

**UNIVERZITA KARLOVA**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



**Bc. Martina Kloubová**

# **EXTRÉMNÍ SRÁŽKOVÉ UDÁLOSTI V MAKARONÉSII**

**EXTREME PRECIPITATION EVENTS IN MACARONESIA**

Diplomová práce

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

Praha, 2017

# Zadání diplomové práce

## Název práce

*Extrémní srážkové události v Makaronésii*

## Cíle práce

*Cílem práce je pomocí jednotné metodiky vytvořit soubory extrémních srážkových událostí na jednotlivých souostrovích a tyto soubory analyzovat a porovnat z hlediska plošného rozsahu, sezonality a cirkulačních příčin srážkových extrémů. Tyto poznatky budou zasazeny do širšího kontextu klimatických poměrů Makaronésie, neboť vzhledem k příslušnosti tamních souostroví k různým státům je nedostatek srovnávacích studií klimatu napříč touto oblastí.*

## Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

*Studovaná oblast zahrnuje souostroví Makaronésie od Azorských ostrovů přes Madeiru, Kanárské ostrovy po Kapverdské ostrovy. Srážky budou analyzovány na základě staničních dat v denním kroku, která budou získána z veřejně dostupných klimatologických databází. K vyhodnocení extremity srážek budou aplikovány doby opakování denních až třídních úhrnů na stanicích, určené metodou L-momentů. Extrémní srážkové události budou vymezeny pomocí geometrického průměru N-letostí ze stanic v rámci daného souostroví. Časová a prostorová variabilita událostí bude studována metodou směrových vektorů. Bude provedena i základní analýza cirkulačních příčin extrémních srážek pomocí vybrané typizace povětrnostních situací.*

Datum zadání: 19. prosince 2016

Jméno studenta: Bc. Martina Kloubová

Podpis studenta: .....

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

Podpis vedoucího práce: .....

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně pod odborným vedením RNDr. Miloslava Müllera, Ph.D. a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 25. listopadu 2017

.....

Bc. Martina Kloubová

Ráda bych poděkovala vedoucímu své diplomové práce RNDr. Miloslavu Müllerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, za čas, který mi v průběhu přípravy práce věnoval, a především za velmi obětavý přístup. Zároveň děkuji Mgr. Janu Stryhalovi za vytvoření klasifikace atmosférické cirkulace zájmové oblasti a za poskytnutí dat z reanalýzy přízemního tlaku vzduchu. Dále také děkuji RNDr. Vojtěchu Bližňákovi, Ph.D. za konzultaci dat z portugalského území. Mé poděkování si zaslouží i Bruno Matos, za vyjádření k některým hodnotám ze stanic Azorských ostrovů, a má rodina za podporu během celého studia.



## **Extrémní srážkové události v Makaronésii**

### **Abstrakt**

Práce se věnuje extrémním srážkovým událostem v Makaronésii, oblasti ve východním Atlantiku, jež zahrnuje souostroví Azorské, Madeirské, Kanárské a Kapverdské. Po obsáhlé fyzikogeografické charakteristice regionu následuje analýza denních srážkových dat z období 1977–2016 ze 16 stanic. Kvalita dat kolísá, jako nejspolehlivější se ukázala data z Kanárských ostrovů. K hodnocení extremity srážek jsou jejich denní až třídní úhrny vyjádřeny pomocí dob opakování, za každé souostroví je následně pomocí geometrických průměrů N-letostí získán přehled 20 událostí s největší extremitou. Časová a prostorová variabilita událostí je řešena metodou směrových vektorů. Případy extrémních srážek jsou na všech souostrovích koncentrovány ve vlhké části roku, avšak s různou intenzitou. Největší koncentraci vykazují Kapverdy (září), nejmenší Azory a Madeira, kde se vyskytují jednodenní extrémy i v teplé části roku. Pouze na Kapverdách byl během studovaného období zaznamenán nárůst počtu událostí. Extrémní události zpravidla zasáhnou jen jedno ze souostroví Makaronésie. Na závěr je provedena základní analýza cirkulačních příčin extrémních událostí pomocí vybrané typizace povětrnostních situací.

**Klíčová slova:** Makaronésie, extrémní srážky, oceánské klima, doba opakování, sezonalita srážek

## **Extreme precipitation events in Macaronesia**

### **Abstract**

The thesis is dedicated to extreme precipitation events in Macaronesia, an area in the Eastern Atlantic that includes the Azores, Madeira, Canary and Cape Verde Islands. An extensive physical-geographic characteristic of the region is followed by the analysis of daily rainfall data from the period 1977–2016, based on 16 stations. Data quality fluctuates, whereas data from the Canary Islands proved to be the most reliable. To evaluate the extremity of precipitation, their one-day to three-day sums are expressed using return periods, each archipelago then obtains an overview of 20 events with the largest extremity via geometric means of the return periods. The temporal and spatial variability of the events is solved by direction vector method. In all the archipelagoes, the cases of extreme precipitation are concentrated in the humid part of the year, but at varying intensities. The highest concentration of the events is reported in Cape Verde (in September), whereas the smallest one belongs to Azores and Madeira, with one-day extremes even in the warmer part of the year. An increase in the number of events during the studied period has only been reported in Cape Verde. Extreme events usually hit only one of the Macaronesian archipelagoes. Finally, a basic analysis of the circulation causes of extreme events is carried out, using selected typification of synoptic situations.

**Keywords:** Macaronesia, extreme precipitation, oceanic climate, return period, seasonality of precipitation

# Obsah

Seznam zkratk .....	8
Seznam obrázků .....	9
Seznam tabulek .....	10
Seznam příloh .....	10
1 ÚVOD .....	11
1.1 Vymezení oblasti .....	11
1.2 Cíle a struktura práce .....	13
2 FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA .....	15
2.1 Geneze a geologické poměry .....	15
2.1.1 Vývojové fáze ostrova oceánského typu .....	15
2.1.2 Existence Paleomakaronésie .....	16
2.1.3 Morfogeneze ostrovů na příkladu Kanárského souostroví .....	18
2.2 Klimatická a hydrologická charakteristika .....	20
2.2.1 Charakteristika klimatu dle Köppenovy klasifikace .....	20
2.2.2 Hlavní klimatické faktory .....	23
2.2.3 Teplota vzduchu .....	27
2.2.4 Srážky .....	27
2.2.5 Kolísání a trendy v klimatických poměrech .....	29
2.2.6 Hydrologická charakteristika .....	30
2.3 Biogeografická charakteristika .....	32
2.3.1 Biogeografické důsledky existence Paleomakaronésie .....	32
2.3.2 Makaronéské ekosystémy .....	33
2.3.3 Půdní poměry .....	37
3 HYDROMETEOROLOGICKÁ OHROŽENÍ V MAKARONÉSII .....	39
3.1 Silné srážky a jejich následky .....	39
3.2 Větrné bouře .....	41
3.3 Horké vlny .....	43
3.4 Sucho a požáry .....	43
4 DATA A METODY .....	45
4.1 Srážkoměrná data a jejich zpracování .....	45

4.1.1	Charakter získaných srážkoměrných dat.....	46
4.1.2	Hodnocení extremity srážek.....	48
4.1.3	Sezonalita extrémních událostí.....	51
4.1.4	Plošné vymezení extrémních událostí.....	53
4.2	Data k popisu cirkulačních podmínek .....	54
4.2.1	Atmosférická reanalýza JRA-55.....	55
4.2.2	Klasifikace cirkulačních typů.....	55
5	ANALÝZA EXTRÉMNIÍCH SRÁŽKOVÝCH UDÁLOSTÍ V MAKARONÉSII .....	57
5.1	Extrémní srážkové události na jednotlivých souostrovích.....	57
5.2	Analýza rozdělení extrémních událostí v čase .....	64
5.2.1	Sezonalita srážkových událostí .....	65
5.2.2	Vývoj četností ve studovaném období.....	69
5.3	Plošný rozsah srážkových událostí.....	71
5.3.1	Rozsah v rámci jednoho souostroví.....	71
5.3.2	Rozsah v rámci Makaronésie .....	72
5.3.3	Cirkulační podmínky .....	74
6	SHRnutí VÝSLEDKŮ A DISKUZE .....	77
6.1	Kvalita srážkoměrných dat a soubory událostí .....	77
6.2	Rozdělení extrémních událostí v čase .....	79
6.3	Plošný rozsah extrémních událostí.....	81
7	ZÁVĚR .....	82
	ZDROJE.....	83

## Seznam zkratek

ACANMET	Asociación Canaria de Meteorología
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AZ	Azorské ostrovy
ECA&D	European Climate Assessment and Dataset
GHCN	Global Historical Climatology Network
GSOD/NCDC	Global Summary of the Day
ITCZ	Intertropická zóna konvergence
KN	Kanárské ostrovy
KP	Kapverdské ostrovy
MA	Madeirské souostroví
MD	Mean Day
NAOI	North Atlantic Oscillation Index
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NHC	National Hurricane Center
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SLP	Sea Level Pressure
UTC	Universal Time Coordinated

## Seznam obrázků

Obr. 1: Vymezení Makaronésie.....	11
Obr. 2: Souostroví tvořící Makaronésii.....	12
Obr. 3: Hurikán Ophelia se středem jižně od Azorských o. ....	13
Obr. 4: Fáze ostrova oceánského typu. ....	16
Obr. 5: Madeirská a Kanárská vulkanická provincie.....	17
Obr. 6: Fáze ostrovní morfogeneze na příkladu Madeirské a Kanárské vulk. provincie. ....	19
Obr. 7: Klimagram za každé ze čtyř souostroví Makaronésie.....	21
Obr. 8: Boreální klima se stejnoměrným rozdělením srážek a chladným létem (Dfc).. ....	22
Obr. 9: Průměrný SLP v severním Atlantiku (1979-2012).....	23
Obr. 10: Saharská písečná advekce („calima“) nad Atlantikem. ....	26
Obr. 11: Oceánské proudy v Atlantiku.....	26
Obr. 12: Průměrné sezónní srážkové úhrny (mm) v Makaronésii (1979-2012).. ....	28
Obr. 13: Dlouhodobý vývoj průměrné roční teploty vzduchu v Makaronésii.....	30
Obr. 14: Kráterová jezera Sete Cidades na ostrově São Miguel (Azory).....	31
Obr. 15: Euphorbia canariensis (pryšec kanárský) na Tenerife.....	34
Obr. 16: Vavřínový les („laurisilva“).....	35
Obr. 17: Pinus canariensis (borovice kanárská).....	36
Obr. 18: Povodeň a bahenní proudy v Ribeira Brava na Madeiře. Únor 2010.....	40
Obr. 19: Dráha hurikánu Vince (2005). ....	42
Obr. 20: Lesní požáry na Madeiře v červenci 2012.....	44
Obr. 21: Průměrný SLP při epizodě sucha na Kanárských ostrovech v list. 1994.....	44
Obr. 22: Výpočet sezonality srážkových událostí.....	53
Obr. 23: Cirkulační typy – Azorské ostrovy. ....	56
Obr. 24: Sezonalita extrémních srážkových událostí Azorských o. ....	66
Obr. 25: Sezonalita extrémních srážkových událostí Madeiry. ....	67
Obr. 26: Sezonalita extrémních srážkových událostí Kanárských o. ....	68
Obr. 27: Sezonalita extrémních srážkových událostí Kapverdských o. ....	69
Obr. 28: Vývoj četností extrémních srážkových událostí v Makaronésii.....	70
Obr. 29: Plošný rozsah N-letostí v rámci jednotlivých souostroví.. ....	71
Obr. 30: Tlakové útvary nad Azorskými a Kanárskými ostrovy ....	73
Obr. 31: SLP dne 16. 12. 2002 v Makaronésii. ....	74
Obr. 32: Četnost cirkulačních typů při extrémních srážkových událostech.. ....	76
Obr. 33: Povodně na Madeiře 20. února 2010.....	78

## Seznam tabulek

Tab. 1: Základní geologické poměry Makaronésie.....	15
Tab. 2: Makaronéské ekosystémy.....	37
Tab. 3: Úprava některých srážkoměrných dat před jejich analýzou. ....	47
Tab. 4: Srážkové události na Azorech.....	58
Tab. 5: Zastoupení srážkových událostí Azorských o. na jednotlivých stanicích. ....	59
Tab. 6: Srážkové události na Madeiře.....	60
Tab. 7: Zastoupení srážkových událostí Madeiry na jednotlivých stanicích. ....	61
Tab. 8: Srážkové události na Kanárských o. ....	62
Tab. 9: Zastoupení srážkových událostí Kanárských o. na jednotlivých stanicích.....	63
Tab. 10: Srážkové události na Kapverdských o. ....	64
Tab. 11: „Mean day“ a hodnota $r$ pro všechna souostroví. ....	65
Tab. 12: Výskyt srážkových událostí na více souostrovích současně. ....	72
Tab. 13: Cirkulační typy odpovídající výskytu extrémních srážkových událostí. ....	75

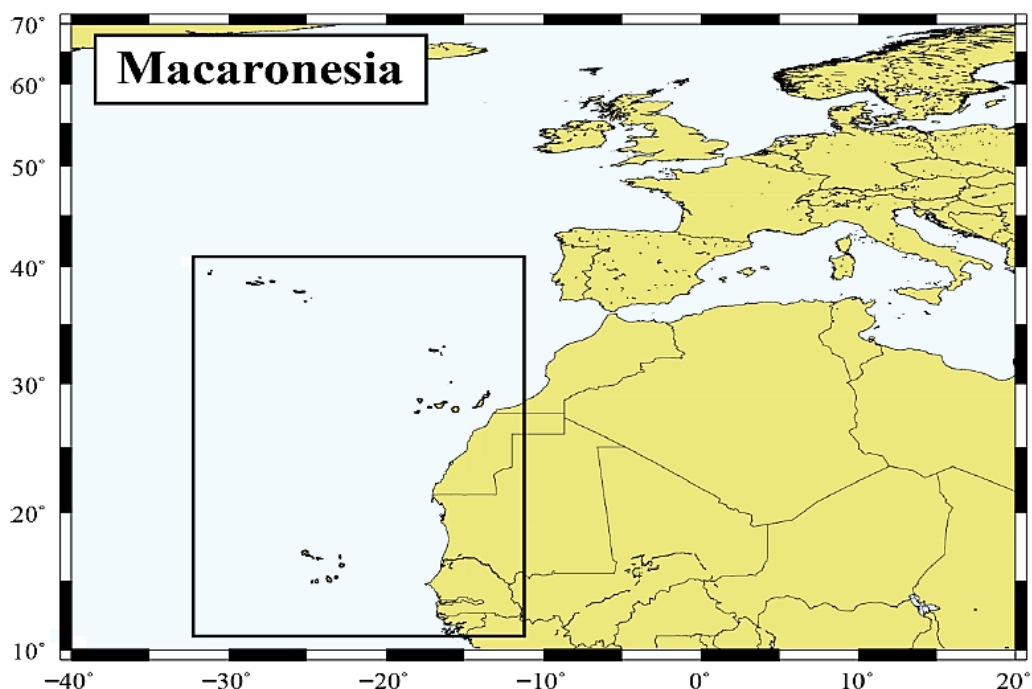
## Seznam příloh

Příl. 1: Průměrné měsíční teploty vzduchu (°C) na vybraných stanicích Makaronésie
Příl. 2: Průměrné měsíční srážkové úhrny (mm) na vybraných stanicích Makaronésie
Příl. 3: Klimagramy vybraných azorských stanic
Příl. 4: Klimagramy vybraných kanárských stanic
Příl. 5: Cirkulační typy – Madeira
Příl. 6: Cirkulační typy – Kanárské o.
Příl. 7: Cirkulační typy – Kapverdy

# 1 ÚVOD

## 1.1 Vymezení oblasti

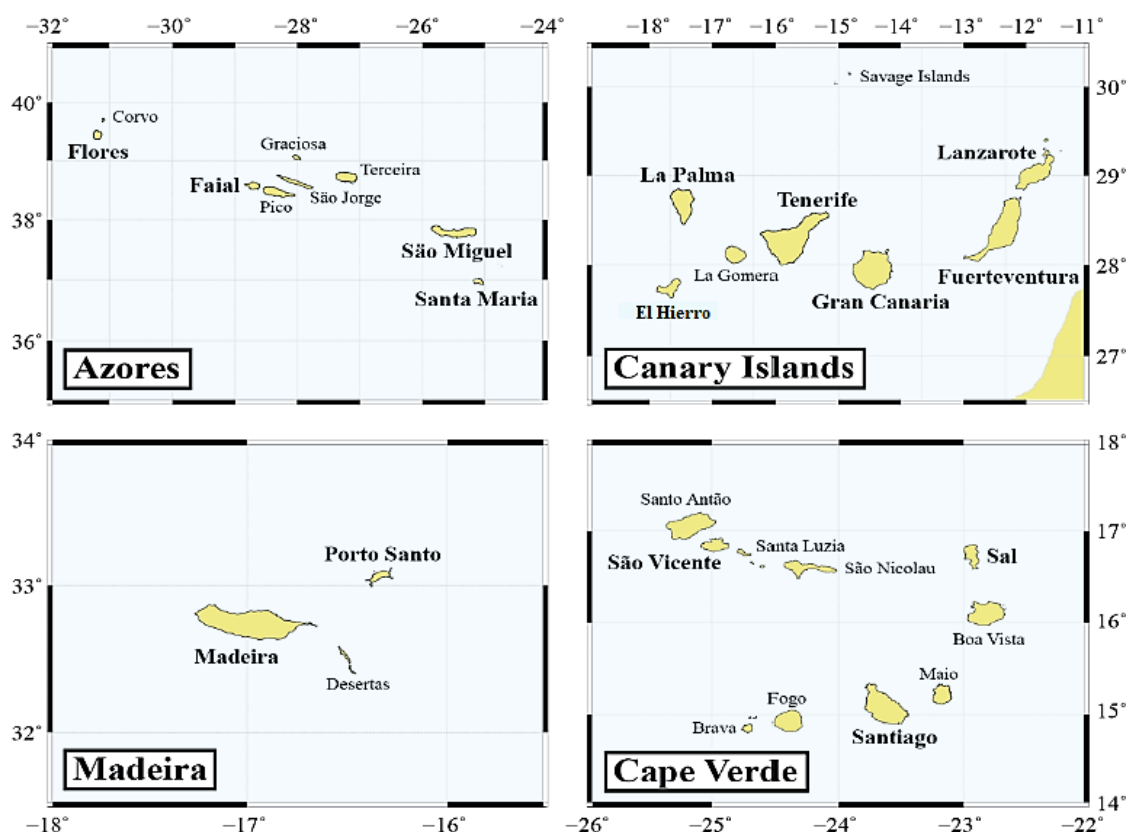
Makaronésie je název geografického regionu nacházejícího se ve východní části severního Atlantiku (obr. 1). Zahrnuje pět souostroví (obr. 1, 2). Azory (Santa Maria, São Miguel, Terceira, São Jorge, Graciosa, Pico, Faial, Corvo a Flores) jsou nejsevernějším z nich a nachází se na nich nejvyšší hora Portugalska, Ponta do Pico (2 351 m n. m.). Madeira (Madeira, Porto Santo a Desertas) je druhým nejsevernějším souostrovím Makaronésie. Ostrovy Selvagens (Selvagem Grande a Selvagem Pequena) se nacházejí přibližně ve dvou třetinách vzdálenosti mezi Madeirou a Kanárskými ostrovy a nejsou trvale osídleny. Asi 400 km jižně od Madeiry leží Kanárské ostrovy (El Hierro, La Palma, La Gomera, Tenerife, Gran Canaria, Fuerteventura a Lanzarote) s nejvyšší horou Španělska, Pico del Teide (3 718 m n. m.). Nejižnějším souostrovím tohoto regionu jsou Kapverdké ostrovy (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal, Boavista, Maio, Santiago, Fogo a Brava), z nichž prvních šest jmenovaných patří do celku Barlavento (Návětrí) a zbylé čtyři do celku Sotavento (Závětrí). Každé souostroví se skládá z mnoha dalších ostrůvků, vyjmenované jsou jen největší z nich. Ostrovů s rozlohou větší než 1 km<sup>2</sup> je v Makaronésii 39.



Obr. 1: Vymezení Makaronésie. Zdroj: Cropper (2015).

Region Makaronésie se rozkládá mezi 14,8° s. š. (Brava, Kapverdké o.) a 39,7° s. š. (Corvo, Azory) a mezi 13,4° z. d. (Roque del Este, Kanárské o.) a 30,9° z. d. (Flores, Azory). Maximální vzdálenost v rámci regionu, 2 812 km, od sebe dělí ostrovy Corvo a Brava. Z hlediska jednotlivých souostroví jsou kontinentálnímu mysu nejbližší Kanárské ostrovy

(ostrov Fuerteventura leží 96 km od Zápádni Sahary), nejdále od nejbližšího kontinentálního mysu jsou Azory (nejbližší ostrov São Miguel se nachází 1 369 km od Portugalska). Oproti tomu, ostrov Brava se nachází 2 812 km od severovýchodního pobřeží Brazílie (Fernández-Palacios, 2010) a ostrov Corvo leží jen 1 930 km od Cape Race na Newfoundlandu v Kanadě (ačkoliv se zde jedná o vzdálenost dvou ostrovů), což je zhruba stejná vzdálenost, která ho dělí od portugalského Lisabonu (Cropper, 2013).



**Obr. 2: Souostroví tvořící Makaronésii.** Azory, Kanárské o., Madeira a Kapverdy. Tučně jsou zvýrazněny ostrovy, na nichž jsou volně dostupná srážkoměrná data alespoň z jedné stanice. Zdroj: Cropper (2015).

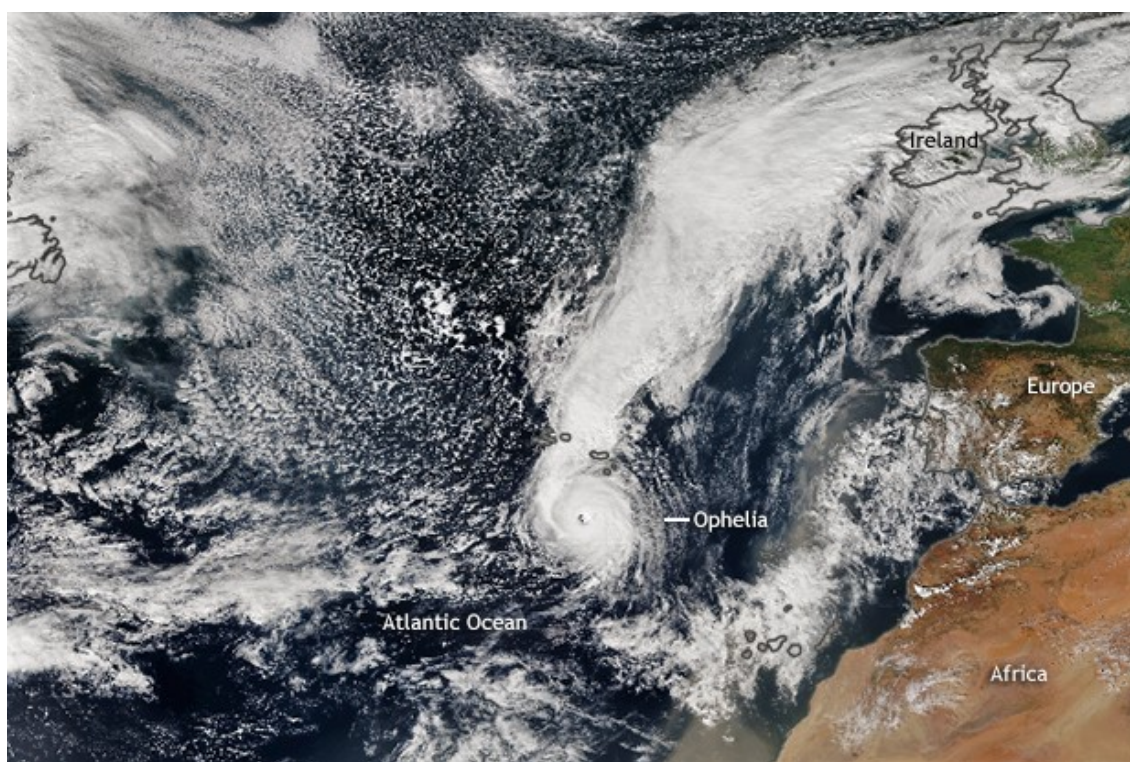
Původ názvu Makaronésie pochází z antického Řecka a dá se přeložit jako „Šťastné ostrovy“ či „Požehnané ostrovy“ (Cropper, 2013). Zatímco Madeira, Azory a Kapverdy byly objeveny portugalskými mořeplavci v letech 1418, 1432 a 1456 n. l. (v tomto pořadí), podle archeologických nálezů se odhaduje, že Kanárské ostrovy byly osídleny již před 2 500 lety. Těmito původními obyvateli byli Guančové, etnická skupina příbuzná s Berbery a jediní domorodci, o nichž je známo, že žili v makaronéské oblasti před příchodem Portugalců a Španělů v 15. století. Proto také modifikace přírodního prostředí Kanárských ostrovů výrazně předcházela prvním písemným záznamům o tomto souostroví (Fernández-Palacios, 2010). V současnosti jsou Kanárské ostrovy součástí Španělska, Madeira a Azory součástí Portugalska a Kapverdy samostatným ostrovním státem.



Označení Makaronésie není příliš často užíváno – zřejmě proto, že zahrnuje souostroví, jež jsou součástí tří různých států. Ačkoliv je tento region velmi rozmanitý, co se týče některých fyzikogeografických charakteristik, mnoho znaků má také společných: vulkanický původ, nebývalé množství endemických druhů či poměrně stabilní klima. García-Talavera (1999) nazývá Makaronésii „laboratoří endemitů“ a je podle něj unikátní přírodní oblastí, jež je živá z geologického a biologického hlediska a vypráví o geologické minulosti planety Země.

## 1.2 Cíle a struktura práce

Makaronésie je z klimatologického hlediska významnou oblastí už kvůli existenci kvazipermanentní azorské anticyklony, jež celoročně ovlivňuje i počasí střední Evropy. Současně také západně od Kapverdských ostrovů začínají svou dráhu tropické poruchy, z nichž mnohé se v minulosti vyvinuly do stádia ničivé tropické cyklony (Cropper, 2013). Projevy extrémních srážek, ale i dalších meteorologických extrémů v této oblasti tak mohou mít ve své významnosti mnohem větší přesah, než kam sahá geografické vymezení těchto souostroví.



**Obr. 3: Hurikán Ophelia se středem jižně od Azorských o.** (jejich obrys zvýrazněn). Satelitní snímek ze 14. 10. 2017. Zdroj: NOAA (2017a).

Tropické cyklony však již v několika případech zasáhly přímo ostrovy Makaronésie. V říjnu 2017 to byl hurikán Ophelia, jenž přešel přes Azorské ostrovy (obr. 3) a přinesl silný vítr a intenzivní srážky (NHC, 2017). Ophelia nebyla nejničivější tropickou cyklonou této neobvykle silné hurikánové sezóny, její trasa byla nicméně velmi ojedinelá, neboť zasáhla s velkou silou ještě např. Irsko, kam dorazila už jako mimotropická cyklona po transformaci

z tropické. Ačkoliv je klima makaronéských ostrovů obecně považováno za stabilní (Cropper, 2013), jejich geografická poloha a vulkanický původ s častou přítomností strmých svahů představuje potenciální hydrometeorologické riziko, a to zejména v souvislosti se silnými srážkami. Také z tohoto důvodu má smysl extrémní srážkové události blíže analyzovat.

Důvodem výběru tématu byla nicméně i osobní motivace poznat lépe tento pozoruhodný region, návštěva několika makaronéských ostrovů během studijní stáže v Seville a současně možnost pracovat se španělskou odbornou literaturou, jež má k tomuto tématu přirozeně mnohem blíže.

Cílem práce je sestavit dostatečně obsáhlý soubor extrémních srážkových událostí za každé souostroví Makaronésie a tyto soubory analyzovat a porovnat z hlediska plošného rozsahu, sezonality a cirkulačních příčin. V práci nebudou analyzovány srážkové extrémy obecně, mezi něž patří například i sucho, ale extrémní srážkové události, jejichž extremita je určena vysokým úhrnem srážek v krátkém časovém období. Extremita události nicméně není přesně definovaný pojem; podle Benistona et al. (2007) může být určena její vzácností, intenzitou či závažností, která vychází z hodnocení dopadů na lidskou společnost.

V regionálním měřítku bývá extremita srážkových událostí hodnocena na základě překročení určitých úhrnů. Vzhledem ke značné fyzickogeografické heterogenitě Makaronésie je však vhodnější vyjádřit extrémní úhrn pomocí doby opakování (Müller, Kašpar, 2014), jak tomu je i v předložené práci. Vzácnost událostí je tím pak do značné míry srovnatelná mezi ostrovy i souostrovími. Doba opakování je vyjádřena vždy pro jednodenní až tří denní srážkové úhrny, aby v případě vícedenních srážek nezanikla jejich extremita.

Součástí práce je fyzickogeografická charakteristika studovaného území. Jejím cílem je vystihnout hlavní rysy souostroví, neboť práci, jež se Makaronésií zabývají souhrnně a v širším kontextu, není příliš ani v zahraniční literatuře. V praktické části práce je cílem do každé analýzy zahrnout všechna čtyři souostroví, ačkoliv je to mnohdy problematické v případě Kapverd, kde z dostupných srážkoměrných dat jsou použitelná jen data z jedné stanice. Žádná analýza se také netýká neobydlených ostrovů Selvagens.

Práci lze víceméně rozdělit do tří částí: teoretickou část, charakterizující studovanou oblast na základě dostupné literatury (kap. 2 a 3). Ta je následována kapitolou 4, jež podrobněji popisuje použitá data a metody. Praktická část v podobě kapitoly 5 pak obsahuje výsledky analýzy srážkových událostí.

## 2 FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA

### 2.1 Geneze a geologické poměry

Makaronéské ostrovy jsou oceánské ostrovy vulkanického původu, jež nikdy nebyly součástí kontinentu. Tab. 1 znázorňuje některé jejich základní fyzickogeografické charakteristiky. Nejstarším souostrovím jsou Selvagens – 27 milionů let (stáří ostrova Selvagem Grande). Nejmladším jsou Azory, se stářím 8 milionů let ostrova Santa Maria. Ačkoliv ostrovy Makaronésie sdílí vulkanický původ, projevuje se v současnosti sopečná aktivita pouze na třech jejich souostrovích – na Azorech, Kanárských a Kapverdských ostrovech, a to několika erupcemi v posledních desetiletích (Fernández-Palacios, 2011). K poslední sopečné erupci na Madeiře došlo před 25 tisíci lety (Prada, Serralheiro, 2000), zatímco na ostrovech Selvagens je poslední erupce datována do období pliocénu (Geldmacher et al., 2005).

**Tab. 1: Základní geologické poměry Makaronésie.** My = milion let, Ky = tisíc let. Upraveno podle: Fernández-Palacios (2011), Carracedo et al. (2015).

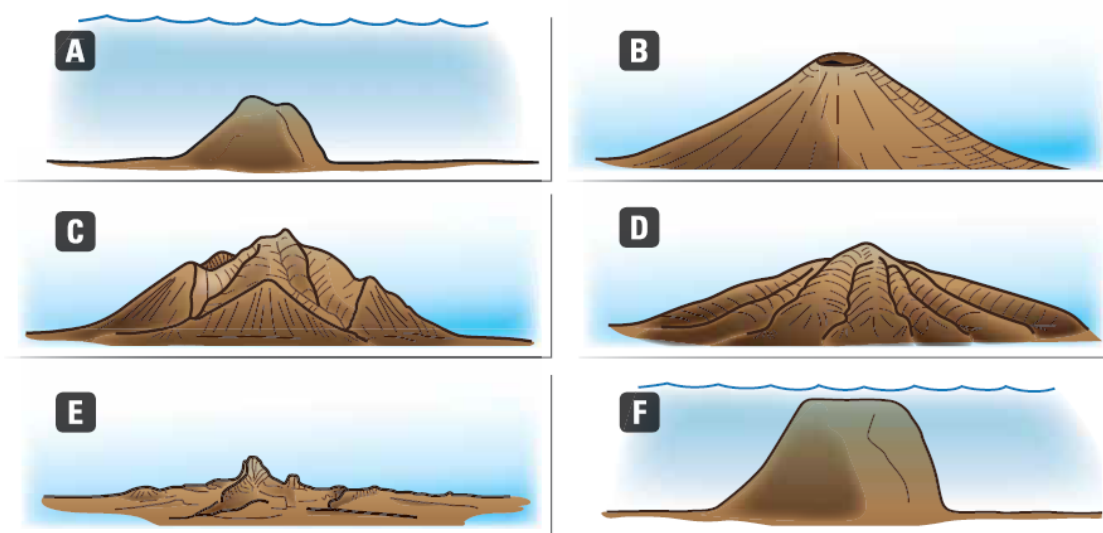
Parametr	Azory	Madeira	Selvagens	Kanárské o.	Kapverdské o.
Počet ostr. > 1 km <sup>2</sup>	9	4	1	11	14
Rozloha (km <sup>2</sup> )	2 764	815	4	7 445	4 033
Max. nadm. v. (m)	2 351 (Pico)	1 862 (Madeira)	163 (S. Grande)	3 718 (Tenerife)	2 835 (Fogo)
Vzdál. od kontinentu (km)	1 369 (São Miguel)	630 (P. Santo)	388 (S. Grande)	96 (Fuerteventura)	571 (Boavista)
Stáří prvního vynořeného ostrova (My)	8 (Sta. Maria)	14 (P. Santo)	27 (S. Grande)	21 (Fuerteventura)	16 (Sal)
Posl. vulk. erupce	1957 (Faial)	25 Ky BP (Madeira)	3,4 My BP (S. Grande)	1971 (La Palma)	2015 (Fogo)
Zem. šířka (s. š.)	37-40°	33°	30°	27-29°	15-17°

#### 2.1.1 Vývojové fáze ostrova oceánského typu

Životní cyklus ostrova oceánského typu je tvořen sérií fází, počínaje jeho vznikem na dně oceánu a jeho zmizením pod mořskou hladinou konče (obr. 4). Těmito fázemi jsou: a) fáze vzniku a podmořského vývoje, b) fáze vynoření a subaerického vývoje (vývoje s vlivem

atmosféry), c) fáze dominance erozních procesů, d) fáze bazální roviny, e) konečná fáze zániku, f) fáze podmořské hory (guyotu) (Fernández-Palacios, 2011; Whittaker et al., 2008).

Ačkoliv během první i poslední fáze se ostrov nachází pod mořskou hladinou, guyotem se svým charakteristickým plochým vrcholem se stane pouze ostrov, jehož životní cyklus prošel všemi fázemi, mohl tedy podléhat erozním procesům ve fázích subaerických (nad mořskou hladinou). Během druhé fáze, jež nemusí mít dlouhé trvání, dosahuje ostrov své maximální nadmořské výšky. Pozdější destruktivní procesy, jakými jsou eroze, svahové pohyby či subsidence, postupně snižují a narušují povrch ostrova – nejdříve do stavu rozmanitého reliéfu, kde může biologická diverzita ostrova dosahovat maxima (fáze c), až do stavu zhlazené roviny (fáze d), která postupně zmizí pod mořskou hladinou (fáze e). Jakmile se žádná část ostrova nenachází nad hladinou, eroze již neprobíhá, ostrov získá charakter guyotu a zůstane guyotem, pokud se opět nevynoří během glaciálů nebo nezanikne při subdukci (Valdés, Déniz-González, 2015; Fernández-Palacios et al., 2011).



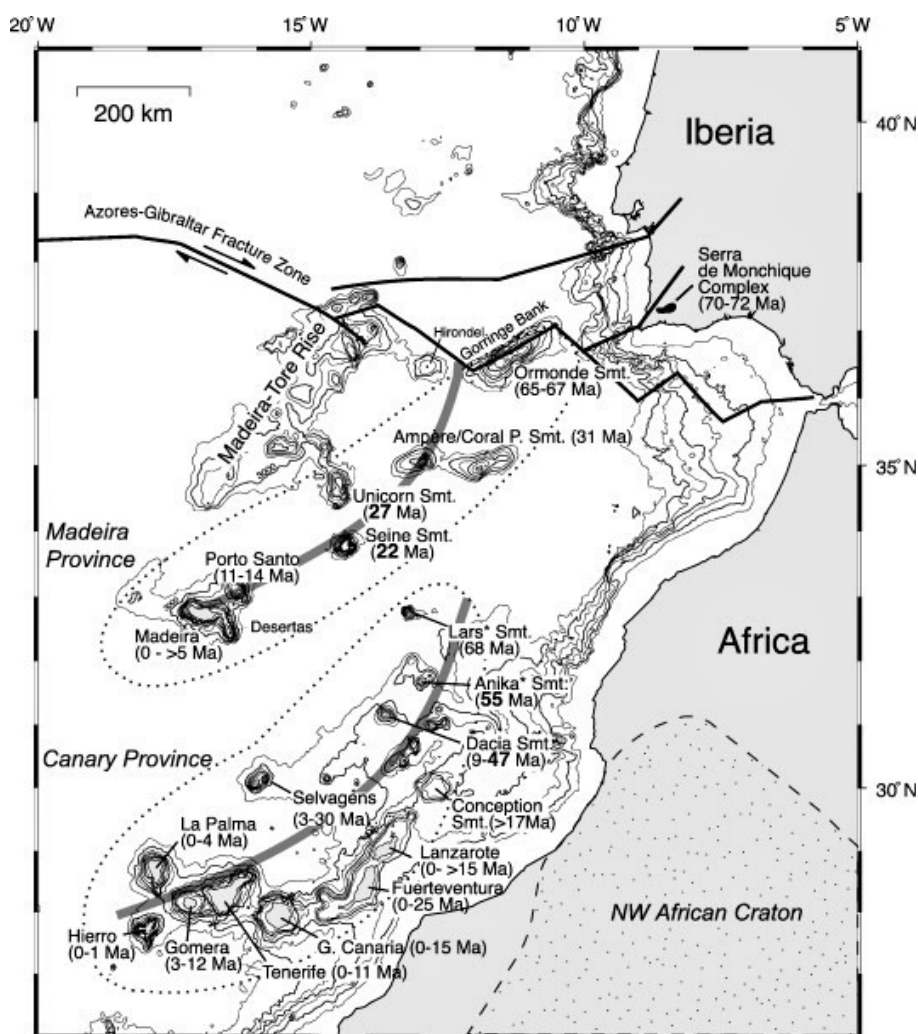
**Obr. 4: Fáze ostrova oceánského typu.** a) vznik a podmořský vývoj, b) vynoření a subaerický vývoj, c) dominance erozních procesů, d) bazální rovina, e) konečná fáze zániku, f) guyot. Zdroj: Fernández-Palacios et al. (2011).

### 2.1.2 Existence Paleomakaronésie

Makaronésie, jak ji známe dnes, je tvořena pěti zmiňovanými souostrovími. Nicméně průzkum mořského dna a rozvoj batymetrických technologií v posledních desetiletích přinesly v této oblasti objev několika podmořských ostrovních oblouků a guyotů (tedy nepřímého důkazu, že se jedná o ostrovy, jež se někdy v minulosti nacházely nad hladinou moře). Na oceánském dně tak pomyslně oddělují známá souostroví od sebe i od kontinentálních břehů (Fernández-Palacios, 2011). Tyto dnes podmořské hory vznikly v paleogénu v důsledku aktivity stejných horkých skvrn, které mnohem později (od miocénu dále) vytvořily ostrovy současné

(Geldmacher et al., 2005). Dvě horké skvrny vytvořily Madeirskou a Kanárskou vulkanickou provincii (obr. 5), jejichž součástí jsou dnes jak ostrovy nad mořskou hladinou, tak podmořské hory, tedy ostrovy nacházející se v poslední vývojové fázi.

Třetí horká skvrna v tomto regionu vytvořila stovky kilometrů jižním směrem dřívější Saharské souostroví, situované mezi Kanárskými a Kapverdskými ostrovy, z něhož dnes již zbyly jen guyoty, svědčící o existenci jejich subaerické fáze v minulosti (Fernández-Palacios, 2009). Dalším dnes podmořským souostrovím, jež bylo v geologické minulosti vynořené, je skupina guyotů Gran Meteor, nacházející se jižně od Azorských ostrovů (Fernández-Palacios, 2009).



**Obr. 5: Madeirská a Kanárská vulkanická provincie.** Zdroj: Geldmacher et al. (2005).

Tak jako v případě jiných ostrovů oceánského typu, po skončení vulkanické aktivity byl povrch těchto dnes již podmořských hor nejdříve postupně narušován gravitačními sesuvy, později destrukčními procesy, jako je eroze eolická, vodní či mořská, dokud ostrovy nedosáhly úrovně hladiny moře (Fernández-Palacios, 2009). Jak dřívější subaerická existence těchto

ostrovů, tak jejich pozdější vynořování během pleistocénních glaciálů hrály nepochybně významnou roli ve formování dnešní makaronéské bioty, neboť ostrovy vždy fungovaly jako tzv. nášlapné kameny („stepping stones“) mezi souostrovími v subaerické fázi vývoje a mezi evropským a africkým kontinentem (Fernández-Palacios et al., 2011; García-Talavera, 1999).

Ačkoliv stále s velkou mírou nejistoty, geochronologické datování těchto podmořských hor umožnilo rekonstrukci sekvence jejich vynořování, a tedy i jejich dávné dostupnosti jako cílů pro propagule (tj. části organismu sloužící k šíření a reprodukci) za účelem kolonizace ostrovů druhý, jež se podílely na formování zdejších pevninských společenství. V době, kdy byly tyto podmořské hory ještě ostrovy, nacházely se mnohem blíže Pyrenejskému poloostrovu, a byly tak ovlivněny tehdejšími teplými cirkumekvatoriálními proudy v moři Tethys, což zvyšovalo pravděpodobnosti kolonizace těchto ostrovů z Pyrenejského poloostrova a severní Afriky. Uspořádání makaronéské oblasti v dobách, kdy se nad hladinou moře nacházely výše jmenované ostrovy, dnes již podmořské hory, je nazýváno Paleomakaronésií a je tak mnohem starší, než současné ostrovy Makaronésie (Fernández-Palacios et al., 2011).

Nejstaršími paleomakaronéskými guyoty jsou Ormonde, patřící do Madeirské vulkanické provincie, a Lars, jež je součástí Kanárské vulkanické provincie. Jejich stáří se odhaduje na necelých 70 milionů let (Geldmacher et al., 2001, 2005), zformovaly se tedy ještě během období křídý, kdy moře Tethys spojovalo Indický oceán s Atlantikem. Zaniklé ostrovy Paleomakaronésie jsou proto téměř třikrát starší než ty, jež v současnosti dosahují mořské hladiny (Fernández-Palacios, 2009).

### **2.1.3 Morfogeneze ostrovů na příkladu Kanárského souostroví**

Kanárské ostrovy dobře ilustrují různé fáze ostrovní morfogeneze v rámci jednoho souostroví (obr. 6). Počáteční fáze, vznik a podmořský vývoj (konstrukce), reprezentuje podmořská hora Las Hijas, objevená jihozápadním směrem od ostrova El Hierro. Její nejvyšší bod dosahuje výšky 1 500 m nad oceánským dnem, ačkoliv stále ještě 2 500 m pod hladinou moře, a může se v budoucnosti stát dalším ostrovem Kanárského souostroví (Rihm et al., 1998).

Ve fázi vynoření a subaerického vývoje se nacházejí ostrovy La Palma, El Hierro a Tenerife. Tyto ostrovy dosahují značných výšek zejména tehdy, jsou-li měřeny od oceánského dna – nejvyšší vrchol Tenerife, Pico del Teide (3 718 m n. m.), tak dosahuje výšky přes 7 000 m (Fernández-Palacios, 2011). Tyto ostrovy jsou stále v konstrukční fázi vývoje, jak dokazují jejich erupce v posledních staletích, a opakovaně jsou také zasahovány katastrofickými sesuvy půdy. Ty jsou zde způsobeny instabilitou související s obrovským množstvím vulkanického materiálu akumulovaného v krátkém časovém období (Canals et al., 2000).

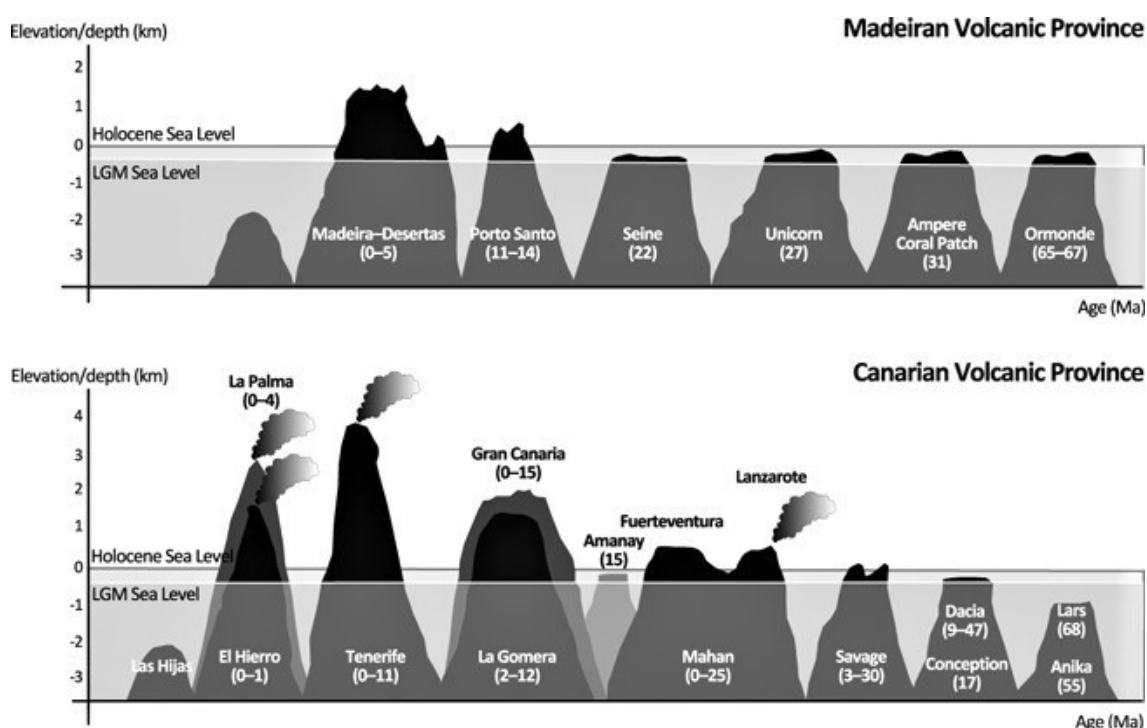
Fázi dominance erozních procesů dobře znázorňují ostrovy La Gomera a Gran Canaria, stejně jako masivy Teno a Anaga – severozápadní, resp. severovýchodní součást ostrova Tenerife. La Gomera a Gran Canaria jsou staré ostrovy, které v minulosti dosahovaly mnohem

větších výšek i rozměrů a které dnes díky převaze destruktčních procesů nabývají své maximální komplexnosti, co se týče reliéfu (Fernández-Palacios et al., 2011).

Fázi bazální roviny reprezentuje pleistocénní ostrov Mahan, zbytek kdysi mnohem většího vulkanického tělesa, jež zahrnuje ostrovy Lanzarote, Fuerteventura a několik ostrůvků v jejich okolí (při poklesu hladiny oceánu během glaciálů jsou tyto ostrovy spojeny pevninou, viz obr. 6) (Fernández-Palacios et al., 2011).

Konečná fáze zániku není zastoupena na Kanárském souostroví, avšak ilustrují ji ostrovy Selvagem Pequena a Ilhéu de Fora. Oba jsou součástí souostroví Selvagens a vznikly na základě aktivity stejné horké skvrny, jež později vytvořila Kanárské ostrovy. Selvagem Pequena a Ilhéu de Fora jsou ostrovy se zhlazeným reliéfem a velmi malou nadmořskou výškou (Fernández-Palacios et al., 2011).

Poslední vývojovou fází, tedy pozůstatek ostrova pod hladinou moře ve formě guyotu, reprezentují podmořské hory Amanay, Concepción a Dacia. Jak již bylo zmíněno, tyto guyoty se mohou vynořovat s mořskou regresí (ústupem) během glaciálů, a stát se tak součástí formace biotických koridorů, umožňujících rozptýlení druhů mezi jednotlivými souostrovími Makaronésie nebo mezi souostrovími a evropským a africkým kontinentem (Fernández-Palacios et al., 2011).



**Obr. 6: Fáze ostrovní morfogeneze na příkladu Madeirské (nahore) a Kanárské (dole) vulkanické provincie.** Na vodorovné ose uvedeno stáří v mil. let, na svislé ose výška/hloubka v km. Horní hladina oceánu odpovídá úrovni v holocénu, spodní během posledního glaciálního maxima. Zdroj: García-Talavera (1999).



## 2.2 Klimatická a hydrologická charakteristika

Makaronésie je důležitým regionem ve východním Atlantiku. Azorská kvazipermanentní anticyklona významně ovlivňuje počasí velké části Evropy a západně od Kapverd zase leží oblast vzniku hurikánů, z nichž některé jsou potenciálním nebezpečím především pro Karibské ostrovy a východní část Spojených států amerických. K tzv. kapverdským hurikánům patří také Irma, jedna z nejničivějších tropických cyklon v Atlantiku vůbec. Zformovala se koncem srpna 2017 západně od afrického pobřeží nedaleko Kapverd, přes které přešla jako tropická porucha, a 29. srpna byl na kapverdském ostrově Sal naměřen srážkový úhrn 66 mm (Ogimet, 2017; NHC, 2017).

Makaronéské klima je nicméně považováno za obecně stabilní (Cropper, 2013). Vzhledem k rozlehlosti celého regionu (o vzdálenosti přibližně 2 500 km mezi nejsevernějším bodem Azor a nejnižnějším bodem Kapverd) se podnebí jednotlivých souostroví v mnoha aspektech liší. Obecným znakem pro všechny makaronéské ostrovy je růst teploty vzduchu a úbytek srážek směrem k rovníku. Nadmořská výška hraje důležitou roli, přičemž pokles teploty s výškou je určen vertikálním teplotním gradientem a úhrn srážek, obecně roustoucí s nadmořskou výškou, je silně podmíněn orografií ostrovů. Z tohoto důvodu jsou měřeny mnohem vyšší srážkové úhrny na návětrných svazích (obvykle severní či severovýchodní dle převládajícího proudění) než na těch závětrných (Cropper, 2013).

Nadmořská výška makaronéských ostrovů nabývá hodnot v rozmezí od 0 do 3 718 m, dá se tedy říci, že klima některých ostrovů je ovlivňováno stejnými faktory jako horské klima. Těmi jsou, podle Barryho (1992), faktory již zmíněné výše (nadmořská výška, zeměpisná šířka a topografie) spolu s kontinentalitou. Míra kontinentality se odráží především ve velikosti roční amplitudy teploty vzduchu a ve srážkovém režimu. Vzhledem k rozloze jednotlivých ostrovů je však vliv kontinentality v Makaronésii zanedbatelný.

### 2.2.1 Charakteristika klimatu dle Köppenovy klasifikace

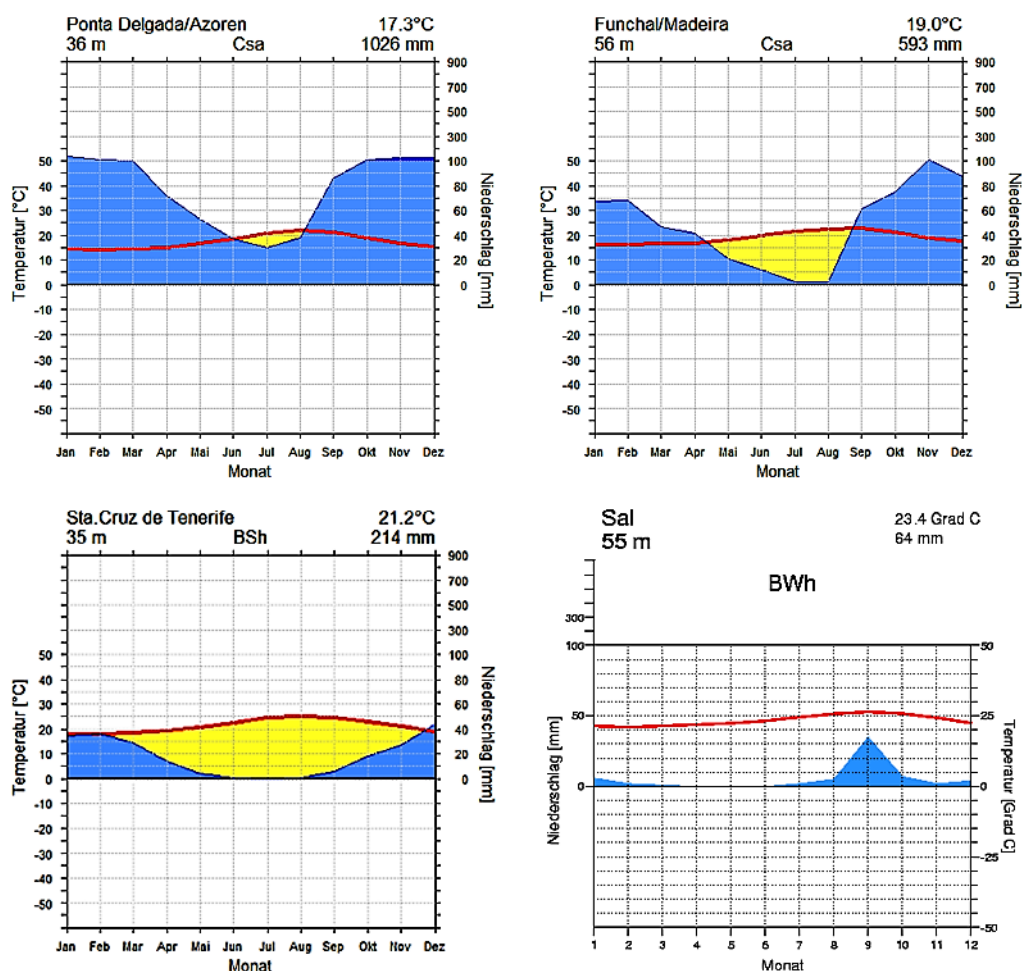
Výsledkem diverzity nadmořské výšky je nicméně odlišnost klimatu mezi ostrovy příslušejícími stejnému souostroví, ale také v rámci částí jediného ostrova, což se týká především hornatých ostrovů s rozmanitým reliéfem. Není proto ojedinělé, že například na ostrově Tenerife se ve stejném měsíci v roce sopka Pico del Teide nachází pod hlubokou sněhovou pokrývkou, zatímco jihozápadní část ostrova je vyprahlá.

Celá oblast Makaronésie tak spadá pod několik typů klimatu dle Köppenovy klasifikace. Na obr. 7 jsou vybrány klimagramy za každé ze čtyř souostroví, a to ze stanic, které pokud možno reprezentují průměrné klima celého souostroví. Další klimagramy z několika stanic Azorských ostrovů, Madeiry a Kanárských ostrovů jsou pak v příl. 3 a 4.

Klima Azorských ostrovů je převážně charakterizováno jako mírné dešťové podnebí celoročně vlhké, s horkým/teplým létem (*Cfa/Cfb*), některé ostrovy (Santa Maria, Graciosa)



jsou však klasifikovány jako mírné dešťové se suchým a horkým létem, tedy typem charakteristickým pro středomořské klima (*Csa*). Roční chod klimatických prvků na Azorských ostrovech je nejvíce znatelný v rámci Makaronésie, nebereme-li v úvahu vysoko položené oblasti ostrova Tenerife. Srážkový úhrn má na Azorech výrazný západovýchodní gradient s průměrným ročním úhrnem srážek 1 512 mm na nejzápadnějším ostrově Flores a 749 mm na nejvýchodnějším ostrově Santa Maria (Cropper, 2013; AEMET, 2012).



**Obr. 7: Klimagram za každé ze čtyř souostroví Makaronésie. Zleva stanice Ponta Delgada (Azory), Funchal (Madeira), Santa Cruz de Tenerife (Kanárské o.), Sal (Kapverdy). Levá osa znázorňuje prům. měsíční teplotu vzduchu (°C), pravá osa prům. měsíční srážky (mm) a spodní osa měsíce, počínaje lednem. Dalšími údaji jsou nadm. výška, prům. roční teplota vzduchu a prům. roční úhrn srážek. Zdroj: Mühr (2016).**

Klima ostrova Madeira je stejně jako v případě ostrovů Santa Maria a Graciosa klasifikováno jako *Csa*, zatímco typ klimatu nedalekého ostrova Porto Santo je charakterizováno jako horké stepní podnebí (*BSh*). Takový rozdíl v charakteru klimatu v rámci Madeirského souostroví je způsoben tím, že ostrov Porto Santo má plochý reliéf, jehož nejvyšší bod dosahuje nadmořské výšky 402 m, avšak nejvyšší nadmořská výška ostrova

Madeira činí 1 861 m (Pico Ruivo). Dá se tedy očekávat, že Porto Santo je aridnějším ostrovem ve srovnání s Madeirou (AEMET, 2012).

Köppenova klasifikace Kanárských ostrovů se značně liší: východní ostrovy s plochým terénem (Lanzarote a Fuerteventura) jsou převážně označovány jako horká poušť (*BWh*), což je označení typické také pro jižní pobřeží všech ostatních ostrovů kromě ostrova La Palma, ležícího v severozápadní části souostroví. To je způsobeno vlivem severovýchodních pasátů (viz kap. 2.2.2), díky nimž se tvoří orograficky podmíněné srážky na severu a severovýchodě hornatějších ostrovů. Na ostrově Tenerife se nachází i oblast klasifikovaná jako boreální klima se stejným rozdělením srážek a chladným létem (*Dfc*), a to v polohách od 2 900 m n. m. až po vrchol Pico del Teide (obr. 8). Mezi těmito extrémy je pak většina zbylých oblastí Kanárských ostrovů klasifikována jako *Csa*, *Csb* nebo *Csc* – mírné dešťové podnebí se suchým létem a teplotou příslušející označení *a/b/c* (nejteplejší až nejchladnější).



**Obr. 8: Boreální klima se stejným rozdělením srážek a chladným létem (*Dfc*). Tenerife, pod vrcholem Teide. Zdroj: vlastní archiv (březen 2016).**

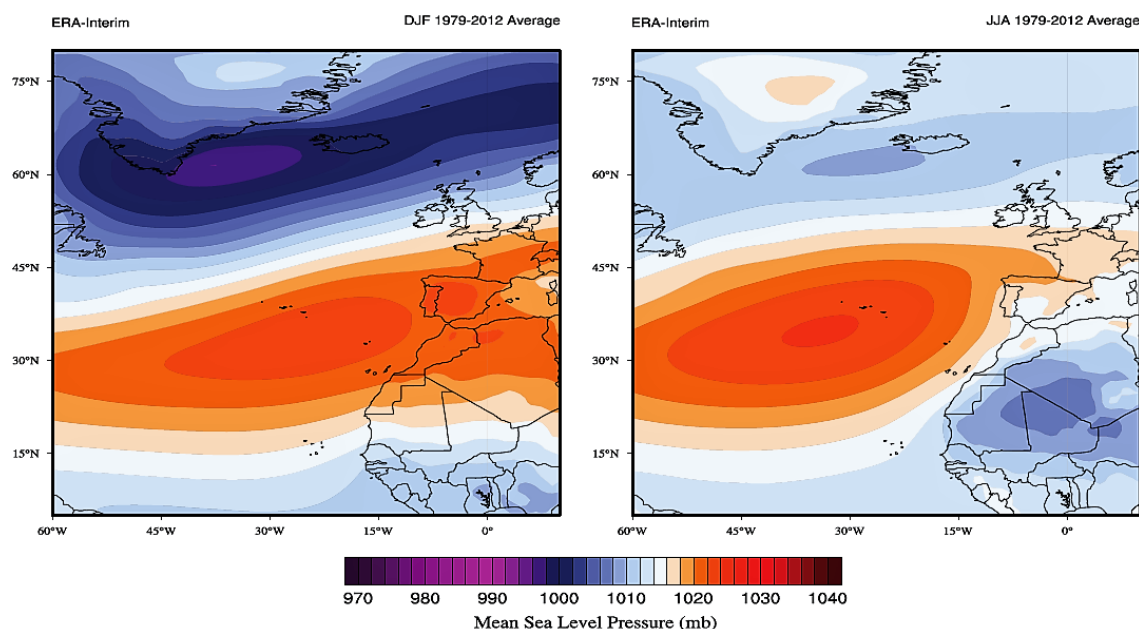
Klima Kapverdských ostrovů je většinou klasifikováno jako horká poušť (*BWh*). Výskyt srážek je zde omezený zpravidla jen na vlhčí část roku, jež odpovídá období od srpna do října. Hlavními faktory, jež mají vliv na kapverdské klima, jsou migrace ITCZ a azorské anticyklony během roku (a jejich vliv na pasátové proudění), jihozápadní proudění spojené s africkým monzunem a šíření vln ve východním proudění, viz kap. 2.2.2. (Correia, 1996; Mannaerts, Gabriels, 2000; Cropper, Hanna, 2014).

## 2.2.2 Hlavní klimatické faktory

Kromě geografické polohy a nadmořské výšky, zmíněných v předchozích kapitolách, má na charakter klimatu Makaronésie vliv ještě několik dalších zásadních faktorů.

### Kvazipermanentní azorská anticyklona

Azorská tlaková výše se vyskytuje ve východním Atlantiku celoročně a spolu s ovlivňováním dráhy a intenzity okolních tlakových níží také řídí počasí významné části Evropy. Větší účinek má z tohoto hlediska v zimě, neboť oblast vysokého tlaku vzduchu nad Azorskými ostrovy je v severní části více prostorově ohraničená než v létě, kdy se často rozšiřuje směrem k pólu a islandská tlaková níže slábne, viz obr. 9 (Cropper, 2015). Normovaný rozdíl tlaku mezi azorskou tlakovou výší a islandskou tlakovou níží tvoří index severoatlantické oscilace (NAOI) (eMS, 2017), jenž byl již v množství prací použit ke studiu variability klimatu v Evropě (Hurrell, 1995; Osborn, 2011; Cropper, 2013).



**Obr. 9: Průměrný SLP v severním Atlantiku (1979-2012).** Období zimy (prosinec až únor, vlevo) a léta (červen až srpen, vpravo). Atm. reanalýza ERA-I, stupnice v mb (hPa). Zdroj: Cropper (2015).

V rámci Makaronésie byla identifikována silná vazba mezi indexem NAOI a zimními srážkami na Azorském a Madeirském souostroví (Cropper, Hanna, 2014) a ve východní a střední části Kanárských ostrovů (García-Herrera et al., 2003). Obecně platí, že je-li NAOI kladný, je azorská anticyklona mohutnější, což vede k ještě většímu rozdílu mezi vyšším atmosférickým tlakem středních zeměpisných šířek a nízkým tlakem kolem rovníku. To pak mívá také za následek zesílení pasátů, avšak celkově je oblast sušší, neboť cyklony jsou směřovány více k severu (Cropper, 2015). Povodeň na Madeiře v únoru 2010 byla spojená s výrazně záporným NAOI, zaznamenaným v zimní sezóně 2009/2010 (Ball, 2010).

Záporný NAOI způsobuje neobvyklý charakter atmosférické cirkulace v Atlantiku: polární fronta proniká více na jih a ovlivňuje průběh počasí na velkém území (Osborn, 2011; Lindsey, 2011).

### Pasáty

Pasáty jsou rovněž faktorem, jenž se v oblasti Makaronésie objevuje celoročně, ačkoliv jejich působení z hlediska zeměpisné šířky se během roku mění (většinou od 35° do 0° s. š. během zimy a od 35° do 10° s. š. během léta), podle sezónní migrace azorské anticyklony a intertropické zóny konvergence (ITCZ). Jak již bylo zmíněno, pasáty mají významný vliv na srážkové charakteristiky v této oblasti, především na rozdílné úhrny srážek návětrných a závětrných svahů ostrovů. V zeměpisných šířkách jižně od dvacáté rovnoběžky může být pasátové proudění nahrazeno jihozápadním monzunem, když se v letních měsících ITCZ posouvá více k severu (Cropper, 2013, 2015).

V souvislosti s pasátovou cirkulací navíc v oblasti Makaronésie ovlivňuje srážkové procesy existence pasátové inverze teploty vzduchu, jež je způsobena subsidencí vzduchu z vyšších hladin (eMS, 2017). K této inverzi dochází na styku vlhčího a chladnějšího vzduchu v nižších hladinách se vzduchem teplým a suchým, jenž se na něj sesouvá. Inverzní vrstva se pak nachází zhruba ve výšce 750-1500 m, ostrovní oblasti nad touto vrstvou tedy mohou být velmi aridní. Na druhou stranu, jasná noční obloha spojená s touto ariditou činí např. z vrcholů Teide (Tenerife) a Roque de los Muchachos (La Palma) výjimečná místa pro astronomická pozorování (Cropper, 2015).

### Intertropická zóna konvergence

ITCZ je vnitřním pásmem rovníkové deprese, oddělujícím pasáty severní a jižní polokoule. Dochází zde k výstupným pohybům vzduchu a tvorbě konvektivních oblaků. Její sezónní pohyb je důsledkem pohybu termického rovníku, přičemž v letních měsících severní polokoule se nachází nejseverněji (Cropper, 2015; eMS, 2017). Poloha ITCZ souvisí mj. s pohybem azorské anticyklony a se srážkovými poměry v oblasti celé Makaronésie, ačkoliv přímý vliv má s ohledem na geografický rozsah její sezónní migrace jen na Kapverdské ostrovy (Cropper, 2015).

### Africká termická cyklona a monzun

V létě, v souvislosti s větším ohříváním kontinentu oproti oceánu, se nad kontinentem do určité výšky tvoří termická tlaková níže. Vzniká tak tlakový gradient mezi oceánem a pevninou, jehož oceánským centrem je obvykle Guinejský záliv a pevninským centrem Sahara. Proudění spojené s africkým monzunem je proto většinou jihozápadní a z makaronéských ostrovů může ovlivnit především Kapverdy (Cropper, 2013, 2015).

### Vlny ve východním proudění

V poli východního pasátového proudění se mohou vytvořit vlnové poruchy, postupující od východu k západu, a to zpravidla menší rychlostí, než je rychlost okolního proudění. Tyto poruchy se projevují vytvářením mělkých brázd nízkého tlaku vzduchu a nevýrazných hřebenů vysokého tlaku vzduchu. V blízkosti osy brázdy a v jejím týlu se v důsledku konvergence horizontálního proudění často tvoří skupina konvektivních bouří. Ta je označována jako tropická porucha a za určitých podmínek se z ní může vyvinout tropická cyklona (eMS, 2017). Šíření vln ve východním proudění může být ovlivněno tropickým tryskovým prouděním, jež má východní směr a nevzdaluje se od rovníku více než 15-20°. To má následně vliv na tvorbu srážek v oblasti Sahelu a Kapverdských ostrovů (Cropper, 2013; eMS, 2017).

### Tropické cyklony

Vývoj tropických poruch v západní části Makaronésie může pokračovat do dalších stádií, včetně stádia tropické cyklony. Tzv. kapverdské hurikány, jež se vyvíjejí západně od Kapverdských ostrovů, jsou historicky jedny z nejničivějších a nejdéle „žijících“, neboť mají před sebou velkou plochu oceánu k plnému rozvoji, než narazí na pevninu. Dráha cyklon směřuje typicky k oblasti Karibiku a Severní Ameriky, zřídka však mohou některé z nich směřovat severovýchodním směrem a zasáhnout Azory. Nedávnými příklady jsou hurikán Nadine (2012), jenž postupoval od Kapverd na jihozápad od Azorských ostrovů a zůstal zde celé dva týdny (Brown, 2013), nebo hurikán Ophelia (2017). Vzácně však mohou být výskytem hurikánu zasažena i ostatní souostroví Makaronésie, viz kap. 3.2 (Cropper, 2013).

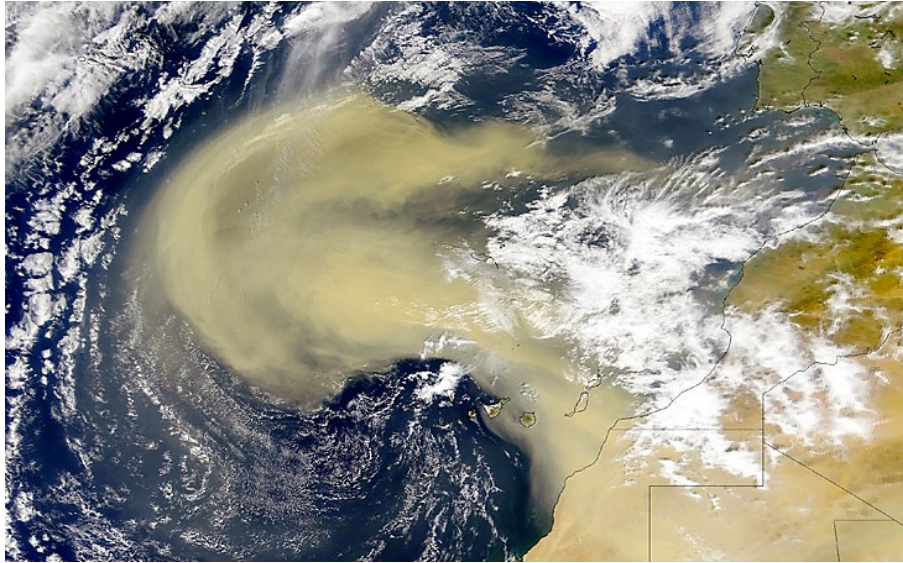
### Upwelling

Upwelling je označení mezinárodně užívané pro vzestupná proudění v oceánu, která přivádějí chladnější vodu z hlubin k mořskému povrchu a jsou spojena s divergujícím povrchovým prouděním. Oblasti výskytu těchto vzestupných proudů v blízkosti mořského povrchu se vyznačují mj. tím, že v nich probíhá zesílená produkce fytoplanktonu, neboť voda přiváděná z hlubin je nutričně bohatší. Upwelling se podílí také na termohalinní cirkulaci a projevy s ním spojené se mohou významně uplatňovat při formování klimatických podmínek (eMS, 2017). V Makaronésii k němu dochází podél většiny severoafrického pobřeží a způsobuje snížení povrchové teploty pobřežních vod (Cropper, 2013).

### Saharská písečná advekce

Tento jev je místně označován termínem „calima“ (obr. 10). Může se vyskytnout v jakékoliv části roku, kdy se písečný prach ze Sahary šíří do Atlantiku, a postihnout kterýkoliv ostrov Makaronésie. Významné případy písečné advekce bývají spojeny se slabší hurikánovou sezónou, neboť přítomnost aerosolů částečně odráží sluneční záření, což snižuje teplotu oceánu (Cropper, 2015; Lau, Kim, 2007). Přítomnost těchto částic ve vzduchu je někdy pozorována i v pevninské Evropě.

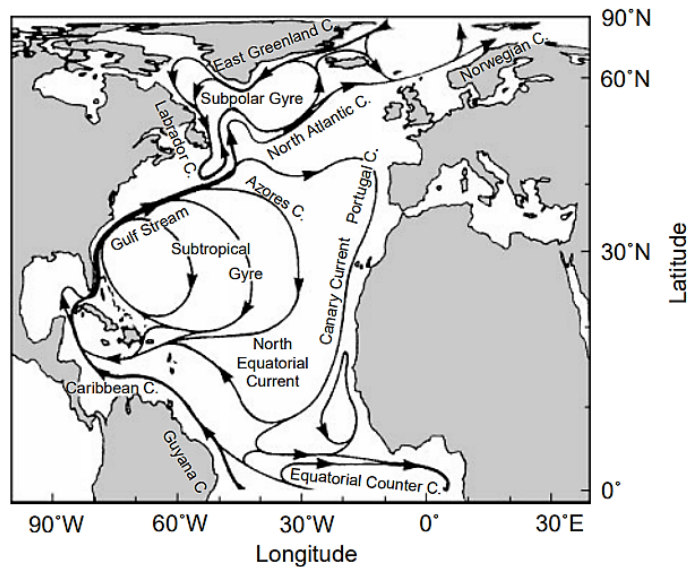




**Obr. 10: Saharská písečná advekce („calima“) nad Atlantikem.** Satelitní snímek z 26. února 2000. Zdroj: NASA (2017).

### Oceánské proudy

Hlavní oceánské proudy, jež ovlivňují Makaronésii, jsou studený Kanárský a teplý Azorský proud (obr. 11). Azorský proud se zhruba na 40° s. š. odděluje od Golského proudu a směřuje východním směrem přes Atlantik, kde se stáčí k jihu a jako Portugalský proud pokračuje k severozápadnímu africkému pobřeží. Zde se připojí ke Kanárskému proudu, který kopíruje africké pobřeží směrem na jih až po zhruba 15° s. š., odkud se vrací zpět do severního Atlantiku. Kanárský proud je poměrně široký (až 1 000 km), omývá tedy i pobřeží Kanárských ostrovů a ochlazuje ho (Barton, 2001; Cropper, 2013).



**Obr. 11: Oceánské proudy v Atlantiku.** Zdroj: Barton (2001).

### 2.2.3 Teplota vzduchu

Teplotní charakteristiky ostrovů Makaronésie determinuje jejich příslušnost ke klimatickým typům dle Köppenovy klasifikace, jež je přiblížena v kap. 2.2.1. Teplotní charakteristiky území o relativně malé rozloze, jež mají jednotlivé ostrovy, jsou primárně ovlivněny především zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou, bez významného vlivu kontinentality. I přesto však neplatí, že by denní teplotní amplituda byla neměnná na celém území jednoho ostrova.

Topografie silně ovlivňuje klimatologii každého ostrova tím, že rozhoduje o charakteru dopadajícího slunečního záření a charakteru teplotního a srážkového režimu. Rozdílná nadmořská výška, sklon a expozice terénu tvoří prostorovou heterogenitu teploty vzduchu. Její denní, stejně jako roční amplituda potom roste s nadmořskou výškou a její rozdíl oproti lokalitám stejného ostrova ležících při pobřeží je výrazný.

V příloze 1 jsou uvedeny průměrné měsíční teploty vzduchu ze šestnácti stanic ze všech souostroví. Na základě dat z většiny z těchto šestnácti stanic budou dále v práci analyzovány extrémní srážkové události.

### 2.2.4 Srážky

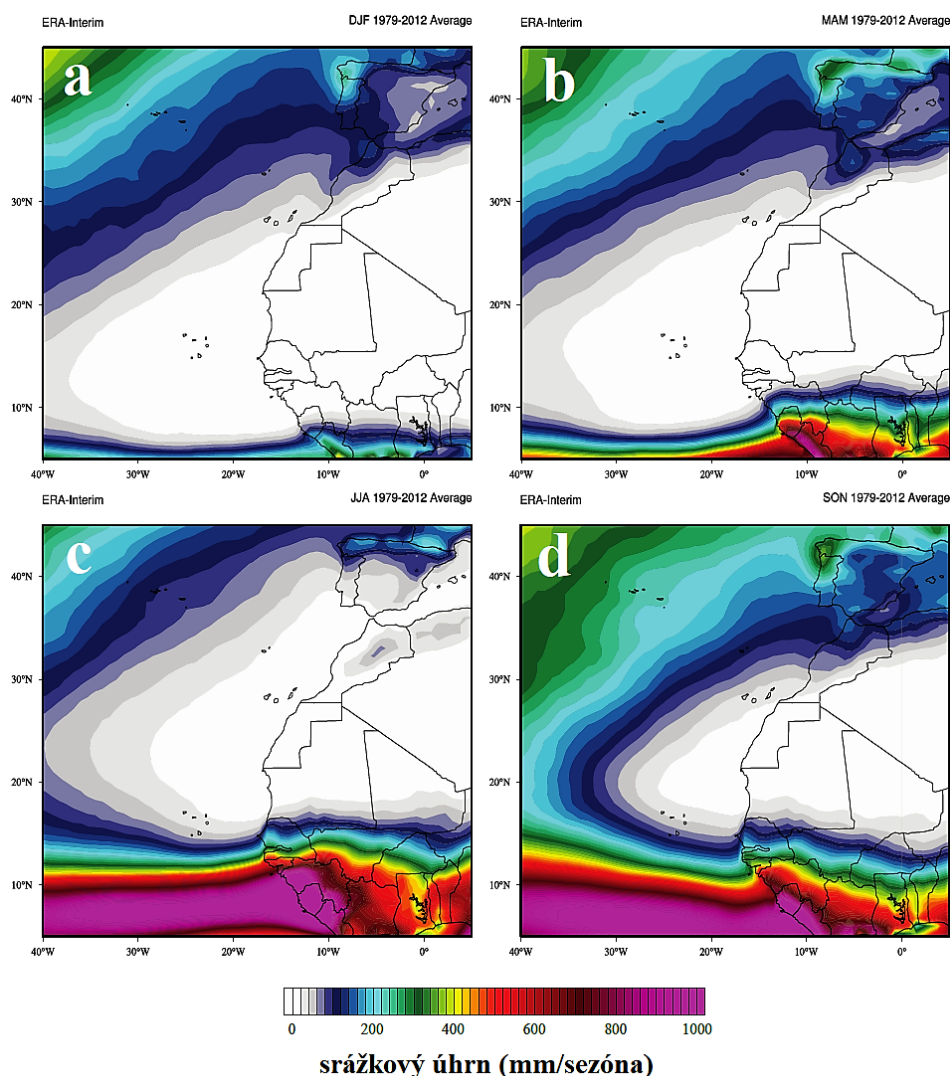
Faktory, jež determinují rozložení srážek v rámci Makaronésie, souostroví, ale i jednotlivých ostrovů, již byly víceméně zmíněny v předchozích kapitolách. Opět je to zeměpisná šířka a nadmořská výška; v případě distribuce a úhrnu srážek ale navíc hraje velký vliv role návětrí a závětrí; to se ostatně odráží i v názvu celků tvořících Kapverdské ostrovy (viz kap. 1.1). Spolu s převládajícím prouděním na každém souostroví tyto aspekty rozhodují o ariditě některých částí ostrovů, zatímco lokality jen o několik desítek kilometrů vzdálené disponují mnohem vyšším ročním úhrnem.

Takovým extrémem je např. ostrov Tenerife, který lze nicméně použít za příklad variability i mnoha jiných klimatických charakteristik v rámci jednoho ostrova – o tom vypovídá už jeho příslušnost k několika typům Köppenovy klasifikace (viz kap. 2.2.1). Tenerife přitom ve srovnání s jinými ostrovy světa ani zdaleka nepatří k největším. Z hlediska variability srážek je pozoruhodná horská oblast Anaga v severovýchodním výběžku Tenerife, na níž je díky permanentnímu dostatku vlhkosti a srážek zastoupen vavřínový les. Ten se podle Fernández-Palacia (2010) až do glaciálů pozdního pliocénu vyskytoval i ve střední a jižní Evropě. Ostrov Tenerife je v neposlední řadě zajímavý i z hlediska sněhové pokrývky na sopce Pico del Teide, která zde vydrží několik měsíců v roce.

Obecný původ srážek v Makaronésii není stejný pro všechna souostroví: zatímco na Azorech, Madeiře a Kanárských ostrovech tvoří podstatný podíl ročního úhrnu srážky mající původ v zimních frontálních systémech a konvektivních mechanismech ostrovního reliéfu (Azevedo et al., 1999, 2001; Marzol, 1988; Marzol et al., 2006; Prada et al., 2003), na Kapverdách jsou především výsledkem letních cyklon, spojených s posunem ITCZ k severu.

V oblastech pod vlivem anticyklony se v procesu tvorby srážek musí uplatnit výrazný dynamický mechanismus nebo orografie ostrova. Proto k významným srážkovým úhrnům na ostrovech s nižší nadmořskou výškou nestačí jen pasátové proudění (Correia, 1996, 1998; Marzol et al., 2006).

Průměrné roční srážky v Makaronésii se pohybují mezi 3 000 mm na Azorech a Madeiře a méně než 200 mm na Kapverdách a jižních sektorech Kanárských ostrovů (viz příl. 2 a obr. 12). Tyto úhrny pocházejí přibližně z 50 % dní v roce v případě prvních dvou souostroví, zatímco na Kapverdách je roční úhrn tvořen srážkami z pouhých 5 % dní v roce (Marzol et al., 2006). Ačkoliv průměrné roční srážkové úhrny na Kanárských ostrovech jsou mnohem nižší než na Azorech, u nejvyšších naměřených denních úhrnů je to paradoxně naopak (AEMET, 2012).



**Obr. 12: Průměrné sezónní srážkové úhrny (mm) v Makaronésii (1979-2012).** a) zima (prosinec až únor), b) jaro (březen až květen), c) léto (červen až srpen), d) podzim (září až listopad). Atm. reanalýza ERA-I. Zdroj: Cropper (2015).



Také sezonalita srážek se mezi souostrovími liší (obr. 12). Ovlivněna je především geografickou polohou ostrovů a s ní související cirkulací vzduchu. Azorské ostrovy mají během roku obecně dostatek srážek díky své výjimečné poloze v rámci Atlantiku a převažujícímu západnímu proudění, přičemž nejzápadnější ostrov Flores je s průměrem 240 srážkových dní také nejdeštivější. Nejvíce srážek na Azorech spadne od listopadu do ledna, zatímco červen a až srpen jsou měsíce sušší (AEMET, 2012). Zimní srážky jsou způsobeny především posunem polární fronty více na jih, a tedy jejím přiblížením k Azorským ostrovům (Azevedo et al., 2001). Na Madeirském souostroví je také poměrně vysoký průměrný roční úhrn srážek, ačkoliv jeho hodnota na ostrově Porto Santo je mnohem nižší než na ostrově Madeira. Během roku jsou obecně nejdeštivějšími měsíci prosinec a leden, nejsušším měsícem je pak především červenec (AEMET, 2012).

Na Kanárských ostrovech převládá severovýchodní pasátové proudění. Toto proudění už nepřináší tolik vlhkosti jako v případě západního proudění na Azorech a roční úhrn srážek je zde mnohem nižší, což je však ovlivněno i zeměpisnou šířkou Kanárských ostrovů. Po většinu roku je tu mezní vrstva atmosféry pod vlivem azorské anticyklony poměrně stabilní (Carrillo et al., 2016). Tato stabilita je nicméně v zimě narušena atmosférickými poruchami, které způsobují koncentraci srážek především do prosince a ledna (García-Herrera et al., 2001; AEMET, 2012). Nejsuššími měsíci jsou potom červenec a srpen. Nejvíce srážkových dní v roce, více než 50, mají výše položené stanice na ostrovech La Palma a La Gomera (AEMET, 2012; Sánchez et al., 2016).

Kapverdy mají ze všech souostroví Makaronésie obecně nejnižší průměrný srážkový úhrn za rok. Sezonalita srážek na těchto ostrovech je řízena zejména letní migrací ITCZ. Intenzivnější srážky jsou proto koncentrovány od srpna do října, přičemž období od prosince do května je zde nejsušší (Correia, 1996, 1998; Cropper, Hanna, 2014; Marzol et al., 2006). Dlouhodobé změny v charakteru srážek Kapverdských ostrovů odrážejí trendy v africkém Sahelu, neboť původ srážek těchto dvou oblastí sdílí víceméně stejný mechanismus (Cropper, 2013; AEMET, 2012).

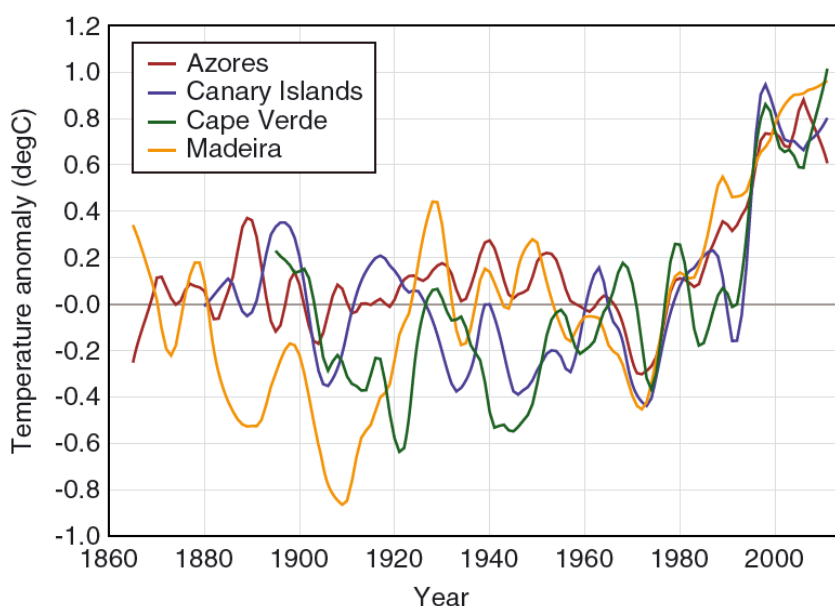
### **2.2.5 Kolísání a trendy v klimatických poměrech**

Trendy v otázce klimatických poměrů Makaronésie, ale také analýzou změny klimatu a jejími možnými změnami v budoucnu se podrobně zabývá ve své práci Cropper (2015). Z jeho výsledků se dá konstatovat, že na 14 ze 16 stanic ostrovů Makaronésie došlo během období 1973 až 2012 k ročnímu nárůstu průměrné teploty vzduchu o 0,3 až 0,5 °C za deset let (obr. 13), což převyšuje průměrnou globální hodnotu.

Největší nárůst je zaznamenán během léta, kde činí nejméně 0,4 °C za deset let v případě Kanárských ostrovů, Madeiry a Kapverd. Pokud bude tento trend pokračovat, v blízké budoucnosti povede k sociálním a environmentálním problémům, např. častějšímu výskytu horkých vln a s nimi spojených lesních požárů (Cropper, Hanna, 2014).

Období 1981 až 2010 je pak charakteristické nepatrným nárůstem srážkových úhrnů na Azorských ostrovech a jejich významnějším nárůstem na Kapverdách během vlhké části roku. Na tomto souostroví byl během 70. až 90. let dvacátého století zaznamenán pokles srážek. Současné vyrovnání průměrných ročních úhrnů zřejmě souvisí se změnami v intenzitě západoafrického monzunu (Cropper, 2015).

V odhadovaném budoucím trendu (podle čtyř scénářů, založených na čtyřech odlišných koncentracích skleníkových plynů) je předpovídán další nárůst teploty vzduchu o 0,6 až 3,2 °C v období 2071 až 2100 (v porovnání s obdobím 1976 až 2005). Ve stejném období je také předpovídán pokles zimních srážkových úhrnů, a to mezi 10 až 37 % na Kanárských ostrovech a mezi 0 až 22 % na Madeiře, dle příslušného scénáře (Cropper, 2013, 2015).



**Obr. 13: Dlouhodobý vývoj průměrné roční teploty vzduchu v Makaronésii.** Vodorovná osa znázorňuje rok, svislá růst/pokles průměrné teploty vzduchu (°C). Červeně Azory (Ponta Delgada), modře Kanárské o. (Santa Cruz de Tenerife), zeleně Kapverdy (Sal) a žlutě Madeira (Funchal). Zdroj: Cropper (2013).

## 2.2.6 Hydrologická charakteristika

Vulkanické ostrovy jsou izolovanými hydrogeologickými systémy. Jejich hydrologická charakteristika závisí na klimatických podmínkách (jež určují srážkový režim, vegetační pokryv a vývoj půdy), reliéfu, geologických podmínkách (především na propustnosti hornin) a využití půdy a vodních zdrojů (Martínez-Moreno et al., 2016). Geologické podloží vulkanických ostrovů často vykazuje nízkou propustnost, což umožňuje akumulaci podzemních vod. Tyto zvodně jsou naplňovány přímo infiltrací spadlých srážek, případně srážek usazených (Santamarta et al., 2013). Azorské ostrovy jsou pak známé svou hydrotermální energií, jež se zde projevuje mj. vyvěráním horkých minerálních pramenů.

Na vulkanických ostrovech také většinou neexistuje povrchový odtok ve formě perenních (stálých) řek. To bývá způsobeno nedostatečně vyvinutými půdami ve vyšších nadmořských výškách, strmými svahy a častým výskytem uzavřených, bezodtokých pánví (kráterů a dalších ohraničených prohlubní), díky čemuž i zde může docházet k akumulaci vody (INM, 2002; Martínez-Moreno et al., 2016). Kráterová jezera jsou zastoupena především na Azorech (obr. 14). Nicméně na ostrovech s převážně aridním klimatem, jakými jsou Kanárské a Kapverské ostrovy, je nepřítomnost větších řek způsobena zejména nízkým ročním úhrnem srážek. Na těchto ostrovech se nacházejí úvaly či koryta, jež se dočasně naplní během krátkých a intenzivních srážek, a voda jimi v podobě intermitentních řek odnáší velké množství materiálu (Romero et al., 2004; Santamarta et al., 2013). Prioritou je zde možnost využívat podzemní zásoby vody (Santamarta et al., 2013).

Kromě přirozených faktorů je však povrchový odtok ovlivňován také antropogenní činností. Ještě zhruba před sto lety se na Kanárských ostrovech povrchové zdroje vody v různých formách nacházely. Dnes jsou zde na některých místech budovány umělé nádrže – největší na ostrově Gran Canaria (Las Niñas, Soria), přičemž voda je na ostrovech nejvíce využívána k zemědělství (Santamarta et al., 2013; Turégano, 2017). Z důvodu rostoucí spotřeby se však přistoupilo také k odsolování mořské vody a budování podzemních či nadzemních kanálů. Z nich jsou nejznámější tzv. levády na Madeiře, povrchové kanály sloužící primárně k transportu vody do méně deštivých oblastí a k zavlažování (Dorta, 2007; Baioni, 2011).



**Obr. 14: Kráterová jezera Sete Cidades na ostrově São Miguel (Azory).** Zdroj: vlastní archiv (duben 2016).

## 2.3 Biogeografická charakteristika

Makaronésie je region celosvětově známý pro svou výjimečnou endemickou biodiverzitu, nepochybně dosahující nejvyšší míry v rámci ostrovních regionů např. v Evropě. Mírou endemismu bývá srovnávána s ostrovy Havajskými, Galapážskými, s Novým Zélandem, Novou Kaledonií či Madagaskarem. Makaronéská biota zahrnuje více než 26 000 suchozemských druhů, z nichž asi 5 930 tvoří druhy endemické (Fernández-Palacios et al., 2011).

Region bývá nazýván floristickou křižovatkou, kde se setkává (i) skupina paleoendemitů (endemitů třetihorních a starších) kontinentálního původu, jež byla schopna přežít dramatické zhoršování klimatu na přelomu pliocénu a pleistocénu (Rodríguez-Sánchez, Arroyo, 2008), (ii) skupina neoendemitů (vývojově mladších druhů, jež diverzifikovala in situ – v oblasti vzniku), vyvinutých po několika kolonizačních událostech (většinou z Afriky a oblasti Středomoří) (Vargas, 2007; Kim et al., 2008), a (iii) početná skupina neendemických původních druhů, vyskytujících se i v dalších oblastech, jako je severní Afrika, Středomoří aj. (Fernández-Palacios et al., 2011).

Některé studie (Vanderpoorten et al., 2007; Vargas, 2007 aj.) kromě zdůraznění zdejší koexistence paleoendemitů a neoendemitů demonstrují roli Makaronésie jako pleistocenního refugia pro druhy, jež byly později schopny rekolonizovat Pyrenejský poloostrov či severní Afriku (Fernández-Palacios et al., 2011).

### 2.3.1 Biogeografické důsledky existence Paleomakaronésie

Vznik ostrovů, jejich zánik a opakované vynořování během glaciálů přineslo v oblasti Makaronésie jak důsledky lokální, významné pouze pro biotu konkrétních souostroví, tak důsledky obecného charakteru, významné v širším měřítku (Fernández-Palacios, 2009).

Možnost ostrovů fungovat jako tzv. stepping stones (viz kap. 2.1.2) umožnila rozptýlení taxonů flóry palearktické a nearktické oblasti, a to primárně ve směru Evropa, severní Afrika-Severní Amerika, ačkoliv se nedá vyloučit ani příspěvek v opačném směru. Tento koridor se stal o to významnějším po uzavření migračního koridoru severního Atlantiku (Skotsko-Grónsko-Kanada; Island vznikl až později), ke kterému došlo před asi 50 miliony lety v důsledku zhoršení klimatických podmínek v těchto zeměpisných šířkách. Daniel Axelrod (1975) uvažoval tuto hypotézu, aniž by do jejích důkazů zahrnul fakt, že Paleomakaronésie je mnohem starší než současné makaronéské ostrovy (Fernández-Palacios, 2009).

Kromě toho dnes na ostrovech přežívají paleoendemické taxony, které se sem počátkem miocénu rozšířily z Pyrenejského poloostrova či severní Afriky předtím, než se objevily dnešní nejstarší ostrovy Makaronésie: Selvagem Grande, Sal a Fuerteventura. Ve zmíněné zdrojové

oblasti jsou tyto taxony dávno vyhynulé, v případě jiných taxonů však ostrovy sloužily jako refugia pro rekolonizaci (Fernández-Palacios, 2009).

Ke zvyšování biodiverzity pochopitelně docházelo i mezi ostrovy. Existencí okolních ostrovů, a tedy prodloužením času potřebného k vývoji *in situ*, se nabízí možnost vysvětlit zachování současných neoendemitů, jež jsou starší než ostrov, který obývají. Předpokládá se, že se tyto taxony přesouvaly na ostrovy nově vzniklé. K migraci mezi Kanárskými a Kapverdskými ostrovy jim mohlo sloužit Saharské souostroví, Madeirské a Azorské souostroví zase spojoval ostrov Josephine. K migraci sloužily nejen tehdy existující ostrovy, ale také podmořské hory vynořené během glaciálů. To způsobilo propojení některých ostrovů nad mořskou hladinou (např. Fuerteventura a Lanzarote). U podmořských hor, jež hladiny nedosáhly, nicméně ke zvýšení biodiverzity také mohlo dojít, a to dosažením eufotické zóny (prosvětlené povrchové vrstvy vodního sloupce, kde probíhá fotosyntéza). Bentická společenství podmořských hor přispívají k vysoké míře biodiverzity i dnes (Fernández-Palacios, 2009).

### **2.3.2 Makaronéské ekosystémy**

O vulkanických ostrovech je známo, že dosahují významných nadmořských výšek během svého mladého věku, kdy jsou konstrukční procesy ještě aktivní, což umožňuje rozvoj ekosystémů různých nadmořských výšek. Dá se předpokládat, že během paleogénu se vulkanické ostrovy, situované dostatečně blízko kontinentální pevnině (méně než zhruba 200 km), také dostatečně dlouho simultánně nacházely v různých vývojových fázích a že tento fakt umožnil v Paleomakaronésii kolonizaci některými kontinentálními druhy s ohledem na různé preference nadmořské výšky či sklonitosti (Fernández-Palacios et al., 2011).

Starší ostrovy se nacházely blíže Pyrenejskému poloostrovu, zatímco mladší byly formovány aktivitou horkých skvrn několik set kilometrů jihozápadním směrem od nich, jako důsledek nepatrné rotace Africké desky proti směru hodinových ručiček (Geldmacher et al., 2001, 2005). Tyto nové ostrovy, nacházející se stále dál od Afriky a Pyrenejského poloostrova, avšak současně omývány cirkumekvatoriálním proudem, mohly být kolonizovány tropickou paleoflorou ze dvou zdrojových oblastí – přímo z daného kontinentu, nebo z blízkých, již existujících ostrovů (což je pravděpodobnější možnost). Každopádně druhy stromů, jejichž propagule jsou šířeny suchozemskými obratlovci, nebo druhy ptáků, jež nejsou schopny urazit velké vzdálenosti na moři, neměly možnost těchto paleoostrovů dosáhnout a kolonizovat je. Druhy, kterým se podařilo tyto vzdálenosti překonat, zde nemusely najít uspokojivé podmínky (Fernández-Palacios, 2009).

Na druhou stranu, postupné zhoršování klimatických podmínek s příchodem glaciálů rozhodně nezasahovalo ekosystémy na ostrovech tak jako na kontinentech. Důvodem je jak zmírňující efekt oceánu, tak skutečnost, že organismy mohly oscilacím termických a hydrických podmínek mnohem lépe čelit díky možnosti vertikální migrace, tedy možnosti uspokojit

své klimatické požadavky přesunem o několik set metrů vertikálně v rámci vulkanického ostrova – směrem k vrcholu během příliš teplých period a směrem k pobřeží během period příliš chladných, v závislosti na výškovém gradientu ostrova (García-Talavera, 1999).

Proces kolonizace ostrovů nedávno vynořených byl pravděpodobně charakterizován ochuzením druhového spektra oproti složení na blízkých, zdrojových ostrovech (či kontinentech), neboť všechny druhy ze zdrojové oblasti přirozeně nemohly dosáhnout nových ostrovů. Nicméně určité druhy, jež dokázaly prodělat vývoj in situ a umožnily tak vznik ostrovních neoendemitů, nemusely zaniknout spolu se zmizením ostrova pod mořskou hladinu, ale mohly přežít díky úspěšnému rozptýlení po okolních ostrovech (Fernández-Palacios, 2009).

Ačkoliv na Azorech a Kapverdách zbývají jen fragmenty potenciální přirozené vegetace, je stále možné rekonstruovat její distribuci (azorská potenciální přirozená vegetace byla nahrazena kulturami jehličnanů a pastvinami pro dobytek, kapverdskou krajinu změnila dezertifikace a zavlečení cizích druhů). I přes rozdíl zeměpisné šířky, jenž činí napříč Makaronésii zhruba 25°, sdílí všechna souostroví tohoto regionu do určité míry společnou biogeografickou historii, vycházející z podobných biotických prvků a vikariantních druhů (zastupujících příbuzný taxon na odlišném území). Tyto taxony tvoří úzce spojené ekosystémy (Santos-Guerra, 1983), ač s významnými rozdíly ve struktuře a funkci, způsobenými převážně klimatickými příčinami (Fernández-Palacios et al., 2011).



**Obr. 15:** *Euphorbia canariensis* (pryšec kanárský) na Tenerife. Zdroj: vlastní archiv (březen 2016).

Pobřežní pouštní vegetace, africký aspekt makaronéských ostrovů, je charakterizována dominancí pryšcových křovin (*Euphorbia piscatoria* na Madeiře, *E. anachoreta* na ostrovech Selvagens, *E. balsamifera*, *E. obtusifolia*, *E. lamarckii*, *E. canariensis* (pryšec kanárský, obr. 15) na Kanárských ostrovech a *E. tukeyana* na Kapverdách). Na ostrovech Selvagens je to vzhledem k jejich malé nadmořské výšce jediný vyskytující se ekosystém. Na ostrovech Kanárských a Kapverdských jsou pryšce rozšířeny široce, na Madeiře se vyskytují pouze v blízkosti mořského pobřeží a na Azorech se z důvodu příliš vlhkého klimatu nevyskytují.



Nad vegetačním patrem těchto křovin se nacházejí teplomilné lesy, stále nepřítomné na Azorech a zastoupené druhy středomořského původu, jako jsou *Olea* (olivovník), *Dracaena* (dračinec), *Sideroxylon* (darmota), *Phoenix* (datlovník, mimo Madeiru), *Juniperus* (jalovec, mimo Kapverdy) a *Pistacia* (řečík, mimo obě tato souostroví). Výhradně na Kapverdách se vyskytují akáciové lesy, zdůrazňující úzký vztah flóry těchto ostrovů k flóře tropické (Bramwell, 1985; Fernández-Palacios et al., 2011).

Velký význam pro evropskou část Makaronésie (Azory, Madeiru a Kanárské ostrovy) má rozšíření atlantického vavřínového lesa („laurisilva“), obr. 16. Tento les je chudší obdobou paleotropického vavřínového lesa, jenž se od paleocénu až do glaciálů pozdního pliocénu vyskytoval ve střední a jižní Evropě, ale také v severní Africe (Barrón, Peyrot, 2006). Laurisilva představuje hlavní ekosystém na Azorských ostrovech, zastoupený od pobřeží až po vrcholy všech ostrovů (s výjimkou nejvyššího vrcholu Ponta do Pico) a hojně rozšířený také ve středních nadmořských výškách Madeiry a Kanárských ostrovů. Jedná se o hustý mlžný les, s poměrně nízkým stromovým patrem (5 až 10 metrů) na Azorech, ale dosahujícím významných výšek na Madeire a Kanárských ostrovech (i více než 30 metrů). Na všech třech zmíněných souostrovích dominují v tomto ekosystému rody jako *Picconia* (pikonie), *Laurus* (vavřín), *Ilex* (cesmína), *Prunus* (slivoň) a *Myrica* (voskovník), zatímco druh *Juniperus brevifolia* (jalovec krátkolistý) je zastoupen výhradně na Azorech a výskyt rodů *Apollonias* (apollonias), *Persea* (hruškovec) a *Ocotea* (obaleň) je omezen jen na Madeiru a Kanárské ostrovy (Santos, 1990; Fernández-Palacios, 2011).



**Obr. 16:** Vavřínový les („laurisilva“). Anaga, Tenerife. Zdroj: vlastní archiv (březen 2016).

O společném schématu, jež víceméně charakterizuje makaronéské ekosystémy pobřeží a středních nadmořských výšek, se nedá hovořit v případě analýzy ekosystémů horských, a to z důvodu specifického klimatu a různým podmínkám rozptýlení vegetace na každém ostrově – ostrovní vrcholy jsou „ostrovy v rámci ostrovů“. Nejvyšší vrcholy ostrova Pico (jediný azorský ostrov dosahující nadmořských výšek, jež přesahují patro vavřínového lesa)

a Madeiry charakterizuje rozšíření vřesovišť, v nichž dominuje několik druhů čeledi *Ericaceae* (vřesovcovité). V těch samých nadmořských výškách je však na většině vysokých ostrovů Kanárského souostroví (El Hierro, La Palma, Tenerife a Gran Canaria) přítomen borový les, dosahující až 30 metrů a reprezentovaný především paleoendemickým druhem *Pinus canariensis* (borovice kanárská, obr. 17). Pouze na ostrovech La Palma a Tenerife je potom borový les v dalším vegetačním stupni nahrazen alpskými křovinami, jež charakterizuje endemická, polštářovitá vegetace – *Spartocytisus* a *Adenocarpus*. V nejvyšších polohách Kapverdských ostrovů dominují travnaté porosty horských luk – *Cenchrus* (ostrokvět) a *Hyparrhenia* (vousatice).



**Obr. 17: *Pinus canariensis* (borovice kanárská).** Tenerife. Zdroj: vlastní archiv (březen 2016).

Zatímco na Azorech, ostrovech s obecně vlhčím klimatem, jsou jezera a rybníky hojně zastoupeny, zbytek souostroví je spíše postrádá. Na Madeiře je nicméně důvodem absence vhodných pánví, neboť vlhkosti je tu dostatek. Na Kanárských a Kapverdských ostrovech se nachází několik menších vodních toků, kde žijí sladkovodní členovci, včetně jejich endemických druhů. Na druhou stranu, s výjimkou Madeiry a ostrovů Selvagens, na nichž nebyl v holocénu aktivní vulkanismus, se na všech souostrovích vyskytuje sopečná krajina, kde v nedávné geologické historii docházelo k erupcím (někde v posledních letech či desetiletích, viz kap. 2.1). Po sopečných erupcích často v prvních fázích sukcese dominoval lišejník *Stereocaulon vesubianum* (pevnokmínek vesuvský) (Fernández-Palacios, 2009). V tab. 2 je znázorněno zastoupení různých ekosystémů na jednotlivých souostrovích Makaronésie.



**Tab. 2: Makaronéské ekosystémy.** Křížkem označeno zastoupení na konkrétním souostroví. Upraveno podle: Fernández-Palacios et al. (2011).

Ekosystém	Azory	Madeira	Selvagens	Kanárské o.	Kapverdy	Hlavní floristické prvky (rod)
Pobřežní pouštní křoviny		X	X	X	X	<i>Euphorbia</i>
Teplomilné lesy		X		X	X	<i>Dracaena</i>
						<i>Sideroxylon</i>
						<i>Olea</i>
						<i>Juniperus turbinata</i>
Akáciové lesy					X	<i>Faidherbia</i>
						<i>Zyzyphus</i>
Vavříňové lesy	X	X		X		<i>Laurus</i>
						<i>Picconia</i>
						<i>Myrica</i>
						<i>Ilex</i>
Borové lesy				X		<i>Pinus</i>
Horské louky					X	<i>Cenchrus</i>
						<i>Hyparrhenia</i>
Horská vřesoviště	X	X				<i>Erica</i>
						<i>Calluna</i>
Alpínské křoviny				X		<i>Spartocytisus</i>
						<i>Adenocarpus</i>
Jezera	X					<i>Littorella</i>
						<i>Potamogeton</i>
						<i>Lemna</i>
						<i>Juncus</i>
Bažiny	X					<i>Sphagnum</i>
Lávová pole	X			X	X	<i>Stereocaulon</i>

### 2.3.3 Půdní poměry

Půdy vulkanických ostrovů jsou obecně velmi mladé ve srovnání s půdami kontinentálními. Jedná se o půdy úrodné, jež jsou většinou základním předpokladem hospodářství mnohých ostrovů a obživy místních obyvatel.

Charakteristickou referenční třídou půd jsou zde andosoly. Jsou to tmavé půdy, které vznikají důsledkem zvětrávání vulkanických pyroklastik a mají mocný humusový horizont. Půdním typem této referenční třídy je andozem. Další třídou typicky zastoupenou na ostrovech Makaronésie jsou vertisoly (tmavé těžké půdy s možným vyšším podílem montmorillonitu), z půdních typů dále kaštanozemě (půdy suchých stepí, subtropických oblastí a Středomoří)

a v závislosti na typu reliéfu a faktorech půdotvorných procesů pak další půdní typy běžně zastoupené v Evropě či Africe (Guerra et al., 2003; Santamarta et al., 2013).

Vulkanické ostrovy často podléhají intenzivním erozním procesům, na Kanárských ostrovech se jedná např. o ostrovy Gran Canaria a Fuerteventura. Hlavními erozními činiteli jsou zde vítr a srážky, vyskytující se obvykle ve formě nepravidelných, avšak prudkých dešťů. Tyto procesy vodní a větrné eroze způsobují degradaci půdy, jež se zejména v ostrovních podmínkách velmi pomalu obnovuje. Intenzitu půdní eroze navíc zvyšuje antropogenní činnost, především odlesňování a nevhodné využití půdy (Ortega et al., 2002; Rodriguez et al., 2003; Santamarta et al., 2013).

### 3 HYDROMETEOROLOGICKÁ OHROŽENÍ V MAKARONÉSII

Hydrometeorologická ohrožení tvoří skupinu nebezpečných přírodních jevů a procesů, jež mají původ v atmosféře nebo hydrosféře a pro lidskou společnost představují potenciální riziko. Tyto děje však podstatně ovlivňují také vznik a míru rizika dalších, nejen přírodních ohrožení, jakými jsou sesuvy půdy, požáry či epidemie. Účinek působení hydrometeorologických ohrožení se projevuje ztrátami na životech, zdravotními následky, škodami na majetku nebo poškozením přírodních zdrojů (eMS, 2017).

V oblastech turisticky vyhledávaných, což Makaronésie nepochybně je, nesou přírodní ohrožení ještě závažnější socioekonomické následky (Dorta, 2007). Ostrovní oblasti jsou navíc díky své izolaci na výskyt přírodních katastrof ještě citlivější, a to zejména kvůli omezeným možnostem využití zemědělské půdy či budování infrastruktury, ačkoliv dnes již místní populace nejsou na zemědělství tolik existenčně závislé jako v minulosti (Herrera, 1979).

Hydrometeorologická ohrožení nejsou jedinou skupinou přírodních ohrožení, která se v Makaronésii mohou vyskytnout. V posledních desetiletích došlo na ostrovech také k několika sopečným erupcím (viz kap. 2.1), z nichž poslední proběhla na kapverdském ostrově Fogo a skončila v únoru 2015 (Carracedo et al., 2015). Nežrídka postihují makaronéská souostroví a jejich okolí také zemětřesení, ať už o jakékoliv velikosti (Earthquake Track, 2017). Vzhledem k zaměření této kapitoly i celé práce zde tato ohrožení nejsou dále rozvedena a spolu s konkrétními příklady epizod jsou níže představeny čtyři skupiny hydrometeorologických ohrožení, k nimž v Makaronésii s větší či menší pravidelností dochází.

#### 3.1 Silné srážky a jejich následky

Charakter srážek napříč ostrovy Makaronésie je mnohem variabilnější než například chod teploty vzduchu, neboť variabilnější jsou samotné procesy řídící vznik srážek. Zřetelný kontrast existuje mezi srážkovým režimem západní a východní skupiny ostrovů Kanárského souostroví (García-Herrera et al., 2003) nebo mezi vyšší a členitější Madeirou a plošším Porto Santo v souostroví Madeirském (Cropper, 2015).

Detailní znalost srážkového režimu je důležitá nejen z důvodu hospodaření s vodními zdroji na ostrovech s nedostatkem pitné vody, ale také z hlediska územního plánování a předpokládaných důsledků silných srážek v obydlených oblastech. Makaronéské ostrovy jsou obecně ohroženy dvěma typy srážkových epizod: (i) krátkými, s okamžitými účinky na prostředí, a (ii) trvalého charakteru, s ohrožením spočívajícím v délce trvání epizody. Zatímco Kanárské ostrovy a Kapverdy jsou ohroženy spíše prvním typem, a to zejména v oblastech vyšších nadmořských výšek, na Azorech a Madeiře je pravděpodobnější původ rizika v typu druhém (Marzol et al., 2006). Ayala (2002) uvádí, že 94 % obětí povodní ve Španělsku se týká malých povodí. Takovou hydrografickou síť má ostrov Tenerife: na rozloze 2 034 km<sup>2</sup> se nachází téměř 500 povodí (ne nutně s perenními toky). Je tak

příkladem, jak mohou být účinky krátkých a intenzivních srážek zesíleny v podobě přívalových povodní (Romero et al., 2004; Dorta, 2007).

Co se týče důsledků extrémních srážek v krajině, krátké události s prudkými srážkami způsobují půdní erozi na rozsáhlých územích ostrovů. K sesuvům půdy a povodním pak většinou dochází při trvalých srážkách, v závislosti na nasycení půdy během několikadenních událostí. Kromě zemědělských škod nebo poničené infrastruktury mají silné srážky v Makaronésii i mnoho ztrát na životech: téměř 300 obětí v listopadu 1826 na Tenerife, 12 obětí v březnu 2002 v hlavním městě téhož ostrova (Santa Cruz de Tenerife), 125 obětí v Povoação na azorském ostrově São Miguel během čtyř událostí mezi lety 1774 a 1896 nebo 2 obětí na kapverdském ostrově Santiago v říjnu 2005 (Marzol et al., 2006; Arroyo, 2009).

Výstižným příkladem ohrožení povodněmi a sesuvy půdy je ostrov Madeira. Během posledních několika desetiletí se stala turisticky velmi vyhledávanou destinací, s čímž souvisí také rozvoj nové zástavby a antropogenní zásah do krajiny. K těmto aktivitám dochází především na jižních svazích ostrova, kde se nachází hlavní město Funchal. Historické záznamy přírodních katastrof na Madeiře od roku 1611 (Rodrigues, Ayala-Carcedo, 2000) demonstrují, že největší škody jsou na tomto ostrově způsobeny přívalovými povodněmi a sesuvy půdy. Povodeň v roce 1803, největší katastrofa na Madeiře, zanechala přibližně 600 obětí, při nedávné povodni z února 2010 (obr. 18) bylo obětí 42. Faktory zvyšujícími riziko sesuvů půdy jsou zde hlavně odlesňování, těžba a snížení možnosti infiltrace z důvody výstavby nových budov a komunikací (Baioni, 2011).



**Obr. 18: Povodeň a bahenní proudy v Ribeira Brava na Madeiře. Únor 2010. Zdroj: Fragoso et al. (2012).**

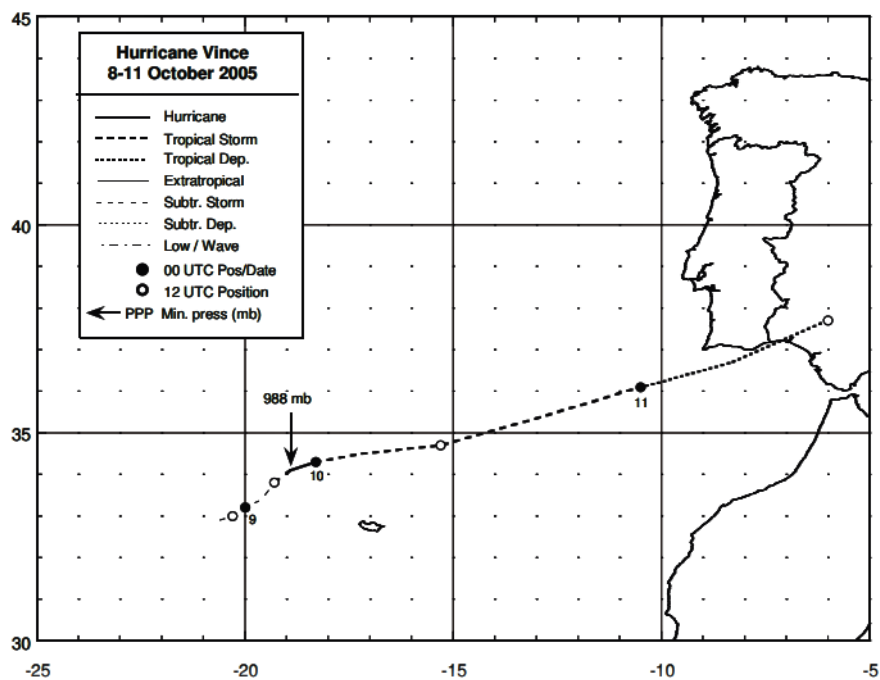
## 3.2 Větrné bouře

Při větrné bouři vítr dosahuje takových rychlostí, že může způsobit podstatné škody. V Beaufortově stupnici větru se jedná přibližně o stupně 9 až 12, což odpovídá vichřici až orkánu. Rozsáhlé větrné bouře jsou spojeny s hlubokými cyklonami, zejména s tropickými, ve kterých dosahují větší intenzity než v cyklonách mimotropických (eMS, 2017).

Jak je uvedeno v kap. 2.2.2, západně od Kapverd se vyvíjejí tzv. kapverdské hurikány, jejichž dráha směřuje typicky k oblasti Karibiku a Severní Ameriky. Zřídka však mohou směřovat jiným směrem a zasáhnout některé ostrovy Makaronésie (Cropper, 2013). V nedávné historii k tomuto případu došlo např. v roce 2005. Hurikánová sezóna 2005 v Atlantiku byla jednou z nejničivějších ve známé historii vůbec, a to nejen z hlediska frekvence výskytu hurikánů, ale i škod, které způsobily. Poprvé také byla vyčerpána abeceda připravených 21 jmen a následující hurikány dostávaly jména v pořadí řecké abecedy. Mezi nejničivější hurikány této sezóny patřily např. Katrina, Rita či Wilma (ACANMET, 2009; Blake, Gibney, 2011).

Jedním z hurikánů pojmenovaných podle řecké abecedy byla právě také Delta, jež zasáhla 28. listopadu 2005 Kanárské ostrovy, zejména ostrovy Tenerife a La Palma. Zde došlo k rozsáhlým škodám v zemědělských oblastech i městských zástavbách, na Tenerife k přerušení dodávky elektřiny po několik dní a o život přišlo sedm lidí. Na mnoha stanicích byly překonány rekordy v rychlostech větru v nárazech; největší byla naměřena na stanici Izaña na Tenerife: 248 km/h. Na závětrné straně ostrovů se také vytvořily mohutně vertikálně vyvinuté oblaky typu altocumulus lenticularis. Delta postupovala Atlantikem po velmi neobvyklé dráze – severovýchodním, později východním směrem ke Kanárským ostrovům a africkému pobřeží (ACANMET, 2009; Arroyo, 2009). Neobvyklý směr větru, který vyplývá z této dráhy, představoval hlavní nebezpečí v případě některých staveb a komunikací, jež nejsou uzpůsobeny tomu, aby odolaly tak silnému větru z opačného směru, než je ten převažující. K zesílení účinků větru navíc přispěla podoba reliéfu, zejména na ostrově Tenerife (Dorta, 2007). Větrné bouře v pobřežních oblastech kromě toho přinášejí riziko příbojových vln, jež způsobují především materiální škody v přístavech, jako tomu bylo např. v roce 1999 či 2003 na Tenerife (Yanes et al., 2006; Dorta, 2007; AEMET, 2015).

Pozoruhodným hurikánem z hlediska výskytu v této oblasti byl dále Vince v říjnu 2005, tedy ve stejné hurikánové sezóně jako výše zmíněná Delta. Vince se zformoval jihovýchodně od Azorských ostrovů v blízkosti Madeiry a postupoval k Pyrenejskému poloostrovu (obr. 19), ke kterému došel již zeslabený na stadium tropické deprese. I přesto sem ještě přinesl intenzivní srážky (Franklin, 2006).



**Obr. 19: Dráha hurikánu Vince (2005).** Zvýrazněna poloha Madeiry. Plnou čarou vyznačeno stadium tropické cyklony, následující styly přerušované čáry směrem k Pyrenejskému pol. označují stadium trop. bouře a trop. deprese. Zdroj: Franklin (2006).

Ačkoliv hurikán Vince bývá uváděn jako historicky první známá tropická cyklona, jež zasáhla Pyrenejský poloostrov (Franklin, 2006), Vaquero et al. (2008) považuje za jeho precedens hurikán, jenž se zformoval v říjnu 1842 a pohyboval se po podobné dráze. Na Pyrenejském poloostrově způsobil škody především v některých městech Andalusie a Extremadury, poté zřejmě došlo k jeho transformaci na mimotropickou cyklonu. Ještě dříve, v listopadu 1826, postihla Kanárské ostrovy pravděpodobně také tropická cyklona (tentokrát historická analogie hurikánu Delta), jež je zde považována za největší hydrometeorologickou katastrofu vůbec: spolu s výjimečnými srážkovými úhrny během velmi krátké doby se jen na ostrově Tenerife uvádí téměř 300 obětí. Bethencourt a Dorta (2010) pro tuto tropickou cyklonu navrhuji jméno San Florencio (Arroyo, 2009; Bethencourt, Dorta, 2010; ULL, 2010).

Dalšími hurikány, jejichž dráha vedla přes některé z makaronéských ostrovů (ačkoliv na tomto území nemusely být ve stadiu plně vyvinuté tropické cyklony), byly např. „Hurricane Six“ (1893), Emmy (1976), Felix (1989), Charley (1992), Gordon (2006 a 2012), Nadine (2012), Fred (2015), Alex (2016) nebo Ophelia (2017) (McAdie et al., 2009; Brown, 2013; NOAA, 2017a). Je otázkou, zda se dá v důsledku globálního oteplování očekávat s větší frekvencí postižení nejen oblasti Makaronésie, ale i západní Evropy, kde je zatím výskyt tropických cyklon velmi ojedinělý (Haarsma et al., 2013).

### 3.3 Horké vlny

Výskyt vícedenních období výrazně nadnormálních hodnot, při nichž dochází k výraznému nárůstu mortality, patří mezi významné a sledované faktory také v souvislosti se změnou klimatu (eMS, 2017).

Maximální teplota v rámci Makaronésie (47,5 °C) byla naměřena na ostrově Tenerife v červenci 1978. Podobně vysokých hodnot historicky dosahují také další ostrovy z Kanárského souostroví: El Hierro a Fuerteventura. Na Madeiře a Kapverdách se maximální naměřené teploty blíží čtyřiceti stupňům Celsia, zatímco rekordní teplota na Azorech v září 1985 dosáhla jen 32,2 °C (AEMET, 2012).

Vysoké noční teploty jsou charakteristickým rysem horkých vln a na Kanárských ostrovech bývají každoročně naměřeny teploty neklesající pod 28 °C během celé noci. Vpád vzduchové hmoty ze Sahary pak způsobuje mimořádný pokles hodnot relativní vlhkosti vzduchu, jež mohou být nižší než 15 % (Dorta, 1991), a to přitom stále v podmínkách oceánského klimatu (Dorta, 2007). V nedávné historii přinesly na Kanárských ostrovech nejvíce obětí horké vlny z července 2004 či 2009 (Dorta, 2007; Arroyo, 2009).

### 3.4 Sucho a požáry

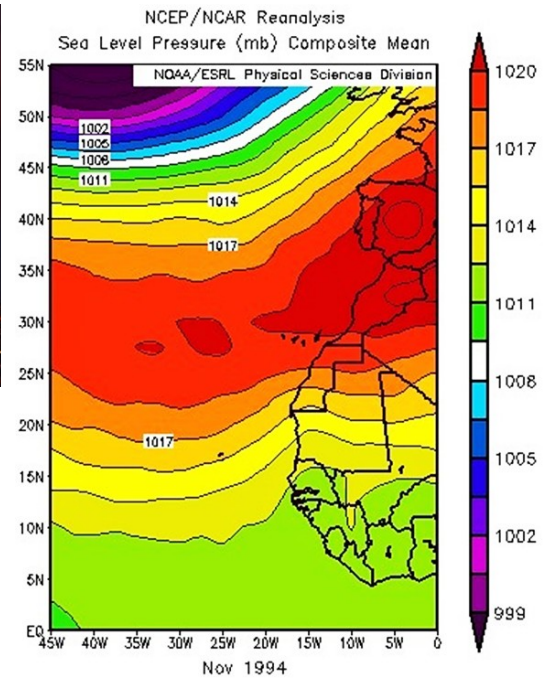
Efekt horkých vln je často evidentní v souvislosti s výskytem sucha a se vznikem a šířením požárů v krajině: téměř 95 % požárem postiženého území na Kanárských ostrovech je spojeno s advekcí saharské vzduchové hmoty (Dorta, 2001). Jednou z nejsušších epizod je zde epizoda z roku 1994. Ve stejném období byl suchem postižen také Pyrenejský poloostrov, a to za stejné synoptické situace: při výskytu blokující anticyklony (obr. 21), s případnou advekcí suchého saharského vzduchu. Tato situace bývá perzistentní, může trvat i několik týdnů (Dorta, 2007). Na obr. 20 jsou zachyceny lesní požáry na Madeiře z července 2012. Období od září 2011 do srpna 2012 je nejsušším v historii měření na stanici Izaña (Tenerife). Tato meteorologická stanice měří od roku 1916 (AEMET, 2017).

Sucho vážně ovlivňuje především zemědělský sektor, ačkoliv ekonomická závislost ostrovů na tomto sektoru v poslední době významně klesla. Z makaronéských souostroví jsou suchem obecně nejvíce postiženy Kapverdy, přestože roční srážkové úhrny na jednotlivých ostrovech se značně liší – na vyšších a členitějších ostrovech s aktivními vulkány spadne více srážek než na ostrovech nižších, nacházejících se ve srážkovém stínu. Sopečné půdy jsou sice úrodné, ale klima je zde na mnoha místech pro zemědělství příliš aridní (WWF, 2017). Nicméně i přes nízký roční úhrn srážek může být ojedinělý denní úhrn na Kapverdách výjimečně vysoký (Da Rocha Faria, 1971) a způsobit půdní erozi (Mannaerts, Gabriels, 2000).



**Obr. 20:** (vlevo) Lesní požáry na Madeiře v červenci 2012. Zdroj: SIN Notícias (2012).

**Obr. 21:** (vpravo) Průměrný SLP při epizodě sucha na Kanárských ostrovech v listopadu 1994. Atm. reanalýza NCEP/NCAR z 9.12.2004, stupnice v mb (hPa). Zdroj: NOAA (2017b).





## 4 DATA A METODY

V této kapitole je popsán proces získání souboru dat využitého k analýze extrémních srážkových událostí v zájmovém území, o níž pojednává kapitola 5. Jsou zde také vysvětleny metody a nástroje použité k této analýze.

### 4.1 Srážkoměrná data a jejich zpracování

V rámci geografického vymezení makaronéských ostrovů bylo vybráno 16 stanic, u nichž jsou dostupné databáze srážkových dat v denním kroku. Jedná se o pět stanic na Azorských ostrovech, dvě na Madeirském souostroví, osm na Kanárských ostrovech a jednu na Kapverdských ostrovech.

Data pocházejí ze tří databází. První je Global Historical Climatology Network (GHCN) – Daily Summaries, Version 3 (Menne et al., 2012a), jež je produktem americké vládní agentury National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Tento dataset je kompozitem informací o úhrnu srážek a dalších meteorologických prvků z asi třiceti různých zdrojů a je pravidelně aktualizován. Poskytuje data z více než 100 000 stanic po celém světě, a je tak největším souborem denních klimatických řad (Alexander et al., 2006; Menne et al., 2012a).

Druhou databází je European Climate Assessment and Dataset (Haylock et al., 2008; ECA&D, 2017), soubor denních měření primárně z evropských meteorologických stanic, ale postupně rozšiřovaný také o data ze stanic v severní Africe, východním Středomoří či Perském zálivu. Jedním z cílů ECA&D je monitorovat a analyzovat změny klimatu a klimatické extrémy a současně umožnit přístup k těmto datům veřejnosti (Alexander et al., 2006; ECA&D, 2017).

Poslední databází použitou v práci je Global Summary of the Day (GSOD), jež je produktem National Climatic Data Center (NCDC, 2017) a umožňuje získat klimatická data z více než 9 000 stanic. Pro některé stanice jsou historická data dostupná již od roku 1929, kompletní soubory však většinou existují až od roku 1973 (NCDC, 2017).

Jednotnou časovou řadou pro srážková data z vybraných šestnácti stanic na ostrovech Makaronésie bylo zvoleno období 1. 1. 1977 až 31. 12. 2016. Podmínkou výběru bylo zachování alespoň čtyřicetileté řady, zároveň ale spodní hranici výběru limitovala nedostupnost (či neexistence) souvislých dat některých stanic. S rostoucí dobou uplynulou od historického měření se také komplikuje možnost ověřit konkrétní údaj z jiného zdroje.

Samotný výběr stanic byl nejdříve omezen jen jejich dostupností v uvedených třech zdrojích, po zhodnocení celkové celistvosti dat a vyjádření podílů dní s údajem o denním úhrnu srážek vůči celkovému počtu dní čtyřicetileté řady jich bylo z původního výběru 26 stanic deset odstraněno. Vytvoření jednotného datového souboru potom probíhalo tak, že primárním zdrojem byla databáze GHCN, chybějící dny byly následně doplněny o hodnoty z databáze ECA&D a zbytek hodnot potom z GSOD/NCDC.

#### 4.1.1 Charakter získaných srážkoměrných dat

Přestože se dá říci, že data obecně pocházejí z důvěryhodných zdrojů, bylo nutné přistupovat k jejich analýze obezřetně. V práci jsou studovány extrémní úhrny srážek v denním kroku, pozornost tedy byla věnována především jim.

V datech se vyskytuje množství hodnot, jež vzhledem k charakteru klimatu na daných stanicích teoreticky naměřeny být mohly, avšak jejich distribuce se celkově jeví jako nepřilíš pravděpodobná. Za použitelnou aproximaci rozdělení extrémů meteorologických prvků bývá považováno Gumbelovo rozdělení, speciální případ GEV (Generalized Extreme Value) rozdělení (Kyselý, 2005). Chybné hodnoty, jak ostatně uvádějí i dokumenty s metadaty použitých databází (Haylock et al., 2008; Menne et al., 2012b; NCDC, 2017), jsou zřejmě nejčastěji způsobeny (i) sečtením úhrnů několika předchozích dnů do denního úhrnu dne následujícího, (ii) zapsáním příslušné hodnoty o jeden den později, (iii) zapsáním hodnoty neúplně, tedy úhrnu jen za několik hodin, případně (iv) chybným zápisem desetinné čárky. Absence dat je pak pravděpodobně nejčastěji způsobena chybějící synoptickou výměnou ze dne, kdy nespadly žádné srážky; tyto hodnoty však nemohou být bez dalších informací automaticky nahrazeny nulou.

Alexander et al. (2006), podobně jako Viney a Bates (2004), v práci s daty z databáze GHCN brazilských stanic odstranil hodnoty denních srážkových úhrnů větších než 1 mm, pokud následovaly po dni či dnech s chybějícími údaji. Odlehlá maxima v předložené práci nicméně nebyla ze souboru dat plošně odstraněna použitím předem definovaného kritéria; hodnoty byly posuzovány individuálně s přihlédnutím k synoptické situaci z atmosférických reanalýz, k sezonalitě srážkového režimu konkrétního souostroví, případně byly dohledávány v jiných zdrojích, bylo-li to možné. Těmito zdroji byly především informace z archivu synoptické výměny (Ogimet, 2017) či měsíční klimatologické přehledy pro Azorské ostrovy, vydávané portugalskou meteorologickou službou – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), žádný z těchto zdrojů však neumožňuje dohledat hodnoty z celého období datové řady.

Na Azorských a Kapverdských ostrovech bylo takto odstraněno či opraveno nejvíce hodnot za jednotlivé dny – s tím, že srážkové úhrny pro tyto dny nebyly nijak odhadovány z reanalýzy, pokud bylo z různých důvodů zřejmé, že úhrn pro daný den byl nenulový (byť podstatně menší, než původně udávaná hodnota). Stejně tak nebyl odstraněný údaj až na jeden případ (stanice Lajes) nahrazen nulou; konkrétní den v dalších výpočtech vystupoval jako den, za který nejsou srážková data z žádné ze tří databází k dispozici („NA“). Jedna hodnota (stanice Santa Maria) byla nahrazena jinou nenulovou hodnotou a v jednom z případů opravené hodnoty (stanice Amílcar Cabral) evidentně došlo v původním zápisu hodnoty k posunu desetinné čárky. Výjimečně takto byly tedy některé hodnoty upraveny či odstraněny, avšak obecně žádné aproximace použity nebyly a s ostatními daty se pracovalo tak, jak byla dostupná v uvedených databázích. Úpravy podezřelých extrémů či vyjmutí celých kalendářních roků ještě před další prací s datovou maticí znázorňuje tab. 3.

S odkazem na článek Meteorologické společnosti Kanárských ostrovů (ACANMET – Asociación Canaria de Meteorología) (Arroyo, 2009) byly všechny extrémní hodnoty ze stanic na Kanárských ostrovech v datové matici ponechány. V článku jsou popisovány historické výskyty povětrnostních extrémů, co se týče jejich průběhu a způsobených škod, u těchto extrémních hodnot je proto velmi nepravděpodobné, že by vznikly např. chybným zápisem. Tyto hodnoty také odpovídají úhrnům, jež uvádí Dorta (2007).

**Tab. 3: Úprava některých srážkoměrných dat před jejich analýzou.**

STANICE	DEN/OBDOBÍ	PŮVODNÍ HODNOTA (mm)	OPRAVENÁ HODNOTA (mm)
<b>AZORY</b>			
Flores	25.4.1979	219,7	NA
	29.8.1997	212,1	NA
	1993-1995	-	NA
Lajes	27.7.2006	182,9	0
	1990-1994	-	NA
Santa Maria	12.1.2016	288,0	0,6
	1982	-	NA
<b>MADEIRA</b>			
Funchal S. Catarina	18.1.1995	271,0	NA
<b>KAPVERDY</b>			
Amílcar Cabral	2.4.1973	199,9	NA
	17.2.1979	152,9	NA
	21.7.1991	161,0	NA
	8.3.1992	119,9	NA
	26.5.1994	161,0	NA
	11.2.1995	154,9	NA
	29.1.2000	161,3	NA
	16.1.2002	161,0	NA
	21.2.2011	99,1	NA
	5.9.2012	242,1	24,2

Protože stanice Ponta Delgada Aeroporto, původní stanice, jejíž data byla dostupná v databázi GHCN, obsahovala méně než 50 % z požadované čtyřicetileté řady, byla v matici dat nahrazena stanicí Ponta Delgada (č. 085130). Datovou řadu vytvořila IPMA. Tato stanice měří již od roku 1872, její srážková data obsahují mnohem méně mezer a současně se v nich nevyskytují podezřelé extrémy. Tato řada však končí dnem 30. 6. 2013, hodnoty tedy byly pomocí lineární regrese doplněny do konce roku 2016. Rovnice regrese byla vyjádřena ze srážkových dat obou stanic v Ponta Delgadě za období 1. 1. 2002 až 31. 5. 2013. V tomto

úseku časové řady se v datech původní stanice nevyskytovaly odlehlé extrémy, zjevné chyby způsobené zápisem hodnoty posunutým o jeden den byly navíc opraveny.

Stejným způsobem byla doplněna data na začátku čtyřicetileté řady stanice Tenerife Sur. Její hodnoty začínají až od 1. 7. 1980. K rovnici regrese byla vybrána stanice Santa Cruz de Tenerife, neboť je stanici Tenerife Sur nejbližší a také charakterem klimatu se jí podobá více než stanice Tenerife Los Rodeos, zbývající dostupná stanice na témže ostrově. Rovnice vychází ze vztahu hodnot zmíněných stanic za období 1. 1. 1981 až 31. 12. 2016. Takto dlouhá řada mohla být k rovnici regrese zvolena proto, že zbytek hodnot stanice Tenerife Sur byl zjevně v pořádku, opět bez podezřelých extrémů.

Ani po odstranění zjevných chyb, chybějících dat a extrémů s nepravděpodobným výskytem se však nedá zaručit, že by byl zbytek dat zcela spolehlivý. V některých dnech, kdy byly podle dostupné literatury příslušné ostrovy postiženy povodněmi či intenzivními srážkami, musely být srážkové úhrny téměř jistě vyšší. I přesto nebyla chybějící data nebo malé srážkové úhrny z těchto dní nijak navyšovány a korekce dat (s výjimkou jejich doplnění na základě regrese) byla zaměřena na extrémní hodnoty.

#### 4.1.2 Hodnocení extremity srážek

Absolutní úhrn srážek, ostatně ani jiné veličiny, neposkytuje žádnou informaci o ojedinělosti jejího výskytu na určitém místě, je proto nutné použít metodu, která extremitu charakterizovat umožní, a údaje z jednotlivých stanic tak budou mezi sebou z tohoto hlediska srovnatelné.

V této práci bylo k určení extremity srážky zvoleno vyjádření hodnoty úhrnu pomocí její doby opakování, založené na výpočtech L-momentů (Hosking et al., 1985; Hosking, 1990). Metoda L-momentů představuje postup odhadu parametrů teoretických rozdělení. Jeho hlavními přednostmi jsou výpočetní jednoduchost a relativně dobré výsledky, které poskytuje pro malé a střední výběry. Podobně jako klasické momenty, L-momenty tvoří množinu statistik, pomocí nichž lze popsat jakékoliv rozdělení, avšak vyšší L-momenty mohou být z výběru odhadnuty spolehlivěji a nejsou tolik citlivé na odlehlé hodnoty. Jejich výpočet je založen na pořadových statistikách získaných uspořádáním výběru  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$   $n$  nezávislých realizací proměnné  $X$  ve vzestupném pořadí  $\{X_{1:n}, X_{2:n}, \dots, X_{n:n}\}$ , kde index  $k:n$  označuje  $k$ -tou nejmenší hodnotu ve výběru o velikosti  $n$ . L-momenty jsou potom definovány jako střední hodnoty lineárních kombinací těchto pořadových statistik, obecně pro  $k$ -tý L-moment (1):

$$\lambda_k = \frac{1}{k} \sum_{j=0}^{k-1} (-1)^j \binom{k-1}{j} E(X_{k-j:k}) \quad (1),$$

kde  $E$  značí střední hodnotu. Pro první tři L-momenty, které jsou pro určení parametrů tříparametrových rozdělení postačující, lze jejich odhady vyjádřit ve tvaru (2) (Kyselý, 2005):

$$l_1 = \frac{\sum_i X_i}{n} \quad l_2 = \frac{\sum_{i>j} (X_{i:n} - X_{j:n})}{2 \binom{n}{2}} \quad l_3 = \frac{\sum_{i>j>k} (X_{i:n} - 2X_{j:n} + X_{k:n})}{3 \binom{n}{3}} \quad (2).$$

K výpočtu doby opakování pomocí L-momentů je třeba znát roční maxima. V této fázi byla nutná další úprava získaných dat, a to vyjmutí let z výpočtu (denní srážková data z těchto let zůstala zachována), když jejich maximum pravděpodobně nebylo skutečným maximem z důvodu mnoha chybějících dat v konkrétním roce. To by mělo vliv na statistiku celého souboru a do určité míry by to zkreslilo každou počítanou hodnotu. Tyto úpravy se týkají stanice Flores (rok 1996) a stanice Amílcar Cabral (roky 1977, 1982-1984, 1986, 1988, 1989, 1992, 2006 a 2007).

Srážkovému úhrnu za každý den je v práci přiřazena hodnota odpovídající jeho době opakování (N-letosti), a to pro denní (1d), dvoudenní (2d) a třídenní (3d) úhrny. Vícedenní úhrny jsou uvažovány proto, aby v případě významného úhrnu souvislé srážky, trvající déle než jeden den, nezanikla její extremita. Extrémní srážky nyní mohou být detekovány pomocí vypočtených N-letostí, jež vyjadřují ojedinělost na každé stanici bez ohledu na absolutní úhrn srážek, neboť do výpočtu N-letostí úhrnů každé stanice vstupovala její roční maxima. Z hlediska extremity výskytu určitého srážkového úhrnu jsou tedy všechny stanice (i mezi souostrovími) srovnatelné.

Zde by k výběru extrémních srážkových událostí už stačilo seřadit sestupně všechny vypočtené N-letosti a podle maximálních hodnot najít datum korespondující s konkrétní N-letostí, ale protože nás zajímají srážkové události, které postihly do jisté míry většinu stanic jednoho souostroví, z N-letostí všech stanic souostroví jsou nejdříve spočítány jejich geometrické průměry (zvláště pro 1d, 2d a 3d hodnoty). Geometrický průměr je pro takový výběr vhodnější (Müller, Kašpar, 2014), jelikož v případě použití např. aritmetického průměru N-letostí by odlehlý extrém jedné stanice mohl potlačit hodnoty ostatních stanic, a to by opět na první místa pořadí extrémních událostí posunulo dny, ve kterých spadla intenzivní srážka jen na jedné stanici.

Pro vyjádření geometrického průměru je v práci zaveden symbol  $G$ , příslušný počet dnů je potom označen indexem. Geometrický průměr N-letostí jednodenních až třídenních srážkových úhrnů je tedy vyjádřen symboly  $G_1$ ,  $G_2$ , resp.  $G_3$ . Nejvyšší z těchto tří hodnot pro dané souostroví a konkrétní den je označena symbolem  $G_M$ . Každému dni ve zvolené časové řadě tak (podle dostupnosti dat) přísluší jedna hodnota  $G_M$ , vyjádřená za každé souostroví.

V tomto kroku je ještě nutné vyřešit, jak přistoupit k výpočtu geometrického průměru  $N$ -letostí u dnů, jež nemají data za všechny stanice. Ve výběru extrémních událostí by opět došlo ke zvyhodnění; tentokrát dnů, u nichž jsou dostupná data např. jen 3 z 5 stanic – zde by se v podstatě jednalo o třetí odmocninu součinu tří čísel, výsledkem čehož by byla obecně větší hodnota než v případě páté odmocniny ze součinu pěti čísel (když  $N$ -letost čtvrtého a pátého činitele by byla rovna hodnotě blížíci se jedné). Tento problém se týká především Azorských ostrovů, kde se stanice zahrnuté do výpočtu nacházejí na odlišných ostrovech, v případě některých stanic od sebe značně vzdálených, a použití lineární regrese ke zjištění chybějících hodnot by nebylo příliš vhodné. Vzhledem ke statistice datového souboru se však dá předpokládat, že do určité míry je malá pravděpodobnost výskytu velkého srážkového úhrnu na všech stanicích najednou, a proto byla v případě chybějících dat za všechny stanice počítána  $n$ -tá odmocnina ze součinu  $n$  stanic s tím, že stanice s chybějícími hodnotami ve výpočtu vystupovaly jako stanice s nulovým úhrnem, tj.  $N$ -letostí blížíci se jedné. Tím pochopitelně dojde k potenciálnímu potlačení extremity srážkových událostí, jež by postihly všechny stanice souostroví; tento případ však nastane s menší pravděpodobností než případ zvyhodnění dnů, kdy data nejsou dostupná u všech stanic a na jedné z těch, kde hodnota dostupná je, byl naměřen vysoký srážkový úhrn. V případě Kapverdských ostrovů, kde jsou k dispozici hodnoty jen z jedné stanice, výběr samozřejmě proběhl jen z příslušných  $N$ -letostí, bez použití dalšího výpočtu.

Protože doba opakování je vyjádřena geometrickým průměrem za celé souostroví, ale ostrovy některých souostroví jsou od sebe poměrně vzdálené, nebyla ve výběru maxima zvolena jen nejvyšší z hodnot  $G_1$  až  $G_3$ , ale byl vždy umožněn výběr větší ze dvou hodnot – z  $G_M$  dne příslušného a z  $G_M$  dne následujícího. Tím byla do jisté míry ošetřena možnost, že se stejná srážková událost projevila na některých ostrovech se zpožděním, současně se tak mohla částečně přejít nejistota v otázce zápisu měření reálného srážkového úhrnu ke správnému dni v datovém souboru. Aby se omezila možnost zahrnutí určité hodnoty do srážkové události, se kterou nemusela souviset, výběr maxima  $G_M$  z hodnot  $G_1$  až  $G_3$  se navíc řídil kritériem, kdy nejvyšší hodnotou z nich nebyla zvolena  $G_3$ , platil-li vztah  $G_2 < G_1$ . Poslední kritérium výběru maxima se potom týkalo stanic na ostrově Tenerife: všechny tři stanice mají souvislou datovou řadu (stanice Tenerife Sur po doplnění pomocí lineární regrese) a každá se nachází v jiné části orograficky velmi rozmanitého ostrova, bylo tedy žádoucí ponechat ve výběru stanic všechny. Aby se však ve výčtu dvaceti srážkových událostí nezvyhodnil ostrov Tenerife, byla z každého dne vybírána mezi těmito třemi stanicemi vždy jen nejvyšší hodnota  $N$ -letostí, se zachováním všech ostatních pravidel výběru.

Následně bylo vybráno tolik událostí, aby po vyčištění od duplicit, způsobených nastaveným kritériem výběru, zůstalo za každé souostroví 20 nezávislých srážkových událostí s nejvyššími hodnotami  $G_M$ , ať už tato hodnota označovala  $N$ -letost pro 1d, 2d či 3d úhrn. Dvacet událostí za každé souostroví bylo vybráno s ohledem na čtyřicetiletou řadu, kdy tak k jedné události dojde v průměru jednou za dva roky. Datum výskytu každé výsledné hodnoty

případně bylo ještě upraveno tak, aby pokrývalo dny, kterých se srážka opravdu týkala. V případě stanice Amílcar Cabral na Kapverdách bylo nutné u některých událostí, jež reprezentovala doba opakování pro 3d srážku, uměle snížit vybrané maximum na hodnotu pro 2d srážku, neboť srážky spadly jen ve dvou dnech a vyšší hodnota pro dobu opakování 3d srážky vycházela z distribuce jejich hodnot: protože datová řada této stanice obsahuje spoustu mezer, oproti stanicím z ostatních souostroví se v hodnotách vyskytuje mnohem méně hodnot pro N-letost 2d srážek, pro N-letost 3d srážek logicky nejméně. Hodnoty pro doby opakování vícedenních srážek mohou být počítány jen tehdy, existují-li data pro všechny počítané dny. Četnost souvislých hodnot za 3 a více dní je tak v případě této stanice ve srovnání s ostatními mnohem menší a stejná hodnota pro dobu opakování třídenního úhrnu srážek paradoxně vzácnější než pro ten dvoudenní.

#### 4.1.3 Sezonalita extrémních událostí

Rozdělení výskytu extrémních meteorologických událostí lze názorně vyjádřit pomocí radiálního diagramu (obr. 22). Ten může být rozdělen na stejné části, kdy každá kruhová výseč reprezentuje určitou část roku, například měsíc či roční období.

V této práci je výskyt extrémních srážkových událostí vynášen do radiálního diagramu, kde každý den v roce má své místo na obvodu kruhu; každému dni je tedy přiřazen úhel odpovídající  $\frac{1}{365}$  z celkových  $360^\circ$  (žádná událost se nevyskytla 29. února přestupného roku, celkový počet dní byl tedy ponechán 365). Tato metoda určení sezonality extrémů je založena na podobném principu, jakým je vyjádření nerovnoměrnosti ročního chodu srážek podle Markhamova indexu (Brázdil, 1978). V případě onoho výpočtu se vychází z vektorového součtu jednotlivých měsíčních úhrnů. Zde je však sezonalita vyjádřena pomocí tzv. směrové statistické metody, použité v pracích zabývajících se sezonalitou povodní (Black, Werritty, 1997; Čekal, Hladný, 2008) či denní distribucí nejvyšších srážkových úhrnů (Bližňák et al., 2017). Metoda umožňuje pracovat s daty v denním kroku a ze směrových vektorů reprezentujících srážkovou událost lze určit průměrný den („mean day“ – MD), jenž je aproximací těžiště extrémních srážkových událostí v roce.

Velikost úsečky vynášené na směrový vektor události lze navíc modifikovat dle váhy zvolené proměnné (Bližňák et al., 2017). V této práci je velikost jednotlivých vektorů v každém souostroví vážena poměrem velikostí příslušného vektoru a vektoru reprezentujícího srážkovou událost s největší hodnotou N-letosti. Je-li tedy radiálním diagramem jednotková kružnice, koncový bod nejdelšího vektoru leží na jejím obvodu, zbylých 19 vektorů má pak velikost úměrnou poměru hodnoty jejich N-letosti vůči hodnotě N-letosti vektoru nejdelšího. Tento způsob znázornění slouží kromě vyjádření sezonality extrémních událostí zároveň k odhadu distribuce hodnot N-letosti v rámci souostroví – čím jsou všechny koncové body vektorů blíže obvodu jednotkové kružnice, tím jsou blíže hodnotě největšího extrémů z 20 událostí. A naopak – velká koncentrace koncových bodů kolem středu kružnice vypovídá o výskytu malého množství výrazně odlehlých srážkových extrémů v souostroví. Vzhledem k časové délce datové



řady může takové rozdělení potenciálně i napovídat výskytu jedné či více chybných hodnot v datovém souboru.

Aplikace metody směrových statistik umožňuje transformaci data události do podoby bodu na kružnici za použití polárního souřadnicového systému. Datum lze na jednotkové kružnici vyjádřit pomocí vztahu (3):

$$\varphi = D \frac{2\pi}{365} \quad (3),$$

kde  $D$  je datum určené pořadím dne v roce, počínaje 1. lednem, a  $\varphi$  úhel v radiánech, určující polohu srážkové události na kružnici. Dle matematické konvence je 1. leden umístěn nejvíce vpravo od středu kružnice a následující dny pokračují proti směru hodinových ručiček, tedy v kladném směru. Datum každé události takto tvoří vektor, jenž je charakterizován směrem a velikostí. Dokud není velikost vektorů upravena podle vztahu k hodnotě největšího extrému, velikost všech je rovna jedné.

Ke konstrukci vektorů vážených a výpočtu MD je potom třeba znát kartézské souřadnice koncových bodů. Souřadnice na ose  $x$  se získá výpočtem kosinu úhlu  $\varphi$ , souřadnice na ose pomocí sinu  $\varphi$ . Koncový bod vektoru MD má souřadnice (4):

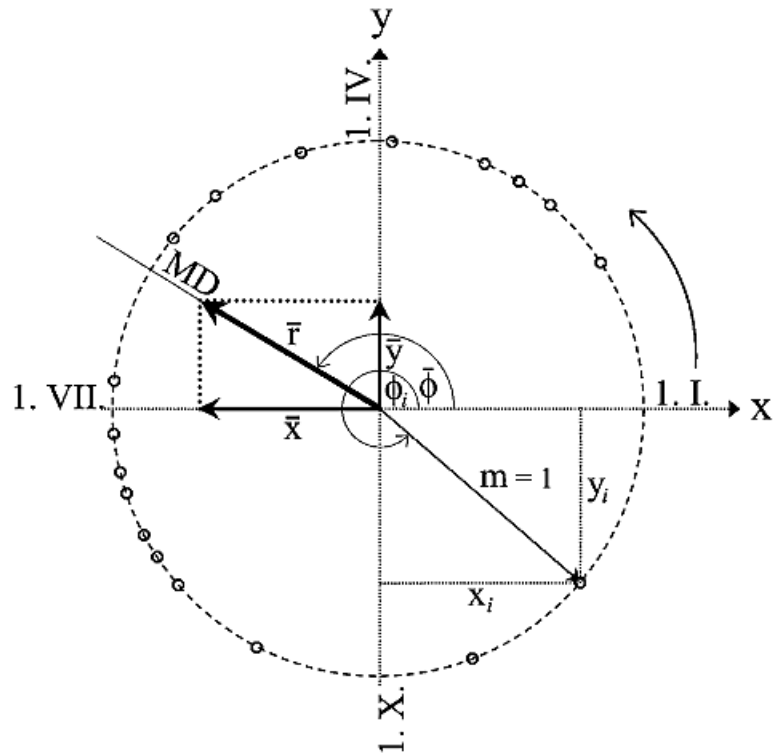
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos \varphi_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i \quad (4).$$

Poloha souřadnic  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  v rámci kružnice určuje průměrný den výskytu extrémních událostí v roce a velikost  $r$  vektoru MD lze vyjádřit (5):

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (5),$$

kde  $r$  kromě velikosti vektoru také slouží jako míra sezónní koncentrace srážkových událostí. Hodnota  $r$  může nabývat velikostí od 0 do 1. V případě, že by se všech 20 srážkových událostí vyskytlo ve stejném dni v roce, bylo by  $r = 1$ ; hodnota blízká nule by pak znamenala rovnoměrnou distribuci událostí během roku. Avšak stejně jako v případě vyjádření míry heterogenity N-letostí mezi stanicemi jednoho souostroví, velikost vektoru MD blízká nule může být interpretována rovněž jako případ, kdy se proti sobě v opačných částech roku nacházejí dvě události s výraznější extremitou. Velikost  $r$  je v práci počítána z nevážených

hodnot, tedy z obvodových souřadnic, aby byla zachována uvedená interpretace výsledné hodnoty v rámci intervalu 0 až 1. Výpočet MD metodou směrových statistik znázorňuje obecné schéma jednotkové kružnice (obr. 22), kde kroužky na jejím obvodu reprezentují datum výskytu extrémních událostí a současně koncové body vektorů, zde bez modifikace jejich délky.



**Obr. 22: Výpočet sezonality srážkových událostí.** MD označuje výsledný vektor „mean day“. Zdroj: Čekal, Hladný (2008).

Opačným postupem, než jakým byly získány kartézské souřadnice vektorů reprezentujících jednotlivé události, lze ze souřadnic vektoru MD zpětně spočítat den v roce, na který jeho úhel připadá (se zaokrouhlením dolů na celé dny). V kap. 5.2.1, v níž je sezonalita extrémních událostí Makaronésie analyzována, je do radiálního diagramu vynášeno vždy 20 extrémních událostí za souostroví tak, že je barevně rozlišeno, jedná-li se o hodnotu  $G_1$ ,  $G_2$  či  $G_3$ , a v případě dvoudenních a třídenních událostí úhel směrového vektoru odpovídá dni s nejvyšší hodnotou  $G_1$  v rámci příslušné události.

#### 4.1.4 Plošné vymezení extrémních událostí

Extrémní srážkové události v Makaronésii se dají plošně vymežit dvěma způsoby: (i) vyjádřit míru jejich heterogenity v rámci jednoho souostroví, tedy mezi stanicemi, nebo (ii) zhodnotit, jak stejná událost postihla více než jedno souostroví, mj. s jakou intenzitou a časovou prodlevou.

Heterogenita událostí mezi stanicemi v rámci souostroví je v práci kvantifikována pomocí vektorového součtu. Každá stanice tvoří jednu osu grafu, na kterou jsou od počátku souřadnicového systému nanášeny dekadické logaritmy N-letostí každé z 20 událostí s tím, že se nerozlišuje, o kolikadenní N-letost se jedná. Použití dekadického logaritmu ve výpočtu zmírní efekt výrazně zešikmených rozdělení (Black, Werritty, 1997), jinými slovy, přiřadí menší váhu dominantní proměnné a zvýrazní kvalitativní stránku dat (Haruštiaková et al., 2012). Počátek souřadnicového systému a suma všech logaritmů na jedné ose potom určují směrový vektor N-letostí jedné stanice, vzdálenost sumy od počátku určuje jeho velikost.

Po zjištění koncového bodu vektoru za každou stanicí lze vyjádřit výsledný vektor, tvořený součtem tolika vektorů, kolik os (stanic) do kvantifikace heterogenity vstupuje. Tento výsledný vektor je opět charakterizován velikostí a směrem: čím je jeho velikost větší, tím spíše v rámci souostroví dominuje v případě výskytu extrémních událostí jedna stanice, a jeho směr je podobný směru osy, na které se nachází z tohoto hlediska dominantní stanice. Malá velikost výsledného vektoru se dá potom interpretovat tak, že plošné rozdělení extrémních událostí v rámci souostroví je spíše homogenní, na druhou stranu může taková situace nastat i v případě, že se v grafu nacházejí proti sobě dvě dominantní stanice, a výsledný vektor je tak v podstatě rozdílem dvou vektorů podobné velikosti. Avšak vzhledem k tomu, že stanice reálně nejsou uzavřeny do kruhu a jejich pořadí v diagramu mohlo být zvoleno libovolně, nemá smysl výsledný vektor za celé souostroví vyjadřovat šipkou. Výjimkou je pouze souostroví Madeira, kde směr šipky skutečně ukazuje ke stanici, na níž se události projeví větší extremitou, neboť stanice zahrnuté do analýzy jsou zde pouze dvě. V ostatních případech výsledný vektor šipkou vyjádřen není a vektory jednotlivých stanic jsou jen propojeny přerušovanou čarou tak, jak spolu stanice sousedí od západu na východ.

V kap. 5.3.1 je uvedenou metodou vyjádřena míra plošné heterogenity extrémních událostí pro Azorské, Madeirské a Kanárské ostrovy, přičemž Kapverdské souostroví z tohoto hlediska posouzeno být nemohlo, neboť datový soubor obsahuje jen jednu jeho stanicí. V případě Azorských ostrovů je míra heterogenity N-letostí vyjádřena jen na základě těch událostí, pro něž byla dostupná data ze všech stanic. Z celkových 20 extrémních událostí jich tuto podmínku splňuje 13. Zbývající dvě souostroví mají data mnohem kompaktnější a tento problém se jich netýkal.

V plošném hodnocení napříč souostrovím jsou pak hledány stejné události, a to nejdříve vizuálně, později analýzou synoptické situace. K vizualizaci tlakových útvarů byla použita data z atmosférické reanalýzy JRA-55 (Kobayashi et al., 2015; Stryhal, 2017), viz kap. 4.2.1, a program Surfer (Golden Software, 2017).

## 4.2 Data k popisu cirkulačních podmínek

Atmosférická cirkulace je spojitou veličinou, jež může nabývat nekonečného množství stavů. Nejčastěji užívaným přístupem k jejímu zjednodušení je klasifikace (Stryhal, Huth, 2016). Také

srážkové události v Makaronésii lze analyzovat v souvislosti s cirkulačními podmínkami a posoudit, zda při výskytu extrémních srážek převažuje určitá situace.

#### **4.2.1 Atmosférická reanalýza JRA-55**

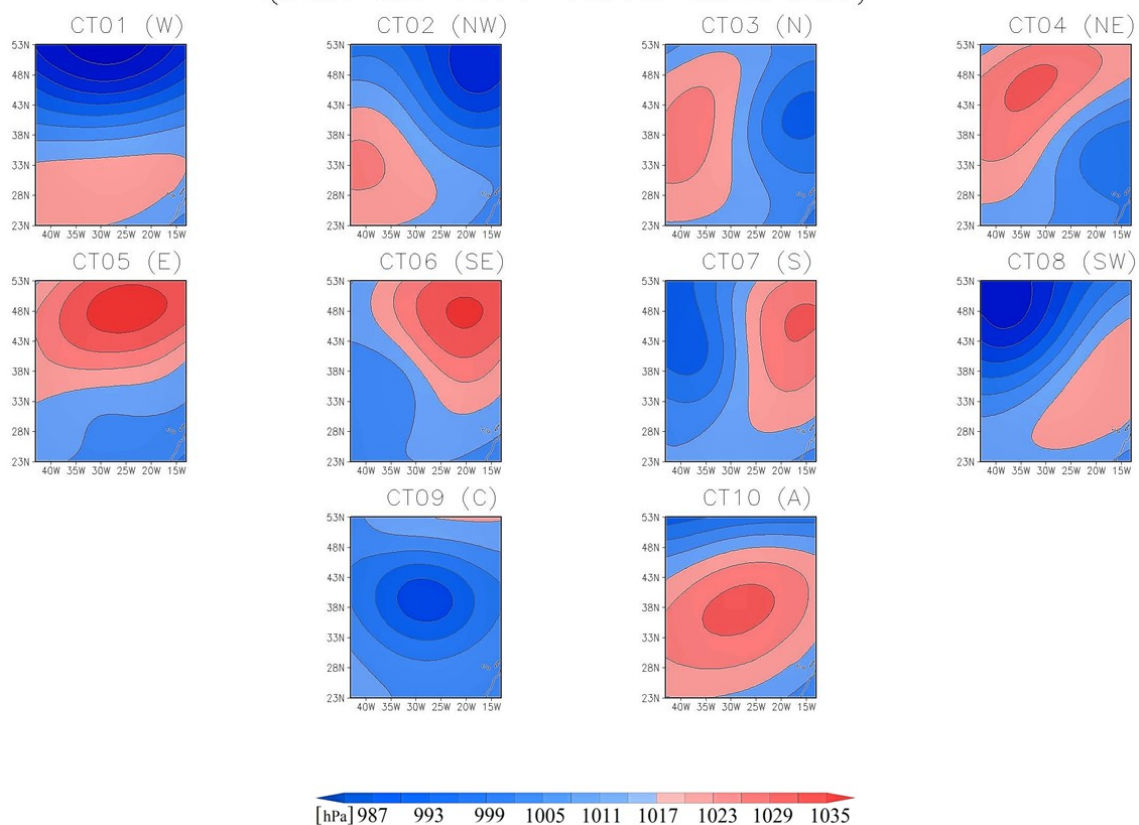
Ke klasifikaci cirkulačních typů v kap. 5.3.3 byla použita japonská atmosférická reanalýza JRA-55 (Kobayashi et al., 2015; Stryhal, 2017). Tato reanalýza pokrývá období od roku 1958 do současnosti (je průběžně aktualizována), nicméně k dispozici byla data jen do konce roku 2015. Výsledná klasifikace tedy vychází z období 1977 až 2015. V případě Kapverdských ostrovů proto dvě srážkové události z roku 2016 nejsou přiřazeny žádnému cirkulačnímu typu, ostatní souostroví mají přiřazeny všechny události. Původní krok  $1,25^\circ$  byl interpolován na  $1^\circ$  zeměpisné šířky a délky (Stryhal, 2017).

#### **4.2.2 Klasifikace cirkulačních typů**

Klasifikace proběhla na základě metody Jenkinson-Collison. Tato metoda byla vyvinuta Jenkinsonem a Collisonem (1977) a jejím cílem bylo poskytnout objektivní schéma, které by přijatelně reprodukovalo subjektivní typy Lambova katalogu povětrnostních situací. Metoda se specializuje na klasifikaci průměrného denního tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře a využívá k výpočtu 16 bodů mřížky. Pro každou denní mapu jsou počítány indexy cirkulace, jež vyjadřují vektor proudění nad středem oblasti a vorticitu pole (Philipp et al., 2014; Stryhal, 2017).

Jenkinson-Collison je jednou z metod označovaných jako hybridní, výsledné typy jsou tedy předdefinovány (Jenkinson, Collison, 1977; Jones et al., 1993; Philipp et al., 2014). V tomto případě jich je deset: osm typů pro jednotlivé směry advekce nad středem zájmové oblasti (západní, severozápadní, severní, severovýchodní, východní, jihovýchodní, jižní, jihozápadní), jeden ideální cyklonální a jeden anticyklonální. Klasifikace je vypracována pro každé ze čtyř souostroví (Stryhal, 2017). Na obr. 23 je znázorněno výsledných 10 cirkulačních typů pro Azorské ostrovy, klasifikace pro zbývající tři souostroví je pak v příloze 5, 6 a 7.

# JCT(2) AZOR 10CTs (JRA-55 1977-2015 centroids)



**Obr. 23: Cirkulační typy – Azorské ostrovy.** Střed souostroví je vždy uprostřed obrázku. Zleva doprava typy pro jednotlivé směry advekce (od západu ve směru hod. ruč.), v posledním řádku pak typ cyklonální a anticyklonální. Zdroj: Stryhal (2017).

## 5 ANALÝZA EXTRÉMních SRÁŽKOVÝCH UDÁLOSTÍ V MAKARONÉSII

Tato kapitola pojednává o výsledcích analýzy extrémních srážkových událostí, k níž byly použity metody a nástroje vysvětlené či popsány v předchozí kapitole. Jednotlivé charakteristiky jsou vždy primárně řešeny v rámci jednoho souostroví.

### 5.1 Extrémní srážkové události na jednotlivých souostrovích

Jak bylo popsáno v kap. 4.1.2, za každé souostroví bylo vybráno dvacet událostí s největší hodnotou geometrického průměru N-letostí (v případě Kapverd s největší hodnotou N-letosti samotné), a těchto dvacet událostí se tak dá považovat za extrémní v rámci čtyřicetileté datové řady a dostupných dat. Otázka dostupnosti a věrohodnosti dat je v interpretaci výsledků důležitá, podle výsledku se dá ostatně i usoudit, na kterých stanicích mohl být s daty problém.

Jednotlivé události jsou seřazeny do tabulek, kde je k nim uvedena určující hodnota N-letosti, a to v příslušném sloupci podle toho, kolika dní se N-letost týká. Na událost je v textu odkázáno zkratkou souostroví (AZ pro Azory, MA pro Madeiru, KN pro Kanárské ostrovy a KP pro Kapverdy) a indexem s pořadím v příslušné tabulce, přičemž toto značení bude mít stejný význam i v následujících kapitolách. Datum v tabulce je určeno dny, ve kterých srážka skutečně spadla, resp. ke kterým byl její úhrn původně zapsán.

#### Azory

Vybraných 20 srážkových událostí Azorských ostrovů znázorňuje tab. 4. Jak bylo popsáno, rozmezí dnů pro extrémní srážku trávající déle než jeden den je určeno datem, kdy alespoň na jedné stanici byla hodnota N-letosti větší než 1. Protože bylo při výběru povoleno počítat vždy i s hodnotou následujícího dne (viz kap. 4.1.2), v případě AZ<sub>8</sub> hodnota N-letosti odpovídá 2d úhrnu, ve skutečnosti se však jednalo o srážku jednodenní. To může nastat v situaci, kdy přší první a třetí den, a nastavené kritérium výběru (z důvodu možného zpoždění srážky na jiném ostrově) umožňuje, aby byla vybrána hodnota i z následujícího dne, je-li vyšší. Jinými slovy, třetí den spadlo více srážek než první den, a událost tak byla vyhodnocena jako 2d, se srážkami z prvního a druhého dne. Vzhledem k jednoznačnému nastavení kritéria výběru je však taková hodnota ponechána, neboť se na druhou stranu nedá vyloučit, že se opravdu jednalo o stejnou srážkovou událost, zpožděnou na některých z ostrovů.

**Tab. 4: Srážkové události na Azorech.**  $G_1$  až  $G_3$  označuje geometrický průměr N-letostí jednodenních až třídních srážkových úhrnů.

AZORY (AZ)		$G_1$	$G_2$	$G_3$
1	10.9.-11.9.1997		3,068	
2	29.10.-31.10.1997			3,044
3	2.12.-4.12.2010			2,980
4	2.9.-4.9.2015			2,929
5	7.10.1993	2,800		
6	21.11.-23.11.1985			2,788
7	11.9.1981	2,750		
8	27.2.1977		2,475	
9	4.9.-6.9.1991			2,384
10	1.10.1998	2,372		
11	7.9.1986	2,316		
12	3.11.-5.11.1981			2,254
13	21.10.1987	2,207		
14	2.1.1994	2,152		
15	26.12.2001	2,094		
16	2.8.-3.8.1990		2,086	
17	15.12.-17.12.2002			2,028
18	18.12.-19.12.2001		2,023	
19	12.5.2012	2,013		
20	22.3.2005	2,007		

Stanice z Azorských ostrovů patří k těm, jejichž data obsahují množství sporných hodnot srážkového úhrnu a současně nezanedbatelné množství dnů, za něž data na různých stanicích chybí. Hodnoty, jež byly zpochybněny, avšak vzhledem k rozboru synoptické situace nakonec v souboru ponechány, se v tabulce vyskytují v případě událostí  $AZ_7$  (denní srážkový úhrn 250,2 mm na stanici Flores) a  $AZ_8$  (denní srážkový úhrn 260,1 mm na stanici Santa Maria).

Ačkoliv bylo prostřednictvím nastavených kritérií výběru záměrem do výčtu dvaceti událostí zahrnout hlavně ty, jež se týkaly více stanic, do seznamu kvůli výrazné odlehlosti některých extrémů pronikly i události spíše lokálního charakteru. Pro rychlou detekci takových událostí jsou v tab. 5 schematicky znázorněny události  $AZ_1$ - $AZ_{20}$  v podobě zaznamenaného výskytu („1“) či absence („0“) větší než jednoleté doby opakování, případně chybějících dat („-“) za každou stanicí zvlášť.



**Tab. 5: Zastoupení srážkových událostí Azorských o. na jednotlivých stanicích.** Modře vyznačeny řádky událostí, které se projevily na všech stanicích; červeně řádky událostí, kdy byl extrémní úhrn jen na jedné stanici.

	Flores	Horta	Lajes	Ponta Delgada	Santa Maria
AZ <sub>1</sub>	0	1	1	1	1
AZ <sub>2</sub>	0	1	1	1	1
AZ <sub>3</sub>	1	1	1	1	1
AZ <sub>4</sub>	0	0	1	0	1
AZ <sub>5</sub>	-	1	-	0	0
AZ <sub>6</sub>	1	1	1	1	1
AZ <sub>7</sub>	1	0	0	1	0
AZ <sub>8</sub>	-	0	1	0	1
AZ <sub>9</sub>	1	1	-	1	1
AZ <sub>10</sub>	0	-	0	1	0
AZ <sub>11</sub>	-	1	1	0	1
AZ <sub>12</sub>	0	1	1	1	1
AZ <sub>13</sub>	0	1	1	1	1
AZ <sub>14</sub>	-	1	-	0	0
AZ <sub>15</sub>	0	1	1	1	0
AZ <sub>16</sub>	0	1	-	1	1
AZ <sub>17</sub>	0	1	1	1	1
AZ <sub>18</sub>	0	1	1	1	1
AZ <sub>19</sub>	0	1	1	1	1
AZ <sub>20</sub>	0	1	0	0	0

Z přehledu je zřejmé, že pouze v případě dvou událostí (AZ<sub>3</sub>, AZ<sub>6</sub>) postihl vyšší srážkový úhrn všechny stanice Azorských ostrovů. Obě události jsou charakterizovány hodnotou G<sub>3</sub>, což napovídá výskytu trvalých srážek, pozorovaných často nad většími územními celky a s možným původem souvisejícím s přechodem teplé fronty či studené fronty prvního druhu (eMS, 2017).

Naproti tomu ve čtyřech případech (AZ<sub>5</sub>, AZ<sub>10</sub>, AZ<sub>14</sub> a AZ<sub>20</sub>) se do seznamu událostí dostaly průměry N-letostí pouze na základě hodnoty jediné stanice. Události AZ<sub>7</sub> a AZ<sub>8</sub>, zmíněné výše z důvodu možné chyby v zápise srážkového úhrnu příslušných stanic, se v červených rádcích nevyskytují, neboť vyšší úhrn se vyskytl rovněž na další (jedné) ze zbývajících stanic. Událost AZ<sub>9</sub> může být případem potlačení extremity úhrnu stanice (Lajes), jejíž data nejsou k dispozici, avšak na všech zbývajících stanicích byl naměřen nezanedbatelný srážkový úhrn (viz kap. 4.1.2). Pokud se jedná o hodnotu G<sub>3</sub> a týká se čtyř z pěti stanic, je pravděpodobné, že je tato chybějící hodnota nenulová.

V šesti případech (AZ<sub>1</sub>, AZ<sub>2</sub>, AZ<sub>12</sub>, AZ<sub>13</sub>, AZ<sub>17</sub> a AZ<sub>18</sub>) byly vyšší úhrny zaznamenány na všech stanicích kromě stanice Flores, což odpovídá schématu {0 1 1 1 1}. To může být způsobeno značnou odlehlostí stejnojmenného ostrova od zbytku souostroví. Jiným vysvětlením ale může být fakt, že s přihlédnutím k převažujícímu směru proudění na tomto souostroví by plošně rozsáhlá srážka měla postihnout i ostrov a stanici Flores (až na AZ<sub>13</sub> se jedná o G<sub>2</sub> či G<sub>3</sub>); je tedy také možné, že některé nulové úhrny mohou znamenat chybějící data. K takové chybě v zápise by však mělo docházet spíše opačně, tj. některé chybějící hodnoty mohou značit nulové úhrny (Alexander et al., 2006; Menne et al., 2012a).

### Madeira

Dvacet vybraných srážkových událostí na Madeirském souostroví je zaznamenáno v Tab. 6. Zde se jedná o geometrické průměry N-letostí počítané pouze ze dvou stanic, jejichž data jsou navíc celkem kompaktní, do výsledného seznamu se tedy nedostala žádná událost, za kterou by byla některá data nedostupná – v tomto případě by se jednalo o 50 % dat.

**Tab. 6: Srážkové události na Madeiře.** G<sub>1</sub> až G<sub>3</sub> označuje geometrický průměr N-letostí jednodenních až třídních srážkových úhrnů.

MADEIRA (MA)		G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>
1	28.10.-30.10.1993			14,659
2	4.11.-5.11.2012		10,197	
3-4	25.7.1983	6,253		
3-4	19.9.1993	6,253		
5	20.1.-21.1.1979		5,814	
6	22.1.-24.2.1987			5,302
7	6.3.1983	4,587		
8	24.1.-26.1.2011			4,563
9	30.10.2012	3,832		
10	6.5.1984	3,766		
11	6.11.1998	3,348		
12	16.9.1982	3,307		
13	15.9.1991	3,214		
14	16.11.1995	3,108		
15	25.11.-26.11.2012		2,975	
16	3.2.1992	2,965		
17	27.9.1989	2,894		
18	4.11.1988	2,790		
19	17.2.-18.2.2010		2,674	
20	16.3.-18.3.1980			2,668

Události MA<sub>3,4</sub> jsou vyjádřeny totožnou hodnotou N-letosti, v obou případech se navíc jedná o hodnotu vycházející z jednodenního úhrnu na stejné stanici (Funchal S. Catarina),

konkrétně 182,1 mm, tj. doba opakování na této stanici 39,1 let. Jak je patrné z tab. 7, vysoká hodnota jen na jedné ze stanic se vyskytla ještě dvakrát ( $MA_{11}$ ,  $MA_{13}$ ), kdy se opět jednalo pouze o jednodenní srážkové úhrny, souvisely tedy pravděpodobně s nefrontálními srážkami. Zbývající srážkové události se pak už týkaly obou stanic a chybějící data se v tab. 7 nevyskytovala.

Většina (12 z 20) extrémních srážkových událostí v tab. 6 vychází z hodnoty  $G_1$ . To, že se na Madeirském souostroví mezi srážkovými extrémy vyskytují převážně ty jednodenní, je determinováno menší velikostí území a malým počtem stanic. Pokud malé území postihnou trvalé srážky, jejichž úhrn je dostatečně významný k vytvoření třídního extrému (a jež mají původ ve stejné synoptické situaci), může být jejich původ vázán na kvazistacionární frontu.

**Tab. 7: Zastoupení srážkových událostí Madeiry na jednotlivých stanicích.** Modře vyznačeny řádky událostí, které se projevily na obou stanicích.

	<b>Funchal S. Catarina</b>	<b>Porto Santo</b>
$MA_1$	1	1
$MA_2$	1	1
$MA_{3-4}$	1	0
$MA_{3-4}$	1	0
$MA_5$	1	1
$MA_6$	1	1
$MA_7$	1	1
$MA_8$	1	1
$MA_9$	1	1
$MA_{10}$	1	1
$MA_{11}$	1	0
$MA_{12}$	1	1
$MA_{13}$	0	1
$MA_{14}$	1	1
$MA_{15}$	1	1
$MA_{16}$	1	1
$MA_{17}$	1	1
$MA_{18}$	1	1
$MA_{19}$	1	1
$MA_{20}$	1	1

## Kanárské ostrovy

Na Kanárských ostrovech byla doba opakování srážkových úhrnů vyjadřována z největšího počtu stanic v rámci makaronéských souostroví. Data v denním kroku neobsahovala velké množství mezer a výrazně odlehle hodnoty byly vyhledány i v jiných zdrojích (viz kap. 4.1.1). Tab. 8 znázorňuje dvacet událostí s nejvyšším průměrem doby opakování pro toto souostroví.

**Tab. 8: Srážkové události na Kanárských o.**  $G_1$  až  $G_3$  označuje geometrický průměr N-letostí jednodenních až třídních srážkových úhrnů.

KANÁRSKÉ O. (KN)		$G_1$	$G_2$	$G_3$
1	3.12.-5.12.1991			13,604
2	24.11.1989	5,811		
3	26.2.-28.2.1988			5,131
4	16.2.1989	4,776		
5	26.1.-27.1.2007		4,684	
6	19.2.2004	4,392		
7	15.12.-17.12.2002			4,374
8	24.1.1980	4,158		
9	8.4.-10.4.1977			4,086
10	19.11.-20.11.2001		4,009	
11	8.11.-10.11.2004			3,684
12	31.1.2010	3,534		
13	4.11.1987	3,531		
14	12.12.-14.12.1995			2,920
15	15.2.-17.2.2010			2,873
16	2.12.-3.12.1999		2,812	
17	28.11.2010	2,808		
18	18.11.-19.11.1983		2,798	
19	19.11.-21.11.2014			2,640
20	27.12.-29.12.1989			2,525

Z tab. 8 je zřejmé, že na tomto souostroví dominují ve vybraných událostech třídní srážkové extrémny, což se dá opět vysvětlit velikostí území a rozmístěním stanic. Protože je počítána osmá odmocnina součinu z osmi stanic, je logické, že budou v žebříčku extrémních hodnot převažovat události, jež postihly větší počet ostrovů, a u těch může být častější trvání delší než jeden den.

Tab. č. 9 opět schematicky znázorňuje, nakolik jednotlivé události postihly všechny stanice. V případě Kanárských ostrovů je takových událostí většina (13 z 20) a na zbývajících řádcích vždy převažují jedničky nad nulami. Událost  $KN_{13}$  má ve svém řádku největší četnost nul (3). Dá se tedy předpokládat, že se jednalo o kratší událost, což tab. 8 potvrzuje.

**Tab. 9: Zastoupení srážkových událostí Kanárských o. na jednotlivých stanicích.** Modře vyznačeny řádky událostí, které se projeví na všech stanicích.

	Hierro	La Palma	TNF Sur	TNF Los Rodeos	Sta. Cruz de TNF	Las Palmas de GC	Fuerteventura	Lanzarote
KN <sub>1</sub>	1	1	1	0	1	1	1	1
KN <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>3</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>4</sub>	1	1	0	1	1	1	1	1
KN <sub>5</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>6</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>7</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>8</sub>	1	1	1	1	0	1	1	1
KN <sub>9</sub>	1	1	1	1	1	1	1	0
KN <sub>10</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>11</sub>	1	1	1	0	1	1	1	0
KN <sub>12</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>13</sub>	1	1	1	0	1	1	0	0
KN <sub>14</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>15</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>16</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>17</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>18</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1
KN <sub>19</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1
KN <sub>20</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1

### Kapverdy

Na Kapverdských ostrovech zůstala po zvážení kvality dostupných dat jen jedna stanice, Amílcar Cabral na ostrově Sal. Schéma výskytu událostí na jednotlivých stanicích zde tedy ztrácí význam, přehled prvních dvaceti událostí z hlediska extremity srážkových úhrnů však vytvořen být mohl (tab. 10).

**Tab. 10: Srážkové události na Kapverdských o.  $G_1$  až  $G_3$**  označuje geometrický průměr  $N$ -letostí jednodenních až třídenních srážkových úhrnů.

KAPVERDY (KP)		1d	2d	3d
1	9.9.2010	26,482		
2	22.9.2014	23,224		
3	29.9.2000	13,902		
4	23.9.1999	13,408		
5	29.8.-30.8.1997		13,306	
6	20.9.1987	9,605		
7	11.12.1993	8,542		
8	21.10.2015	6,462		
9	27.9.-28.9.2012		6,114	
10	13.9.-15.9.2016			3,495
11	8.9.1985	3,097		
12	18.9.-20.9.2009			2,787
13	3.9.1981	2,709		
14	11.9.-12.9.1998		2,582	
15	27.1.-28.1.1990			2,503
16	25.9.2004	2,360		
17	4.9.1980	1,890		
18	25.9.2012	1,812		
19	5.9.-6.9.2012		1,807	
20	19.9.-20.9.2016		1,729	

Z tab. 10 je patrné, že stejně jako v případě Madeirského souostroví se většina (12 z 20) extrémních událostí na kapverdské stanici vztahuje k jednodenním úhrnům. To je s ohledem na jedinou stanici použitou v analýze výsledek, jenž se dá očekávat, ačkoliv zde hraje jistě přirozenou roli i vliv klimatu – jen výjimečně v této oblasti prší intenzivně déle než tři dny. Kromě velké četnosti jednodenních extrémů v tabulce mají výsledné události na Kapverdách a Madeiře společně také extrémny vyskytující se na podzim roku 2012. Kdyby byly v práci uvažovány i více než třídenní úhrny, události  $KP_9$  a  $KP_{18}$  by se jistě spojily do jedné extrémní události, neboť vysoké srážkové úhrny za několik kontinuálních dní jsou na Kapverdách mnohem vzácnější.

## 5.2 Analýza rozdělení extrémních událostí v čase

K rozboru časového rozdělení srážkových událostí se dá přistoupit dvěma způsoby: (i) z hlediska distribuce vybraných dvaceti extrémů (za každé souostroví) v kalendářním roce a (ii) z hlediska vývoje četností extrémních událostí ve studovaném období. Výsledky analýzy obou těchto přístupů jsou shrnuty v následujících dvou kapitolách (5.2.1, resp. 5.2.2).

### 5.2.1 Sezonalita srážkových událostí

Jak popisuje kap. 4.1.3, sezonalita extrémních srážkových událostí byla řešena pomocí radiálního diagramu, představujícího kalendářní rok, v němž každému dni lze přiřadit konkrétní úhel. V této kapitole jsou analyzovány výsledné diagramy za každé souostroví. Každý z nich kromě výsledných hodnot  $N$ -letosti, rozlišených barevně dle délky události, znázorňuje také polohu těžiště vybraných dvaceti extrémních událostí v roce, označovaného jako „mean day“ (MD). Vektor určující tento den je kromě úhlu charakterizován také svou velikostí, jež se dá interpretovat jako míra sezónní koncentrace srážkových událostí. Následující tabulka (11) uvádí kalendářní den, na který poloha vektoru MD v diagramu připadá, a současně jeho velikost  $r$ . Do tabulky jsou zahrnuta všechna souostroví, lze je tedy mezi sebou z hlediska časového rozdělení extrémních událostí srovnat.

Tab. 11: „Mean day“ a hodnota  $r$  pro všechna souostroví.

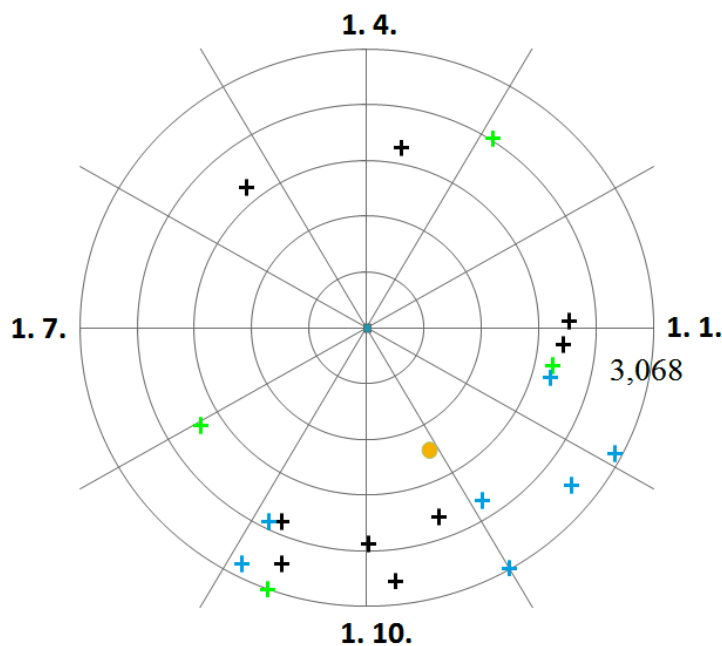
	Azory	Madeira	Kanárské o.	Kapverdy
MD	27.10.	26.11.	27.12.	23.9.
$r$	0,489	0,416	0,744	0,858

#### Azory

Sezonalitu dvaceti extrémních událostí, jež dle dostupných dat postihly Azorské ostrovy, znázorňuje obr. 8. Stejně jako v dalších diagramech, černě je označena hodnota  $G_1$ , zeleně  $G_2$  a modře  $G_3$ .

Podle přehledu událostí i obr. 24 je zřejmé, že událost vykazující největší extremitu není tolik odlehlá od událostí, jež ji následují; blízko obvodu jednotkové kružnice se tak koncentruje relativně velký počet hodnot. Většina událostí zasahuje do zhruba čtyřměsíčního období, pokrývajícího měsíce září až prosinec. To koresponduje s ročním chodem průměrných měsíčních úhrnů na Azorech a všechny tří denní události se vyskytují v tomto období. Mimo očekávané období roku se nacházejí dvě jednodenní a dvě dvoudenní extrémní srážky – s tím, že tyto jednodenní se vyskytly přímo v opačné části roku. Tomu napovídá pravděpodobný konvektivní původ těchto extrémních srážek.

Těžiště všech dvaceti událostí, MD, je umístěno v polovině zmíněných čtyř měsíců největšího výskytu extrémních srážek, konkrétně 27. října. Hodnota  $r$  je poměrně nízká (0,489), což je způsobeno výskytem některých událostí mimo jejich hlavní sezónu dle ročního chodu, kdy pouze do dubna, června a července žádná z událostí nezasahuje.



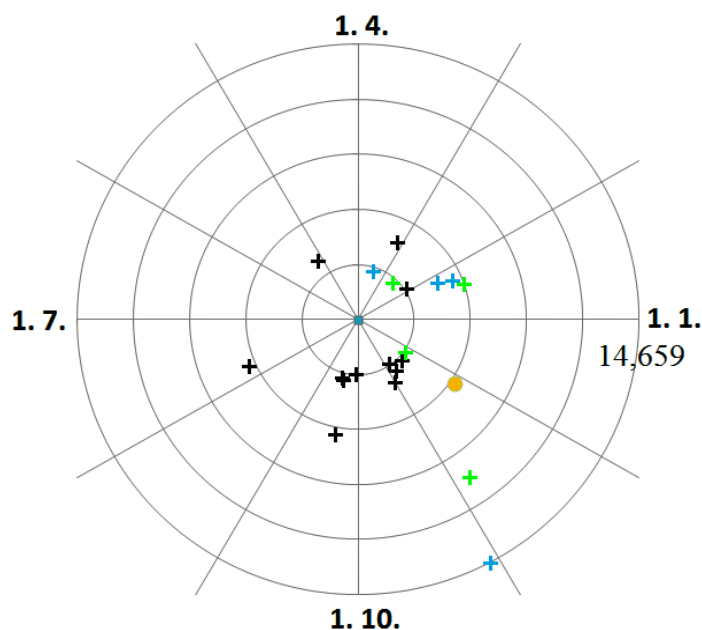
**Obr. 20: Sezonalita extrémních srážkových událostí Azorských o.** Černě je označena hodnota  $G_1$ , zeleně  $G_2$  a modře  $G_3$ . Měřítka na ose udává hodnotu události s největší N-letostí.

### Madeira

Sezonalitu srážkových událostí na dvou stanicích souostroví Madeira charakterizuje obr. 25. Je patrné, že v případě tohoto souostroví je vazba na průměrný roční chod srážek zeslabená – extrémy se vyskytují během celého roku. Událost s největší hodnotou  $G_M$  (třídenní;  $MA_1$ ) a událost dvoudenní, jež ji následuje ( $MA_2$ ), jsou poměrně odlehlé od většiny ostatních hodnot a vyskytují se na přelomu října a listopadu, což jsou měsíce, kdy se na Madeiře výskyt větších dvoudenních či třídenních srážkových událostí očekávat dá.

I přes menší sezónní koncentraci událostí v rámci roku odpovídá poloha MD dni 26. listopadu, jenž souhlasí s klimatologií srážek na tomto souostroví. Hodnota  $r$  je nicméně nejnižší ze všech čtyř souostroví (0,416), v čemž se tato malá sezónní koncentrace událostí odráží.



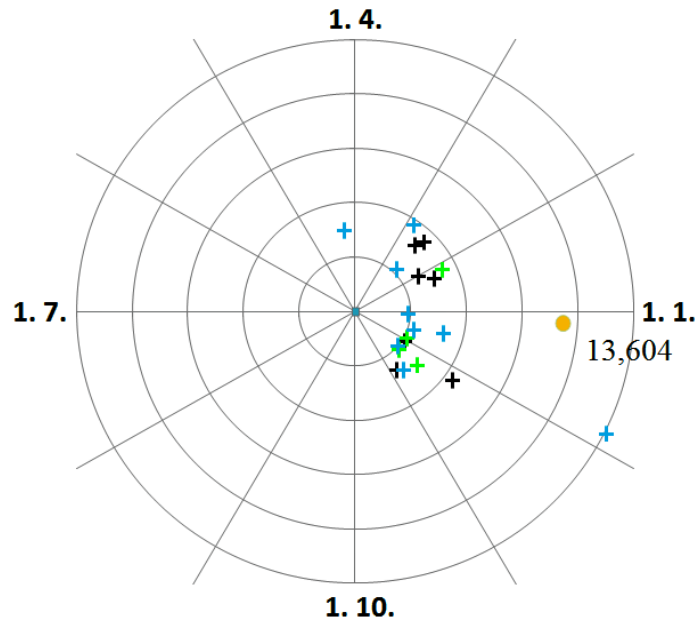


**Obr. 21: Sezonalita extrémních srážkových událostí Madeiry.** Černě je označena hodnota  $G_1$ , zeleně  $G_2$  a modře  $G_3$ . Měřítko na ose udává hodnotu události s největší  $N$ -letostí.

### Kanárské ostrovy

Na obr. 26 je vyjádřena sezonalita srážkových událostí Kanárských ostrovů. Událost  $KN_1$  je svou extremitou značně vzdálená od zbývajících hodnot, ty jsou tak koncentrované kolem středu kružnice. Až na jednu dubnovou třídní srážku ( $KN_9$ ) se všechny události vyskytly v listopadu, prosinci, lednu či únoru. To není nijak v rozporu s ročním chodem srážek tohoto souostroví, neboť extrémní události se zde vyskytují až v souvislosti se zimními frontálními systémy.

Poloha MD odpovídá datu 27. prosince, hodnota  $r$  rovna 0,744 je poměrně vysoká, a vypovídá tak o větší sezónní koncentraci extrémů v rámci roku. To je ostatně zřejmé i z diagramu: žádná z dvaceti extrémních událostí se nevyskytla od května do října (včetně), což je celkem šest souvislých měsíců.

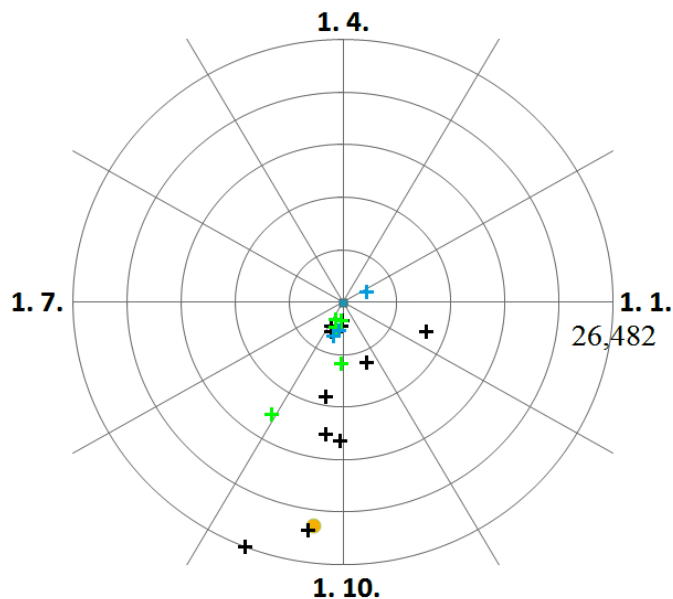


**Obr. 22: Sezonalita extrémních srážkových událostí Kanárských o.** Černě je označena hodnota  $G_1$ , zeleně  $G_2$  a modře  $G_3$ . Měřítka na ose udává hodnotu události s největší N-letostí.

### Kapverdy

Sezonalitu extrémních srážek na Kapverdách znázorňuje obr. 27. Ačkoliv zde byla k analýze použita jen jedna stanice, navíc s velkým množstvím chybějících dat, výskyt extrémních událostí během roku zde odpovídá klimatologii celého souostroví, co se týče srážek. Na stanici se vyskytují dva odlehlejší jednodenní extrémy, hodnota  $G_M$  několika dalších událostí se postupně zmenšuje a zbývající zhruba polovina událostí je už koncentrována kolem středu kružnice.

MD vychází na 23. září, v těsné blízkosti tohoto data se i několik událostí v roce nachází, a jeho hodnota  $r$  (0,858), nejvyšší ze všech čtyř souostroví, vypovídá o velké koncentraci srážkových událostí do úzce vymezeného období v roce.



**Obr. 23: Sezonalita extrémních srážkových událostí Kapverdských o.** Černě je označena hodnota  $G_1$ , zeleně  $G_2$  a modře  $G_3$ . Měřítko na ose udává hodnotu události s největší N-letostí.

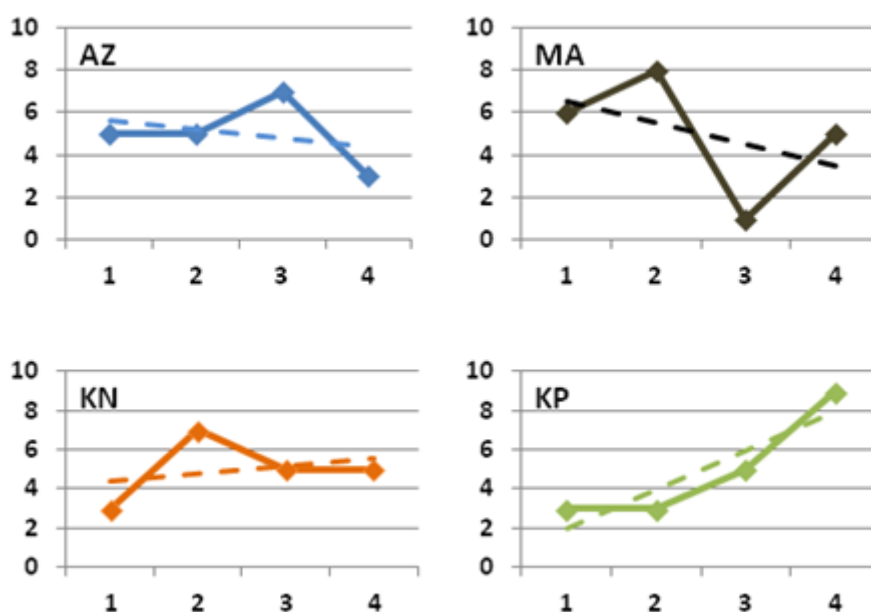
### 5.2.2 Vývoj četností ve studovaném období

Jednoduchá metoda použitá v této kapitole slouží pouze ke zjištění základního trendu četností srážkových extrémů. Neklade si za cíl podrobnou analýzu vývoje těchto četností, neboť k té by bylo vhodné vycházet z úplných dat za větší počet stanic, zároveň by k hlubší analýze mohla být použita delší časová řada. O klimatických trendech v Makaronésii, založených na analýze dat z atmosférických reanalýz, pojednává ve své práci Cropper (2015).

Souostroví z hlediska odhadu vývoje četností srovnává obr. 28. Bodové značky vyjadřují četnost extrémní události v příslušném desetiletém rozmezí, jež jsou označena číslicemi 1 (1. 1. 1977 až 31. 12. 1986), 2 (1. 1. 1987 až 31. 12. 1996), 3 (1. 1. 1997 až 31. 12. 2006) a 4 (1. 1. 2007 až 31. 12. 2016). Četnosti jsou propojeny jednoduchou spojnicí trendu, jež prochází příliš malým počtem bodů na to, aby mohla být nějakým racionálním způsobem interpretována: vývoj četností lze chápat i tak, že je-li spojnice posledních dvou bodů stoupající, znamená to, že v posledních deseti letech se výskyt extrémních událostí zvýšil; to ale například nesouhlasí se spojnicí trendu na Madeiře. A opačně – Kanárské ostrovy mají za poslední dvě desetiletí shodnou četnost extrémních událostí, avšak trend, vycházející i z hodnot prvních dvou desetiletí, je celkově pozitivní. Na Azorských ostrovech počet ve třetím desetiletí studované řady stoupl, v posledním desetiletí však klesl. Jediné souostroví, jehož trend se zdá být za celé období monotónní, jsou Kapverdy, kde je četnost extrémních událostí

za poslední tři desetiletí rostoucí. Na takový výsledek však může mít vliv spíše rostoucí kvalita dat z tohoto souostroví.

Vývoj četností výskytu extrémních událostí se dá místo jejich celkového počtu v konkrétním desetiletí posuzovat i z hlediska jejich časového rozestupu, resp. koncentrace v krátkém časovém období. V případě Azorských ostrovů se o takovou koncentraci jedná u událostí AZ<sub>1</sub> a AZ<sub>2</sub> (viz tab. 4), jež se obě vyskytly na podzim roku 1997, dále AZ<sub>7</sub> a AZ<sub>12</sub> (podzim 1981) a nakonec AZ<sub>15</sub> a AZ<sub>18</sub> (prosinec 2001). Na Madeiře došlo k výskytu 3 událostí (MA<sub>2</sub>, MA<sub>9</sub> a MA<sub>15</sub>, viz tab. 6) v říjnu nebo listopadu 2012, a to v menším než třicetidenním rozmezí. Dále se na podzim roku 1993 objevily také události MA<sub>1</sub> a MA<sub>3-4</sub>. Na Kanárských ostrovech se vyskytly tři události (KN<sub>12</sub>, KN<sub>15</sub>, KN<sub>17</sub>, viz tab. 8) ve stejném roce (2010), zde se ale nejedná o stejnou sezónu, a jsou tak od sebe časově vzdálenější (leden, únor a listopad). Ve stejné sezóně pak na těchto ostrovech došlo k výskytu událostí KN<sub>2</sub> a KN<sub>20</sub> (listopad a prosinec 1989). Na Kapverdských ostrovech jsou koncentrovány tři události (KP<sub>9</sub>, KP<sub>18</sub> a KP<sub>19</sub>, viz tab. 10) do září 2012 a dvě (KP<sub>10</sub>, KP<sub>20</sub>) do září 2016.



**Obr. 28:** Vývoj četností extrémních srážkových událostí v Makaronésii. AZ Azory, MA Madeira, KN Kanárské o., KP Kapverdy. Na vodorovné ose jsou jednotlivá desetiletí časové řady, na svislé ose četnosti událostí.

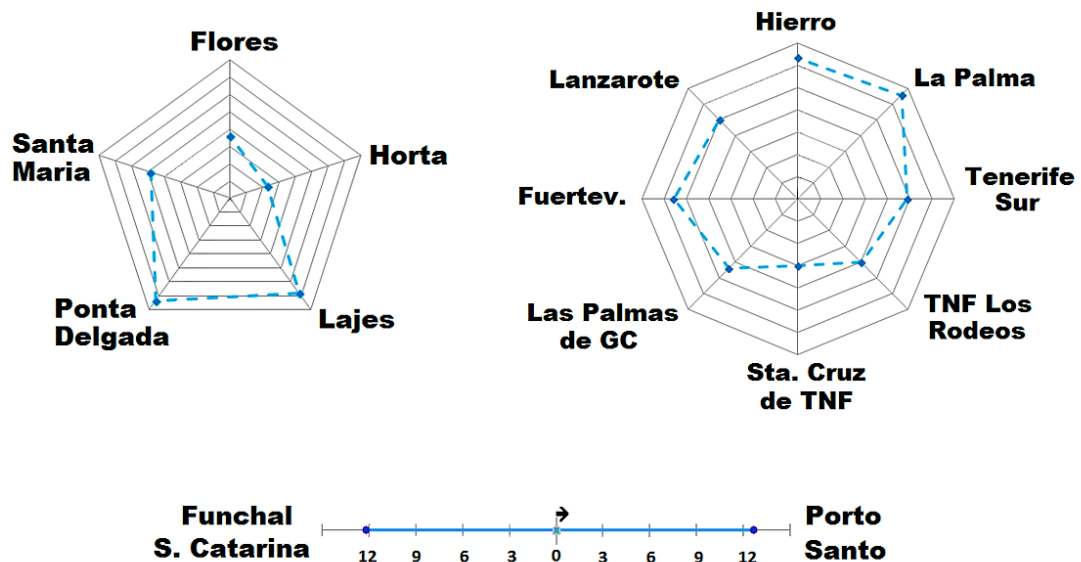
### 5.3 Plošný rozsah srážkových událostí

Rozsah srážkových událostí s ohledem na území, jež byly extrémními srážkami postiženy, se dá hodnotit opět dvěma způsoby: (i) analyzovat jejich rozsah v rámci souostroví, nebo (ii) vyjádřit, nakolik se stejná událost projevila na více než jednom souostroví (viz kap. 4.1.4). V této kapitole jsou řešeny oba přístupy.

#### 5.3.1 Rozsah v rámci jednoho souostroví

Podle výsledného součtu zlogaritmovaných hodnot N-letostí každé stanice lze vyjádřit míru heterogenity srážkových událostí v rámci jednoho souostroví (viz kap. 4.1.4). Čím dále se výsledný součet jedné stanice nachází od středu diagramu, tím více byla tato stanice postižena extrémními srážkami v rámci souboru dvaceti událostí.

Diagramy (obr. 29) slouží ke srovnání N-letostí v rámci stanic, ne mezi souostrovími, proto na osách nejsou uvedeny absolutní hodnoty – až na případ Madeiry, kde mělo smysl stupnici umístit, vzhledem k jinak téměř nezatelnému rozdílu mezi jejími dvěma stanicemi. Kapverdy se svou jedinou stanicí, jež použitý datový soubor zahrnuje, v těchto výsledcích pochopitelně chybí.



Obr. 24: Plošný rozsah N-letostí v rámci jednotlivých souostroví. Modré body na ose každé stanice vyjadřují součet logaritmů N-letostí na této stanici. TNF Tenerife, GC Gran Canaria.

Na Azorských ostrovech se srážkové události (zde 13 z 20, viz kap. 4.1.4) projevily největšími dobami opakování, tedy i největší extremitou, na stanici Ponta Delgada, následované stanicí Lajes. Nejméně se projevily na stanici Horta. Je zřejmé, že na Azorech se často na seznamu událostí opakuje situace, kdy na všech ostatních stanicích spadl významný úhrn srážek, ale na stanici Flores podle dostupných dat nepršelo vůbec nebo spadly srážky bezvýznamné z hlediska jejich extremity (viz tab. 5 v kap. 5.1). I přesto má výsledný vektor stanice Flores větší velikost než vektor stanice Horta, neboť na stanici Flores byly větší také jednotlivé N-letosti.

Na Kanárských ostrovech dominují v tomto ohledu stanice La Palma a Hierro, nejmenší doby opakování vykazuje stanice Santa Cruz de Tenerife. Takový výsledek může být způsoben několika odlehlými extrémy v případě zmíněných dvou stanic.

Stanice Funchal S. Catarina a Porto Santo na Madeirském souostroví mají vektory charakterizující doby opakování na příslušných stanicích o téměř shodné velikosti, nicméně jak napovídá směr šipky (rozdíl těchto dvou vektorů), nepatrně vyšší N-letosti se vyskytují na stanici Porto Santo.

### 5.3.2 Rozsah v rámci Makaronésie

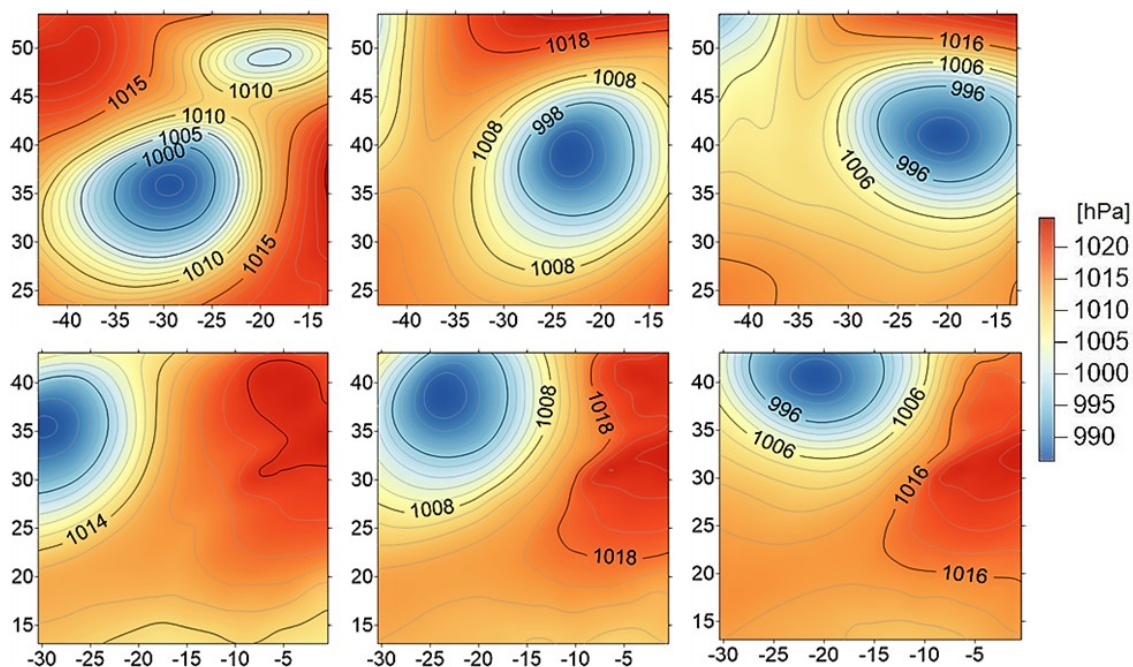
Výskyt jedné extrémní události na všech souostrovích současně se předpokládá především u vícedenních úhrnů. Ty na rozdíl od úhrnů jednodenních pravděpodobně nebudou mít původ v konvektivních srážkách, jež by se svým lokálním charakterem těžko ovlivnily ostrovy stovky kilometrů vzdálené. Tento předpoklad ale nevylučuje, že se konkrétní vícedenní událost na jednom souostroví projeví jen jako extrémní jednodenní úhrn na jiném. Kromě toho se dá také předpokládat společný výskyt jedné události na souostrovích, jež si jsou blízká, tedy že nejspíš nebude událost, jež by postihla současně Azory a Kapverdy, a přitom se neprojevila také na Madeiře a Kanárských ostrovech (ačkoliv by se zde mohla projevit jinou extremitou a nedostat se tak do seznamu).

Výčet dvaceti událostí je však víceméně originální pro každé souostroví; neexistuje žádná událost, která by se projevila na všech souostrovích najednou (buť na jakékoliv pozici v jejich žebříčku). Existují nicméně dvě události, jež se vyskytly alespoň na dvou souostrovích (tab. 12):

Tab. 12: Výskyt srážkových událostí na více souostrovích současně.

SRÁŽKOVÁ UDÁLOST			SOUVISEJÍCÍ UDÁLOST		
AZ <sub>17</sub>	15.12.-17.12.2002	3d	KN <sub>7</sub>	15.12.-17.12.2002	3d
MA <sub>19</sub>	17.2.-18.2.2010	2d	KN <sub>15</sub>	15.2.-17.2.2010	3d

V tab. 12 jsou vždy ve stejném řádku zaznamenána souostroví, kterých se událost týkala, spolu s indexem značícím její pořadí v seznamu všech dvaceti pro příslušné souostroví. Analýzou synoptické situace pro tyto události lze dojít k závěru, že extrémní úhrny těchto shodných srážkových událostí mají vždy původ ve stejném rozmístění tlakových útvarů.

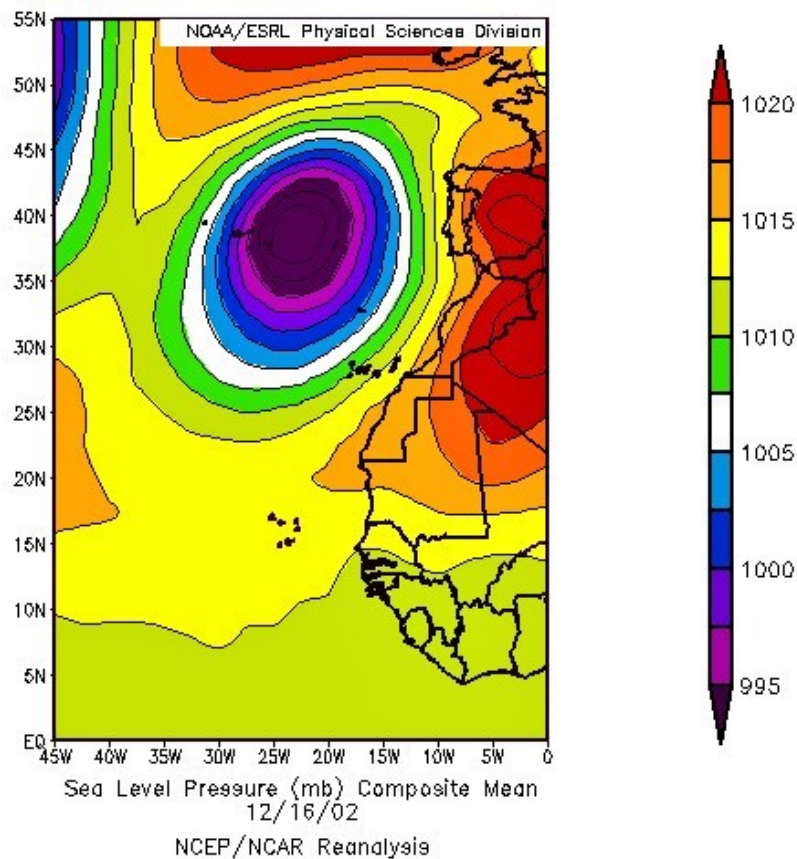


**Obr. 30: Tlakové útvary nad Azorskými (nahore) a Kanárskými ostrovy (dole).** Zleva doprava situace pro 15. 12. až 17. 12. 2002. Zdroj: Kobayashi et al. (2015); Stryhal (2017); Golden Software (2017).

Na obr. 30 je znázorněn tlak vzduchu redukováný na hladinu moře v případě první ze dvou společných srážkových událostí: 15. až 17. prosince 2002, jež postihla Azorské a Kanárské ostrovy. Na obou souostrovích je patrný vliv stejné tlakové níže přecházející od západu k východu. Na Kanárských ostrovech se událost projevila výrazněji; z celkových dvaceti byla v pořadí N-letostí sedmá, zatímco na Azorech až sedmnáctá. Mezi oběma souostrovími se nachází Madeira, dá se tedy očekávat, že zde nenulový úhrn srážek byl naměřen také, nicméně mezi seznam dvaceti událostí se žádný z těchto tří dní nedostal. Obr. 31 znázorňuje tlakové útvary celé oblasti Makaronésie dne 16. 12. 2002, tedy druhý den z této tří denní srážkové události.

Druhá společná událost se týká Kanárských ostrovů a Madeiry. Na Kanárských ostrovech se projevila dříve, 15. února, a jako tří denní srážková událost byla patnáctou v pořadí extremity. Na Madeire trvaly extrémní srážky jen dva dny (od 17. února) a v pořadí N-letostí byly až devatenáctou událostí.





**Obr. 31: SLP dne 16. 12. 2002 v Makaronésii.**  
 Reanalýza NCEP/NCAR. Zdroj: NOAA (2017b).

### 5.3.3 Cirkulační podmínky

Na základě klasifikace cirkulačních typů, vytvořené metodou Jenkinson-Collison (Jenkinson, Collison, 1977; Stryhal, 2017), se lze v této kapitole pokusit analyzovat výskyt srážkových událostí na každém souostroví z hlediska opakujících se cirkulačních příčin. Výsledné typy jsou označeny čísly 1–10, z nichž prvních 8 typů vyjadřuje směry advekce nad středem souostroví (počínaje západním směrem, ve směru hodinových ručiček), 9 označuje ideální cyklonální a 10 anticyklonální typ (viz kap. 4.2.2).



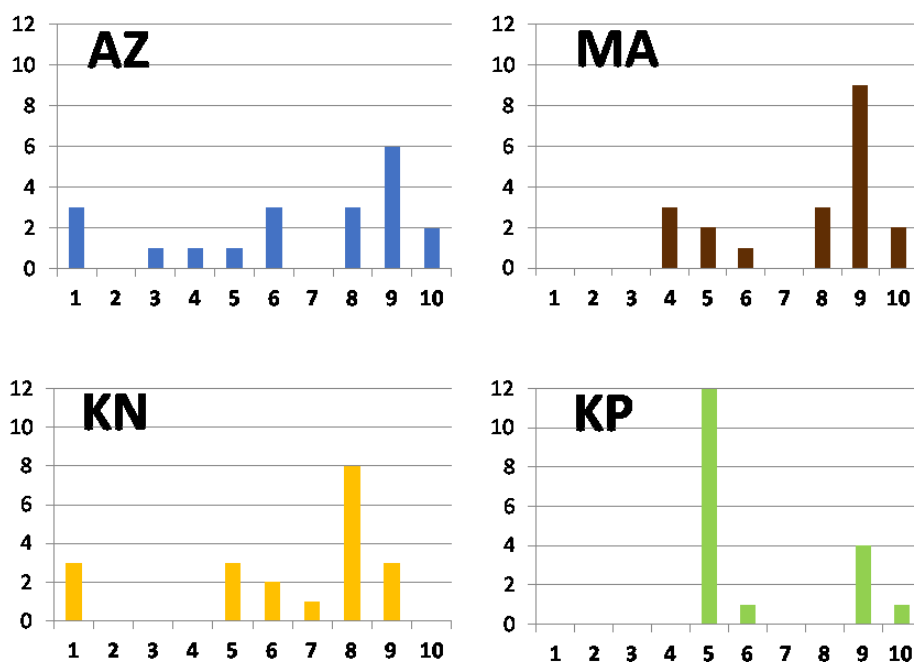
**Tab. 13: Cirkulační typy odpovídající výskytu extrémních srážkových událostí.**

AZORY			MADEIRA			KANÁRSKÉ O.			KAPVERDY		
AZ <sub>1</sub>	10.9.1977	8	MA <sub>1</sub>	29.10.1993	9	KN <sub>1</sub>	4.12.1991	8	KP <sub>1</sub>	9.9.2010	9
AZ <sub>2</sub>	31.10.1997	9	MA <sub>2</sub>	5.11.2012	4	KN <sub>2</sub>	24.11.1989	8	KP <sub>2</sub>	22.9.2014	5
AZ <sub>3</sub>	3.12.2010	6	MA <sub>3-4</sub>	25.7.1983	4	KN <sub>3</sub>	27.2.1988	5	KP <sub>3</sub>	29.9.2000	5
AZ <sub>4</sub>	3.9.2015	6	MA <sub>3-4</sub>	19.9.1993	10	KN <sub>4</sub>	16.2.1989	6	KP <sub>4</sub>	23.9.1999	5
AZ <sub>5</sub>	7.10.1993	9	MA <sub>5</sub>	20.1.1979	9	KN <sub>5</sub>	27.1.2007	9	KP <sub>5</sub>	29.8.1997	5
AZ <sub>6</sub>	22.11.1985	9	MA <sub>6</sub>	23.1.1987	8	KN <sub>6</sub>	19.2.2004	9	KP <sub>6</sub>	20.9.1987	5
AZ <sub>7</sub>	11.9.1981	10	MA <sub>7</sub>	6.3.1983	9	KN <sub>7</sub>	16.12.2002	8	KP <sub>7</sub>	11.12.1993	5
AZ <sub>8</sub>	27.2.1977	8	MA <sub>8</sub>	26.1.2011	9	KN <sub>8</sub>	24.1.1980	8	KP <sub>8</sub>	21.10.2015	5
AZ <sub>9</sub>	4.9.1991	9	MA <sub>9</sub>	30.10.2012	9	KN <sub>9</sub>	10.4.1977	5	KP <sub>9</sub>	28.9.2012	5
AZ <sub>10</sub>	1.10.1998	1	MA <sub>10</sub>	6.5.1984	10	KN <sub>10</sub>	19.11.2001	5	KP <sub>10</sub>	13.9.2016	-
AZ <sub>11</sub>	7.9.1986	8	MA <sub>11</sub>	6.11.1998	6	KN <sub>11</sub>	8.11.2004	9	KP <sub>11</sub>	8.9.1985	6
AZ <sub>12</sub>	3.11.1981	10	MA <sub>12</sub>	16.9.1982	8	KN <sub>12</sub>	31.1.2010	7	KP <sub>12</sub>	19.9.2009	5
AZ <sub>13</sub>	21.10.1987	4	MA <sub>13</sub>	15.9.1991	4	KN <sub>13</sub>	4.11.1987	8	KP <sub>13</sub>	3.9.1981	5
AZ <sub>14</sub>	2.1.1994	1	MA <sub>14</sub>	16.11.1995	8	KN <sub>14</sub>	12.12.1995	8	KP <sub>14</sub>	11.9.1998	9
AZ <sub>15</sub>	26.12.2001	6	MA <sub>15</sub>	25.11.2012	5	KN <sub>15</sub>	17.2.2010	1	KP <sub>15</sub>	28.1.1990	5
AZ <sub>16</sub>	2.8.1990	3	MA <sub>16</sub>	3.2.1992	5	KN <sub>16</sub>	3.12.1999	6	KP <sub>16</sub>	25.9.2004	5
AZ <sub>17</sub>	15.12.2002	9	MA <sub>17</sub>	27.9.1989	9	KN <sub>17</sub>	28.11.2010	8	KP <sub>17</sub>	4.9.1980	9
AZ <sub>18</sub>	19.12.2001	9	MA <sub>18</sub>	4.11.1988	9	KN <sub>18</sub>	19.11.1983	8	KP <sub>18</sub>	25.9.2012	10
AZ <sub>19</sub>	12.5.2012	5	MA <sub>19</sub>	18.2.2010	9	KN <sub>19</sub>	20.11.2014	1	KP <sub>19</sub>	5.9.2012	9
AZ <sub>20</sub>	22.3.2005	1	MA <sub>20</sub>	16.3.1980	9	KN <sub>20</sub>	28.12.1989	1	KP <sub>20</sub>	20.9.2016	-

Z tab. 13, přiřazující srážkovou událost cirkulačnímu typu, lze vyjádřením četnosti každého typu posoudit, jak často se objevuje mezi dvaceti extrémními událostmi jednotlivých souostroví (obr. 32). Na Azorských ostrovech podle této statistiky převládá při výskytu extrémních úhrnů typ 9, tedy cyklonální. To je ostatně situace, při níž lze výskyt intenzivních srážek očekávat. Ani jednou zde naopak nejsou zastoupeny typy 2 a 7, tedy severovýchodní a jižní (meridionální).

Na Madeiře je tato korelace ještě výraznější: 8 z 20 srážkových událostí je vázáno na cyklonální typ (příl. 5), zatímco žádná událost se nevyskytla při západním, severozápadním, severním a jižním proudění. U některých událostí byl extrémní srážkový úhrn naměřen jen na jednom z ostrovů Madeirského souostroví – na sušším Porto Santo nebo na vlhčí Madeiře (viz tab. 7 v kap. 5.1). Takových případů je však v souboru událostí příliš málo na to, aby bylo možné určit typické cirkulační podmínky pro oba tyto případy zvlášť, a odlišit tak původ srážek na dvou orograficky odlišných ostrovech.

V případě Kanárských ostrovů je situace odlišná: 8 událostí má výskyt vázán na typ 8, tj. jihozápadní proudění (viz příl. 6). To mimochodem odpovídá směru postupu tropické cyklony Delta, ačkoliv srážky, které přinesla, se v souboru událostí za celé souostroví neprojeví. Žádná situace se pak nevyskytla při severozápadním, severním, severovýchodním proudění a anticyklonální situaci. To není v rozporu s převažujícím směrem proudění na tomto souostroví, neboť pasátové větry (ze severovýchodu) nemusí přinášet žádné extrémní srážky.



**Obr. 25:** Četnost cirkulačních typů při extrémních srážkových událostech. AZ Azory, MA Madeira, KN Kanárské o., KP Kapverdy). Na vodorovné ose jsou tučně znázorněny cirkulační typy, na svislé ose jejich četnosti.

Na Kapverdách se vyskytly dvě hodnoty v roce 2016, přičemž data z reanalýzy byla dostupná jen do konce roku 2015 – dvě události tedy nemohly být přiřazeny cirkulačnímu typu. Zbylé hodnoty nicméně poukazují na výraznou dominanci typu 5, tj. východního (zonálního) proudění (příl. 7), a zastoupeny byly celkově jen čtyři různé typy. Tento výsledek může potvrzovat vliv šíření vln ve východním proudění na srážkové poměry Kapverdských ostrovů.

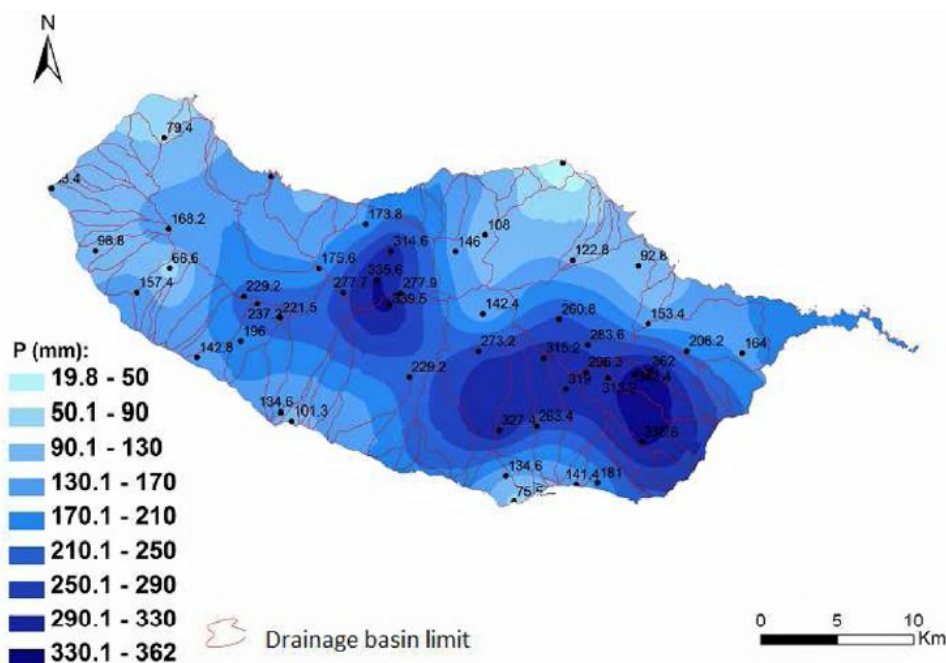
## 6 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ A DISKUZE

Analýza extrémních srážkových událostí v Makaronésii, o jejíž výsledcích pojednává předchozí kapitola, v mnohých případech dospěla k hodnotám či charakteristikám, jež se na základě znalosti klimatologie jednotlivých souostroví (kap. 2.2) daly očekávat.

### 6.1 Kvalita srážkoměrných dat a soubory událostí

Základním problémem, který provázel veškerou práci se srážkoměrnými daty, byla kvalita dat samotných. Prvním nedostatkem byla jejich neúplnost. Pokud se dostupná datová řada neshodovala se studovaným obdobím, tedy od 1. 1. 1977 do 31. 12. 2016, bylo ve dvou případech uznáno za vhodné doplnit ji pomocí lineární regrese na základě srážkových dat z blízké stanice, jež neobsahovala zjevné chyby ani delší mezery. Takto bylo doplněno u obou stanic několik procent požadované délky časové řady, přičemž dále byla každá z těchto datových řad až na výjimky úplná. Cropper a Hanna (2014) ve své analýze makaronéského klimatu tento problém, jež rovněž souvisel s daty ze stejných databází, vyřešili zaplněním mezer průměrem za dlouhou časovou řadu. V jejich práci se však jednalo o měsíční úhrny, a tak má tento postup jistě význam při snaze analyzovat klimatologii srážek z dlouhodobého hlediska, avšak v případě snahy detekovat extrémní srážkové události jsou jakákoliv data, jež pouze odrážejí průměr určité časové řady, v podstatě ekvivalentní datům chybějícím.

Kromě neúplnosti dat se navíc v jejich souboru nacházely hodnoty, jež byly nepravděpodobné buď pro svou odlehlost (přičemž posuzována byla i synoptická situace a další dostupné zdroje), nebo naopak bezvýznamnost z hlediska extremity srážky, bylo-li na základě jiných zdrojů zřejmé, že konkrétní den musel být na dané stanici naměřen mnohem větší úhrn srážek. Tato situace nastala například v případě Madeiry, kdy byl ostrov 20. února 2010 postižen přívalovú povodní (obr. 33), avšak dle dat ze stanice Funchal zde spadlo jen 17 mm. Fragoso et al. (2012) uvádí, že srážkový úhrn za 24 h (00:00–24:00 UTC) byl ve městě Funchal 146,9 mm, což odpovídá době opakování 290 let, a na horské stanici Areiro (1 590 m n. m.) 333,8 mm, odpovídající době opakování 90 let. Tato srážková událost se na seznam dvaceti událostí Madeirského souostroví sice dostala, avšak až na devatenácté místo z hlediska nastaveného kritéria extremity, kam se navíc nepromítla její hodnota za den, ve kterém se povodeň vyskytla.



**Obr. 33: Povodně na Madeiře 20. února 2010.** Stupnice udává srážkový úhrn za 24 h v mm. Zdroj: Frago et al. (2012).

Stejná situace se na první pohled pak odehrála i na stanici Santa Cruz de Tenerife, přes kterou dne 31. března přecházel frontální systém. Arroyo (2009) uvádí, že zde došlo k velmi intenzivní lokální srážce, extrémní svým úhrnem ve velice krátké době: bylo naměřeno 232,6 mm za 24 hodin a 129,9 mm za pouhou jednu hodinu. Druhá hodnota je extrémní i na národní úrovni, tedy pro celé Španělsko, nejen pro Kanárské ostrovy. Ulice hlavního města Tenerife byly zatopeny vodou a tato událost zanechala kromě velkých škod také sedm obětí. Na seznamu dvaceti událostí za Kanárské ostrovy se nevyskytla. Oproti předchozímu případu, souvisejícímu s povodní na Madeiře, však hodnota naměřená za 24 hodin v datech skutečně uvedena byla. Její extremita nicméně zanikla potom, co vstoupila do výpočtu osmé odmocniny součinu N-letostí, když se jednalo o srážku lokální a na ostatních ostrovech nebylo naměřeno nic, případně velmi malá hodnota, jež s tou na Tenerife nesouvisela.

Kromě případů, kdy hodnoty nebyly naměřeny ve dnech reálně velkých srážkových úhrnů (případně mohl být synoptickou výměnou předán jen údaj za několik hodin), se v datech nacházelo i množství extrémně vysokých hodnot, jejichž možný původ byl nastíněn v kap. 4.1.2. (Alexander et al., 2006, Menne et al., 2012a). Příkladem je mj. výskyt dvou stejných hodnot ( $M_{3-4}$ ) na Madeiře, což však mohlo být způsobeno i přepočtem a zaokrouhlováním dat v původní databázi (Menne et al., 2012a). Tyto možné, někde i zjevné chyby (jakou je např. posunutí desetinné čárky) mohou být maximálně vymazány z datového souboru a správnost výsledků tak neovlivní. Avšak v předchozí situaci, kdy je extrémní srážka

v databázi potlačena, nemůže do analýzy nijak vstupovat. Na základě toho lze usoudit, že extrémita srážkových událostí mohla být kvantifikována jen na vybraných místech podle úplnosti a správnosti datového souboru. Události, jež nastavené kritérium detekovalo (a nejednalo se o chybné, nadhodnocené hodnoty), opačně však z hlediska extremity zajímavé ve většině případů jsou. Stejně tak absence některých extrémních událostí nezměnila sezonalitu silných srážek na jednotlivých souostrovích.

Z tabulkových schémat využitých ke znázornění zastoupení stanic v jedné extrémní události (kap. 5.1) je zřejmé, že do výčtu událostí za Madeiru a Kanárské ostrovy se dostaly především ty, při kterých byla srážkou postižena většina stanic. Na Madeiře však byly vždy srovnávány jen dvě stanice, byla tedy velká pravděpodobnost, že vzhledem k malé rozloze tohoto souostroví budou zasaženy stanice obě. Kapverdy přirozeně posouzeny být nemohly, ačkoliv by bylo jistě zajímavé srovnat, nakolik jsou z hlediska extrémních srážek propojeny ostrovní celky Barlavento a Sotavento, tedy Návětrí a Závětrí (viz kap. 1.1). Stanice Amílcar Cabral patří do celku Barlavento.

Ze samotných seznamů událostí za souostroví je také patrné, že na některých z nich převažovaly extrémní počítané z úhrnu různého počtu dní. Na Azorech, Madeiře a Kanárských ostrovech to byly jednodenní úhrny (ačkoliv na Azorech nepřevažovaly tolik nad ostatními hodnotami), v případě Kanárských ostrovů bylo nejvíce událostí třídních, následované v malém odstupu jednodenními. Na všech souostrovích byl nejmenší výskyt dvoudenních extrémů. Je zřejmé, že čím je souostroví menší, resp. čím méně stanic bylo na souostroví k dispozici, tím spíše na něm budou převažovat jednodenní maxima. Vysoké třídní úhrny pravděpodobně nevzniknou jen při konvektivní srážce, většinou je mechanismus jejich vzniku spojen s rozmístěním tlakových útvarů, jež nějakou dobu vytrvávají na přibližně stejných pozicích. Trvalé srážky přitom bývají často pozorovány nad většími územními celky (eMS, 2017). Z toho se dá usoudit, že třídní (a vícedenní) srážky se v seznamu událostí Madeiry a Kapverd nevyskytnou tak často. Také je z výsledků zřejmé, že objevilo-li se v tabulce madeirských událostí třídní maximum, objevilo se současně na obou stanicích. Kapverdy by možná také měly více třídních extrémů, kdyby výběrem jen jedné stanice do datového souboru nezískaly místo souostroví charakter ostrova, vzhledem k obecnému původu srážek na tomto souostroví je však malý výskyt vícedenních extrémů přirozený.

## 6.2 Rozdělení extrémních událostí v čase

Co se týče sezonality vybraných dvaceti událostí a polohy výsledného MD, všechna souostroví mají výskyt extrémů koncentrovaný – podle MD – do vlhčích období roku, dá se tedy konstatovat, že výsledky analýzy sezonality souhlasí s reálným charakterem klimatu příslušného souostroví. Hodnota  $r$  pak souostroví rozdělila na dvě klimaticky odlišné skupiny s podobným výsledkem: události Kanárských a Kapverdských ostrovů jsou na diagramu (i během roku) rozmístěny v kratším období,  $r$  se tedy blíží jedné, zatímco hodnota  $r$  pro Madeiru a Azory je menší než 0,5. U těchto dvou souostroví je patrný výskyt jednodenních extrémů během

celého roku. To je u extrémů vztažených k relativně kratší době trvání v pořádku, zde se navíc jedná o celkově vlhčí ostrovy. Vícedenní úhrny jsou pak i zde už koncentrované do podzimu a zimy. Především v případě Madeiry může hrát konvektivní srážka jako původce extrémů velkou roli, vzhledem k menší rozloze Madeiry. Malá sezónní koncentrace srážkových extrémů na Azorech pak také může být vysvětlen s odkazem na kap. 2.2.1, kde byly popsány jako souostroví s největší sezónní variabilitou klimatu (Cropper, 2015), zatímco na jižnějších Kanárských ostrovech dojde k větším srážkám až později, s průnikem studeného vzduchu ze severu.

Alternativním vysvětlením malé koncentrace jednodenních extrémů v roce je potom možnost existence chybné (a odlehlé) hodnoty v datovém souboru. Kdyby se v případě Kapverd při současném rozložení srážkových událostí vyskytla jediná hodnota v opačné části roku, než hodnoty zbývající, napovídalo by to pravděpodobně výskytu chybné hodnoty, zejména pokud by se jednalo o jednodenní extrém. Dá se totiž předpokládat, že k zápisu chybné hodnoty nedojde tři dny po sobě. Hodnota na diagramu znázorňujícím sezonalitu srážkových událostí může být odlehlá také z hlediska své velikosti vůči ostatním hodnotám, tj. podle vzdálenosti od středu diagramu. Zde ale hraje roli především použitá metoda – pokud by byl místo lineárního vztahu použit vztah např. logaritmický, srážkové události by mezi středem a obvodem diagramu nebyly tak rozptýleny.

Jak bylo uvedeno v kap. 5.2.2, vývoj četností založený na tak malém počtu hodnot je třeba interpretovat opatrně. Nicméně po zvážení trendů, nastíněných v kap. 2.2.5, se dá najít shoda s výsledným vývojem četností na Kapverdách, kde podle Croppera (2015) dochází ke zvýšení ročního úhrnu srážek oproti 70. až 90. létům dvacátého století. Výsledný „trend“ v této práci však může souviset pouze se zlepšením kvality zápisu srážkových dat, neboť to by také mohlo vysvětlovat, proč se v posledních desetiletích zvyšovala frekvence výskytu extrémů. S popsávanými trendy se také shoduje výsledný sklon spojnice trendu v případě Madeiry, kde mělo v posledních letech dle Croppera (2015) dojít k úbytku srážek. To je nicméně zavádějící výsledek, neboť poslední úsek grafu, tedy posledních deset let, vykazuje nárůst.

K hlubší charakteristice těchto trendů by však bylo nutné vybrat více než dvacet událostí, neboť už tento malý počet, rozdělený ještě do čtyř období, nemůže věrohodně charakterizovat vývoj. Kromě toho by bylo také vhodné rozdělit vývoj událostí podle počtu dní, ze kterých byl srážkový extrém určen, jelikož změna délky trvání extrémní srážky může vyjadřovat významnější změnu v mechanismech jejího vzniku. Další vhodnou modifikací by mohlo být posouzení vývoje extremity událostí, nejen jejich četností. V neposlední řadě má na výsledek při tak malém výběru vliv vedení hranic mezi desetiletími, nejen tedy počet uvažovaných období.

### 6.3 Plošný rozsah extrémních událostí

Z výsledků míry heterogenity N-letostí mezi stanicemi jednoho souostroví vyplývá, že z hlediska dob opakování je výskyt srážkových událostí vyrovnaný jen v rámci Madeiry, což je zřejmě predikováno už malým počtem stanic a jejich relativní blízkostí v tomto souostroví. Výsledný vektor byl umístěn jen v případě Madeiry právě kvůli výskytu pouhých dvou stanic, neboť zde má vektorový součet (resp. rozdíl) smysl, na rozdíl od souostroví s větším počtem stanic, které by musely být umístěny do kruhu, aby výsledný směr a velikost vektoru o něčem vypovídaly.

Častý výskyt extrémních událostí na některých stanicích stejného souostroví je ovlivněn také jejich polohou v rámci souostroví. U stanic nacházejících se poblíž jeho středu existuje větší pravděpodobnost, že se dostanou mezi soubor dvaceti událostí, neboť počítán byl geometrický průměr N-letostí všech stanic. Pokud se některý krajní ostrov tedy nachází výrazně dále od ostatních, může na něm docházet k silným srážkám, jež nezasáhnou jiné ostrovy, a díky geometrickému průměru extrémní hodnota zanikne. Toto je zřejmě případ stanice Flores, jejíž N-letosti jsou průměrně vyšší než hodnoty nejbližší stanice Horta, avšak za celé Azorské ostrovy má Flores na souboru událostí menší podíl, jak vyplývá z tab. 5 a obr. 29.

Převažující cirkulační typy na každém souostroví jsou jen kvalitativním znakem a nijak neodporují mechanismům srážek, jež způsobují extrémní úhrny. V dlouhodobé statistice celé časové řady (a ne tedy jen ve dnech extrémních srážek) by na Kanárských ostrovech jistě převažovala situace č. 4, s ohledem na převažující severovýchodní proudění ve formě pasátů. Ty ale na ostrovy nemusí přinášet silné srážky. V případě Kapverdských ostrovů by se dala předpokládat větší četnost situace č. 8 (jihozápadní), jež je charakteristickou pro výskyt afrického monzunu, ten se však na Kapverdách vyskytuje spíše v červenci (Cropper, 2015) a z tohoto měsíce se do souboru dvaceti událostí žádná hodnota nedostala. Na Azorech a Madeiře vystihuje převažující cyklonální typ původ silných srážek ve frontálních systémech.

## 7 ZÁVĚR

V práci byly analyzovány srážkové události na základě jejich extremity stanovené dobami opakování. Ta byla mezi stanicemi v příslušných maximech zprůměrována, aby se tak výčet dvaceti extrémních událostí pokud možno vyčistil od lokálních srážek konvektivního původu, jež extremitu za celé souostroví nevyjadřují. Následně byly provedeny další analýzy, vycházející již ze stejného výběru událostí. Tak byla blíže zkoumána sezonalita extrémních srážek, heterogenita dob opakování mezi stanicemi a případný vztah událostí napříč Makaronésií. Byl také proveden hrubý odhad vývojových trendů četnosti výskytu a základní analýza převládajících cirkulačních podmínek.

Výsledky některých těchto analýz jsou uspokojivé (např. sezonalita srážek) a odpovídají předpokladům vycházejícím ze základních znalostí klimatu těchto souostroví. V mnoha případech však možnost správné interpretace výsledku narážela na neúplnost či nekvalitu dat. Z vlastností datových souborů za jednotlivá souostroví byla srážková data Kanárských ostrovů zhodnocena jako nejspolehlivější, neboť neobsahovala odlehlé extrémy nepodložené jinými zdroji. Současně se v nich nenacházely žádné velké mezery, až na stanici Tenerife Sur, která začala měřit později, než byla stanovená časová řada v práci. Ve srovnání se spolehlivostí dat Kanárských ostrovů je pak otázkou, jaké výstupy se dají očekávat, jsou-li analyzovány současně i Kapverdy se svou jedinou stanicí zahrnutou v práci.

Extrémní srážky jsou přitom nejen zajímavým hydrometeorologickým úkazem, ale především také hydrometeorologickým ohrožením, jež má význam blíže zkoumat a snažit se odhadnout, při jakých podmínkách se mohou vyskytovat, případně jak se jejich výskyt mění dlouhodobě. V minulosti měly přírodní katastrofy na obyvatele ostrovů ještě ničivější dopad, neboť ti byli existenčně závislí na přírodním prostředí ostrova. Studium vývoje klimatu v oblasti Makaronésie získává navíc hlubší smysl, má-li vliv na počasí tak významné části Evropy. Analýza klimatu a hydrometeorologických ohrožení z dlouhodobého hlediska je však na základě neúplných či nekvalitních dat obtížná.

K řešení extremity může být přistoupeno různě: v této práci byly hledány události, jež postihly celé souostroví, tedy plošně velkou oblast. Stejně tak mohly být vybírány události, které se projevily jen na jedné stanici, ale například stoletou dobou opakování či mimořádně velkými škodami a ztrátami. Malé množství stanic každopádně nemůže plně reprezentovat charakter rozlehlé oblasti, stejně jako nemůže jedna stanice spolehlivě reprezentovat heterogenitu klimatu v rámci celého souostroví. Ostrovní klima je charakteristické svou singularitou, a tak je problematické data jakkoliv interpolovat na základě dat z okolních ostrovů. Hustota stanic v Makaronésii je pochopitelně ovlivněna rozmístěním ostrovů, a tak nikdy nebude celá oblast rovnoměrně pokryta stanicemi. Kvalita srážkových dat je však v tomto regionu, zejména na Kapverdách, rozhodně oblastí vyžadující pozornost.



## ZDROJE

AEMET (2012): Atlas climático de los archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores. Agencia Estatal de Meteorología (Španělsko), Instituto de Meteorologia (Portugalsko), 78 s.

AEMET (2015): Atlas de Clima Marítimo. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 390 s.

AEMET (2017): El año hidrometeorológico 2011-2012 ha sido el más seco de la serie del Observatorio de Izaña. Agencia Estatal de Meteorología – Centro de Investigación Atmosférica de Izaña. Dostupné z: [http://izana.aemet.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=290:hydrometeorological-year-2011-2012-has-been-the-driest-in-the-izana-observatory-record&catid=10:news&Itemid=49&lang=es](http://izana.aemet.es/index.php?option=com_content&view=article&id=290:hydrometeorological-year-2011-2012-has-been-the-driest-in-the-izana-observatory-record&catid=10:news&Itemid=49&lang=es) (staž. 15. 10. 2017).

ACANMET (2009): Tormenta tropical Delta. Asociación Canaria de Meteorología. Dostupné z: <http://www.acanmet.org/portal/pages/formacion/tormenta-tropical-delta.php> (staž. 13. 9. 2017).

ALEXANDER, L. V. et al. (2006): Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, č. 111, s. 1–22.

ARROYO, J. (2009): Cinco siglos de la temperie canaria: Cronología de efemérides meteorológicas. Asociación Meteorológica de Canarias, s. 1–13.

AXELROD, D. (1975): Evolution and Biogeography of Madrean-Tethyan Sclerophyll Vegetation. In: Fernández-Palacios, J. M. (2009): Relictualismo en islas oceánicas. El caso de la laurisilva macaronésica. In: Biogeografía, *Scientia Biodiversitatis*. Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, Universidad de La Laguna, s. 13–24.

AYALA, F. J. (2002): El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas. *Boletín de la AGE*, č. 33, s. 79–92.

AZEVEDO, E. B. et al. (1999): Modelling the local climate in island environments: water balance applications. *Agricultural Water Management*, roč. 40, s. 393–403.

AZEVEDO, E. B. et al. (2001): Condicionantes Dinâmicas do Clima do Arquipélago dos Açores, Elementos Para o seu Estudo. Açoreana. *Boletim da Sociedade de Estudos Açoreanos “Afonso Chaves”*, roč. 9, č. 3, s. 309–317.

BAIONI, D. (2011): Human activity and damaging landslides and floods on Madeira Island. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, roč. 11, s. 3035–3046.

- BALL, S. (2010): Exceptional rainfall in Gibraltar during winter 2009/2010. *Weather*, č. 66, s. 22–25.
- BARRY, R. G. (1992): Mountain climatology and past and potential future climatic changes in mountain regions: a review. *Mountain research and development*, č. 12, s. 71–86.
- BARTON, E. D. (2001): Ocean currents: Atlantic Eastern Boundary – Canary Current/Portugal Current. In: Steele, J. et al. *Encyclopaedia of Ocean Sciences*, roč. 1, Academic Press, London, s. 380–389.
- BLACK, A. R., WERRITTY, A. (1997): Seasonality of flooding: A case study of North Britain. *Journal of Hydrology*, č. 195, s. 1–25.
- BENISTON, M., STEPHENSON, D. B., CHRISTENSEN, O. B., et al. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic change* 81, s. 71–95.
- BETHENCOURT, J., DORTA, P. (2010): The storm of November 1826 in the Canary Islands: possibly a tropical cyclone? *Geografiska Annaler Series A Physical Geography*, roč. 92, č. 3, s. 329–337.
- BLAKE, E. S., GIBNEY, E. J. (2011): The deadliest, costliest, and most intense United States tropical cyclones from 1851 to 2010 (and other frequently requested hurricane facts). NOAA Technical Memorandum NWS NHC-6, 49 s.
- BLIŽŇÁK et al. (2017): Radar-based summer precipitation climatology of the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, s. 1–15.
- BRAMWELL, D. (1985): Contribución a la biogeografía de las Islas Canarias. *Botanica Macaronésica*, č. 14, s. 3–34.
- BRÁZDIL, R. (1978): Stupeň nerovnoměrnosti ročního chodu srážek. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*, roč. 83, č. 2, s. 91–103.
- BROWN, D. P. (2013): Tropical cyclone report, hurricane Nadine. National Hurricane Center. Dostupné z: [http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL142012\\_Nadine.pdf](http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL142012_Nadine.pdf) (staž. 3. 7. 2017).
- CANALS, M. et al. (2000): Los deslizamientos submarinos de las Islas Canarias. *Boletín de la Asociación Amigos del Museo de Ciencias Naturales de Tenerife*, s. 5769.
- CARRACEDO, J. C. et al. (2015): Volcanic and structural evolution of Pico do Fogo, Cape Verde. *Geology Today*. Roč. 31, č. 4., s. 146–152.

- CARRILLO, J. et al. (2016): Characterization of the marine boundary layer and the trade-wind inversion over the sub-tropical. *Boundary-Layer Meteorology*, č. 158 (2), s. 311–330.
- CORREIA, E. (1996): Contribuições para o conhecimento do clima de Cabo Verde. *Garcia de Orta, Série de Geografia*, roč. 15, č. 2, s. 81–107.
- CORREIA, E. (1998): Sobre a variabilidade da precipitação e o Tempo das Águas em Cabo Verde. *Garcia de Orta*, roč. 16, č. 1-2, s. 49–61.
- CROPPER, T. (2013): The weather and climate of Macaronesia: past, present and future. *Weather*, roč. 68, č. 11, s. 300–307.
- CROPPER, T., HANNA, E. (2014): An analysis of the climate of Macaronesia, 1865-2012. *International Journal of Climatology*, č. 34, s. 604–622.
- CROPPER, T. (2015): Climate change across the Macaronesian geographical region, 1850–2100. *Doktorská práce (šk. E. Hanna, G. R. Bigg)*. University of Sheffield.
- ČEKAL, R., HLADNÝ, J. (2008): Analysis of flood occurrence seasonality on the Czech Republic territory with directional characteristics method. *Acta Universitatis Carolinae 2008 Geographica*, č-2, s. 3–14.
- DA ROCHA FARIA, J. M. (1971): Frequency analysis of the annual highest values of the daily precipitation in some Portuguese overseas sites. *Fomento*, roč. 9, č. 3, s. 237–270.
- DORTA, P. J. (1991): Características climatológicas de las olas de calor estivales en Canarias. *Alisios*, č. 1, s. 7–20.
- DORTA, P. J. (2001): Aproximación a la influencia de las advecciones de aire sahariano en la propagación de los incendios forestales en la provincia de Santa Cruz de Tenerife. *XVII Congreso de la AGE*, s. 158–162.
- DORTA, P. J. (2007): Catálogo de riesgos climáticos en Canarias: Amenazas y vulnerabilidad. *Geographicalia*, č. 51, s. 133–160.
- Earthquake Track (2017): Information on earthquakes since the year 1900. Dostupné z: <https://earthquaketrack.com/> (staž. 16. 9. 2017).
- ECA&D (2017): European Climate Assessment and Dataset. Dostupné z: <http://www.ecad.eu/dailydata/customquery.php> (staž. 15. 1. 2017).
- eMS (2017): Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČmeS. Dostupné z: na: <http://slovník.cmes.cz> (staž. 1. 6. 2017).

- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M. (2009): Relictualismo en islas oceánicas. El caso de la laurisilva macaronésica. In: Biogeografía, Scientia Biodiversitatis. Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, Universidad de La Laguna, s. 13–24.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M. (2010): The islands of Macaronesia. In: Serrano, A.: Terrestrial Arthropods of Macaronesia. Evolution, Ecology and Conservation. Universidad La Laguna.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M. et al. (2011): A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests. *Journal of Biogeography*, č. 38, s. 226–246.
- FRAGOSO, M. et al. (2012): The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, č. 12, s. 715–730.
- FRANKLIN, J. L. (2006): Tropical Cyclone Report Hurricane – Vince, 8-11 October 2005. National Hurricane Center, 9 s.
- GARCÍA-HERRERA, R. et al. (2001): Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary Islands precipitation. *Journal of Climate*, roč. 14, s. 3889–3903.
- GARCÍA-HERRERA, R. et al. (2003): Precipitation trends in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*, č. 23, s. 235–241.
- GARCÍA-TALAVERA, F. (1999): La Macaronesia. Consideraciones geológicas, biogeográficas y paleoecológicas. In: Fernández-Palacios, J. M. et al.: *Ecología y Cultura en Canarias*. Museo de la Ciencia y el Cosmos, Cabildo Insular de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife, s. 39–63.
- GALLO, A. G. et al. (2008): Especies vegetales consideradas invasoras de hábitats, en la Historia Natural de Canarias. *Lazaroa*, č. 29, s. 49–67.
- GELDMACHER, J. et al. (2001): Earlier history of the > 70 Ma-old Canary hotspot based on temporal and geochemical evolution of the Selvagens Archipelago and neighbouring seamounts in the eastern North Atlantic. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, č. 111, s. 55–87.
- GELDMACHER, J. et al. (2005): New  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age and geochemical data from seamounts in the Canary and Madeira volcanic provinces: Support for the mantle plume hypothesis. *Earth and Planetary Science Letters*, č. 237, s. 85–101.
- Golden Software (2017): Program Surfer 14. Dostupné z: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer> (staž. 24. 7. 2017).

- GUERRA, J. A. et al. (2003): Erosión diferencial de andosoles y aridisoles en dos zonas climáticas de Tenerife. *Edafología*, roč. 10, č. 2, s. 229–237.
- HAARSMA, R. J. et al. (2013): More hurricanes to hit western Europe due to global warming. *Geophysical Research Letters*, roč. 40, s. 1783–1788.
- HARUŠTIAKOVÁ, D. et al. (2012): *Vícerozměrné statistické metody v biologii*. Akademické Nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno, 111 s.
- HAYLOCK, M. R. et al. (2008): A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, č. 113, 12 s.
- HERRERA, A. (1979): Lluvias, sequía y plagas en la historia de Gran Canaria. *Aguayro*, č. 107, s. 10–14.
- HOSKING, J. R. M. et al. (1985) Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability weighted moments. *Technometrics*, roč. 27, č. 3, s. 251–261.
- HOSKING, J. R. M. (1990): L-moments: Analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistic. *Journal of the Royal Statistical Society*, roč. 52, č. 1, s. 105–124.
- HURRELL, J. W. (1995): Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation. *Science*, č. 269, s. 676–679.
- INM (2002): *Islas Canarias: Rasgos Climáticos Generales*. Instituto Nacional de Meteorología. In: *Las precipitaciones máximas en 24 horas y sus periodos de retorno*. Volumen 14 – Canarias, Madrid, 4 s.
- IPMA (2017): Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Dostupné z: <https://www.ipma.pt/pt/index.html> (staž. 1. 6. 2017).
- JENKINSON, A. F., COLLISON, F. P. (1977): An initial climatology of gales over the north sea. In *Synoptic Climatology Branch, Memorandum 62*. Meteorological Office, Bracknell.
- JONES, P. et al. (1993): A comparison of lamb circulation types with an objective classification scheme. *International Journal of Climatology*, roč. 13, s. 655–663.
- KIM, S. C. et al. (2008): Timing and tiempo of of early and successive adaptive radiations in Macaronesia). *PloS ONE*, s. 1–7.

- KOBAYASHI, S. et al. (2015): The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Série, roč. II/93, č. 1, s. 5–48.
- KYSELÝ, J. (2005): Odhad parametrů rozdělení extrémních hodnot metodou L-momentů. *Meteorologické zprávy*, č. 58, s. 161–167.
- LAU, K. M., KIM, K. M. (2007): Cooling of the Atlantic by Saharan Dust, *Geophysical Research Letters*, roč. 34, č. 23, 4 s.
- LINDSEY, R. (2011): Winter Temperatures Influenced by North Atlantic Oscillation, La Niña. Dostupné z: <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/winter-temperatures-influenced-north-atlantic-oscillation-la-ni%C3%B1a> (staž. 16. 10. 2017).
- MANNAERTS, C. M., GABRIELS, D. (2000): Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil & Tillage Research*, roč. 55, s. 207–212.
- MARTÍNEZ-MORENO, F. J. et al. (2016): Water prospection in volcanic islands by Time Domain Electromagnetic (TDEM) surveying: The case study of the islands of Fogo and Santo Antão in Cape Verde. *Journal of Applied Geophysics*, č. 134, s. 226-234.
- MARZOL, M. V. (1988): La lluvia un recurso natural para Canarias. Servicio de publicaciones de la Caja de Ahorros. Santa Cruz de Tenerife.
- MARZOL, M. V. et al. (2006): Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Asociación Española de Climatología (AEC), č. 5, s. 443–452.
- McADIE, C. et al. (2009): Tropical cyclones of the North Atlantic Ocean, 1851-2006. *Historical Climatology Series 6-2*. National Climate Data Center, Asheville, 6. revize, 238 s.
- MENNE, M. J. et al. (2012a): Global Historical Climatology Network (GHCN-Daily), Version 3. NOAA National Climatic Data Center. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/land-based-station-data/land-based-datasets/global-historical-climatology-network-ghcn> (staž. 15. 1. 2017).
- MENNE, M. J. et al. (2012b): An overview of the Global Historical Climatology Network – Daily Database. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, č. 29, s. 897–910.
- MÜHR, B. (2006): Klimadiagramme. Dostupné z: <http://www.klimadiagramme.de/> (staž. 15. 7. 2017).

- MÜLLER, M., KAŠPAR, M. (2014): Event-adjusted evaluation of weather and climate extremes. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, č. 14, s. 473–483.
- NASA (2017): Earth Observatory. National Aeronautics and Space Administration. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/Images/?eocn=topnav&eoci=images> (staž. 1. 7. 2017).
- NCDC (2017): National Climatic Data Center. Dostupné z: <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?datasetabbv=GSOD&countryabbv=&georegionabbv=> (staž. 15. 1. 2017).
- NHC (2017): National Hurricane Center. National Oceanic and Atmospheric Administration. Dostupné z: <http://www.nhc.noaa.gov/> (staž. 15. 10. 2017).
- NOAA (2017a): Former hurricane Ophelia batters Ireland. Dostupné z: <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/former-hurricane-ophelia-batters-ireland> (staž. 1. 11. 2017).
- NOAA (2017b): Daily Mean Composites – Physical Sciences Division. Dostupné z: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/> (staž. 15. 10. 2017).
- Ogimet (2017): Weather Information Service. Dostupné z: <http://ogimet.com/index.phtml> (staž. 10. 7. 2017).
- ORTEGA, M. J., et al. (1992): Estudio de las propiedades físicas de los horizontes superficiales de los suelos volcánicos de Canarias. Su influencia en la erodibilidad. *Comunicaciones. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Universidad de Navarra, Pamplona*, s. 564–567.
- OSBORN, T. J. (2011): Winter 2009/2010 temperatures and a record-breaking North Atlantic Oscillation index. *Weather*, č. 66, s. 19–21.
- PHILIPP, A. et al. (2014): User guide „cost733class-1.2“. 111 s.
- PRADA, S., SERRALHEIRO, A. (2000): Stratigraphy and Evolutionary Model of Madeira Island. *Museu Municipal Funchal, Bocagiana*, č. 200, s. 1–13.
- PRADA, S. et al. (2003): Recursos hídricos da Ilha da Madeira. *Comunicações Do Instituto Geológico e Mineiro*, č. 90, s. 125–142.
- RIHM, R. et al. (1998): Las Hijas Seamounts - the next Canary Island? *Terra Nova*, č. 10, s. 121–125.
- RODRIGUES, D., AYALA-CARCEDO, F. (2000): Georisk: A natural hazard database of historic events in Madeira Island. *25th General Assembly EGS, Nice*, 286 s.

- RODRIGUEZ, A. et al. (2002): Erosión hídrica en andosoles de las islas Canarias. *Edafología*, roč. 9, č. 1, s. 23–30.
- ROMERO, C. et al. (2004): Caracterización y clasificación de las cuencas y redes hidrográficas en islas volcánicas atlánticas (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde). *IV CONGRÉS IBÈRIC de Gestió y Planificació de l'Aigua*. Tortosa (España), 11 s.
- SÁNCHEZ, A. et al. (2016): Revisiting precipitation variability, trends and drivers in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*, roč. 37, s. 3565–3576.
- SANTAMARTA, J. C. et al. (2013): Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos. *Colegio de Ingenieros de Montes, Tenerife*, 552 s.
- SANTOS-GUERRA, A. (1990): Apuntes a la Biogeografía de las Islas Cabo Verde. *Revista de la Academia Canaria de las Ciencias*, č. 11, s. 201–211.
- SIC Notícias (2012): Fogo de grandes proporções no Funchal destruiu várias casas. Dostupné z: <http://sicnoticias.sapo.pt/pais/2012-07-18-fogo-de-grandes-proporcoes-no-funchal-destruiu-varias-casas> (staž. 15. 10. 2017).
- STRYHAL, J., HUTH, R. (2016): Klasifikace atmosférické cirkulace. *Geografie*, roč. 121, č. 2, s. 300–323.
- STRYHAL, J. (2017): osobní konzultace.
- TURÉGANO, J. C. (2017): El agua en Canarias. El proyecto de educación Agrega. Dostupné z: [http://agrega.educacion.es/repositorio/21062013/94/es\\_2013062112\\_9112914/agua\\_canarias/agua\\_canarias/index.html](http://agrega.educacion.es/repositorio/21062013/94/es_2013062112_9112914/agua_canarias/agua_canarias/index.html) (staž. 1. 11. 2017).
- ULL (2010): La “Tormenta de San Florencio”, ocurrida en 1826, pudo ser el peor evento meteorológico acaecido en Canarias. Universidad de La Laguna. Dostupné z: [https://www.ull.es/viewullnew/institucional/prensa/Noticias\\_ULL/es/1505003](https://www.ull.es/viewullnew/institucional/prensa/Noticias_ULL/es/1505003) (staž. 16. 10. 2017).
- VALDÉS, L., DÉNIZ-GONZÁLEZ, I. (2015): Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. IOC-UNESCO, IOC Technical Series, č. 115, Paris, 383 s.
- VANDERPOORTEN, A. (2007): Does Macaronesia exist? Conflicting signal in the Briophyte and Pteridophyte Floras. *Am. J. Bot.*, č. 94, s. 625–639.
- VARGAS, P. (2007): Are Macaronesian Islands refugia or relict plant lineages? A molecular survey. *Phylogeography Southern European Refugia: Evolutionary perspectives on the origins and conservation of European biodiversity*. Springer, The Hague, s. 297–314.



VAQUERO, J. M. et al. (2008): A historical analog of 2005 Hurricane Vince. *American Meteorological Society*, roč. 89, č. 2, s. 191–201.

VINEY, N. R., BATES, B. C. (2004). It never rains on Sunday: The prevalence and implications of untagged multi-day rainfall accumulations in the Australian high quality data set. *Int. J. Climatol.*, č. 24, s. 1171–1192.

WHITTAKER, R.J. et al. (2008): A general dynamic theory of oceanic island biogeography. *Journal of Biogeography*, č. 35, s. 977–984.

WWF (2017): World Wild Life. Ecoregions. Dostupné z: <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/at0201> (staž. 17. 9. 2017).

YANES, A. et al. (2006): Characterization of sea storms along the coast of Tenerife, the Canary Islands. *Journal of Coastal Research*, č. 48, s. 124–128.

# PŘÍLOHY

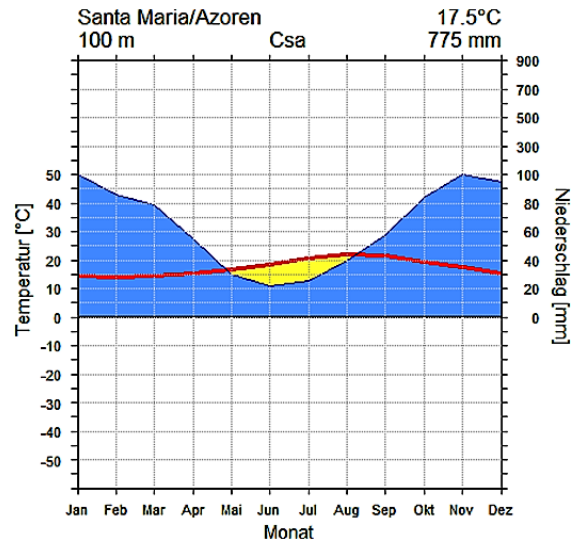
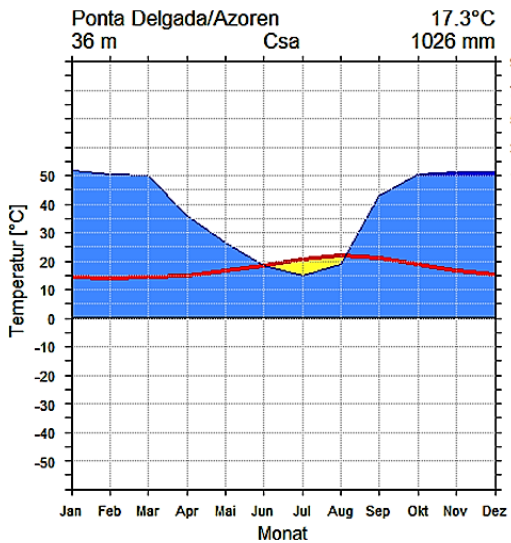
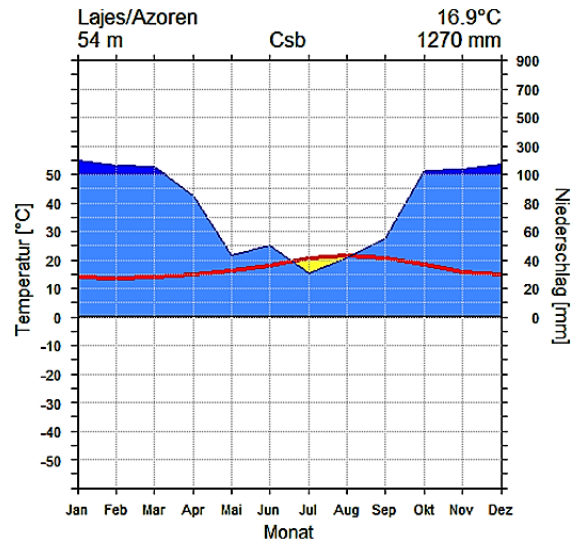
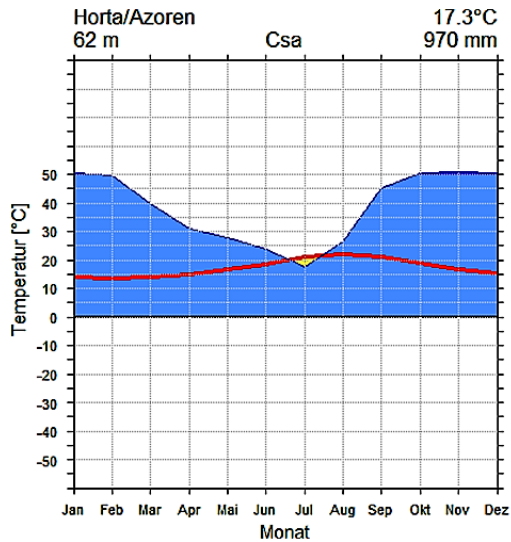
**Příloha 1: Průměrné měsíční teploty vzduchu (°C) na vybraných stanicích Makaronésie.** GC Gran Canaria, TNF Tenerife, číslice označují měsíce počínaje lednem. Zdroj: Cropper (2013).

Stanice	Nadm. v. (m)	Souřadnice	Časová řada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>AZORY</b>															
Santa Maria	100	36°97'N 25°17'W	1973-2012	14,7	14,4	15,0	15,6	17,1	19,2	21,5	22,7	21,9	19,8	17,4	15,8
Ponta Delgada	36	37°75'N 25°70'W	1973-2012	14,4	14,1	14,3	14,8	16,3	18,5	20,7	22,0	21,2	19,0	16,7	15,3
Lajes	55	38°76'N 27°10'W	1947-2012	14,4	14,0	14,4	15,2	16,7	18,9	21,1	22,2	21,3	19,0	16,7	15,2
Flores	29	39°45'N 31°13'W	1979-2012	14,6	14,3	14,7	15,5	16,9	19,1	21,8	22,9	21,7	19,3	17,0	15,4
Horta	41	38°52'N 28°71'W	1976-2012	15,0	14,6	14,9	15,5	16,9	19,1	21,6	22,8	22,0	19,6	17,2	15,8
<b>MADEIRA</b>															
Funchal	56	32°63'N 16°90'W	1973-2012	16,4	16,1	16,5	17,0	18,4	20,4	22,2	23,2	22,9	21,2	19,1	17,5
Porto Santo	82	33°07'N 16°35'W	1973-2012	15,8	15,7	16,1	16,7	18,1	20,0	21,6	22,8	22,6	20,9	18,7	16,9
<b>KANÁRSKÉ O.</b>															
La Palma	31	28°62'N 17°75'W	1973-2012	18,0	17,8	18,4	18,8	19,9	21,5	23,0	23,9	24,0	22,8	20,9	19,2
El Hierro	32	27°81'N 17°88'W	1973-2012	18,8	18,5	18,8	19,1	20,2	21,6	22,6	23,5	24,0	23,2	21,5	19,9
Las Palmas de GC	47	27°93'N 15°38'W	1973-2012	17,8	18,0	18,8	19,3	20,3	22,0	23,7	24,4	24,2	23,0	21,0	19,0
Santa Cruz De TNF	36	28°45'N 16°25'W	1973-2012	18,1	18,2	19,0	19,5	20,8	22,7	24,8	25,4	24,8	23,3	21,2	19,3
TNF Los Rodeos	617	28°47'N 16°31'W	1973-2012	13,0	13,3	14,2	14,6	16,0	17,9	20,2	21,1	20,7	18,8	16,4	14,2
Izaña	2862	16°50'N 23°68'W	1919-2012	4,2	4,4	6,0	7,2	9,8	13,7	17,8	17,8	14,0	10,2	7,1	4,9
Fuerteventura	30	28°45'N 13°87'W	1973-2012	17,6	17,8	18,6	19,3	20,4	22,2	23,9	24,4	24,2	22,8	20,8	18,8
Lanzarote	21	28°95'N 13°60'W	1973-2012	17,4	17,7	18,8	19,4	20,6	22,4	24,1	25,0	24,6	22,9	20,6	18,4
<b>KAPVERDY</b>															
Sal	53	16°73'N 22°95'W	1973-2012	20,9	21,2	21,8	21,7	22,7	23,5	23,6	24,8	25,6	25,4	23,6	21,9

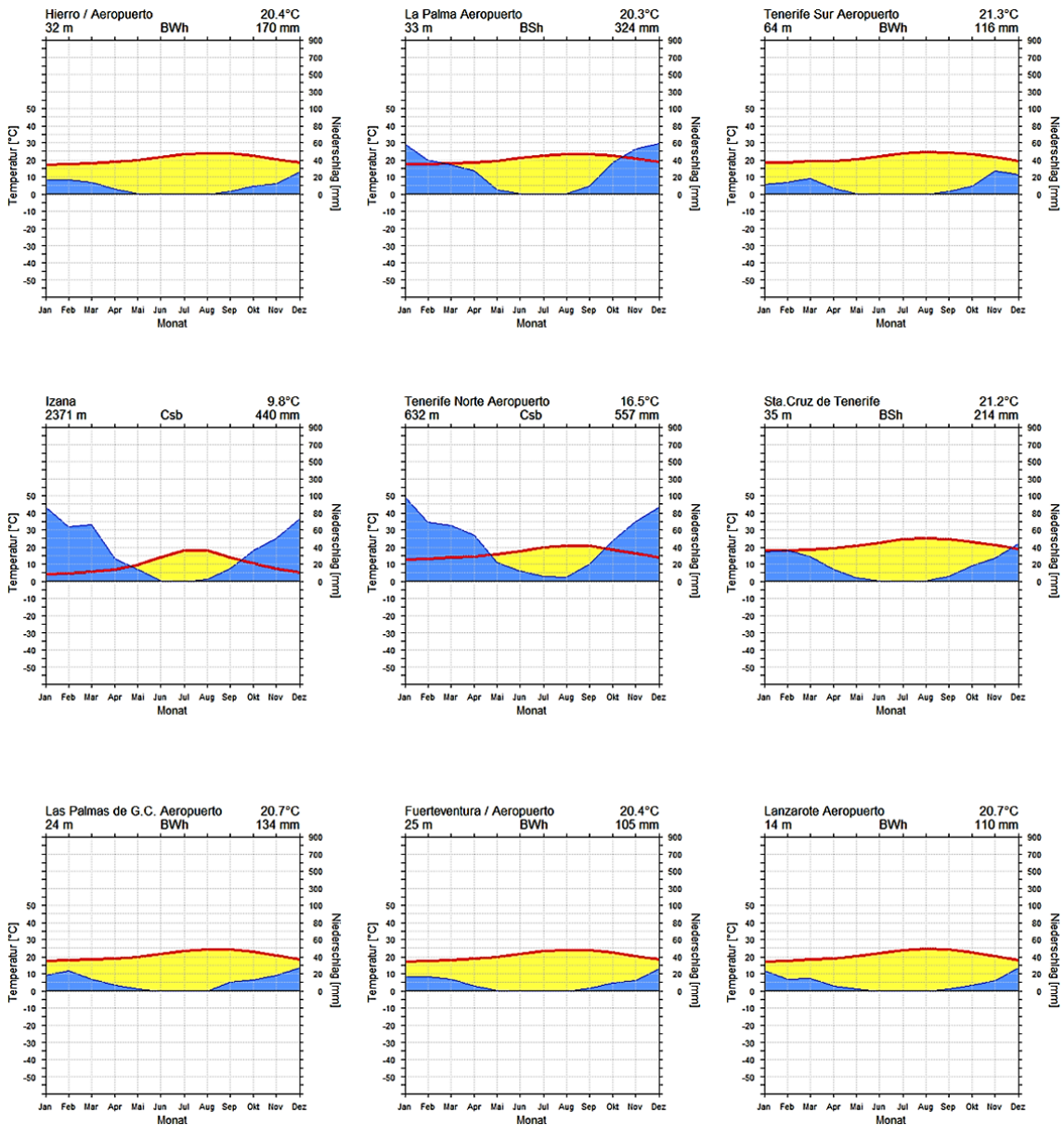
**Příloha 2: Průměrné měsíční srážkové úhrny (mm) na vybraných stanicích Makaronésie.** GC Gran Canaria, TNF Tenerife, číslice označují měsíce počínaje lednem Zdroj: Cropper (2013).

Stanice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rok
<b>AZORY</b>													
Santa Maria	75	76	65	57	45	50	22	34	59	71	88	106	749
Ponta Delgada	79	76	82	69	53	32	23	42	79	87	99	109	829
Lajes	116	136	116	75	61	51	49	57	97	128	139	159	1184
Flores	170	146	134	99	97	88	49	72	118	159	168	211	1512
Horta	87	91	82	58	64	53	30	50	78	96	100	102	891
<b>MADEIRA</b>													
Funchal	97	78	61	46	33	15	10	6	40	84	95	121	686
Porto Santo	49	40	37	27	18	7	4	5	27	45	56	62	376
<b>KANÁRSKÉ O.</b>													
La Palma	44	56	26	21	7	2	1	2	9	33	60	65	328
El Hierro	20	29	19	12	2	1	0	1	5	11	28	39	166
Las Palmas de GC	24	20	13	6	3	1	1	0	10	14	22	25	139
Santa Cruz De TNF	30	28	23	10	4	1	1	2	9	18	30	34	190
TNF Los Rodeos	77	53	50	32	19	9	5	5	22	44	68	71	457
Izaña	73	61	45	27	11	1	0	3	14	44	93	76	449
Fuerteventura	17	15	11	18	1	1	4	0	6	10	17	21	123
Lanzarote	21	14	12	4	2	0	2	0	2	8	12	21	100
<b>KAPVERDY</b>													
Sal	12	15	4	6	5	1	6	12	36	15	5	9	125

**Příloha 3: Klimagramy vybraných azorských stanic.** Horta, Lajes, Ponta Delgada, Santa Maria. Levá osa znázorňuje prům. měsíční teplotu vzduchu (°C), pravá osa prům. měsíční srážky (mm) a spodní osa měsíce, počínaje lednem. Dalšími údaji jsou nadm. výška, prům. roční teplota vzduchu a prům. roční úhrn srážek. Zdroj: Mühr (2006).

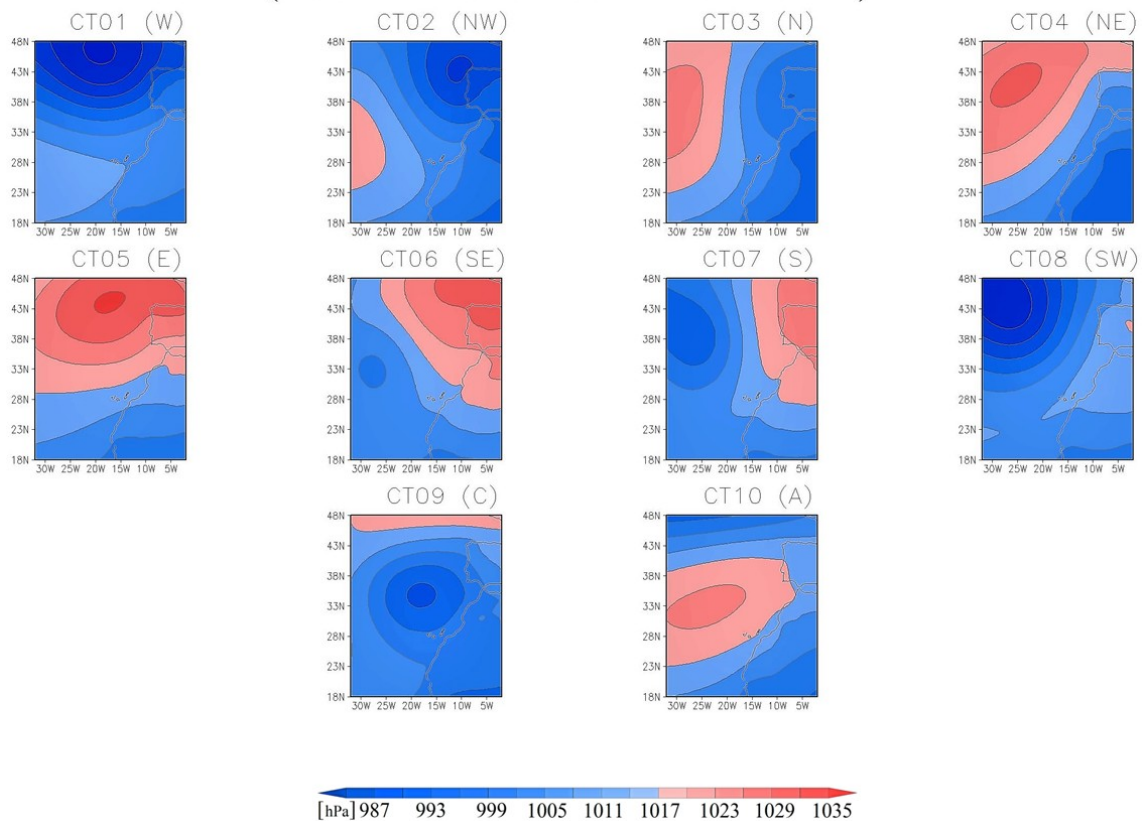


**Příloha 3: Klimagramy vybraných kanárských stanic.** Hierro, La Palma, Tenerife Sur, Izaña, Tenerife Norte Aeropuerto (= Los Rodeos), Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas, Fuerteventura, Lanzarote. Levá osa znázorňuje prům. měsíční teplotu vzduchu (°C), pravá osa prům. měsíční srážky (mm) a spodní osa měsíce, počínaje lednem. Dalšími údaji jsou nadm. výška, prům. roční teplota vzduchu a prům. roční úhrn srážek. Zdroj: Mühr (2006).



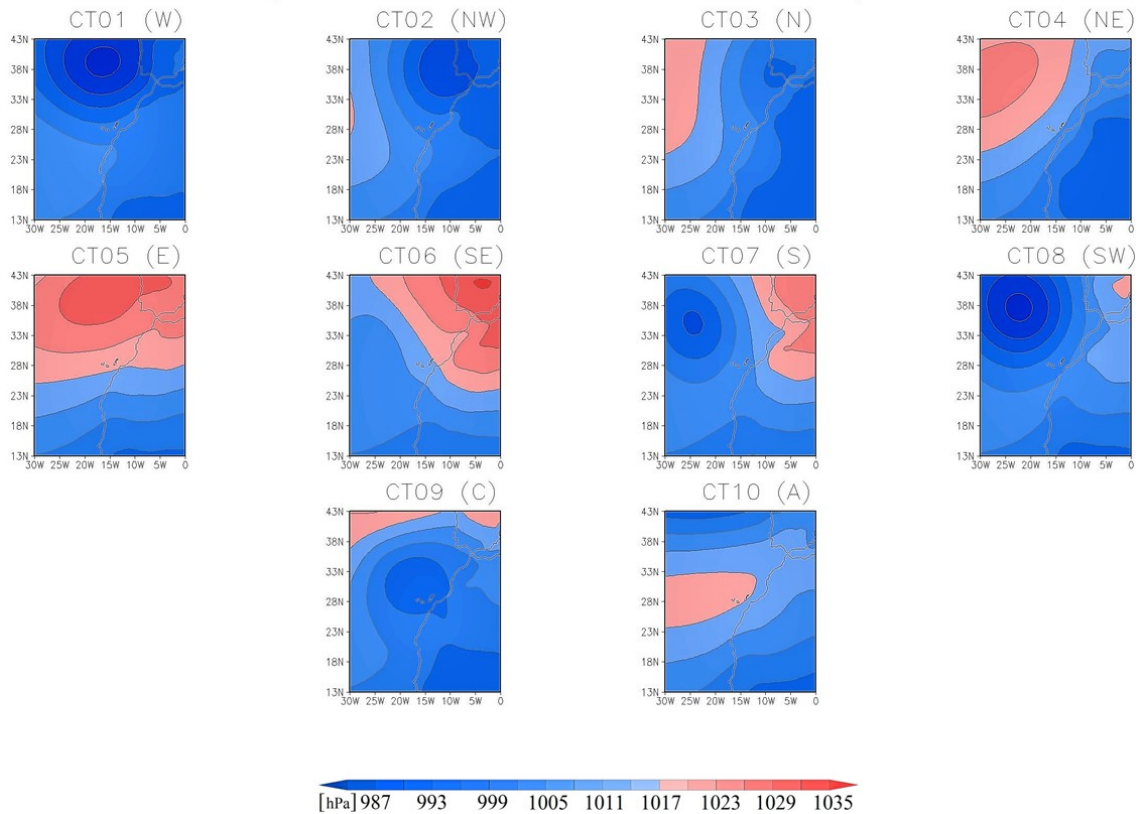
**Příloha 5: Cirkulační typy – Madeira.** Střed souostroví je vždy uprostřed obrázku. Zleva doprava typy pro jednotlivé směry advekce (od západu ve směru hod. ruč.), v posledním řádku pak typy cyklonální a anticyklonální. Zdroj: Stryhal (2017).

## JCT(2) MADE 10CTs (JRA-55 1977–2015 centroids)



**Příloha 6: Cirkulační typy – Kanárské o.** Střed souostroví je vždy uprostřed obrázku. Zleva doprava typy pro jednotlivé směry advekce (od západu ve směru hod. ruč.), v posledním řádku pak typy cyklonální a anticyklonální. Zdroj: Stryhal (2017).

## JCT(2) KANA 10CTs (JRA-55 1977–2015 centroids)





**Příloha 7: Cirkulační typy – Kapverdy.** Střed souostroví je vždy uprostřed obrázku. Zleva doprava typy pro jednotlivé směry advekce (od západu ve směru hod. ruč.), v posledním řádku pak typy cyklonální a anticyklonální. Zdroj: Stryhal (2017).

## JCT(2) KAPV 10CTs (JRA-55 1977–2015 centroids)

