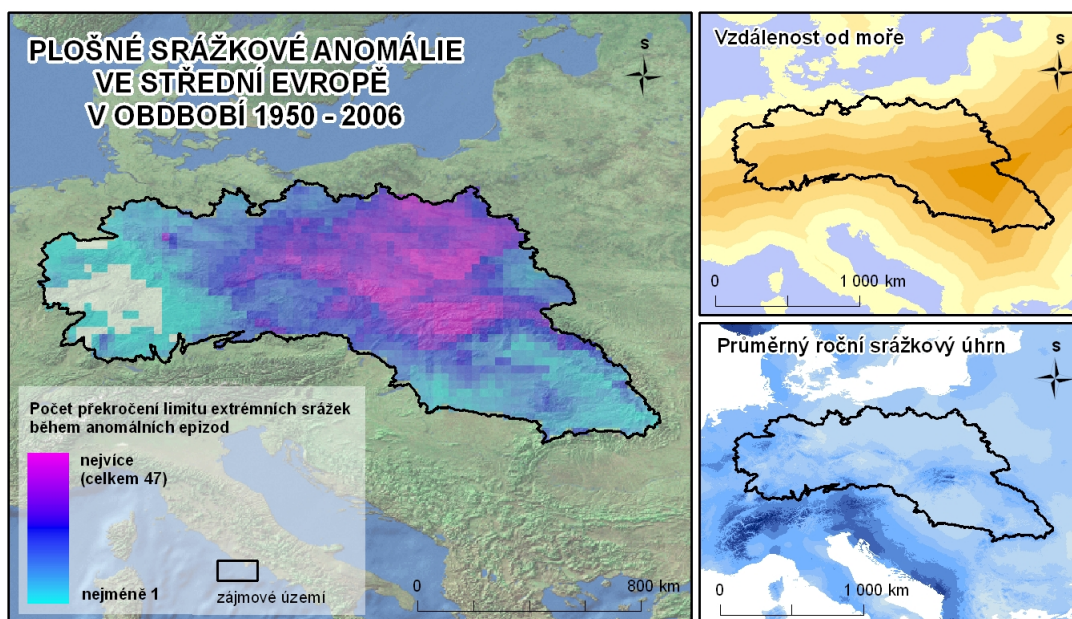
Časový vývoj **dlouhodobých anomálií** lze při této metodě jejich detekce charakterizovat jako ukončený v 80. letech, kdy byla zaznamenána poslední dlouhodobá vlhká anomálie (D6) a předposlední suchá anomálie (S10). Suchá anomálie ze zimy 2003 (S11) představuje událost na spodní hranici limitu významového ohodnocení. Graf hodnotícího vývoje byl představen již v části 8.1. této kapitoly (obr. 35). Během většiny dlouhodobých vlhkých anomálií byl zaznamenán i výrazně nadlimitní úhrn srážek, který tuto událost klasifikoval současně mezi intenzivní vlhké anomální periody. Za nejextrémnější epizodu lze považovat události z podzimu a zimy roku 1974, které po sobě následovaly s přibližně týdenním časovým odstupem, a dále podzimní anomálii (D3), která (stejně jako D1 a D2) náleží i mezi extrémní intenzivní anomálie. Celková délka obou těchto událostí je přibližně devadesát dní, období k tomu lze nalézt v roce 1981, kdy rovněž celková délka na sebe navazujících událostí s více než dvoutýdenními srážkami v kterékoli z dílčích oblastí dosahovala ke třem měsícům. Avšak významové ohodnocení součtu obou fází nedosahuje významu události z podzimu 1974 (D3).

Ve **srovnání výskytu událostí v roce** se naprostá většina intenzivních srážkových anomálií vyskytuje v teplém půlroce, dlouhodobé vlhké anomálie nejsou ročním obdobím podmíněny a dlouhodobá sucha převažují v chladném půlroce.

8.5. Geografické charakteristiky nejpostiženějších oblastí

Polohy modelovaných anomálií byly vyjádřeny v souhrnném prostorovém modelu, díky němuž lze pro jednotlivé typy anomálií zhodnotit vybrané společné geografické charakteristiky. Poloha intenzivních vlhkých anomálií je mapována jako součet ploch překročení limitu extrémních epizod, dlouhodobé anomálie jsou vyjádřeny směrodatnou odchylkou vypočtenou ze součtových rastrů dlouhodobých anomálií.

Obr. 43 Poloha intenzivních srážkových anomálií ve střední Evropě



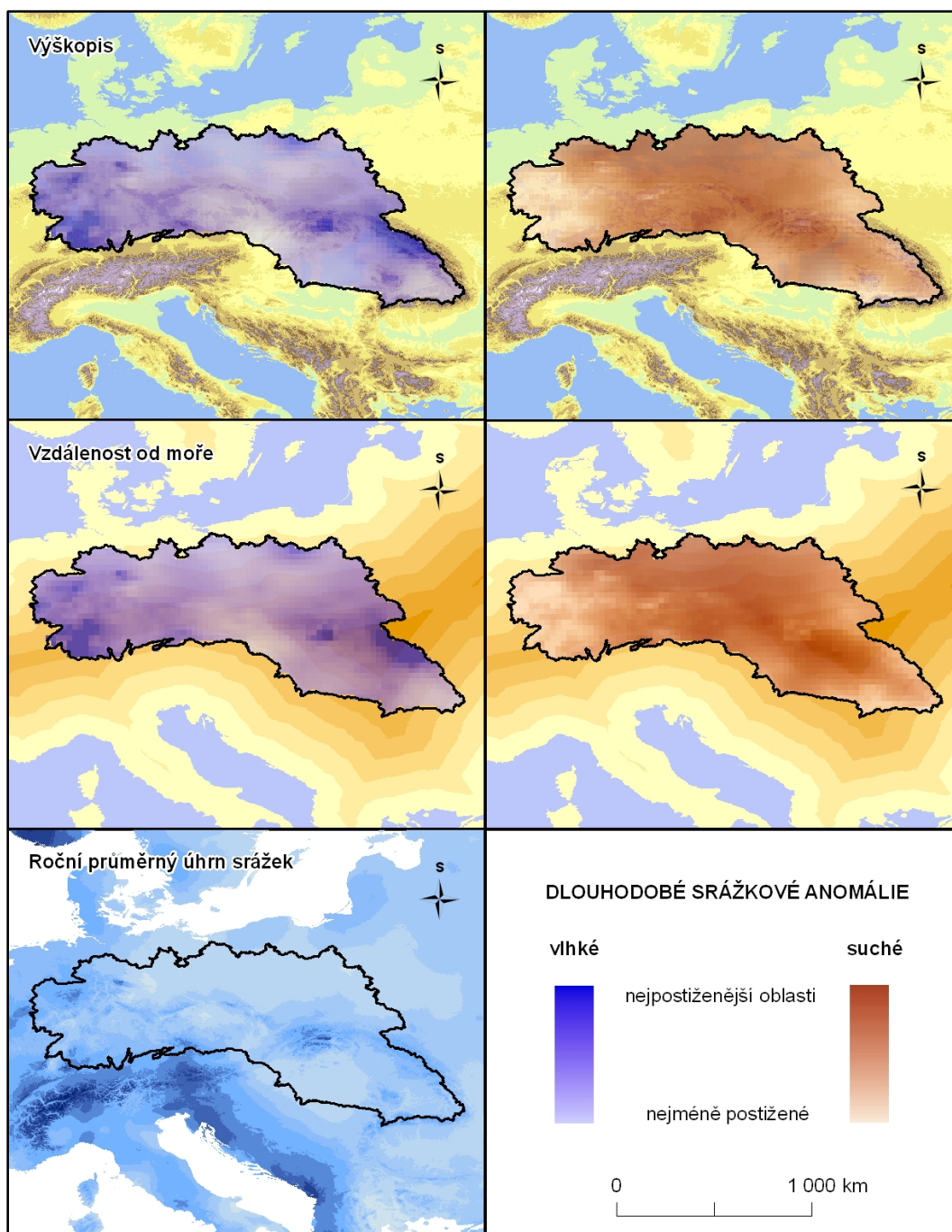
Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs, vzdálenost od moře a průměrný roční úhrn dle databáze Worldclim pochází ze serveru EDIT Geoplatform [<http://edit.csic.es/> - listopad 2009], legenda viz obr. 31, 32

Plošné extrémní srážkové anomálie jsou nejčastěji lokalizovány v centrální a severovýchodní části středoevropského prostoru. Západní Karpaty a severní pohoří Českého masívu tvoří těmto anomáliím pomyslnou bariéru, směrem na jih od těchto horských masívu dochází k překračování limitu během sledovaných anomálií méně často. V západní části hodnocené oblasti (středním a jižním Německu) dokonce k překračování limitu během středoevropských plošných anomálií místy nedochází vůbec.

Pro správné vnímání této interpretace je nutno uvážit skutečnost, že prostorová lokalizace těchto anomálií je dána metodikou detekování plošných srážkových anomálií. Na základě této metodiky a prezentovaných výsledků lze proto konstatovat, že při plošně rozsáhlých extrémních srážkových epizodách ve Středoevropské nížině nevzniká vzájemná prostorová vazba mezi těmito srážkovými úhrny a distribucí srážek v oblasti vymezené karpatským obloukem a naopak.

Ze srovnání nejpostiženějších ploch intenzivních plošných srážkových anomálií s vlastnostmi reliéfu, vzdálenosti od moře i ročních průměrů srážkových úhrnů nelze nalézt vzájemný prostorový vztah.

Obr. 44 Vybrané geografické vlastnosti dlouhodobých anomálií



Pozn.: Legenda k podkladům schémat je totožná s obr 30, 31 a 32 v kapitole 7. Rastry dlouhodobých anomálií jsou „průhledné“.

Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs, všechna podkladová data ze serveru EDIT Geoplatform, průměrný srážkový úhrn vychází z databáze Worldclim [<http://edit.csic.es/> - listopad 2009]

Výskyt **dlouhodobých vlhkých srážkových anomálií** ve střední Evropě silně odráží i lokalizaci nejintenzivnějších ročních průměrů. S ohledem na reliéf se tyto anomálie nejvíce vyskytují v horských oblastech (západní a východní Karpaty, Schwarzwald) a ve vysočinách, vzdálených 200 – 300m od moře (Ardeny, severozápad Středoněmecké vysočiny). Kromě této podmíněnosti vzdálenosti od moře lze rovněž konstatovat, že jádra nejintenzivnějších srážkových úhrnů během dlouhodobých anomálií se vyskytují v místech nejbližších od moře.

Dlouhodobá sucha plošně postihují většinu středoevropského prostoru, minimálně postižená je pouze západní část zájmového území.

8.6. Srovnání s historickými záznamy o povodních

Jedním z cílů zkoumání vlhkých srážkových anomálií je bezesporu porovnání jejich výskytu v čase i prostoru s hydrologickými extrémami, konkrétně s povodňovou aktivitou říční sítě. Mapa povodňových událostí na obr. 33 v kapitole 7 vymezuje oblasti s nejčastějším postižením povodněmi podle dat *Dartmouth Flood Observatory*. Z porovnání detekovaných anomálií s touto mapou vyznívá, že intenzivní plošné anomálie nejsou lokalizovány pouze v oblastech s nejvyšší četností povodní. Ty se spíše shodují s oblastmi postiženými dlouhodobými anomáliemi, což ovšem nelze považovat za relevantní vztah, protože poslední detekovaná dlouhodobá anomálie je z roku 1982 a databáze *DFO* obsahuje záznamy o povodních až od roku 1985.

Ke každé ze srážkových anomálií po roce 1985 byl v databázi *DFO* samostatně vyhledán záznam o případné povodni ze stejného období a oblasti. Výsledky předkládá následující tabulka. Kromě jedné epizody byla během všech detekovaných anomálií ve střední Evropě po roce 1985 podle uvedené databáze zaznamenaná povodňová událost.

Tab. 6 Přehled povodní ve střední Evropě po roce 1985

Anomálie	Postižené země	Začátek povodně	Konec povodně	Délka (poč. dní)	Oběti na životech	Škoda (USD)	Rozloha (km ²)
V8	Rakousko	07.08.85	08.08.85	2	12		15 150
V9	-						
V10	Německo	04.07.97	09.08.97	37		276 mil.	8 360
	Polsko	03.07.97	09.08.97	38	54	1 mld.	34 950
	Rumunsko	25.07.97	05.08.97	12	6		28 270
	Česká republika	02.07.97	24.07.97	23	48	1,8 mld.	34 990
V11	Polsko	20.07.01	03.08.01	15	30	250 mil	47 890
V12	Německo	31.07.02	08.08.02	9			22 270
	Rumunsko	06.08.02	07.08.02	2	1		16 410
	Česká republika, Rakousko, Německo, Maďarsko	07.08.02	28.08.02	22	55	20 mld.	252 300

Zdroj: Dartmouth Flood Observatory, Global Active Archive of Large Flood Events

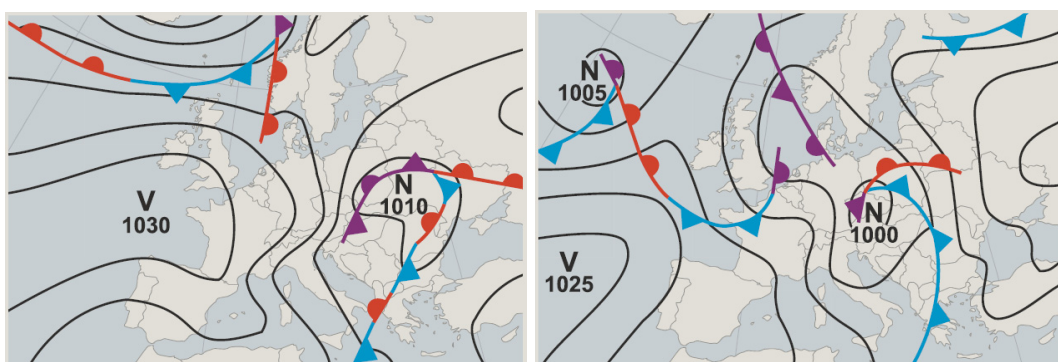
[on line: <http://www.dartmouth.edu/~floods/> - 21.3. 2009]

Naopak je samozřejmé, že pro některé (známé) povodňové události srážková anomálie detekována nebyla. Například v *Atlasu podnebí ČR (ČHMÚ a Pal. univerzita v Olomouci, 2007)* je vedle jmenovaných uvedena navíc i povodňová událost z 31.7. – 1.8. 1977. Také v předchozí (bakalářské) práci (Kafka, 2006), hodnotící prostorové rozmístění srážkových anomálií z přibližně 50 staničních řad, bylo léto roku 1977 klasifikováno jako anomální (viz. obr 11 v 3. kapitole). Podle představené metodiky významového hodnocení plošných srážkových anomálií z datasetu E-Obs v této práci však extrémní srážkové epizody z této doby dosáhly maximálně poloviny prahového limitu pro klasifikování události za plošnou intenzivní anomálii.

Představená a názorně aplikovaná metodika detekce srážkových anomálií tedy umožňuje detekovat epizody, které jsou plošně významné v rámci celého hodnoceného regionu nebo je jejich úhrn oproti celo-oblastnímu průměru silně extrémní. Je velmi pravděpodobné, že takový úhrn může znamenat vysoké riziko vzniku regionálně významné povodně. Mnohé povodňové události však mohou být zapříčiněny jen intenzivními lokálními srážkami, které metodika neodhalí.

Závěrečná ilustrace z *Atlasu podnebí ČR (ČHMÚ a Pal. Univerzita v Olomouci, 2006)*, znázorňuje synoptické schéma povětrnostní situace ze dne 6.7. 1997, který náleží do srážkové anomálie V10, jež byla vzorově modelována v části 8.2. této kapitoly, a synoptické schéma ze dne 12. srpna 2002, který přísluší doposud nejposlednější srážkové anomálii V12. Obě tyto události jsou charakterizovány tlakovou níží a studenou okluzí v centru hodnocené oblasti.

Obr. 45 Synoptická mapa ze dne 6.7. 1997 (vlevo) a 12. 8. 2002 (vpravo)



Zdroj: Atlas podnebí ČR (ČHMÚ a Pal. Univerzita v Olomouci, 2007)

Závěry a diskuse

Předměty zájmu a plnění cílů práce

Předkládaná práce se zabývala **geograficko-informatickou úlohou** časoprostorového hodnocení plošných srážkových anomálií. Za anomální epizodu je považován stav, kdy je na významné části zájmového území zaznamenán extrémní srážkový úhrn, nebo dlouhodobý počet po sobě jdoucích dní se srážkami či naopak beze srážek. Práce seznamuje s **metodickými přístupy** řešení zvolené problematiky, s **technologií** efektivního uchování prostorových klimatologických dat a jejich zpracování v prostředí GIS a na základě toho také předkládá příklad konkrétní **aplikace navržené analýzy dat** pro zvolené území.

V rešeršní části byl představen **význam analytických úloh srážkových úhrnů** a byl ukázán přehled nejrůznějších odvětví lidské činnosti, jimž by mohly být studie podobného typu užitečné. Dále bylo provedeno **srovnání** několika **celosvětových nebo regionálních veřejných internetových databází**, a to zejména z hlediska kvality a kvantity obsažených dat. Z uvedených srovnání vyšel evropský dataset *Ensembles gridded observational dataset* (E-Obs) jako nejvhodnější datový podklad pro vzorové hodnocení srážkových anomálií v oblasti střední Evropy. Byly představeny **extrapolační postupy**, použité pro prostorovou interpretaci bodových dat v tomto datasetu, a byly rovněž srovnány s technikami konstrukce jiných databází. Současně byly také představeny **extrakční techniky** pro získávání informace z prostorově spojitých dat, která dataset E-Obs reprezentuje. Tímto byl splněn první z pěti stanovených cílů práce.

Následně práce předložila metodický přehled statistického hodnocení tzv. časoprostorových řad, umožňujícího **detekovat v datech extrémní srážkové epizody** s důrazem na jejich **plošný význam** v rámci hodnoceného regionu. Byla navržena metodika, hodnotící srážkové epizody v oddělených referenčních plochách, tzn. dílčích podoblastí zájmového území, na základě odchylek zjištěných intenzit srážkového úhrnu od dlouhodobého průměru.

Podle inspirace z dosud publikovaných studií obdobného tematického zaměření byly navrženy **2D prostorové modely** anomálních epizod, z kterých lze s využitím GIS odvodit specifické popisné charakteristiky těchto událostí. Tyto charakteristiky byly navrženy tak, aby co nejlépe a srovnatelně vystihovaly **prostorovou variabilitu srážek** během extrémních epizod a také umožnily provést vzájemné porovnání anomálií z hlediska rizikovitosti jejich extremicity.

Celý postup zpracování dat, obsažených v databázi E-Obs, pro detekci anomálií a vytvoření jejich prostorových modelů byl zalgoritmován (Python, Microsoft VBA) a představen na vzorovém území **střední Evropy za období 1950 – 2006**. Nad vyhotovenými

modely pak bylo vyjádřeno prostorové hodnocení srážkových anomálií. S jeho využitím byla provedena **analýza změn prostorové variability intenzivních anomálií** mezi první a druhou půlí posuzovaného časového úseku. Rovněž byla srovnána **lokalizace** všech srážkových anomálií s širšími **geografickými souvislostmi** a také s **historickými záznamy o povodňových událostech** v regionu. Tímto byly úspěšně splněny zbývající čtyři stanovené cíle práce, čímž se podařilo splnit cíle ve všech bodech, deklarovaných v úvodu.

Poznatky a diskuse

V metodické pasáži předkládaná práce shrnuje některé obecně známé poznatky o klimatologických prostorových datech. Na půdě světových univerzit běžně používaný datový formát **NetCDF** představuje pro tato data velmi efektivní způsob uchování dat v multidimenzionální struktuře a je proto představen v samostatné kapitole. Výhodou datového formátu je především univerzální rozhraní, umožňující načítat pouze vybrané části jinak velmi objemného souboru, snadná aktualizovatelnost dat, komprimovatelnost dat a také možnost jeho načtení do prostředí GIS, kde lze nad ním provádět podporované analytické úkony. Mezi nevýhody patří nutnost specifického programového vybavení a nestandardnost v popisování a kódování dimenzí datových souborů. Pro algoritmizovatelnější práci s daty tak může být pro uživatele výhodnější vytvořit vlastní „převodník“ indexů obsažených vrstev NetCDF na pravý význam dimenze (např. datum), jako je předvedeno v této práci.

Analytická část práce využívá pouze jednoho datového podkladu (E-Obs). Jakkoli je však dataset E-Obs na první pohled výjimečný z hlediska prostorového rozlišení, je nutno brát v úvahu, že tato **prostorová kvalita je silně ovlivněna interpolací dat**. Počet staničních řad totiž v některých oblastech zdaleka neodpovídá počtu a velikostem buněk rastru, do kterých jsou hodnoty interpolovány. To ostatně potvrzují i sami autoři datasetu v hodnotících studiích z jara 2009.

V předkládané práci je metodický přístup k dlouhodobým anomáliím značně zjednodušený. Metodika považuje za **srážkový den** každý, kdy byl zaznamenán **jakýkoliv úhrn srážek**, a naopak jako **bezesrážkový den** je klasifikován pouze den **s nulovým úhrnem**. Z klimatologického pohledu jsou však za srážkové dny někdy uvažovány i dny s celkovým úhrnem v rozpětí 0.1 mm až 1.0 mm. Citlivost nastavení tohoto prahového limitu pro srážkové a bezesrážkové dny může ovlivnit i celkové hodnocení dlouhodobých period. V rámci vzorové analýzy v této práci se uvažuje s průměrným srážkovým úhrnem na rozlohách v řádově desítkách tisíc čtverečních kilometrů. **Rozloha**, ke které je průměrný srážkový úhrn vztažen, může mít rovněž významný vliv na tento způsob hodnocení dlouhodobých anomálních epizod. Naopak představený postup **významového hodnocení extrémních úhrnů** intenzivních srážek se vzhledem k časovému vývoji jeví poměrně úspěšný. Průměrná periodičita detekovaných

anomálií je přibližně čtyřletá, občasné osmi až desetileté odmlky kompenzují místy dvouletá opakování.

Výsledky vzorové analýzy

Vzorová analýza srážkových anomálií byla představena na území střední Evropy za období 1950 – 2006. Jako podkladový materiál sloužil *Ensembles gridded observational dataset*, který poskytuje interpolovaná data v rozlišení přibližně 25×25 km. Zájmové území bylo rozděleno na 16 dílčích podoblastí, pro něž byly z této datové sestavy vyjádřeny časové řady průměrného srážkového úhrnu. Podle těchto řad bylo vybráno **12** událostí, charakterizovaných jako anomálie **intenzivního srážkového úhrnu**, **6** událostí, reprezentujících **dlouhodobé období s deštěm**, a **11** událostí, představujících **suché periody**. Všechny tyto události byly modelovány v prostředí GIS a hodnoceny z hlediska prostorové variability. Zájmem práce bylo mimojiné zhodnotit míru lokálnosti srážkových úhrnů během anomálií, k čemuž byla využita analýza hlavních komponent. Výsledky jsou souhrnně prezentovány v tabulce (tab. 5 na str. 88), vyobrazení anomálií je obsaženo v přílohové části.

Byla zkoumána hypotéza, zda se *srážkové úhrny v historickém vývoji stávají plošně rozsáhlejšími a tak rizikovějšími i při nižších intenzitách nebo kratší době trvání*. Ze srovnání intenzivních srážkových anomálií z první a druhé poloviny hodnoceného úseku lze tuto **hypotézu potvrdit**. U pěti anomálií z druhé poloviny (z celkového počtu 7) bylo zaznamenáno překročení srážkového limitu na více než polovině zájmového území, zatímco v první půli polovinu plochy zaujímaly jen 2 anomální epizody (z počtu 5). V délkách hodnocených událostí nelze hledat výraznější rozdíly, ale objem srážek během anomálií je v druhé části až na událost z léta 1997 výrazně nižší. Přesto však, při vzájemném srovnání anomálií podle zjišťovaných časoprostorových ukazatelů, náleží všechny 4 poslední anomálie mezi závažnější. Rovněž bylo ukázáno, že je distribuce extrémních srážek během anomálie v druhé půli plošně rozsáhlejší, k největšímu navýšení počtu překračování srážkového limitu došlo v oblasti severní Moravy, severozápadního Slovenska a jižního Polska a také na severu Polska. Naopak jihovýchod a západ hodnoceného území zaznamenal snížení počtu překračování limitu.

U **dlouhodobých anomálií** bylo zjištěno, že se jejich výskyt od **80. let výrazně snížil**, dle nastavených prahových limitů dokonce nebyla zaznamenána žádná dlouhodobá vlhká anomálie po roce 1982, a u suchých dlouhodobých period byla zjištěna pouze jedna událost po roce 1984.

Bylo hodnocena i **prostorová lokalizace srážkových anomálií** a její vazby na reliéf, vzdálenost od moře, průměrný srážkový úhrn a také plochy s nejčtetnějším výskytem povodní. Intenzivní anomálie se vyskytují severně od západní části karpatského oblouku, dlouhodobé vlhké anomálie v oblastech s největším průměrným úhrnem, u such žádná vazba zjištěna není.

Literatura, zdroje

Publikace, on line literatura:

- AGNEW, M.D., PALUTIKOF, J.P., (2000): **GIS-based construction of baseline climatologies for the Mediterranean using terrain variables.** *Climate Research*, vol. 14, p. 115-127.
- BARANOVÁ, M. (2006): **Úvod do teorie Thin Plate Spline a jeho aplikace.** In: *Sborník 14. konference studentů VŠTEZ, Lázně Bohdaneč, 5.-7. června 2006.* Komise JČMF pro matematiku na VŠTEZ, Praha, 2006. str. 13-17.
[on line: <http://home.zcu.cz/~baranov/KMA/articles/TPS.pdf> - 21.3. 2009]
- BERNHERDSON, T. (1992): **Geographic Information Systems.** VIAK IT, Arendal, Norway.
- BERQUIST N. R. (2001): **Vector-borne parasitic diseases: new trends in data collection and risk assesment.** *Acta Tropica*, vol. 79, p. 13-20.
- BIRNIE, R. V., MILLER, D. R., HORNE P. L., LEADBEATER, S., MACDONALD, A. (2000): **The potential distribution and impact of bracken in upland Scotland: An assessment using a GIS-based niche model.** *Annals of Botany*, vol. 85, p. 53-62.
- CHAPMAN, L., THORNES, J. E. (2001): **The use of geographical information systems in climatology and meteorology.** *Climate and Atmospheric Research Group, School of Geography and Environmental Science, University of Birmingham, Birmingham.* COST 719 - GIS in Meteorology and Climatology Programme.
[on line: <http://www.knmi.nl/samenw/cost719/wg3/c719.pdf> - 21.3. 2009]
- COST ACTION 719 (2008): **The use of Geographic Information Systems in climatology and meteorology.** Final report, COST Office, p. 246.
Edited by: TVIETO, O. E., WEGEHENKEL, M., van der WEL, F., DOBESCH, H.
[on line: <http://bookshop.europa.eu/uri?target=EUB:NOTICE:QSN23461:EN:HTML> - 21.3. 2009]
- ČHMÚ a PALECKÉHO UNIVERZITA V OLOMOUCI (2006): Atlas podnebí Česka.
- DAI, A., FUNG, I. Y., del GENIO, A. D. (1997): **Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988.** *Journal of Climate*, vol. 10, p. 2943 – 2962.
[on line: http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1997/1997_Dai_etal_2.pdf - 31.3. 2009]
- DALY, C., NELSON, R. P., PHILIPS, D.L. (1994): **A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain.** *Journal of Applied Meteorology*, vol. 33, p. 140-158.
- DALY C, TAYLOR GH, GIBSON WP, PARZYBOK TW, JOHNSON GL, PASTERIS PA (2000): **High-quality spatial climate data sets for the United States and beyond.** *Transactions of the ASEA*, vol. 43, p. 1957-1962
- DARTMOUTH FLOOD OBSERVATORY. **Space-based Measurement of Surface Water.** Departments geografy and Earth Sciences, Dartmouth College, Hanover, NH USA.
[on line: <http://www.dartmouth.edu/~floods/> - 21.3. 2009]
- DÉQUÉ, M. (2004): **Uncertainties in PRUDENCE simulations: Global high resolution models.** PRUDENCE deliverable D1A5.
[on line: <http://prudence.dmi.dk/public/publications/D1A5.pdf> - 31.3. 2009]
- EL GAROUANI A, BOUSSEMA MR, ENNABLI H (2000): **Use of the Geographic Information System and remote sensing data for the estimation of real evapotranspiration at a regional scale.** *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, p. 2811-2830.

- HASTON, L., MICHAELSEN, J. (1996): **Spatial and Temporal Variability of Southern California Precipitation over the Last 400 yr and Relationships to Atmospheric Circulation Patterns.** *Journal of Climate*, vol. 10, p. 1836 – 1852.
- HAYLOCK, M. R., HOFSTRA, N., KLEIN TANK, A. M. G., KLOK, E. J., JONES, P.D., NEW, M. (2008): **A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation.** *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, vol. 113, p. D20119. [on line: http://eca.knmi.nl/download/ensembles/Haylock_et_al_2008.pdf - 21.3. 2009]
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S. E., PARRA, J. L., JONES, P.G., JARVIS, A. (2005a): **Very high resolution interpolated climate surfaces for Global land areas.** *International Journal of Climatology*, vol. 25, p. 1965-1978.
- HIJMANS, R. J., GUARINO, L., JARVIS, A., O'BRIEN, R., MATHUR, P., BUSSINK, C., CRUZ, M., BARRANTES, I., ROJAS, E. (2005b): **DIVA-GIS Manual for version 5.2.** [on line: <http://www.diva-gis.org/Materials.htm> - 21.3. 2009]
- HOFSTRA, N., HAYLOCK, M. R., NEW, M., JONES, P.D., FREI, C. (2008): **Comparison of six methods for the interpolation of daily European climate data.** *Journal of geophysical research - Atmospheres*, vol. 113, p. D21110.
- HOFSTRA, N., HAYLOCK, M., NEW, M., JONES, P.D., (2009): **Testing E-OBS European high-resolution gridded dataset of daily precipitation and surface temperature.** ECA & D, KNMI, E-OBS evaluation paper. [on line: <http://eca.knmi.nl/documents/Evaluationpaper.pdf> - 12.4. 2009]
- HONG, Y., NIX, H. N., HUTCHINSON, M. F., BOOTH, T.H. (2005): **Spatial interpolation of monthly mean climate data for China.** *International Journal of Climatology*, vol. 25, p. 1369 – 1379.
- HORÁK, J. (2002): **Prostorová analýza dat.** HGF, VŠB-TU Ostrava, publikováno on-line – 8.12. 2002. [on line: <http://gis.vsb.cz/pad/index.htm> - 21.3. 2009]
- HORÁK, J. (2008): **Prostorové analýzy v područí software.** Institut geoinformatiky, HGF, VŠB-TU Ostrava. – referát na konferenci „15 rokov vojenskej geografie na Slovensku.“, 13. – 14. 11., Podbanská. [on line: http://topu.army.sk/aktivity/zbornik08/Horak_Jiri.pdf - 21.3. 2009]
- HRACH, K., MIHOLA, J. (2006): **Metodické přístupy ke konstrukci souhrnných ukazatelů.** *Statistika*, č. 5, ČSÚ a Česka statistická společnost. [on line: http://panda.hyperlink.cz/cestapdf/pdf06c5/hrach.pdf_ - 21.3. 2009]
- HULME, M. (1999): **Dataset documentation.** Climatic Research Unit, University of East Anglia, 6 p. [on-line: http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/datasets/global/g55wld0098_doc.pdf - 21.3. 2009
http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/datasets/global/gu23wld0098_doc.pdf - 21.3. 2009]
- JEFREY, S. J., CARTER, J. O., MOODIE, K. B., BESWICK, A. R. (2001): **Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of Australian climate data.** *Environmental Modelling & Software*, vol. 16, p. 309 – 330.
- JONES, P.G., BEEBE, S. E., THOME, J., (1997): **The use of geographical information systems in biodiversity exploration and conservation.** *Biodiversity and Conservation*, vol. 6, p. 947 – 958.
- KAFKA, T. (2006): **Prostorové zhodnocení srážkových anomálií v centrální Evropě po roce 1970.** Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. *Bakalářská práce*, 43 s.
- KLEIN TANK, A. a kol. (2002a): **Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment.** *International Journal of Climatology*, vol. 22, p. 1441-1453.

[on-line: http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/kleintank_2002.pdf]

- KLEIN TANK, A., WIJNGAARD, J., v. ENGELLEN, A. (2002b): **Climate of Europe; Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes.** KNMI, De Bilt, the Netherlands, 36 p. [on-line: <http://eca.knmi.nl/documents/ECAreportHighRes.pdf>]
- KRAUS, J. (2006): **Geostatistika jako prostorové modelování statistických jevů.** *Statistika*, č. 6: Konzultace, ČSÚ. [on line: <http://panda.hyperlink.cz/cestapdf/pdf07c6/kraus.pdf> - 21.3. 2009]
- LEEMANS, R., CRAMER, W. (1991): **The IIASA database for mean monthly values of temperature, precipitation and cloudiness of a global terrestrial grid.** International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). RR-91-18. [on line: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/RR-91-018.pdf> - 20.3. 2009]
- MITCHELL, T., D., JONES., P., D. (2005). **An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids.** *International Journal of Climatology*, vol. 25, p. 693-712. [on-line: <http://cru.csi.cgiar.org/PDF/mitchelljones.pdf>]
- MOEBERG, A., JONES, P. D., LISTER, D. a kol. (2006): **Indicies for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901 – 2000.** *Journal of geophysical research*, vol. 11, p. D22106.
- NICHOL, J.E. (1994): **An examination of tropical rainforest microclimate using GIS modelling.** *Global Ecology and Biogeography Letters*, vol. 4, p. 69-78.
- NICHOL, J.E. (1995): **Monitoring tropical rainforest microclimate.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 61, p. 1159-1165.
- NOSEK, M. (1972): **Metody v klimatologii.** Academia, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 434 s.
- PETERSON, T. C., EASTERLING D. R. (1994): **Creation of homogenous composite climatological reference series.** *International Journal of Climatology*, vol. 14, p. 671–679.
- SCHADLICH S, GOTTSCHKE FM, OLESEN FS (2001): **Influence of land surface parameters and atmosphere on METEOSAT brightness temperatures and generation of land surface temperature maps by 23 temporally and spatially interpolating atmospheric correction.** *Remote Sensing of Environment*, vol. 75, p. 39-46.
- SODERSTROM, M., MAGNUSSON, B. (1995): **Assessment of local agroclimatic conditions: a methodology.** *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 72, p. 243 – 260.
- SUGA, Y, TAKEUCHI, S., KIMURA, H., INANGA, A. (1995) **Environmental monitoring of land and sea surface using multisensors.** *Calibration and Application of Satellite Sensors for Environmental Monitoring*, vol. 17, p. 97-106.
- TASECHETO, A. S., ENGLAND, M. H. (2008): **An analysis of late twentieth century trends in Australian rainfall.** *International Journal of Climatology*, in press, on-line published: 21.6. 2008 (Wiley InterScience)
- WORBOYS, M.F. (1995): **GIS: A Computing Perspective.** Taylor & Francis, London, UK.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1989): **Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals, WCDPNo.10, WMO-TD/No. 341,** Geneva: World Meteorological Organization.

Zdroje prostorových dat (vektorová, rastrová data pro GIS):

European Environment Agency

Datové služby.

Dataservice.

[<http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/>]

EDIT Geoplatform

Vrstvy GIS pro prostorové analýzy biodevřzity životního prostředí.

GIS layers for the analysis of spatial and environmental completeness of biodiversity data.

[<http://edit.csic.es/GISdownloads.html>]

ENSEMBLES gridded observational dataset (E-Obs)

Využíváme datovou sestavu E-OBS z projektu EU-FP6 [<http://www.ensembles-eu.org>], poskytovanou v rámci projektu ECA & D [<http://eca.knmi.nl>].

We acknowledge the E-OBS dataset from the EU-FP6 project ENSEMBLES [<http://www.ensembles-eu.org>] and the data providers in the ECA&D project [<http://eca.knmi.nl>].

HAYLOCK, M.R., N. HOFSTRA, A.M.G. KLEIN TANK, E.J. KLOK, P.D. JONES, M. NEW. (2008): **A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation.** *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, vol. 113, p. D20119.

ESRI data and maps

Datové podklady, obsažené v distribuce softwaru ESRI ArcGIS 9.2.

[<http://www.esri.com/>]

Dartmouth Flood Observatory

Prostorová měření povrchových vod. Aktivní celosvětový archiv velkých povodní.

Space-based Measurement of Surface Water. Global Active Archive of Large Flood Events.

[<http://www.dartmouth.edu/~floods/>]

Seznam grafických a tabulkových příloh

Grafické přílohy

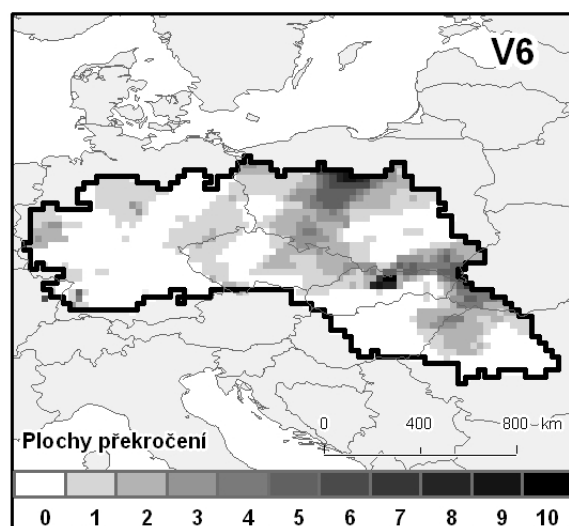
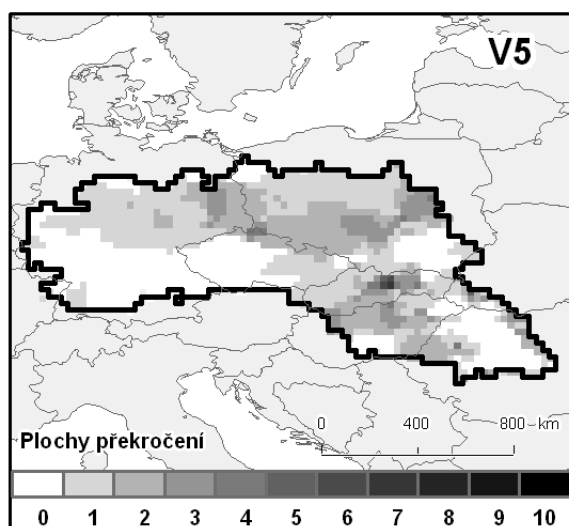
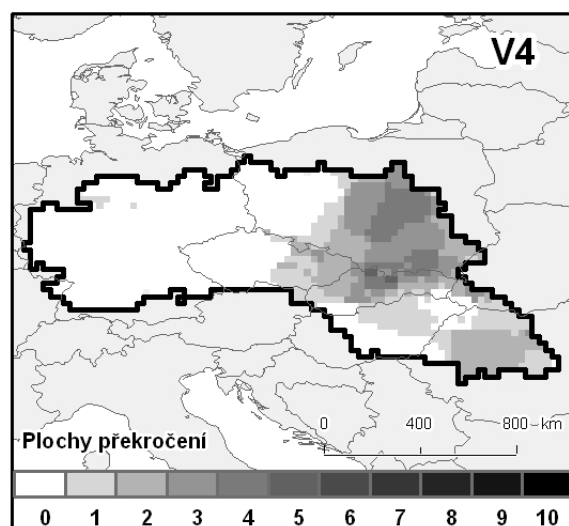
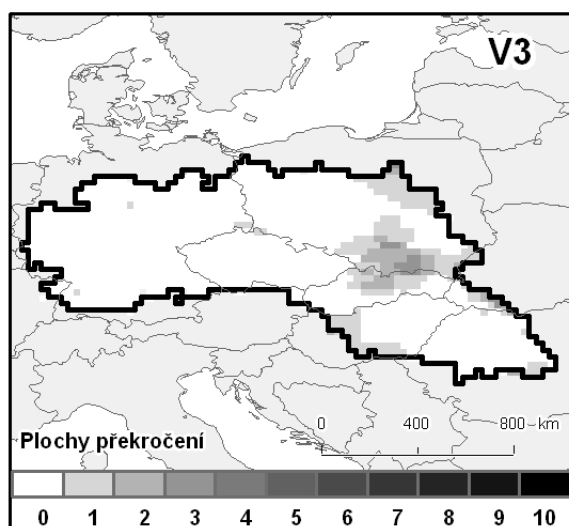
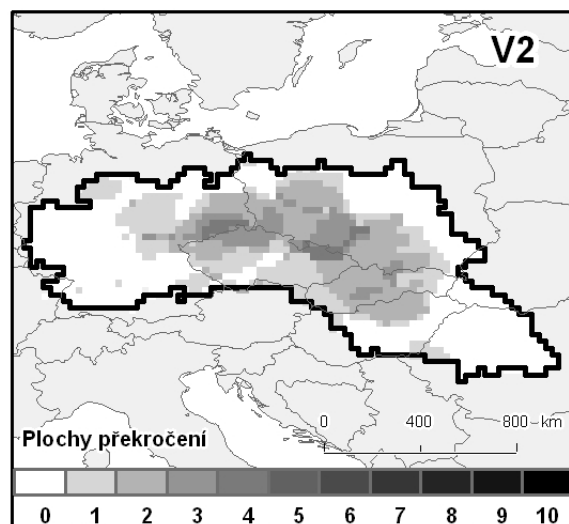
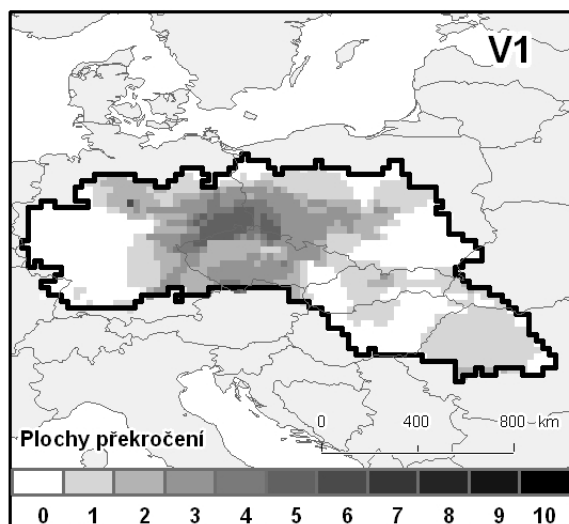
Obr. 1	Význam a pozice klimatických rizik v globálním kontextu	9
Obr. 2	Dvojitý typ úloh pro GIS v meteorologii a klimatologii	13
Obr. 3	Srážkové úhrny za měsíc březen v roce 1979 (dataset CRU)	32
Obr. 4	Srážkové úhrny za měsíc říjen v roce 2001 (CGIAR–CSI & CRU-TS 2.1.)	33
Obr. 5	Dostupnost srážkových úhrnů ze stanic zapojených do projektu ECA&D	34
Obr. 6	Denní odchylky od normálu za období 1961-90 (ECA&D Indices of extremes)	35
Obr. 7	Srážkový úhrn v březnu 1979 (dataset GISS)	37
Obr. 8	Průměrný březnový úhrn srážek (dataset Worldclim v.1.4)	38
Obr. 10	Srážkové události 1950 - 2006 podle délky po sobě jdoucích srážkových dní	47
Obr. 11	Vlhká srážková anomálie v létě 1977 (Kafka, 2006)	49
Obr. 12	Srážkové anomálie v letech 1998 - 2002 (GHCN)	50
Obr. 13	Srážkové anomálie 2008 (GHCN)	50
Obr. 14	Extrémní srážkové události a sucha v období 1900 – 1988 (Dai a kol., 2008)	51
Obr. 15	Trendy denní distribuce srážek v Austrálii v období 1970 – 200.	52
Obr. 16	Průměrný počet dní se srážkami ≥ 1 mm, Francie	52
Obr. 17	Prostorová variabilita srážek v jižní Kalifornii během posledních 400 let	53
Obr. 18	Deset dní s nejvyšším srážkovým úhrnem během vlhkých anomálií 1950 - 2006	54
Obr. 19	Ukázka prostorového hodnocení klimatických anomálií v Sev. Americe v r. 1980	55
Obr. 20	Staniční síť (E-Obs)	61
Obr. 21	Vývoj počtu stanic (E-Obs)	62
Obr. 22	Vizualizace E-Obs datasetu v ArcGIS – Denní srážkové úhrny 9.4. – 12.4. 2006	64
Obr. 23	Příklad uložení meteorologických dat do n-rozměrného souboru NetCDF	65
Obr. 24	Metadata E-Obs, vizualizace v programu ncBrowse	67
Obr. 25	Načtení NetCDF rastru do prostředí ArcMap	69
Obr. 27	Volitelné parametry při algoritmickém zpracování referenčních řad	71
Obr. 28	Vymezení dílčích podoblastí řešeného území	74
Obr. 29	Časové řady 2000 – 2006 v oblasti horní Labe a střední Dunaj	76
Obr. 30	Výšková členitost střední Evropy	78
Obr. 31	Vzdálenost od moře pro středoevropský prostor	78
Obr. 32	Průměrný roční srážkový úhrn ve střední Evropě	79
Obr. 33	Povodňové události ve střední Evropě (1985 – 2007)	79
Obr. 34	Graf souhrnného hodnocení a limit pro vlhké srážkové anomálie	81
Obr. 35	Graf souhrnného hodnocení a limit pro dlouhodobé srážkové anomálie	81
Obr. 36	Srážkové anomálie v dílčích oblastech	83
Obr. 37	Plochy překročení - srážková událost červenec/srpen 1997 (V10)	84
Obr. 38	Součtová mapa - srážková událost červenec/srpen 1997 (V10)	84
Obr. 39	Srážková událost červenec/srpen 1997 (V10) - I. a II. hlavní komponenta	85
Obr. 40	Součtová mapa - suché období únor/březen 2003 (S11)	86
Obr. 41	Hodnocení srážkového úhrnu během epizody červenec/srpen 1997 (V10)	87
Obr. 42	Změny v prostorové variabilitě extrémních srážkových anomálií	89
Obr. 43	Poloha intenzivních srážkových anomálií ve střední Evropě	91
Obr. 44	Vybrané geografické vlastnosti dlouhodobých anomálií	92
Obr. 45	Synoptická mapa ze dne 6.7. 1997 (vlevo) a 12. 8. 2002 (vpravo)	94

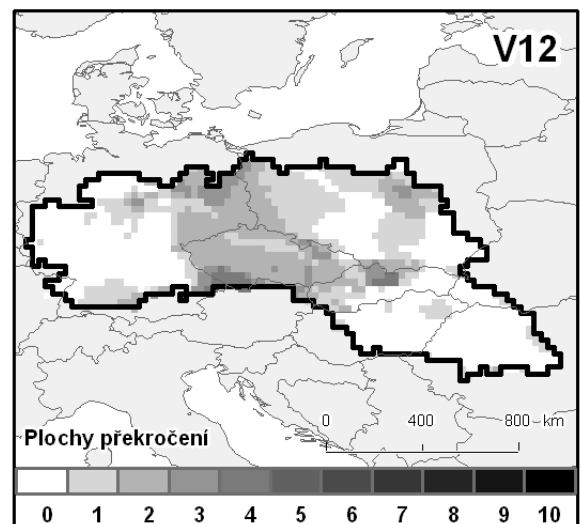
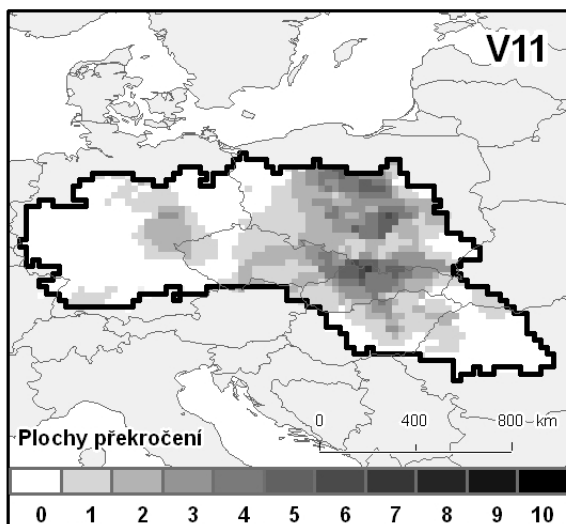
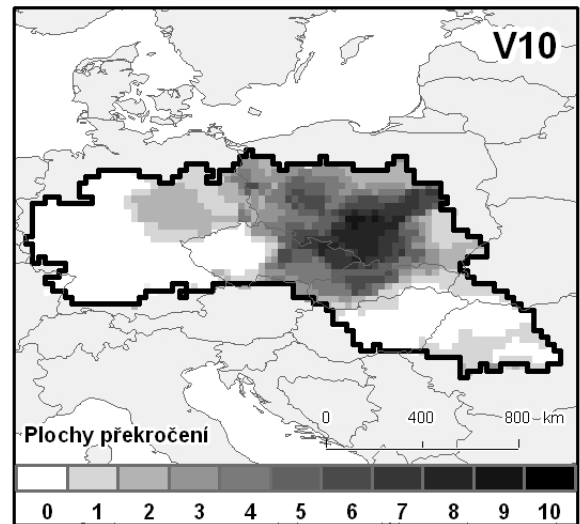
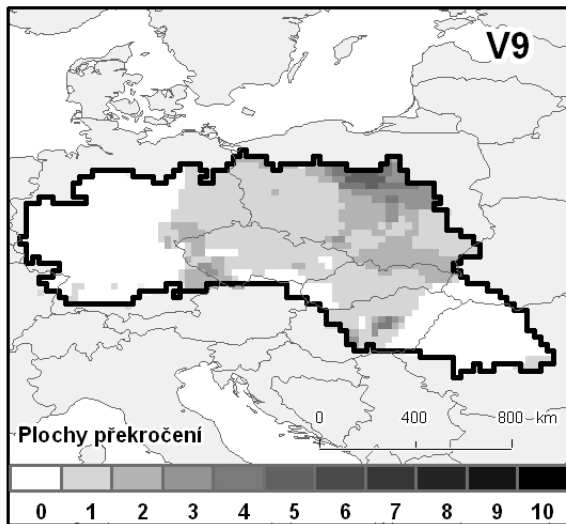
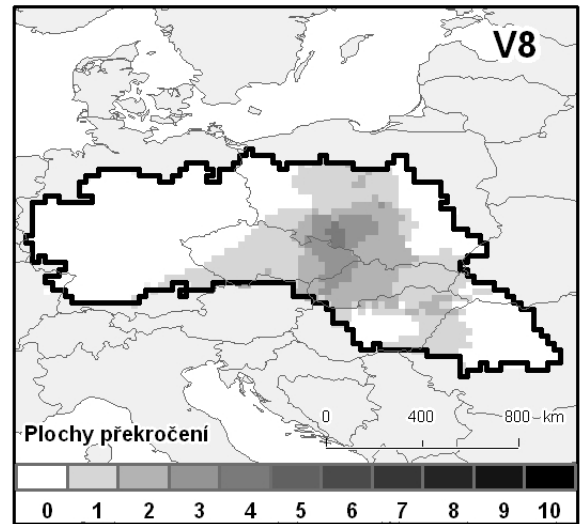
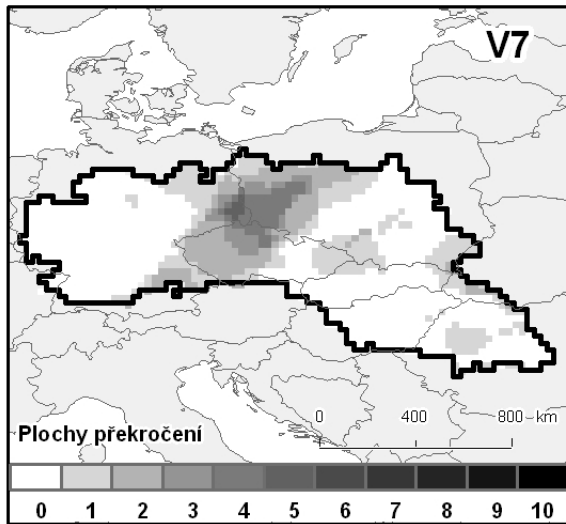
Tabulkové přílohy

Tab. 1	N-dobé srážky v šestnácti 57-letých řadách	16
Tab. 2	Hodnocené charakteristiky srážkových anomálií	56
Tab. 3	Limity pro vlhké srážkové anomálie	80
Tab. 4	Limity pro suché srážkové anomálie	82
Tab. 5	Souhrnné hodnocení srážkových anomálií ve střední Evropě za období 1950 – 2006	88
Tab. 6	Přehled povodní ve střední Evropě po roce 1985	93

Přílohy

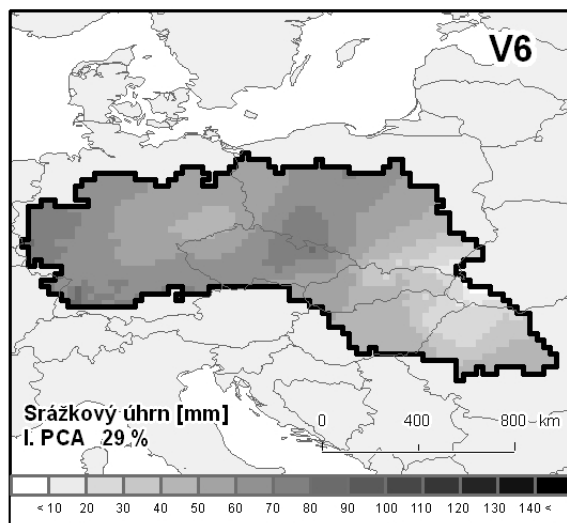
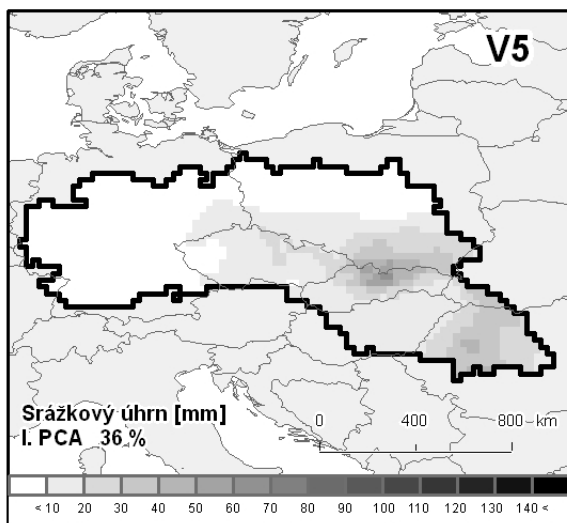
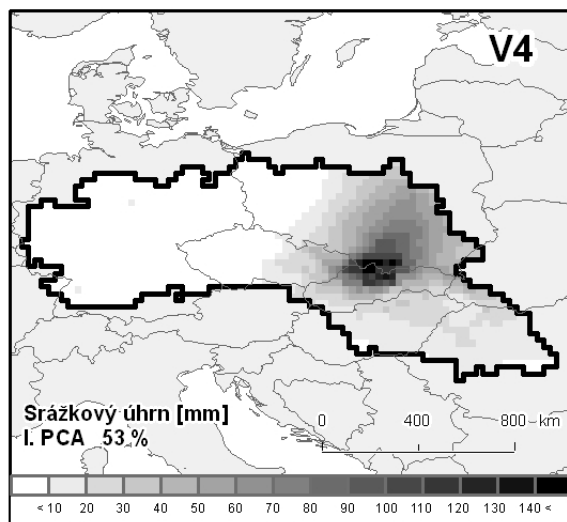
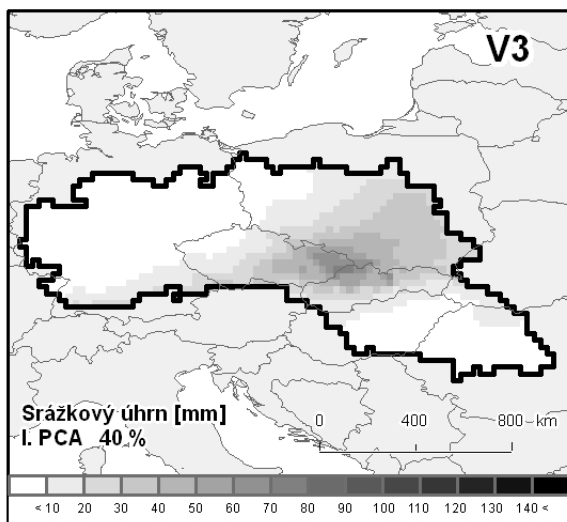
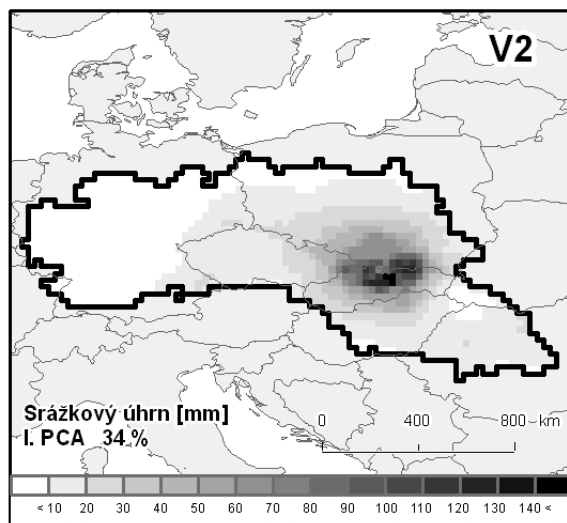
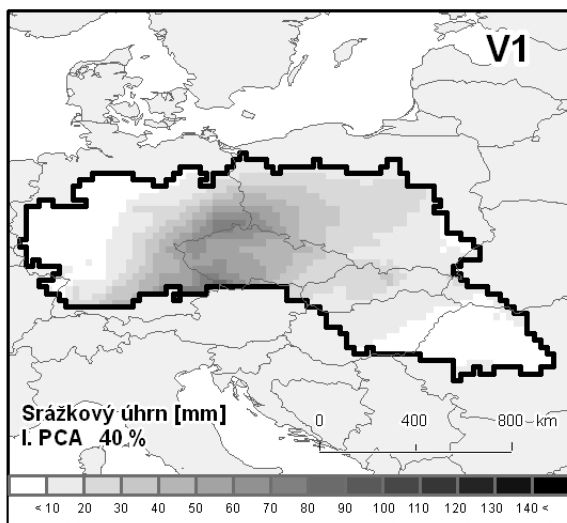
Příloha A - Intenzivní vlhké srážkové anomálie – plochy počtu překročení limitu pro anomálii (12 násobek průměru dílčí oblasti) během jejího trvání.

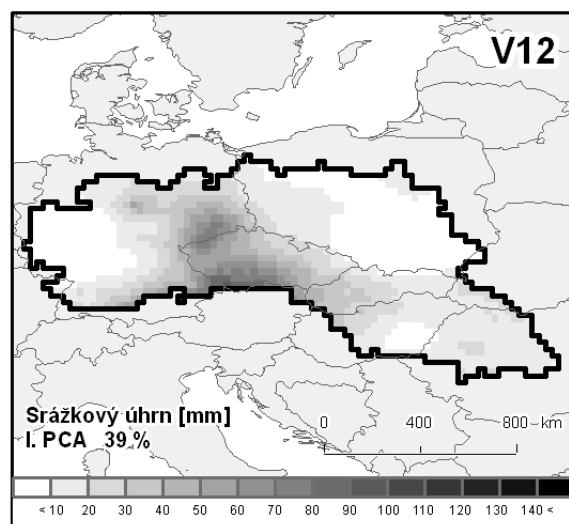
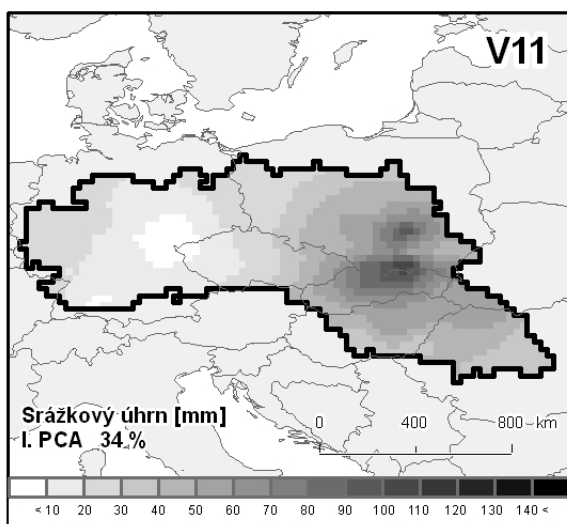
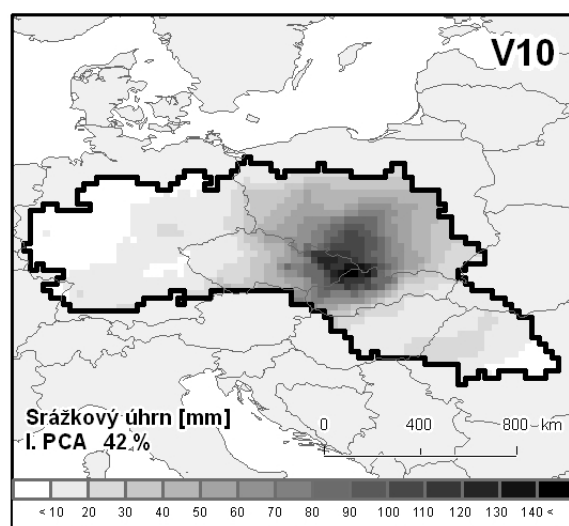
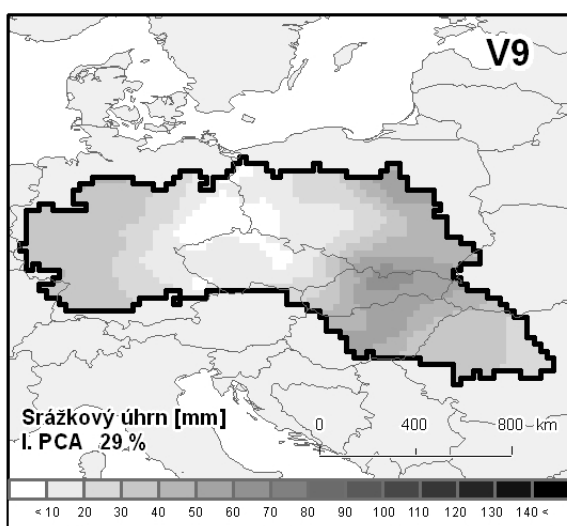
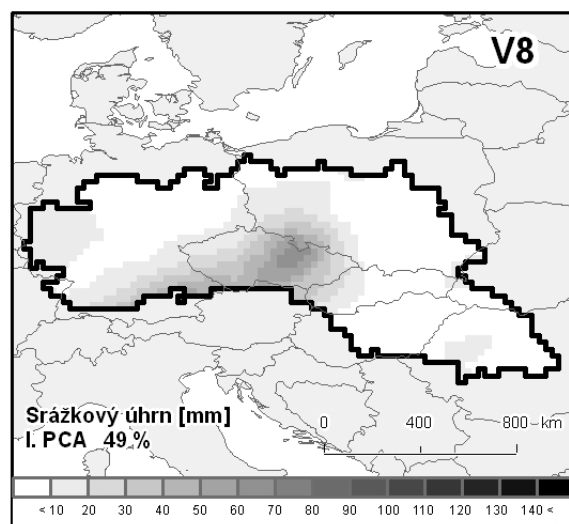
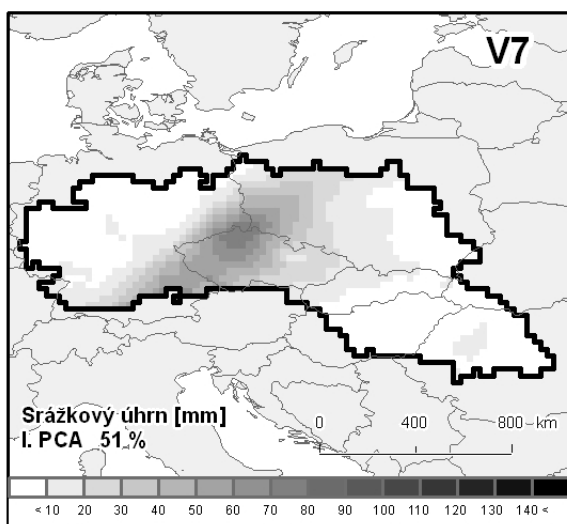




Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

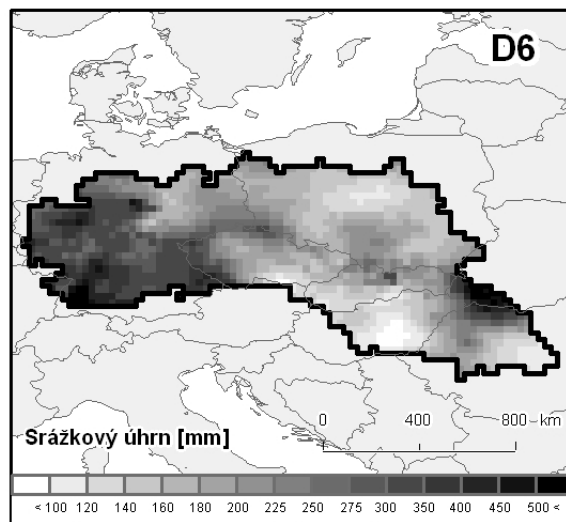
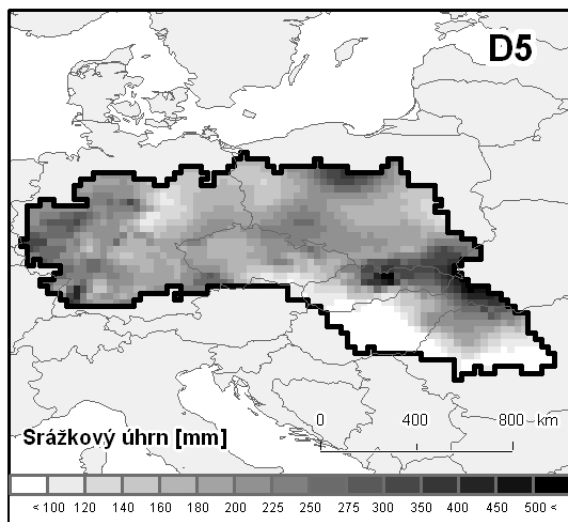
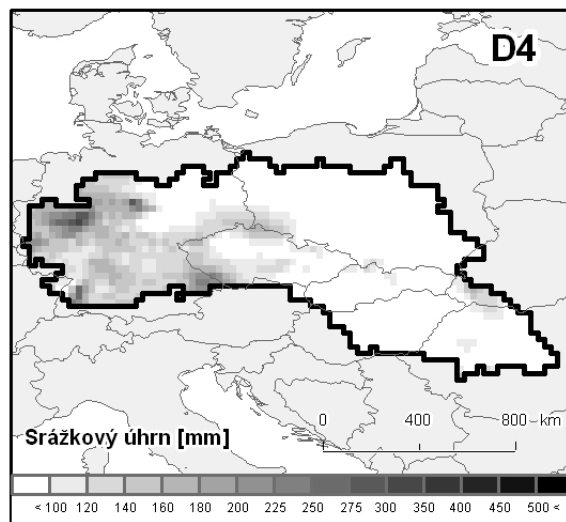
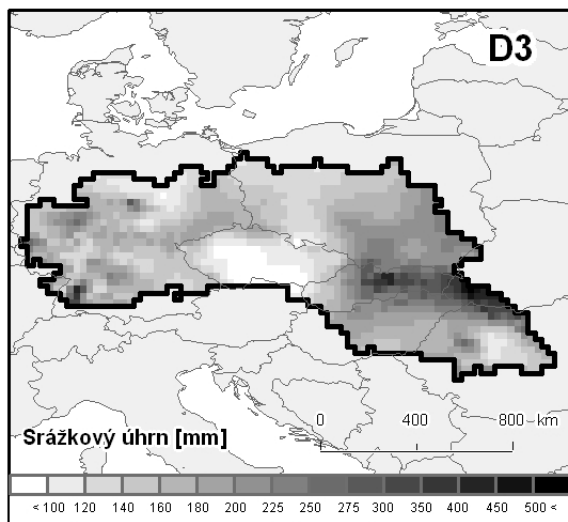
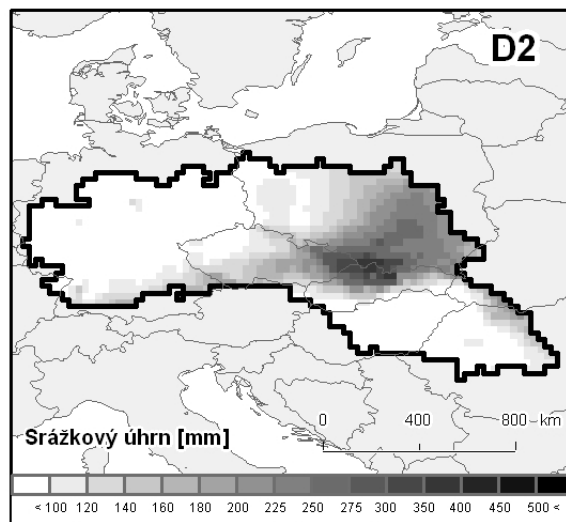
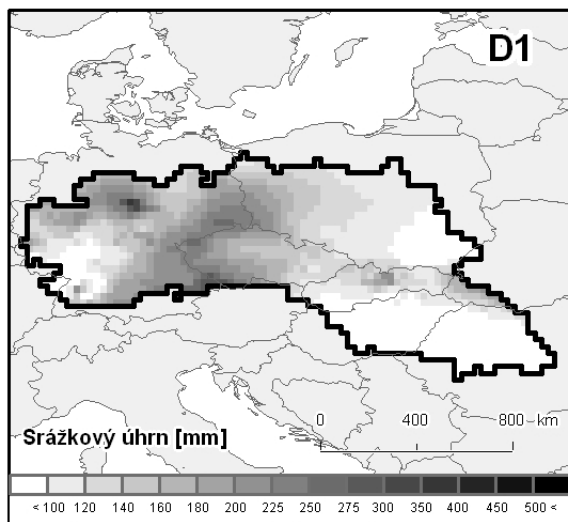
Příloha B - Intenzivní vlhké srážkové anomálie – I. hlavní komponenty anomálií





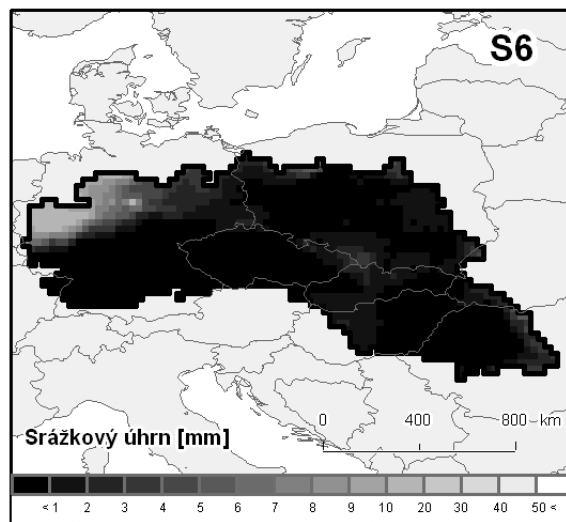
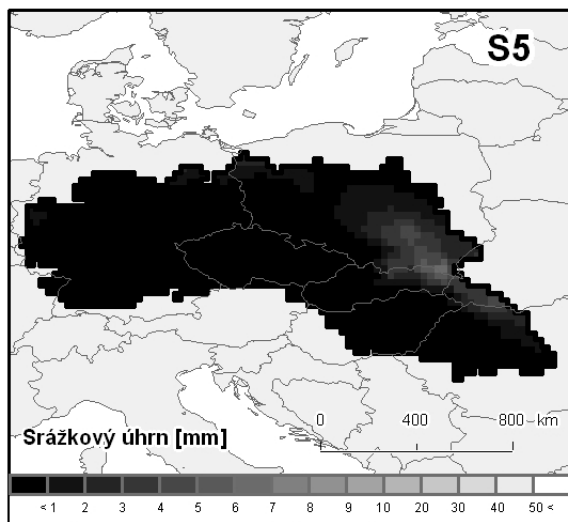
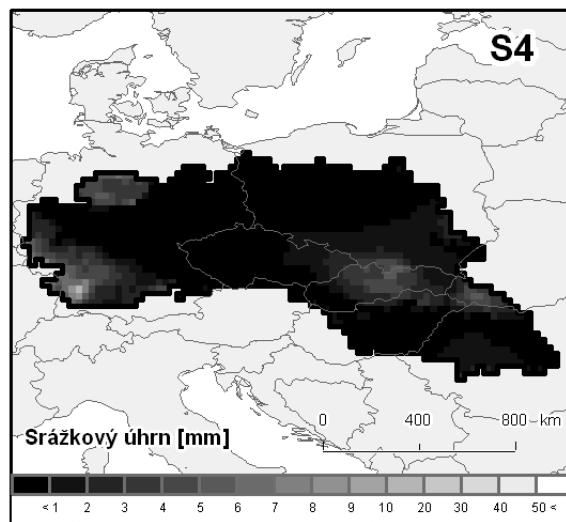
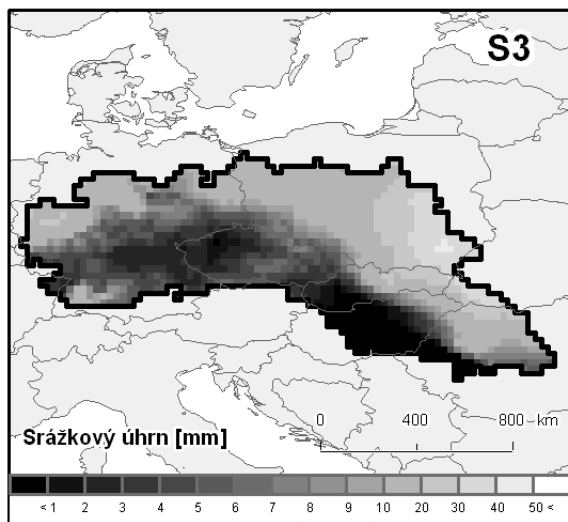
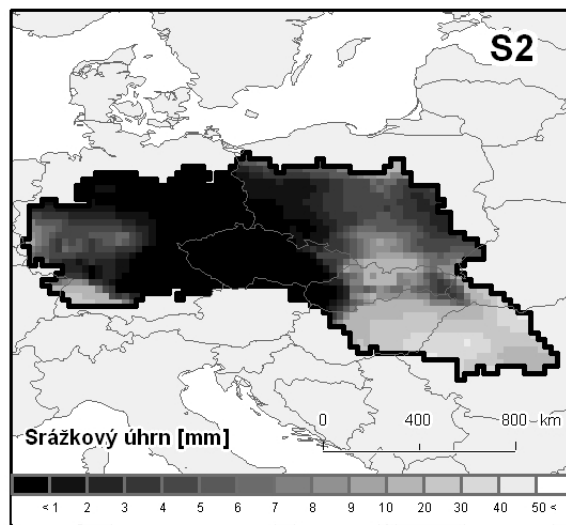
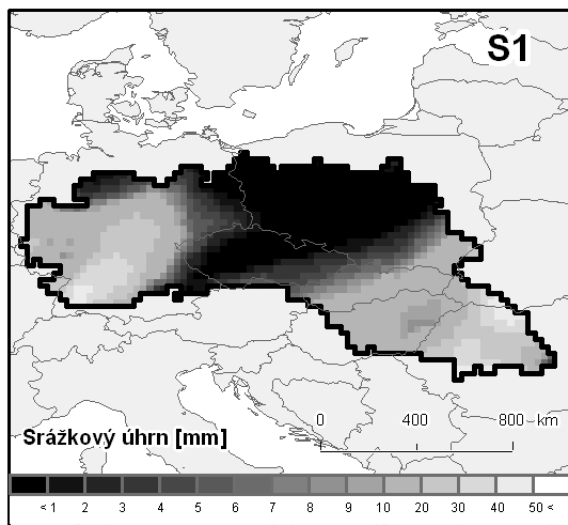
Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

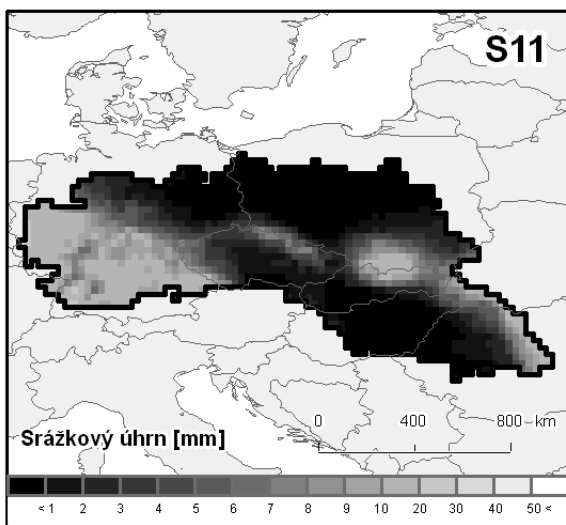
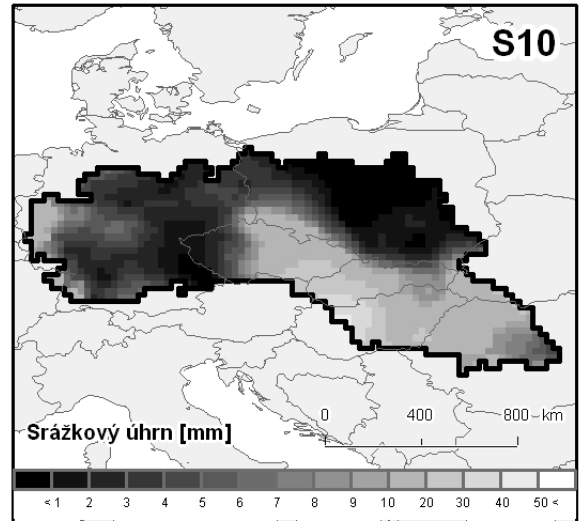
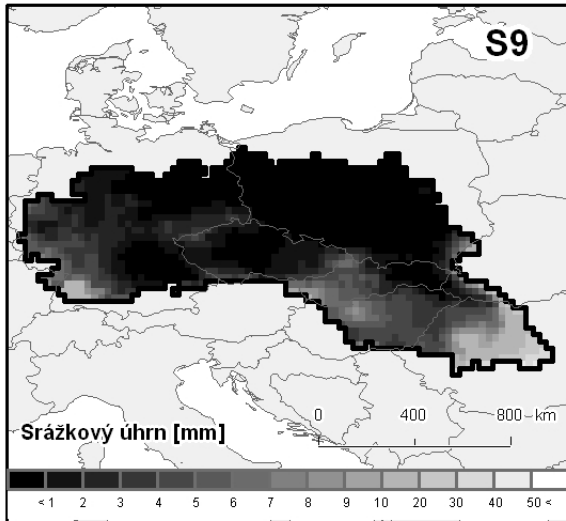
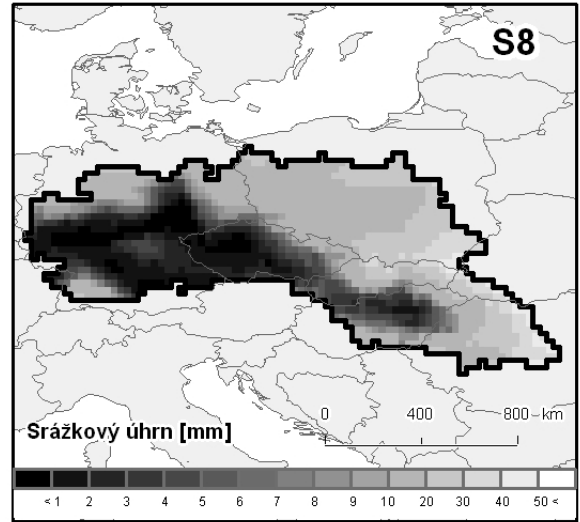
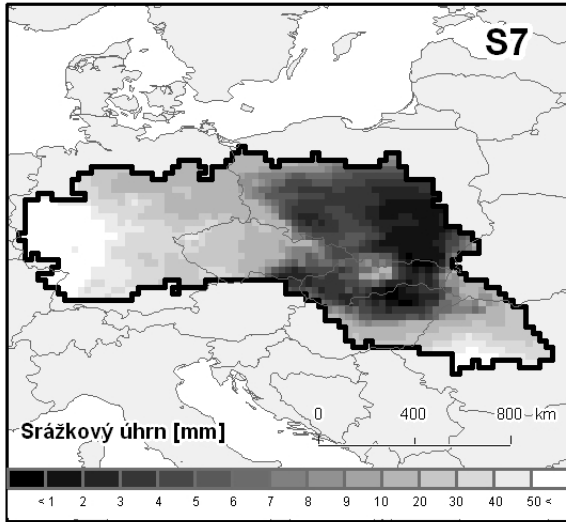
Příloha C – Dlouhodobé vlhké anomálie – Součet srážkového úhrnu



Zdroj: Autor, vypočteno z dat E-Obs

Příloha D – Dlouhodobé suché anomálie – Součet srážkového úhrnu





Příloha E – obsaženo na přiloženém CD.

- pdf verze práce
- ArcGIS Toolbox + skripty pro práci s datasetem E-Obs
- MS Excel s hodnocenými daty + VBA aplikace detekování anomálií
- modely anomálií ve formátu ESRI grid
- vektorové vymezení zájmového území a dílčích oblastí (shapefile)