

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD**



**CHARAKTERISTIKA PROSTOROVÉHO ROZLOŽENÍ  
POŽÁRŮ NA JIHOVÝCHODNÍM POBŘEŽÍ AUSTRÁLIE  
V SOUVISLOSTI S ENSO**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce:** D.Sc. Olga Špatenková

**Bakalant:** Kristýna Štěpánová

2022

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Štěpánová

Geografické informační systémy a dálkový průzkum Země v životním prostředí

Název práce

**Charakteristika prostorového rozložení požárů na jihovýchodním pobřeží Austrálie v souvislosti s ENSO**

Název anglicky

**Characteristics of the spatial distribution of fires on the southeast coast of Australia in connection with ENSO**

---

### Cíle práce

Práce se zaměří na aktuální téma lesních požárů na jihovýchodním pobřeží Austrálie a jejich možné souvislosti s klimatickými jevy, zejména s El Niño-jihní oscilací (ENSO). Cílem práce je popsat intenzitu požárů nejen podle velikosti zasažené plochy, ale také podle jejich prostorového rozložení. Časové změny v těchto charakteristikách budou porovnány s jednotlivými fázemi ENSO a souvisejícími klimatickými jevy.

### Metodika

Teoretická část práce seznámí s problematikou australského klimatu, který má zásadní vliv na vznik a šíření požárů, a dále stručně představí současná managementová opatření, která mají udržet požáry pod kontrolou. Vlastní analýza se zaměří na požáry v zájmové oblasti v několika posledních dekádách dle dostupnosti dat. Popisné charakteristiky budou sledovat četnost požárů a jimi zasaženou plochu, ale také jejich prostorové rozložení. Budou přitom zohledněny požáry plánované. Výsledky analýzy budou vhodně prezentovány a podrobně interpretovány.

## Doporučený rozsah práce

30-40 stran

## Klíčová slova

Vhodná klíčová slova budou zvolena autorkou práce.

---

## Doporučené zdroje informací

Bowman, D., Williamson, G., Yebra, M., Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M. L., Shah, S., Bradstock, R., & Chuvieco, E. (2020). Wildfires: Australia needs national monitoring agency. *Nature*, 584(7820), 188–191.

DIGGLE, P. *Statistical analysis of spatial and spatio-temporal point patterns*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. ISBN 978-1-4665-6023-9.

Mariani, M., Fletcher, M. S., Holz, A., & Nyman, P. (2016). ENSO controls interannual fire activity in southeast Australia. *Geophysical Research Letters*, 43(20)

O'SULLIVAN, D. – UNWIN, D. *Geographic information analysis*. Hoboken: Wiley, 2010. ISBN 978-0-470-28857-3.

Verdon, D. C., Kiem, A. S., & Franks, S. W. (2004). Multi-decadal variability of forest fire risk – Eastern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 13(2)

---

## Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

## Vedoucí práce

D.Sc. Olga Špatenková

## Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2022

**doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2022

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2022

---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Charakteristika prostorového rozložení požárů na jihovýchodním pobřeží Austrálie v souvislosti s ENSO* vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne: 29. 3. 2022

.....

Kristýna Štěpánová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych ráda poděkovala své vedoucí bakalářské práce, paní D.Sc. Olze Špatenkové, za odborné vedení, cenné rady a velkou ochotu pomoci při psaní této práce.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá pozorováním prostorového rozložení požárů na jihovýchodním pobřeží Austrálie, konkrétně v Novém Jižním Walesu. Zkoumá jejich výskyt v souvislosti s El Niño-jihní oscilací (ENSO) v požárně významných sezónách, přičemž pozornost je věnována především fázi El Niño z důvodu možného vlivu na zvýšení požárního nebezpečí. Teoretická část práce se podrobně zabývá klimatem Austrálie a klimatickými jevy, které nejvíce ovlivňují jeho proměnlivost. Dále se věnuje faktorům hrající podstatnou roli ve vzniku a šíření požárů a v neposlední řadě studiím potvrzujících vztah mezi ENSO a požáry. Důležitou částí práce jsou také analýzy sledující změny v hustotě a prostorové závislosti požárů od sezóny 1949/50 až do sezóny 2019/20.

**Klíčová slova:** El Niño, jižní oscilace, lesní požáry, Austrálie, hustota, K-funkce, Nový Jižní Wales, SOI

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis describes the observation of the spatial distribution of fires on the southeast coast of Australia, specifically in New South Wales. Thesis also describes the connection of El Niño-southern oscillation and the fire activity in fire seasons, paying particular attention to the El Niño phase due to the possible impact on the increasing fire danger. The theoretical part of the thesis focuses in detail on the climate of Australia and the climate drivers that most affect its variability. It also looks at the factors that play a significant role in the ignition and spread of fires and last but not least, studies that confirm the connection between ENSO and fires. Analysis monitoring changes in the density and spatial dependence of fires from the 1949/50 season to the 2019/20 season are important part of the thesis.

**Keywords:** El Niño, Southern Oscillation, forest fires, Australia, density, K-function, New South Wales, SOI

# 1. Obsah

1. Obsah .....	7
2. Úvod.....	9
3. Cíle práce .....	11
4. Literární rešerše.....	12
4.1    Klima Austrálie .....	12
4.1.1    Monzuny .....	13
4.1.2    IOD.....	15
4.1.3    MJO.....	17
4.1.4    ENSO .....	17
4.2    Management, faktory, příčiny a dopady požárů.....	23
4.3    Historie požárů v Austrálii .....	26
4.3.1    Nejvýznamnější požární události .....	27
4.4    Vliv ENSO na Austrálii a souvislost s požáry .....	29
5. Metodika .....	35
5.1    Použitá data .....	35
5.2    Sledování vývoje ENSO pomocí SOI ve vybraných sezónách.....	35
5.3    Sledování prostorového rozložení požárů .....	36
5.3.1    Hustoty požárů: Kernel Density.....	37
5.3.2    Prostorová závislost požárů: Ripleyho K-funkce.....	37
5.3.3    Vztahy mezi plánovanými a neplánovanými požáry: Near .....	39
6. Charakteristika studijního území.....	40
7. Výsledky práce.....	42
7.1    Souvislost požárů s ENSO .....	42
7.1.1    Významné sezóny s ohledem na velikost spálené plochy.....	43
7.1.2    Významné sezóny s ohledem na četnost požárů .....	44
7.2    Prostorové rozložení požárů .....	47
7.2.1    Prostorové změny v hustotách požárů .....	47
7.2.2    Změny v prostorovém rozložení požárů .....	49
7.2.3    Prostorové vztahy mezi plánovanými a neplánovanými požáry.....	53
8. Diskuse.....	54



9.	Závěr a přínos práce .....	55
10.	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	57
11.	Seznam obrázků .....	66
12.	Přílohy .....	68
12.1	Přehled použitých zkratk .....	68

## 2. Úvod

Požáry jsou přirozenou událostí, která se na naší planetě vyskytuje po miliony let. Jsou součástí přirozeného režimu a pro ekosystémy náchylné na požáry jsou považovány za ekologický a evoluční faktor udržující jejich rozmanitost (Fidelis, 2020). Nicméně se jedná i o nástroj, který hraje důležitou roli v řízení požárů (Penman et al., 2020), a to zejména v oblastech světa jako je například jihovýchodní Austrálie, která je podle Hennessy et al. (2015) identifikovaná jako jedna ze tří nejvíce náchylných oblastí na požáry na světě.

Počátky požárů v Austrálii sahají hluboko do minulosti a jsou její přirozenou součástí. Nebezpečí požáru se však v posledních desetiletích zvýšilo (Clarke et al., 2013) a předpokládá se, že se bude dále zvyšovat se skleníkovým oteplováním (Pitman et al., 2007). Dobrým příkladem tohoto předpokladu by mohly být požáry Black Summer (černého léta) na přelomu let 2019/20, jež se rozšířily do několika oblastí Austrálie a způsobily nevídané škody. Podle CSIRO & The Bureau of Meteorology (©2020 b) se totiž Austrálie od začátku národních záznamů (1910) oteplila v průměru o 1,44 °C. Nejteplejším rokem v Austrálii byl rok 2019 a všech sedm let od roku 2013 do roku 2019 se řadí mezi 9 nejteplejších. Klima by tedy velice pravděpodobně mohlo hrát důležitou roli v otázce činnosti požárů, a proto mu je v rámci teoretické části věnována značná pozornost. Klima Austrálie je velmi proměnlivé a ovlivňuje ho hned několik klimatických jevů, které jsou v práci zmiňovány. Jedním z těchto jevů je ENSO (El Niño-Southern Oscillation, česky El Niño-jihní oscilace), kterým se práce zabývá poměrně podrobně, právě i kvůli možné souvislosti s požáry. Existuje již několik studií, které potvrzují vztah mezi ENSO a aktivitou požárů v Austrálii (Harris & Lucas, 2019; Verdon et al., 2004; Mariani et al., 2016) i přes odlišné postupy. Zřídka kdy je však sledován vztah mezi ENSO a přímým dopadem na požáry – tedy na velikost spálené plochy a četnost požárů (Mariani et al., 2016). Jednou z důležitých částí této práce je tedy sledování vývoje ENSO v souvislosti s velikostí spálené plochy a četností požárů v Novém Jižním Walesu v rámci významných požárních sezón.

Existuje několik faktorů, které ovlivňují výskyt a šíření požárů. Tyto faktory klima do značné míry ovlivňuje, ovšem nezáleží pouze na podmínkách klimatu, ale i dalších aspektech, kterým se práce v rámci teoretické části věnuje. Jedním z takových faktorů

je například kontinuita paliva (tedy vegetace) (Harris & Lucas, 2019). Jestliže k požárům v Austrálii dochází poměrně pravidelně, není překvapením, že si tamní flóra vytvořila specifické vlastnosti pro odolávání vůči požárům (Morgan et al., 2020) a požáry se tedy po určité době mohou vyskytovat na stejných místech. Druhou důležitou část této práce tak tvoří sledování změn v prostorovém rozložení požárů v Novém Jižním Walesu v několika sezónách a jejich porovnání.

### 3. Cíle práce

Tato bakalářská práce se zabývá požáry v Novém Jižním Walesu ve dvou rovinách. Z pohledu vlivu klimatického jevu na činnost požárů a z pohledu jejich prostorového rozložení v čase. Proto byly stanoveny dva hlavní cíle řešící zmíněné dvě roviny.

Prvním hlavním cílem je posouzení vlivu ENSO na činnost požárů v Novém Jižním Walesu od sezóny 1949/50 do sezóny 2019/20. Toho bude dosaženo pomocí dvou dílčích cílů:

- sledování aktivity ENSO v sezóně požárů významných z hlediska velikosti spálené plochy;
- sledování aktivity ENSO v sezóně požárů významných z hlediska jejich četnosti.

Druhým hlavním cílem bude sledování prostorového rozložení požárů v Novém Jižním Walesu od sezóny 1949/50 do sezóny 2019/20. K vyřešení tohoto cíle povede několik dílčích cílů:

- sledování hustoty požárů a jejich prostorového rozložení v sezónách významných z hlediska velikosti spálené plochy a jejich následné porovnání;
- sledování hustoty požárů a jejich prostorového rozložení v sezónách méně významných z hlediska velikosti spálené plochy a jejich následné porovnání se sezónami významnými z hlediska velikosti spálené plochy;
- sledování hustoty požárů a jejich prostorového rozložení v sezónách, které nebyly zastoupeny ani v jedné ze dvou předešlých kategorií, a jejich následné porovnání se sezónami významnými z hlediska velikosti spálené plochy;
- sledování vztahů mezi plánovanými a neplánovanými požáry pomocí vzdáleností v jednotlivých sezónách.

# 4. Literární rešerše

## 4.1 Klima Austrálie

Klima australského kontinentu je do značné míry ovlivněno jeho polohou, přesněji zeměpisnými šířkami, mezi kterými se rozkládá. Pevnina leží mezi 10°-39° jižní šířky, Tasmánie se rozprostírá až ke 44° jižní šířky. Austrálie se tedy vyznačuje škálou klimatických pásem od tropických oblastí na severu, přes vyprahlé vnitrozemí až po mírné oblasti na jihu (Australian Bureau of Statistics, 2006). Ačkoli je Austrálie kolem dokola obklopena moři a oceány, oceánské podnebí neovlivňuje téměř žádnou její část až na výjimku úzkého pásu při východním a jižním pobřeží (Culek et al., 2013). Velká část australského kontinentu je totiž pod nadvládou subtropického pásu vysokého tlaku. Ten je tvořen z oblastí vysokého tlaku (tzv. anticyklon) procházejících od západu na východ napříč celým kontinentem (Australian Bureau of Statistics, 2006). V těchto tlakových výších dochází k sestupu vzduchu, který sem přitéká od ITCZ (Intertropical Convergence Zone, česky intertropická zóna konvergence), a k povrchu se tak dostává velmi teplý a suchý vzduch (Culek et al., 2013), přičemž jednotlivé tlakové výše mohou zůstat téměř nehybné i několik dní (Australian Bureau of Statistics, 2006).

Austrálie je druhým nejsušším kontinentem na světě, hned po Antarktidě (Australian Bureau of Statistics, 2006) a vnitrozemí tohoto kontinentu je na jižní polokouli to nejsušší (Šebesta et al., 2013). Léta jsou horká na většině území s průměrnými maximálními teplotami nad 30 °C. Austrálie je však kontinent s rozmanitým podnebím, a tak se v některých částech země potýká s vysokými sezónními výkyvy teplot i srážek (Australian Bureau of Statistics, 2006). Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje kolem 430 mm, přičemž nejvíce srážek se vyskytuje na severovýchodním pobřeží (Šebesta et al., 2013). Téměř veškeré roční srážky na tomto území spadnou v měsících listopad-duben (Australian Bureau of Statistics, 2006). Země se však často potýká s nedostatkem srážek, které způsobují i několikaleté sucho, a problémem je i jejich nerovnoměrné rozložení, což má negativní dopady na zemědělství (Šebesta et al., 2013).

Podle Australian Bureau of Statistics (2010) byly teploty v Austrálii relativně stabilní od roku 1910-1950. Od té doby jsou však patrné rostoucí trendy jak u minimálních,

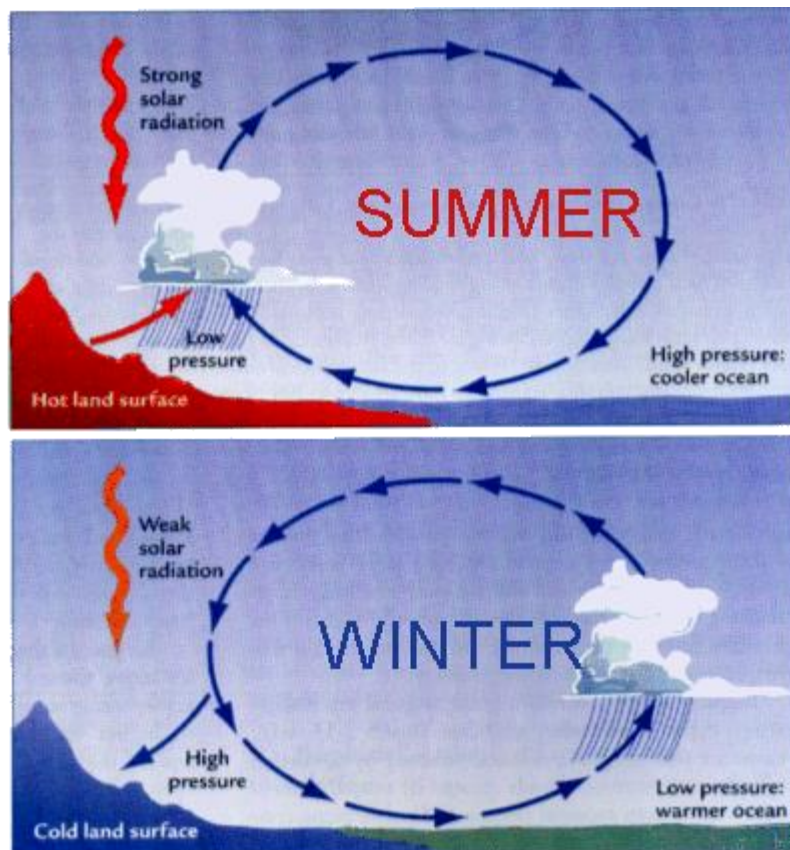
tak u maximálních teplot. Podle CSIRO & The Bureau of Meteorology (©2020 b) došlo k největšímu oteplení od roku 1950 a každé desetiletí je od té doby teplejší než to předchází. Zrychlení trendu oteplování, ke kterému došlo během 20. století, je z velké části přičítáno zesílenému skleníkovému efektu (Australian Bureau of Statistics, 2010).

Klima tohoto kontinentu je proměnlivé a může se rok od roku značně lišit. O to se zaslouhuje hned několik klimatických jevů. Bureau of Meteorology, což je úřad australské vlády pro meteorologii, na svých stránkách zmiňuje 17 hlavních klimatických jevů, které se podílí na meziroční proměnlivosti klimatu a jež mají velký vliv na australské klima. Ve skutečnosti jich je ale mnohem více. Každý z těchto jevů/vlivů má různou úroveň dopadu v různých částech kontinentu a v různých ročních obdobích. Mezi hlavní jevy Bureau of Meteorology řadí mj. i monzuny, IOD (Indian Ocean Dipole, česky indickooceánský dipól), MJO (Madden-Julian Oscillation, česky Maddenova-Julianova oscilace) a v neposlední řadě samozřejmě ENSO, kterému je v této práci věnována větší pozornost. Zmíněné jevy byly popsány v následujících podkapitolách z důvodu možné souvislosti (vzájemného posílení/vyrušení jevů) s ENSO a dále také z důvodu lepšího porozumění jejich dopadů na australské klima pro zvýraznění jeho rozmanitosti (Bureau of Meteorology, ©2022 a).

#### 4.1.1 Monzuny

Slovník České meteorologické společnosti (©2017) definuje monzunovou cirkulaci jako „*součást všeobecné cirkulace atmosféry s převládajícím větrem, který se mezi hlavními klimatickými sezonami mění na opačný nebo blízký k opačnému*“. Slovo monzun pochází z arabského „*mausim*“, jež v češtině vyjadřuje sezónu/roční dobu (Ruda, 2014). *Mausim* používali námořníci k popisu systému střídavých větrů nad Indickým oceánem a Arabským mořem. Zde šest měsíců vanou větry od severovýchodu, dalších šest měsíců od jihozápadu. Dochází tak ke zmíněné změně směru větrů, způsobené nerovnoměrným ohřevem pevniny a oceánu, a to asi o 120 ° (Thapliyal & Rajeevan, 2003). Monzuny lze tedy definovat jako sezónní změny atmosférické cirkulace a s tím spojené i změny srážek. Zmíněné změny jsou podmíněny nesymetrickým ohřevem pevniny a moře. V létě se pevnina zahřívá rychleji než oceán, což má za následek vznik oblasti nízkého tlaku vzduchu nad

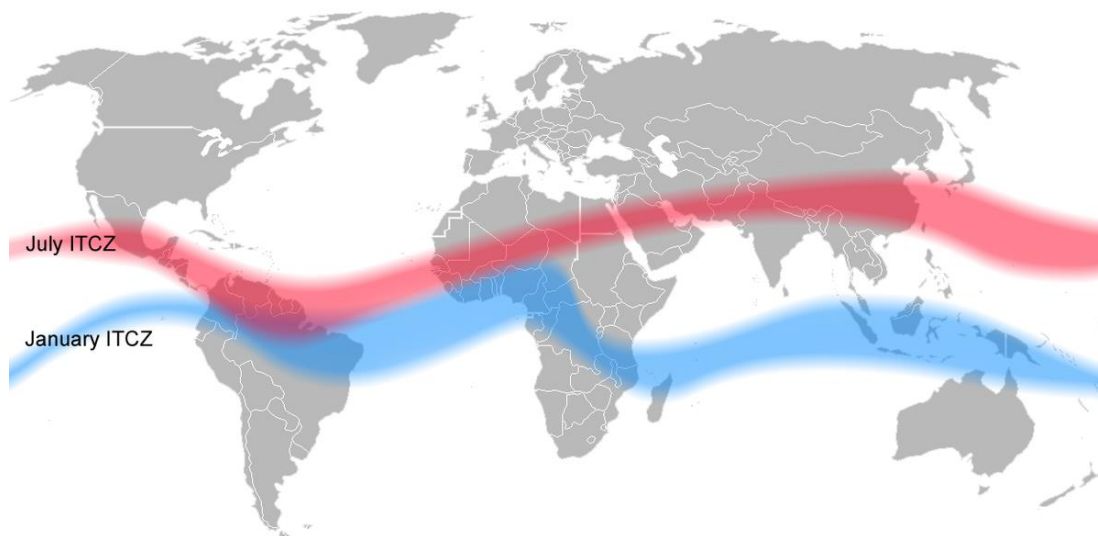
pevninou a oblasti vysokého tlaku vzduchu nad oceánem. Tlaková níže nad pevninou nasává vlhký vzduch přicházející od oceánu a nad pevninou tak dochází k vydatným srážkám. V zimě je tomu přesně naopak a vydatné srážky se vyskytují nad oceánem (Ruda, 2014).



Obrázek 1: Monzunová cirkulace v létě a v zimě (North Caroline Climate Office, 2022)

V oblasti severní Austrálie taktéž dochází k sezónní změně větrů – po většinu roku zde převládá jihovýchodní vítr, v australském létě se však vyskytuje severozápadní vítr (Bureau of Meteorology, ©2022 ch). Severní Austrálii ovlivňuje australský monzun, jež je součástí prostorově rozsáhlého asijsko-australského monzunového systému. Během australské zimy je přítomen v oblasti zhruba 10-15° severně od rovníku a poté se během australského léta přesouvá na jižní polokouli do severní oblasti australského kontinentu (Bowman et al., 2010), kam přináší oblačnost, občasné bouřky, a hlavně vydatné sezónní srážky (Bureau of Meteorology, ©2022 ch). Tento monzunový systém je spojen se sezónní migrací ITCZ, což je oblast konvergence (tedy sbíhání) pasátů ze severní a jižní polokoule v blízkosti rovníku, díky kterému zde vzniká nesouvislý pás vysoké oblačnosti vhodné pro vznik srážek po obvodu celého rovníku. Do značné míry tak utváří rovníkové klima (Culek et al., 2013). ITCZ sezónně migruje

za sluncem, což je vidět na obrázku níže. Lze si povšimnout, že v oblasti Amazonie nedochází k téměř žádnému posunu. Naopak v oblasti Indie a jihovýchodní Asie je její posun více než znatelný, a to díky vlivu monzunu.



Obrázek 2: Pohyb ITCZ během léta a zimy (Halldin, 2006)

Na začátku této kapitoly bylo zmíněno, že podle Bureau of Meteorology (©2022 a) kontinent ovlivňuje několik jevů, a tak přirozeně může docházet k vzájemnému posilování nebo naopak vyrušení určitých klimatických jevů a jejich vlivů. Podle CLIVAR (©2022) je ENSO dominantním hnacím motorem, co se týče mezeročních změn, a to i v intenzitě a délce trvání monzunového období. Pokud se v monzunovém období vyskytne fáze El Niño (viz 4.1.4), může dojít k narušení činnosti monzunů, jehož následkem je úbytek či potlačení srážek. V případě výskytu fáze La Niña (viz. 4.1.4) může dojít naopak k posílení už tak intenzivní srážkové činnosti. Dalším jevem, který ovlivňuje mezeroční změny australského klimatu a může zasáhnout do činnosti monzunů, je IOD. Bowman (2002) zmiňuje i možný vliv MJO, obvykle variabilitu monzunu ovlivňuje však jen v mírném rozsahu.

#### 4.1.2 IOD

IOD je (podobně jako ENSO, viz 4.1.4) oceánsko-atmosférický systém a odehrává se v rovníkové oblasti Indického oceánu. Jedná se o dominantní jev ovlivňující mezeroční proměnlivost tropického Indického oceánu (Saji et al., 1999). Spočívá v kolísání teploty povrchu moře mezi západní a východní stranou tropického Indického oceánu (CSIRO & Bureau of Meteorology, ©2020 a) – odtud pojmenování indickooceánský dipól, tedy opačné výkyvy teploty povrchu moře na západní a východní straně



tropického Indického oceánu (Behera et al., 2013), což mimo jiné přispívá ke změnám srážkové činnosti a činnosti bouřek (Paul & Rashid, 2017). Jedná se o jeden z hlavních klimatických jevů, jež má vliv na australské klima a je důležitý zejména kvůli jeho možnému dopadu na zemědělství jižní a východní Austrálie kvůli zmíněným výkyvům ve srážkové činnosti. Aktivita tohoto jevu většinou započne v měsících květen/červen, vrcholu dosahuje během srpna až října a poté jeho činnost klesá s příchodem australských letních monzunů (CSIRO & Bureau of Meteorology, ©2020 a).

IOD má 3 fáze: kladnou, zápornou a neutrální (CSIRO & Bureau of Meteorology, ©2020 a). Při kladné fázi dochází ke slábnutí rovníkových západních větrů a ty tak obrazejí svůj směr (Behera et al., 2013). To umožňuje teplé vodě přesunout se směrem k Africe a hlubinné, studené vodě stoupání na východě, což způsobuje zmíněné rozdíly v teplotě povrchu moře a také úbytek vlhkosti v atmosféře nad severozápadem Austrálie. Úbytek vlhkosti se díky změnám cest povětrnostních systémů odrazí na vyšších teplotách a projeví se ve snížení srážkové činnosti, než je obvyklé během australské zimy a jara (Bureau of Meteorology, ©2022 d). Například ve studii Ashok et al. (2003) je zmíněno, že v letech 1961, 1967, 1972, 1994 a 1997 během intenzivních IOD událostí byly pozorovány rozsáhlé srážkové anomálie v mnoha oblastech jižní části australského kontinentu. Všechny tyto roky kromě roku 1967 jsou podle Bureau of Meteorology (©2022 e) považovány za roky, kdy byla aktivní kladná fáze IOD. Co se týče souvislosti IOD s požáry, bylo dokázáno, že kladná fáze zvyšuje riziko výskytu požárů v jihovýchodní části Austrálie.

Při negativní fázi IOD se děje přesný opak. Západní větry sílí a způsobují pokles teploty povrchu moře v západní části tropického Indického oceánu, a naopak oteplení na východní straně. Díky výskytu nadprůměrné vlhkosti nad severozápadem Austrálie poté dochází k nadprůměrným srážkovým činnostem během australské zimy a jara (Bureau of Meteorology, ©2022 d).

Pokud není aktivní ani kladná, ani záporná fáze IOD, nastala fáze neutrální a nedochází tak ze strany IOD téměř k žádné změně klimatu Austrálie díky teplotám v tropickém Indickém oceánu, které se blíží k normálu (Bureau of Meteorology, ©2022 d). Fáze IOD může být zjištěna pomocí DMI (Dipole Mode Index), který byl definován Saji et al. (1999) a který spočívá v rozdílech teploty povrchu moře mezi tropickým západním a jihovýchodním Indickým oceánem (Risbey et al., 2009).

V několika studiích byl naznačen i možný výskyt ENSO a IOD současně (Risbey et al., 2009; Paul & Rashid, 2017; Hong et al., 2008). Podle Hong et al. (2008) se téměř 40 % IOD událostí vyskytuje společně s fázemi ENSO, a to tak, že při kladné fázi IOD je přítomen jev El Niño, při záporné fázi pak La Niña. Může tak dojít k vzájemnému posílení a tím i k zesílení jejich vlivů a důsledků (Meyers et al., 2007).

#### 4.1.3 MJO

MJO je jev, jehož důsledkem je intrasezónní variabilita tropického klimatu v podobě kolísání atmosférického tlaku. Jedná se o atmosférickou poruchu, jež může nastat několikrát v době svého výskytu. MJO, pojmenovaná po amerických vědcích Rollandu Maddenovi a Paulu Julianovi, se objevuje v rovníkové oblasti Indického a západního Tichého oceánu (Encyclopædia Britannica, ©2017). Jde o pohybující se komplex oblačnosti a srážek směrem na východ (Bureau of Meteorology, ©2022 i).

Během výskytu MJO dochází ke střídání jejích dvou fází, které slovník České meteorologické společnosti (©2017) popisuje jako fázi vlhkou, s výskytem nadnormálních srážek a mohutnou konvekcí (zasahující celou troposféru), projevující se silnými bouřemi, a fázi suchou, ve které je bouřková činnost potlačena. Chand (2017) tyto fáze označuje jako fázi aktivní, s již zmíněnou hlubokou konvekcí, která je na obou stranách ohraničena slabými konvekcemi tvořící neaktivní fázi.

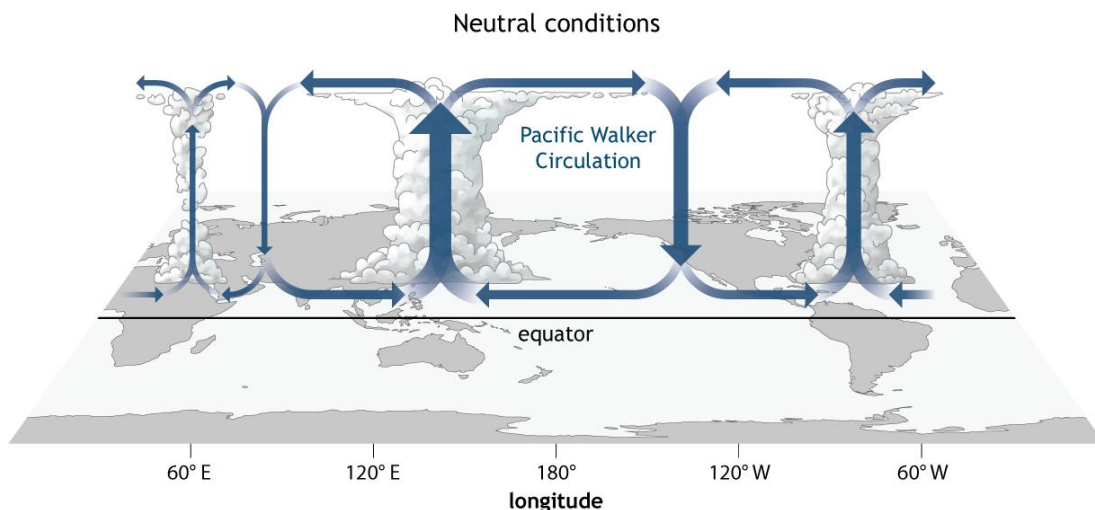
Tento jev se projevuje týdenními až měsíčními změnami zvýšené či naopak potlačené činnosti srážek nad částmi Austrálie. Období jeho výskytu nastává v měsících říjen-duben, tedy převážně v měsících australského léta, s periodicitou 30-60 dnů (Bureau of Meteorology, ©2022 i). Podle Zhang (2015) nástupy letního zejména australského a indického monzunu často souvisí s MJO, kdy při aktivní fázi tohoto jevu zvýší již tak silné srážky onoho monzunu. Chand (2017) dokonce zmiňuje, že ve své aktivní fázi podporuje aktivitu tropických cyklón a tento vztah (tedy MJO a tropických cyklón) může být ještě posílen za přítomnosti El Niño událostí.

#### 4.1.4 ENSO

ENSO je jedním z nejdůležitějších klimatických jevů díky své schopnosti ovlivnit a změnit globální atmosférickou cirkulaci. Zmíněná schopnost může mít dopad na změnu teploty či činnost srážek v různých částech světa. Jedná se o opakující se

klimatický jev, který se mimo jiné projevuje i kolísáním teploty povrchu moře v tropickém Pacifiku. Jak již vyplývá z názvu, tento jev je tvořen v podstatě dvěma složkami, jimiž jsou El Niño a jižní oscilace (NOAA & National Weather Service, ©2022).

Jižní oscilace podle Encyclopædia Britannica (©2012) tvoří atmosférickou složku rozebíraného fenoménu. Popisuje jižní oscilaci jako samostatný jev, jež spočívá v kolísání atmosférického tlaku nad tropickou Indo-Pacifickou oblastí. Slovník České meteorologické společnosti (©2017) definuje jižní oscilaci jako „*cyklické zesilování a zeslabování Walkerovy cirkulace v atmosféře tropického Tichomoří*“. Walkerova cirkulace, je uzavřená atmosférická cirkulace, která je přítomna v oblasti tropického Pacifiku. Pro tuto cirkulaci je typické východní proudění směrem k západnímu konci tropického Pacifiku ve spodní části troposféry, výstupy vzduchu v blízkosti Austrálie a Indonésie, zpětné proudění v horní části troposféry a následné sestupy vzduchu ve východní části, které uzavírají tuto cirkulační buňku. Název Walkerova cirkulace přinesl Jacob Bjerknes v roce 1969 na počest Gilberta Walkera (Česká meteorologická společnost, ©2017), který objevil jižní oscilaci a byl prvním člověkem, který popsal zmíněné změny tlaku v oblastech Indonésie a tropického Pacifiku. V té době však nebylo známo ono propojení jižní oscilace s jevem El Niño. Až Jacob Bjerknes si v roce 1960 všiml spojitosti mezi změnami atmosféry a změnami v tropickém Pacifiku a tento vztah začal nazývat ENSO (NOAA & National Weather Service, ©2022).



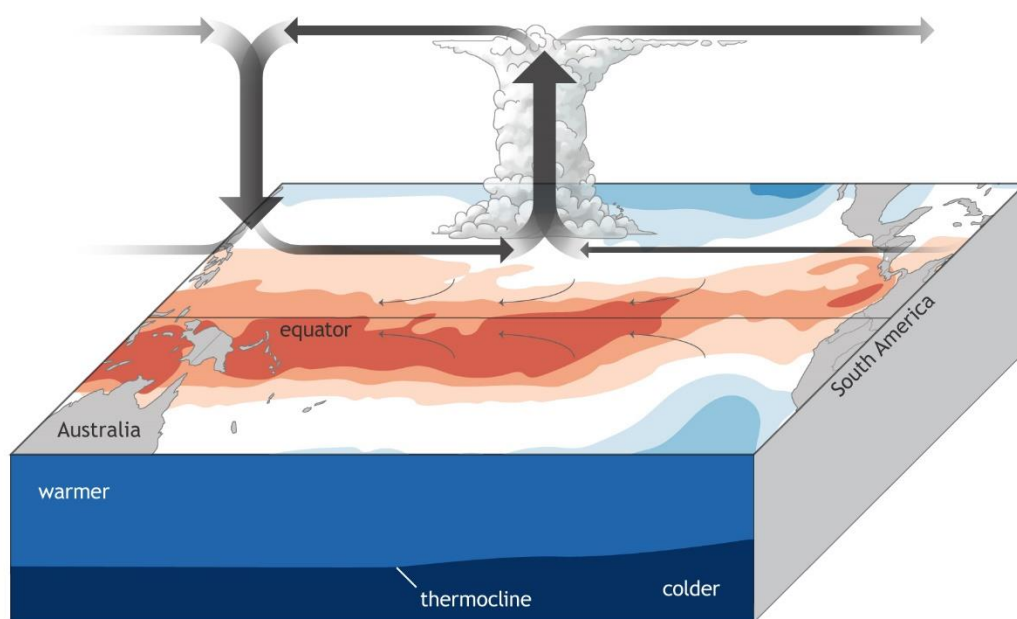
NOAA Climate.gov

Obrázek 3: Neutrální podmínky a Walkerova cirkulace (NOAA, 2021)

Výraz El Niño byl poprvé použit v 19. století v oblasti Peru a Ekvádoru tamními rybáři, kteří si díky úbytkům rybích úlovků všimli, že se zvýšila povrchová teplota oceánu. Protože tento jev dosahuje svého maxima v měsících listopad-leden, tedy v období kolem Vánoc, začali ho nazývat El Niño (WMO, ©2014), což v překladu ze španělštiny znamená chlapeček/jezulátko. Jak již bylo zmíněno, jedním z projevů teplé fáze ENSO, El Niño (obrázek 4), je ohřívání povrchové vody ve středním a východním tropickém Pacifiku. Obecně v tomto případě platí fakt, že čím teplejší je oceán, tím silnější je El Niño. Důsledkem ohřívání povrchu oceánu je na západní straně tropického Pacifiku, tedy v oblasti Indonésie a Austrálie, úbytek srážek a sucho, na východní straně a ve středu tropického Pacifiku naopak přibývání srážek (NOAA & National Weather Service, ©2022). Tato teplá fáze jevu ENSO je doprovázena zápornou fází jižní oscilace, při které dochází k zeslabení Walkerovy cirkulace. Ve východní části tropického Pacifiku dojde k poklesu tlaku vzduchu pod normální hodnotu, abnormálně vysoký tlak pokrývá oblast Indonésie a Austrálie (WMO, ©2014). Dochází tak ke snižování rozdílu tlaku, což má za následek zeslabení pasátů (Česká meteorologická společnost, ©2017), tedy zeslabení ekvatoriálního proudění a může se stát, že nastane i úplná změna směru proudění (NOAA & National Weather Service, ©2022). Zeslabí-li se pasáty, společně s nimi dojde i k zeslabení povrchových oceánských proudů (Česká meteorologická společnost, ©2017) a způsobí tím, že se teplá povrchová voda oceánu nedostává až do západní části tropického Pacifiku. Fáze El Niño často započne svou činnost v polovině roku, svého maxima, jak již bylo zmíněno, dosahuje během měsíců listopad-leden a poté nastává pokles. Někdy může trvat až 18 měsíců a vyskytne se jednou za zhruba 2 až 7 let. Následky této fáze mohou

být pokaždé trochu jiné, záleží na intenzitě, na ročním období, ve kterém se začne El Niño projevovat a na dalších klimatických jevech. Vliv El Niño je pozorovatelný pouze v některých regionech na světě, ovšem ani tam dopady nejsou vždy stejné (WMO, ©2014).

#### Atmosphere-ocean feedbacks during El Niño-Southern Oscillation El Niño

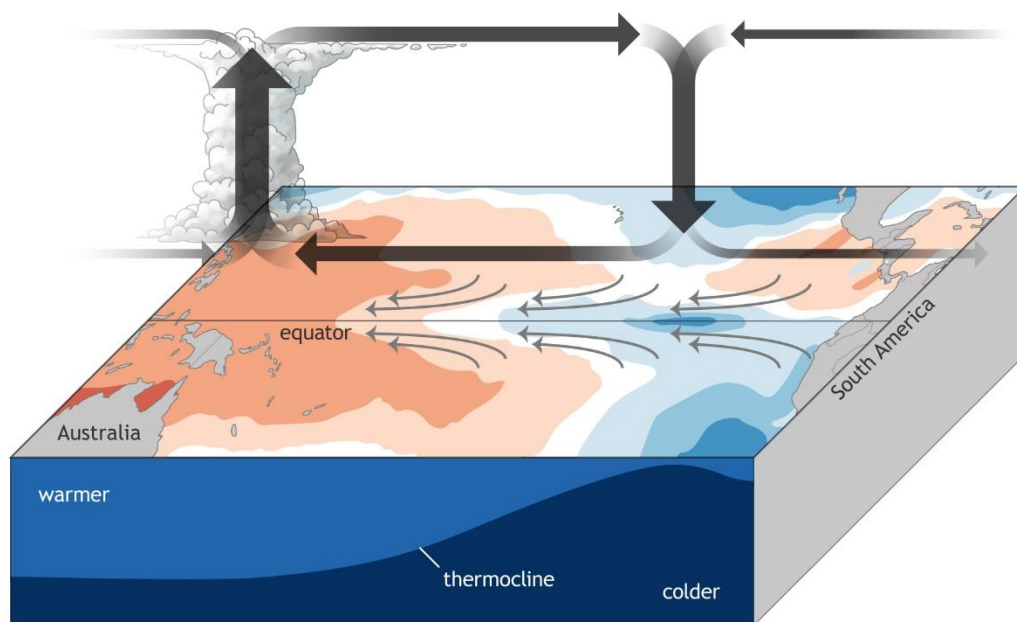


NOAA Climate.gov

Obrázek 4: Zpětná vazba oceánu a atmosféry během fáze El Niño (NOAA, 2021)

El Niño je tedy pouze jednou ze tří fází popisovaného klimatického jevu. Pro studenou fázi ENSO je používán výraz La Niña (obrázek 5). Tato fáze je přesným opakem fáze El Niño a je doprovázena kladnou fází jižní oscilace. La Niña spočívá v ochlazení povrchu oceánu, podél rovníku až o 3 °C oproti průměru (Česká meteorologická společnost, ©2017). Na tuto hodnotu mohou teploty klesnout ve středním a východním tropickém Pacifiku. V této oblasti nastává sucho, zatímco v oblasti Austrálie a Indonésie se vyskytují značné srážky (NOAA & National Weather Service, ©2022). Kvůli zmíněné kladné fázi jižní oscilace, ve které dochází k výraznému poklesu tlaku nad Indonésií a abnormálně vysokým hodnotám tlaku nad centrálním a východním tropickým Pacifikem (WMO, ©2014), se zvyšuje rozdíl tlaku vzduchu ve východních a západních částech této oblasti, což vede k zesílení pasátů (Česká meteorologická společnost, ©2017). Opět platí, že čím chladnější je oceán, tím silnější je tato studená fáze, La Niña (NOAA & National Weather Service, ©2022).

## Atmosphere-ocean feedbacks during El Niño-Southern Oscillation La Niña

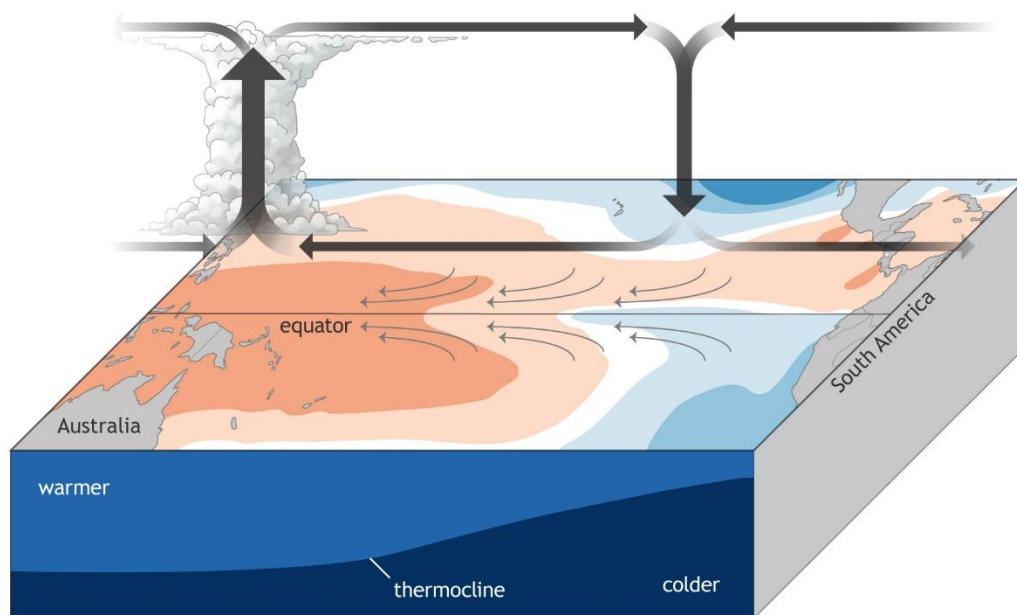


NOAA Climate.gov

Obrázek 5: Zpětná vazba oceánu a atmosféry během fáze La Niña (NOAA, 2021)

Výše popsané opačné, extrémní části ENSO, doplňuje fáze neutrální (obrázek 6). Pokud tato fáze nastane, oblast tropického Pacifiku je více ovlivňována jinými klimatickými jevy (WMO, ©2014). Občas dochází k situacím, kdy se z pohledu oceánské složky zdá, že by mohla nastat jedna z extrémních fází ENSO, ovšem atmosférická složka to nenaznačuje a tím pádem se nejedná ani o jednu z opačných fází ENSO. Během neutrální fáze je teplota povrchu moře průměrná a nedochází k žádným větším odchýlkám (NOAA & National Weather Service, ©2022).

## Atmosphere-ocean feedbacks during El Niño-Southern Oscillation Neutral



NOAA Climate.gov

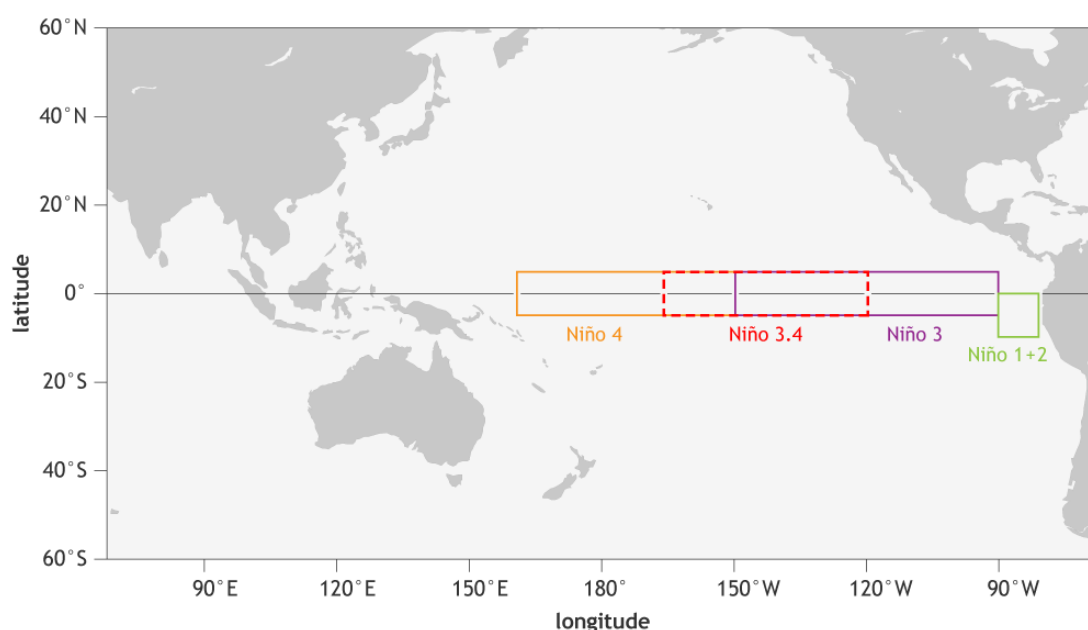
Obrázek 6: Zpětná vazba oceánu a atmosféry během neutrálního stavu (NOAA, 2021)

ENSO je tedy atmosféricko-oceánský systém, spojený s globální proměnlivostí klimatu (Encyclopædia Britannica, ©2012), který je tvořen třemi fázemi, přičemž extrémní fáze jsou doprovázeny kladnou či zápornou fází jižní oscilace.

Aby bylo možné nějakým způsobem sledovat momentální fázi jižní oscilace, a tím pádem do jisté míry pozorovat i jednu z extrémních, opačných fází ENSO, bylo vytvořeno několik indexů. Prvním z nich je SOI (Southern Oscillation Index, česky index jižní oscilace). Tento index je založen na znalosti faktu, že při jednotlivých fázích jižní oscilace dochází k opačným anomáliím tlaku v západní a východní části tropického Pacifiku, a porovnává tak výkyvy atmosférického tlaku redukovaného na hladinu moře (Česká meteorologická společnost, ©2017) oproti normálu v australském Darwinu a na ostrově Tahiti ve Francouzské Polynésii. Záporné hodnoty SOI značí abnormálně teplé vody oceánu ve východním tropickém Pacifiku, vyšší tlak v Darwinu a nižší tlak na Tahiti, a tedy fázi El Niño. Kladné hodnoty SOI naopak znamenají, že nastala studená fáze, La Niña. SOI je tradičním ukazatelem fáze jižní oscilace, není ovšem jediným možným způsobem, jak pomocí měření zjišťovat aktuální stav ENSO (NOAA, ©2022).

Dalším indexem, tradičně používaným Národním úřadem pro oceán a atmosféru (NOAA) ve Spojených státech, je ONI (Oceanic Niño Index). Tento index slouží ke sledování stavu fáze oceánské složky ENSO a zaměřuje se tedy na teplotu oceánu. Pracuje s tříměsíčními průměry povrchové teploty moře ve východním a centrálním tropickém Pacifiku. Pro tuto oblast je používána zkratka Niño-3.4 (obrázek 7). Zde zkoumá, zda se tyto tříměsíční průměry odchyľují od normální teploty. Pokud se hodnota ONI vychyluje oproti průměru alespoň o 0,5 °C, znamená to, že nastaly podmínky fáze El Niño a naopak – pokud je tato hodnota oproti průměru alespoň o 0,5 °C nižší, nastaly vhodné podmínky pro fázi La Niña (NOAA, ©2009).

Sea surface temperature



Obrázek 7: Oblast Niño-3.4 (NOAA, 2015)

## 4.2 Management, faktory, příčiny a dopady požárů

Jak v práci již bylo zmíněno, požáry jsou naprosto přirozenou součástí naší planety, a ne vždy se musí rovnat přírodní katastrofě. Oheň jako takový může posloužit i jako velice účinný a někdy i nezbytný managementový nástroj, který se používá jak pro udržování ekologických procesů a biologické rozmanitosti, tak pro zmírnění lesních požárů a ochranu majetku (Morgan et al., 2020). Tato řízená aplikace požáru/ohně je označována jako plánovaný požár, tedy požár, jehož cílem je spalování v důsledku snížení rizika požárů neplánovaných, a je prováděn za specifických podmínek na předem stanovené ploše (AFAC, ©2012). Jedním z cílů těchto řízených/plánovaných



požárů je snížení množství paliva (vegetace), jež patří mezi faktory hrající podstatnou roli v intenzitě a šíření požárů (Harris & Lucas, 2019).

Problémem Austrálie, který se silně projevil hlavně v sezóně ničivých požárů na přelomu roku 2019 a roku 2020, je neexistence centrálního systému pro shromažďování a uchovávání základních informací o požárech napříč jednotlivými státy a teritorii Austrálie. Vlády států, teritorií, a dokonce i agentury v rámci států, respektive teritorií, mají různé přístupy, což nebyl problém v případě menších požárů. Požáry sezóny 2019/20 ale překročily více státních hranic. Národní systém pro monitoring požárů se ukázal jako nevhodný a nesplňující účel, k němuž byl vytvořen, protože neposkytoval přesné informace o spálených oblastech a intenzitě požárů v reálném čase, když bylo třeba (Bowman et al., 2020). Forest Fire Management Group (©2014) má nicméně snahu zefektivnit management požárů, soustředí se na současné problémy v této problematice a stanovuje si několik cílů, kterými chce nejen dosáhnout efektivních řešení, ale zdůrazňuje také důležitost spolupráce mezi relevantními složkami, praktikování osvědčených postupů založených na spolehlivých vědeckých informacích a také zvyšování informovanosti veřejnosti.

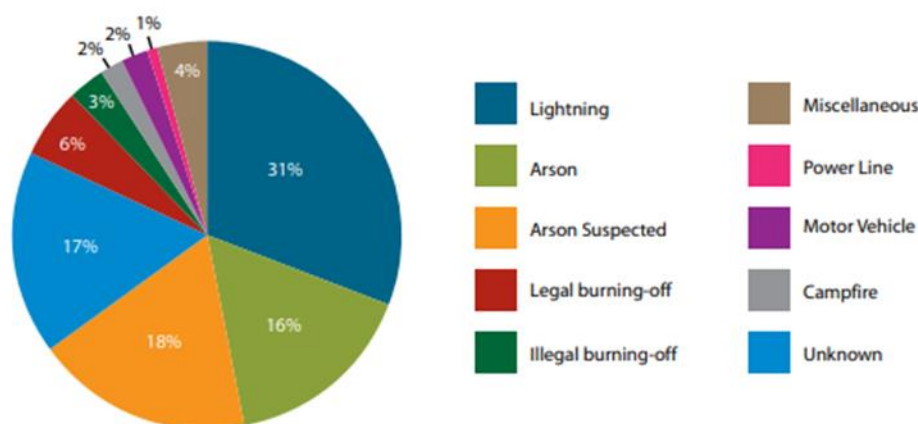
Kdy, kde a v jaké intenzitě se požár vyskytne závisí na čtyřech hlavních faktorech, mezi něž patří vznícení, množství a kontinuita paliva, suchost paliva a vhodné podmínky tzv. „požárního počasí“. Stav těchto faktorů je silně závislý na meteorologických podmínkách od krátkých a lokálních až po globální změny v oceánské a atmosférické cirkulaci (Harris & Lucas, 2019). Zmíněné požární počasí definuje určité meteorologické podmínky, za kterých dochází k výskytu ničivých lesních požárů (Verdon et al., 2004). Tyto podmínky utvářející požární počasí jsou v Austrálii převážně monitorovány pomocí FFDI (Forest Fire Danger Index). FFDI je index, který byl navržen A. G. McArthurem pro účely předpovědi nebezpečí vzniku požáru (Verdon et al., 2004). Tento index poskytuje hodnocení pravděpodobnosti vzniku požáru, rychlosti jeho šíření, jeho intenzity a obtížnosti jeho uhašení (Noble et al., 1980), a to na základě pozorování teploty, srážek, relativní vlhkosti a rychlosti větru v daný den (CSIRO & The Bureau of Meteorology, ©2020 b).

Mezi zmíněné faktory patří i množství a suchost paliva. Palivo velmi rychle reaguje na změnu vlhkosti v atmosféře a může se stát suchým v rozmezí týdnů až dnů. Mohou jím být jak živé, tak odumřelé části rostlin (odumřelé listy, větvičky), které na

atmosférickou vlhkost reagují rychleji než živá vegetace. Tento jemný odumřelý palivový materiál je tedy snazší zažhnout a kvůli jeho častému rozsáhlému pokrytí mnohdy může způsobit nebo alespoň udržet významnou požární aktivitu (Yuan et al., 2019).

K započetí jakéhokoli požáru je zapotřebí zdroj způsobující vznícení. Například NSW National Parks and Wildlife (2012) uvádí deset příčin vznícení v národních parcích a rezervacích Nového Jižního Walesu, které jsou vidět na obrázku 8. Nejčastější příčinou vznícení v těchto oblastech je blesk, představující 31 % případů z celkových 2886 událostí. Dalšími nejčastějšími příčinami v parcích, které se nachází v oblastech s vysokým počtem obyvatel, tvoří žhářství 16 %, existující podezření na žhářství 18 % a další nejzastoupenější příčinami jsou příčiny neznámé (17 %).

Figure 6: Cause of wildfire ignitions on parks and reserves 1995–2010 (n=2886)



Obrázek 8: Příčiny vzplanutí požárů v parcích a rezervacích Nového Jižního Walesu v období 1995-2010 (NSW National Parks and Wildlife, 2012)

Statista (©2022) uvádí, že od listopadu 2019 příčiny způsobené člověkem tvořily dohromady 48 %. Dalších 37 % příčin bylo vyhodnoceno tak, že existuje podezření na úmyslné zapálení (žhářství). Příčiny způsobené přírodou tvoří oproti předešlému zdroji pouze 6 %. Na častější příčiny způsobené lidskou činností poukazuje i Chuvieco (2009), který sice uznává, že požáry jsou procesem přirozeným a mohou být tak způsobeny faktory jako jsou blesky nebo sopečné erupce, ale zmiňuje, že v celosvětovém měřítku je požár ovládan především lidskou činností, která způsobuje většinu požárů přímo či nepřímo.

Ačkoli jsou požáry vhodným managementovým nástrojem a mohou mít pozitivní účinky na vegetaci (Fidelis, 2020), na druhé straně s sebou přináší určitá rizika a negativní dopady. Podle Chuvieco (2009) představují jeden z nejkritičtějších dopadů požárů emise plynů, které jsou uvolňovány při spalování. Množství těchto plynů uvolněných za rok představuje více než polovinu množství celkových emisí způsobených spalováním fosilních paliv. Například australské Ministerstvo průmyslu, vědy, energetiky a zdrojů odhadlo, že za požární sezónu 2020 (k 11. únoru 2020) požáry uvolnily 830 milionů tun CO<sub>2</sub>E (ekvivalentu oxidu uhličitého), což představuje množství skleníkových plynů, které se svým potenciálem dopadu na globální oteplování rovná 830 milionům tun CO<sub>2</sub> (Department of Industry, Science, Energy and Resources, ©2020). V neposlední řadě požáry představují rizika pro lidské životy a zdraví v důsledku znečištění vzduchu kouřem, popelem a pevnými částicemi produkovanými během procesu pálení (Chuvieco, 2009), ale také rizika pro ztráty na majetku (Morgan et al., 2020).

### **4.3 Historie požárů v Austrálii**

Požáry jsou nedílnou součástí Austrálie už asi 30 miliónů let – od posledního rozpadu superkontinentu Gondwana. Ne vždy k nim však docházelo v celé oblasti. Nejdříve byl jejich výskyt typický hlavně pro severozápadní část kontinentu a postupně docházelo k rozšíření podmínek vhodných pro výskyt požárů po pevnině, jak se kontinent unášel směrem na sever (Beard, 1977). V této práci byla pozornost směřována primárně k jihovýchodní části australského kontinentu, jehož součástí je oheň podstatně kratší dobu, minimálně posledních 5 miliónů let. Dnešní podoba australské krajiny je však výsledkem požárů a klimatických podmínek za posledních 12 000 let (Kershaw et al., 2002).

Jak již vyplývá z předchozího odstavce, oheň je dominantním a přirozeným rysem australské krajiny a sehrál také významnou roli ve vývoji australské bioty (Recher & Christensen, 1981). Vzhledem k tomu, že historie požárů v Austrálii je opravdu dlouhá, není překvapením, že se velká část původní australské vegetace vyvinula tak, aby byla tolerantní vůči ohni (Morgan et al., 2020). Nutno podotknout, že na utváření specifických vlastností tamní flóry, ale i krajiny, měly značný podíl také klimatické změny. Ty vždy vedly ke změnám tzv. režimů požárů (Kershaw et al., 2002), jež jsou definovány frekvencí, sezónou, rozsahem a intenzitou (Keeley et al., 2011). Jejich

znalost a znalost jejich chování v minulosti je velice přínosná a pomáhá odvodit, jaký vliv budou mít klimatické změny na režimy požárů v budoucnu (Morgan et al., 2020).

### 4.3.1 Nejvýznamnější požární události

#### Black Friday

Black Friday (černý pátek) byl pojmenován den 13. ledna 1939, který představoval vyvrcholení požárů trvajících od prosince 1938 po dlouhém období sucha, které trvalo několik let. Požáry Black Friday, rozdmýchané silnými větry, zasáhly téměř všechny části státu Victorie s celkovou spálenou plochou, která se vyšplhala až ke 2 milionům ha. Velké kusy hořící kůry byly přenášeny na kilometry daleko a zakládaly nové požáry na místech, kde se dříve nevyskytovaly. Tyto požáry si vyžádaly 71 lidských životů, tisíce mrtvých zvířat, bylo zničeno více než 650 budov a s nimi taktéž některá města. Devastace požáry skončila v neděli 15. ledna poté, co začalo pršet na většině kontinentu. Tyto rozsáhlé škody nebyly výsledkem pouze silných větrů, které umožňovaly snazší šíření požárů, ale i činností tamních pastevců a lesníků, kteří kvůli vypalování ploch půdy způsobili vznik některých požárů (Forest Fire Management Victoria, ©2022 b).

#### Ash Wednesday

Požáry Ash Wednesday (popelční středy) se řadí mezi jedny z nejvýznamnějších a nejničivějších požárů v Austrálii. Během tohoto dne se vyskytlo více než 100 požárů, které se přehnaly přes Victorii a Jižní Austrálii (Forest Fire Management Victoria, ©2022 a). Tato událost se odehrála 16. února 1983, v jejím důsledku zemřelo celkem 75 lidí a bylo zničeno asi 2 500 domů (Cai et al., 2009). Příčinou vysokého nebezpečí požáru ve Victoriiných eukalyptových lesích byla kombinace vysokých teplot, které na mnoha místech vystoupaly až nad 40 °C, intenzivního větru, a nejen nízkých letních srážek, ale také sucha trvajících déle než 10 měsíců. Srážky v zimě a na jaře v předcházejícím roce byly až o 75 % nižší oproti předchozím rokům. Kromě požárů se krátce před Ash Wednesday jižní Austrálie potýkala taktéž s rozsáhlou prachovou bouří, která vznikla v důsledku vzednutí až 200 000 tun vysušené půdy silným větrem, což v kombinaci s kouřem z požárů a sníženou viditelností podstatně ztěžovalo činnost hasičů. Klíčovým faktorem byl vítr, který v odpoledních hodinách

nabral na síle a vytvářel dlouhé úzké požáry, které se posouvaly na jih. Později však došlo ke změně směru větrů, což způsobilo náhlé změny směru i velikosti požárů. Po této změně směru větrů se dlouhá boční strana požárů stala přední částí a požár se tak rozšířil na mnohem větší plochu. K většině ztrát na životech došlo hodinu po změně větru (Forest Fire Management Victoria, ©2022 a).

### Black Saturday

Černá sobota (Black Saturday) byla jistým vyvrcholením velkých požárů, které se ve Victorii odehrávaly v letních sezónách mezi lety 2002-2009. Ty začaly velkým prosincovým požárem v poušti v roce 2002, jehož příčinou byl blesk, doprovázen nepříznivými povětrnostními podmínkami, vysokými teplotami, a nakonec spálily přes 180 000 ha. Následovaly Východní Victoriánské alpské požáry v lednu 2003. Některé požáry nebylo možné uhasit, spojily se a vytvořily největší požáry ve Victorii od roku 1939 (Black Friday). Významné požáry nastaly taktéž na přelomu 2005-2006, kdy vypuklo více než 500 požárů během jednoho měsíce, a na přelomu let 2006-2007 s celkovou spálenou plochou 1 200 000 ha. Z této celkové spálené plochy tvořily 1 048 238 ha dva nejzávažnější požáry, The Great Divide North and South, které se povedlo uhasit v polovině února po 59 dnech (Attiwill & Adams, 2013).

Požárům Black Saturday předcházela jedna z nejextrémnějších vln veder v historii Austrálie trvající od 27. ledna do 8. února. Ohnisko těchto vln veder bylo ve Victorii, kde 24 ze 35 stanic naměřilo historicky rekordní teploty, přičemž na letišti Hopetoun byl naměřen doposud Victoriánský státní rekord 48,4 °C (Australian Bureau of Statistics, 2010). Tato vlna veder byla nejzávažnější a nejdéle trvající v historii s rekordními třemi po sobě jdoucími dny s teplotou vyšší než 43 °C. Teplota byla 7. února, onoho významného dne Black Saturday, rekordní i v hlavním městě Victorie Melbourne se 46,4 °C, čímž překonala předchozí rekord 45,6 °C z Black Friday (Attiwill & Adams, 2013). Maximální teploty se navíc pohybovaly až 23 °C nad únorovým průměrem (Bureau of Meteorology, ©2022 f).

Nejhorším požárem Black Saturday se stal požár Kilmore East, který spálil 100 000 ha z celkových 450 000 ha připadajících na tento den za méně než 12 hodin a jež tvořil příčinu 70 % z celkových 170 úmrtí. Tento požár byl poháněn kombinací extrémně suchého paliva a větrem o síle vichřice. Rychlost tohoto požáru kolísala mezi 68-153

m/min (Cruz et al., 2012). Ztráta desítek tisíc hospodářských zvířat a zničení více než 2 000 domů při tomto požáru bylo pravděpodobně ovlivněno rekordně dlouhotrvajícím suchem, které trvalo více než 10 let (Cai et al., 2009).

### Black Summer

Požárům černého léta (Black summer; 2019-2020), podobně jako požárům Black Saturday, předcházela dlouhá období vln veder na většině území Austrálie. Tato období vln veder započala již na začátku prosince 2018 a pokračovala do ledna 2019, kdy se měsíční průměr teploty pohyboval 2,9 °C nad průměrem a stal se tak nejteplejším měsícem v historii. Následující jaro bylo rekordně nejsušší a páté nejteplejší v historii (Filkov et al., 2020). Tyto podmínky umožnily požárům započít svoji aktivitu již v červnu 2019, tedy na počátku australské zimy, v severovýchodní Austrálii a mezi zářím 2019 a březnem 2020 docházelo k nekontrolovatelnému vypálení rozsáhlých oblastí lesů v Novém Jižním Walesu, Victorii a Teritoriu hlavního města Austrálie (Wang & Cai, 2020). Aktivita požárů v zimě je neobvyklou událostí, což potvrzují Canadell et al. (2021), podle kterých dříve bylo typické započítí lesních požárů na jaře a v létě, což dnes již není zaručeno a dochází k prodlužování sezón požárů. Celkově byl však rok 2019 poměrně bohatý na rekordy, a kromě zmíněného nejteplejšího měsíce a nejsuššího jara se rok 2019 stal rekordně nejsušším rokem pro Austrálii, a to díky nízkým srážkám, které se v tomto roce pohybovaly 40 % pod průměrem (Filkov et al., 2020).

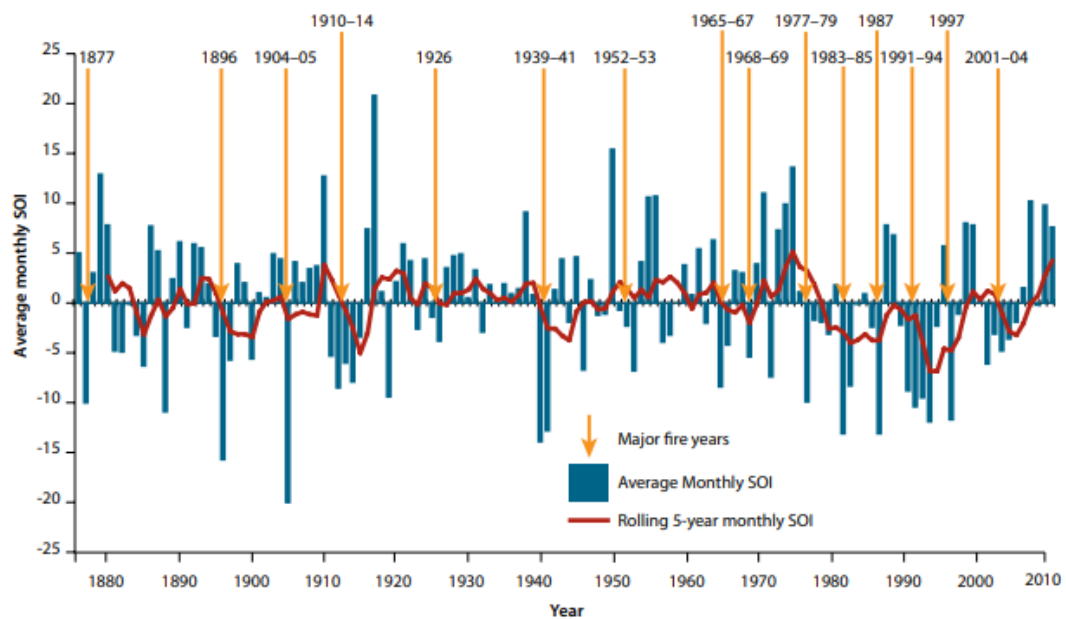
Odhady škod napáchaných během požárů Black Summer na začátku března 2020 činily zhruba 18 000 000 ha spálené plochy a 59 000 zničených budov. Požáry si také vyžádaly asi miliardu zvířecích obětí (Wang & Cai, 2020), přímo způsobily 33 úmrtí a dalších téměř 450 v důsledku vdechování kouře (Canadell et al., 2021).

## **4.4 Vliv ENSO na Austrálii a souvislost s požáry**

V kapitole věnované popisu ENSO (4.1.4) bylo naznačeno, že může během svých extrémních fází způsobovat změny v podmínkách klimatu mimo jiné také v Austrálii. Tato kapitola se zabývá celkovým vlivem ENSO na Austrálii a možné souvislosti aktivity ENSO (především El Niño) s požáry.

ENSO je považováno za hlavní hnací motor proměnlivosti klimatu v Austrálii, a to hlavně v otázce variability srážek, zejména ve východní Austrálii (Australia State of the Environment, ©2016). Podle Bureau of Meteorology (©2021) se fáze El Niño projevuje nejen ve východní, ale také v severní části kontinentu sníženou činností srážek (obvykle během zimy a jara). To potvrzuje i fakt, že devět z deseti nejsušších zimních a jarních období zaznamenaných ve východní Austrálii nastalo právě v letech, kdy byla fáze El Niño aktivní. Pro výskyt rozsáhlého sucha však vždy fáze El Niño není podmínkou a její síla není přímo úměrná dopadům na srážky, což znamená, že velmi slabá událost El Niño může způsobit rozsáhlé intenzivní sucho a naopak. NSW National Parks and Wildlife (2012) také zmiňuje, že podmínky El Niño obecně vedou k podprůměrným srážkám a dodává, že se během El Niño událostí zvyšuje výskyt a rozsah požárů. Tento pozitivní vztah mezi velkými požáry a negativními hodnotami SOI (znázorňující El Niño) NSW National Parks and Wildlife (2012) vyobrazili na obrázku 9. Dále je v publikaci zmíněno, že některé z nejvýznamnějších zaznamenaných požárů v Novém Jižním Walesu naopak nastaly po epizodách La Niña, kdy v této oblasti podmínky obecně vedou k nadprůměrným srážkám. V těchto významných požárních sezónách se však požáry vyskytly v pastvinách západního Nového Jižního Walesu, kde požáry vykazují odlišné vzorce ve srovnání s lesy východního Nového Jižního Walesu. V těchto pastvinách následuje požár právě po silném dešti v důsledku nadprůměrného růstu bylin a trav. Dojde tak k nárůstu plochy potenciálního paliva a není nutná dlouhá doba procesu vysychání vegetace, na rozdíl od lesů (NSW National Parks and Wildlife, 2012). El Niño se během 10 let objeví zhruba 2x-3x a od roku 1980 výskyt této fáze převažuje nad fází La Niña. La Niña události byly naopak časté v 50. letech 20. století (Australian Bureau of Statistics, 2010).

Figure 3: Southern Oscillation Index and major bushfire occurrence in NSW 1876–2009



Obrázek 9: SOI a výskyt velkých požárů v Novém Jižním Walesu mezi lety 1876-2009 (NSW National Parks and Wildfire, 2012)

Během události El Niño je také tendence zaznamenávat vyšší než průměrné teploty ve většině jižní Austrálie, a to zejména ve druhé polovině roku (jaro-léto). V pobřežních oblastech na jihu Austrálie bývají intenzivnější denní extrémy horka právě během El Niño let. Směrem na sever je pak tato fáze spojena s nárůstem počtu extrémně horkých dnů, a i s vícedenními teplými obdobími. Na druhé straně však nízká oblačnost doprovázející El Niño vede k podprůměrným nočním teplotám během zimy a jara. V oblasti Nového Jižního Walesu a Victorie tak mohou během těchto událostí zažít o 15-30 % více mrazových dnů oproti průměru, což má negativní dopady na zemědělství. S tím souvisí i rekordně nejnižší teplota, která byla v Novém Jižním Walesu pozorována v roce 1994, právě v roce El Niño (Bureau of Meteorology, ©2021).

Možná souvislost australských požárů s aktivitou ENSO byla již dříve prozkoumána v některých vědeckých pracích a níže jsou popsány některé z nich, přičemž pozornost byla věnována i odlišnostem v postupech.

Cílem Harris & Lucas (2019) bylo zodpovědět otázku časoprostorové variability požárního počasí v Austrálii na meziročních i vícedekádových měřítcích. Pomocí korelačních analýz se snažili vyvodit vztahy mezi vybranými klimatickými jevy, včetně ENSO, a FFDI pomocí 39 historických časových řad od roku 1873-2017



s ohledem na roční období. Hodnoty FFDI byly vypočteny na základě staničních měření a pro pozorování aktivity ENSO byl použit NINO3.4 SST index. Výsledkem byly silnější či slabší pozitivní korelace v jednotlivých ročních obdobích mezi FFDI a NINO3.4 SST, a to na celém území Austrálie. Obecně byly hodnoty FFDI vyšší, když byla přítomna fáze El Niño. Nejvýznamnější korelace byla nalezena ve východní Austrálii, a to během celého roku. Během měsíců březen-květen (australský podzim) byly korelace spíše slabší. Silnější vztahy se začaly rozvíjet během zimy (červen-srpen) v Severním teritoriu, Novém Jižním Walesu a ve Victorii, nebezpečí požáru ale zůstalo poměrně nízké. Nejsilnější vztah NINO3.4 SST a FFDI se projevil během jarních měsíců. Během léta byly korelace stále významné, nicméně s menší prostorovou stopou než na jaře. Potvrdilo se tedy, že podmínky El Niño obecně vedou k extrémnějšímu požárnímu počasí, a to nejvíce ve východní Austrálii. Na jihovýchodě je dopad El Niño umocněn v situaci, kdy jsou zároveň pozorovány podmínky signalizující pozitivní fázi IOD. Období La Niña naopak může výrazně snížit nebezpečí požárního počasí.

Ve studii Mutli-decadal variability of forest fire risk – eastern Australia (Verdon et al., 2004) je popsán podobný postup, ovšem zájmové území se zúžilo pouze na stát Nový Jižní Wales. V této studii se snažili zjistit mj. vliv ENSO na dlouhodobé denní podmínky počasí související s vysokým rizikem nebezpečí požáru. Pro výpočet denní hodnoty indexu FFDI byla použita historická data (denní záznamy srážek, maximální teploty, teploty rosného bodu a průměrnou rychlost větru) ze 22 různě umístěných stanic po státě Nový Jižní Wales a byl zkoumán vztah mezi FFDI a ENSO, podobně jako v předchozí práci. V tomto případě však hodnoty ENSO získávali z indexu MEI (Multivariate ENSO Index). Pro každou ze 22 meteorologických stanic se vypočetl počet dnů mezi zářím a únorem (včetně), kdy byla hodnota FFDI  $>12$ , což je hodnota, která ve stupnici FFDI znamená vysoké riziko požáru. Poté byl každý rok, pro který byl vypočten počet dní s vysokým rizikem požáru, přiřazen k fázím ENSO, které byly v daném roce aktivní. Pravděpodobnost výskytu denního vysokého rizika požáru během El Niño let se pak určila výpočtem podílu dnů, kdy byla FFDI  $>12$ , a to pro všechny zapojené stanice. Stejný postup byl použit pro zjištění pravděpodobnosti výskytu denního vysokého rizika požáru během let, kdy byla aktivní fáze La Niña nebo se vyskytovala fáze neutrální. Výsledky ukázaly, že určitý stupeň vysokého rizika požáru během září-února existuje na všech stanicích. Obecně nižší riziko se vyskytlo

podél pobřeží, kde bývají úhrny srážek a relativní vlhkost vyšší než ve vnitrozemí. Na pobřeží je tedy riziko mnohem nižší než ve vnitrozemí. Pravděpodobnost výskytu vysokého nebezpečí požáru při srovnání El Niño let se všemi ostatními roky narostla v průměru napříč 22 stanicemi o 51 %. Nejsilnější vliv El Niño se projevil v jihovýchodní části Nového Jižního Walesu, kde se na dvou stanicích zvýšila pravděpodobnost výskytu vysokého nebezpečí požáru při El Niño událostech o 121 % a 170 %.

Poslední rozebranou vědeckou prací je článek ENSO controls interannual fire activity in southeast Australia (Mariani et al., 2016). V tomto článku se autoři snaží zjistit vztah mezi ENSO a výskytem požárů v jihovýchodní Austrálii. Pomocí korelační mapy mezi ročními/sezónními úhrny srážek a indexem SOI vizualizovali prostorový vliv ENSO na srážky v zájmovém území. Data úhrnů srážek byla použita z 1208 meteorologických stanic pro období 1961-1990. Dalším krokem bylo zjistit zmíněný vztah mezi ENSO a výskytem požárů, jež byl sledován pomocí dvou metrik – počtu výskytů požárů a spálené plochy. Následně byl určen vztah mezi ročními/sezónními hodnotami SOI a požární aktivitou pomocí analýzy Superposed Echo Analysis (SEA). V této analýze použili významné roky požárů a roky bez požárů v období 1951-2014 v kombinaci se zmíněnými SOI hodnotami. Tato analýza odhalila, že požární aktivita má významnou souvislost se SOI v celém sezónním cyklu, který vede k požární sezóně. Při fázi El Niño bylo objeveno jasné propojení, a to jak s počty požárů, tak se spálenou plochou. Roky bez požárů (roky s anormálně nízkým výskytem požárů) odpovídaly výskytu fázi La Niña. SEA tedy ukázalo, že ENSO má vliv na požární aktivitu během vícero ročních období, s největší pravděpodobností kvůli srážkovým anomáliím souvisejícím s ENSO.

Kromě dopadů na teploty a srážky a pravděpodobné souvislosti s požáry, má v Austrálii El Niño určitý pozitivní vliv na aktivitu tropických cyklón. Během El Niño let je v Queenslandu o 50 % méně pravděpodobné, že tropické cyklóny překročí pobřeží než v roce s neutrální fází. El Niño se také podílí na pozdějších nástupech monzunu nebo na snížení vrstvy sněhové pokrývky v australských alpských oblastech (Bureau of Meteorology, ©2021).

Ve výše popsaných studiích byla prokázána spojitost mezi požárním počasím a El Niño událostmi. Během těchto událostí roste i pravděpodobnost výskytu dnů

s vysokým nebezpečím požáru (nejvíce v jihovýchodní části Austrálie) a vliv těchto událostí na výskyt požárů se projevuje již v ročních obdobích, které předchází letní, požární sezóně. Navíc bylo dokázáno, že El Niño má vliv i na velikost spálené plochy a četnost požárů v sezóně. El Niño tedy připravuje dobré podmínky pro šíření požárů, nicméně (Mariani et al., 2016) zdůrazňuje, že požární aktivita musí být započata vznícením.

# 5. Metodika

## 5.1 Použitá data

Data požárů byla získána z webových stránek iniciativy SEED (©2022), což je centrální zdroj vlády Nového Jižního Walesu pro sdílení a poskytování environmentálních dat. Jedná se o polygonová data reprezentující zasažené plochy řízených/plánovaných či neplánovaných požárů v jednotlivých sezónách, zhruba od začátku 20 století. Tato data byla pro potřeby práce převedena na body, reprezentující centroidy jednotlivých požárních událostí, a byly vybrány pouze záznamy od sezóny 1949/50, z důvodu občasných mezer v datech v podobě chybějících sezón, do sezóny 2019/20.

Data území Nového Jižního Walesu byla získána z centrálního zdroje australských vládních otevřených dat (Australian Government & data.gov.au, ©2022).

Pro sledování průběhu ENSO byla použita data SOI, jež je možné získat z webových stránek úřadu australské vlády pro meteorologii, Bureau of Meteorology (©2022 h). Jedná se o měsíční data reprezentující vývoj ENSO.

## 5.2 Sledování vývoje ENSO pomocí SOI ve vybraných sezónách

V sezónách významných z pohledu velikosti spálené plochy a četnosti požárů byl detailněji sledován měsíční vývoj ENSO pomocí zmíněného SOI, a to vždy celkem ve 24 měsících. Jak již bylo zmíněno, ENSO má podle Harris & Lucas (2019) vliv na požární sezónu v ročních obdobích předcházejících požární sezóně, ale také v době výskytu požárů. Je tedy důležité sledovat vývoj zejména v měsících předcházejících sezóně, nicméně byl vždy zobrazen vývoj též v měsících nadcházejícího roku z důvodu neexistence přesného data konce požární sezóny. Protože se El Niño v Austrálii projevuje především zvýšenými teplotami a sníženými srážkami či suchem, pozornost bude věnována především této teplé fázi ENSO.

Pokud SOI nabývá hodnot  $-7$  a méně a tyto hodnoty se vyskytují v několika po sobě jdoucích měsících, pravděpodobně se bude jednat o fázi El Niño. Pokud by SOI trvale

nabývalo hodnot 7 nebo vyšší než 7, pravděpodobně se bude vyskytovat fáze La Niña (Bureau of Meteorology, ©2022 g).

Bureau of Meteorology vyvinul výstražný systém pro El Niño/jižní oscilaci, ENSO Outlook, jehož úkolem a cílem je poskytnout včasnou informaci o možném vývoji El Niño/La Niña a pomoci tak efektivnímu plánování a přípravě před samotnou událostí. Aktuální stav je určen kritérii a expertními analýzami klimatologů zmíněného úřadu. ENSO Outlook může nabývat fází, jež byly klimatologové a oceánografy navrženy tak, aby odrážely míru pravděpodobnosti, že událost ENSO může v nadcházející sezóně nastat. Níže jsou popsány fáze a zmíněna některá kritéria, která musí být pro jednotlivé fáze splněna, aby tyto fáze mohly být považovány za aktivní (Bureau of Meteorology, ©2022 b).

El Niño WATCH je první fáze, která může nastat po tzv. INACTIVE (neaktivní) fázi. Znamená zvýšenou pravděpodobnost, že El Niño v následující sezóně nastane. Taková fáze musí splňovat alespoň jedno z několika kritérií (např. výrazné podpovrchové oteplování v západním nebo středním rovníkovém Pacifiku) a říká, že po splnění těchto kritérií v minulosti se El Niño vyvinulo v 50 % případů. Další fáze, opět zvyšující pravděpodobnost výskytu El Niño, je El Niño ALERT. Ta opět musí splňovat alespoň tři ze čtyř kritérií (např. došlo k zeslabení pasátů pod průměr v západním nebo centrálním rovníkovém Tichém oceánu během jakýchkoli dvou z posledních tří měsíců, dvouměsíční průměr SOI je  $-7$  a méně). Když tato kritéria byla splněna v minulosti, El Niño se vyvinulo v 70 % případů. Poslední fází je fáze EL NIÑO. I v tomto případě musí být splněna alespoň tři kritéria z daných čtyř (např. teploty v oblastech NINO3 nebo NINO3.4 jsou oproti průměru o  $0.8$  °C vyšší, došlo k zeslabení pasátů pod průměr v západním nebo centrálním rovníkovém Tichém oceánu během jakýchkoli tří ze čtyř měsíců, tříměsíční průměr SOI je  $-7$  a méně) (Bureau of Meteorology, ©2022 b).

### **5.3 Sledování prostorového rozložení požárů**

Prostorové rozložení požárů bylo ve vybraných sezónách sledováno za použití Kernel Density pro sledování hustot požárů a za použití nástroje založeného na Ripleyho K-funkci pro sledování jejich změn v distribuci a prostorové závislosti (shlukování/rozptyl). Praktická část se věnovala také sledování vztahů mezi

plánovanými a neplánovanými požáry pomocí jejich vzájemných vzdáleností. Přístupy, které byly v těchto analýzách použity, jsou popsány níže.

### 5.3.1 Hustoty požárů: Kernel Density

KDE (Kernel Density Estimation, česky jádrový odhad hustoty) je jedním z nejznámějších přístupů odhadu základní funkce hustoty pravděpodobnosti souboru dat (Chen, 2017). Umožňuje uživateli lépe analyzovat studované rozdělení pravděpodobnosti, například oproti použití tradičního histogramu (Węglarczyk, 2018). KDE v zásadě vyhlazuje každý datový bod pomocí jádrových funkcí, které se k získání konečného odhadu hustoty sečtou. V oblastech s mnoha pozorováními bude mít KDE velkou hodnotu díky mnoha nerovnostem, naopak pro oblasti pouze s několika málo pozorováními bude hodnota hustoty nízká. Ve výsledném tvaru odhadu hustoty hraje zásadní roli především vyhlazovací parametr, tzv. bandwidth (neboli šířka pásma), který určuje stupeň vyhlazení výsledného odhadu (Chen, 2017). Příliš malá hodnota tohoto parametru může způsobit, že odhad zobrazí nepodstatné detaily, zatímco příliš velká hodnota bude mít za následek vyhlazení informací obsažených v datech, čímž může zamaskovat některé důležité vlastnosti (Węglarczyk, 2018).

Na tomto principu funguje nástroj Kernel Density v softwaru ArcGIS, který byl použit pro výpočet hustoty požárů ve studovaném území. Důležitým parametrem nástroje je radius představující zmíněný vyhlazovací parametr, jehož výpočet je v případě výchozího nastavení dán vzorcem:

$$SearchRadius = 0.9 * \min \left( SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * D_m} \right) * n^{-0.2}$$

kde  $D_m$  je medián vzdáleností od mean center,  $n$  je počet bodů (událostí) a  $SD$  je standard distance. Tento přístup je založen na vzorci odhadu šířky pásma podle Silvermanova pravidla. Výsledkem je rastr reprezentující počet událostí na jednotku plochy, v tomto případě počet požárů na km<sup>2</sup> (ESRI, ©2022 a).

### 5.3.2 Prostorová závislost požárů: Ripleyho K-funkce

Ripleyho K-funkce je nástroj používaný k charakterizaci síly prostorové závislosti bodových vzorců ve více měřítcích (Smith et al., 2014). Používá se k testování hypotéz

o náhodnosti dat, shlukování a pravidelnosti. Ripleyho K-funkce umožňuje pozorovat, jak se může rozložení vzorců bodů měnit v závislosti na měřítku, což je důležitá vlastnost, protože většina charakteristik prostorových procesů je na měřítku závislá a jejich charakteristiky se mohou napříč různými měřítky měnit (Krivoruchko, 2011). Je to funkce, která kvantitativně popisuje prostorovou organizaci jakéhokoli bodového procesu v několika měřítcích (na několika vzdálenostech) tím, že bere v úvahu spíše všechny sousedy než pouze ty nejbližší (Lagache et al., 2013). Pokud jsou prvky shlukovány, Ripleyho K-funkce je větší, než by byla pro náhodně rozložené body. Pokud jsou naopak body v prostoru rozmístěny pravidelně, průměrná hustota sousedů je menší než průměrná hustota náhodně rozmístěných bodů a Ripleyho K-funkce je relativně malá. Pokud je bodový vzorec blízko náhodně rozmístěným bodům, je vhodné použít normalizovanou Ripleyho K-funkci, L-funkci, která snižuje variabilitu dat. Prvky bodových procesů lze navíc snadněji vizualizovat a interpretovat pomocí L-funkce, která umožňuje snadněji detekovat odchylky od této funkce (Krivoruchko, 2011).

Nástroj Mutli-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripley's K Function) softwaru ArcGIS je založen na Ripleyho K-funkci. Matematicky nástroj využívá zmíněnou transformaci K-funkce, L-funkci. Je dána vzorcem:

$$L(d) = \sqrt{\frac{A \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N k(i, j)}{\pi N(N-1)}}$$

kde  $A$  je plocha,  $N$  je počet bodů,  $d$  je vzdálenost a  $k(i, j)$  je váha, která je rovna 1, když je vzdálenost mezi  $i$  a  $j$  menší nebo rovna  $d$ , a 0, když je vzdálenost mezi  $i$  a  $j$  větší než  $d$ . Očekávaná K hodnota je rovna vzdálenosti ( $d$ ).

Výstupem tohoto nástroje je tabulka s poli obsahující očekávané K hodnoty (ExpectedK) a pozorované K hodnoty (ObservedK), případně graf. Volitelným parametrem jsou tzv. obálky spolehlivosti (intervaly spolehlivosti). Tato obálka spolehlivosti je vytvořena náhodným rozdělením bodů (tzv. permutace) ve zkoumané oblasti a výpočtem  $L(d)$  pro toto rozdělení. Tento parametr lze volně převést na úroveň spolehlivosti a v případě, že je specifikován, budou součástí výstupní tabulky také pole s názvem LwConfEnv a HiConfEnv (ESRI, ©2022 b).

### 5.3.3 Vztahy mezi plánovanými a neplánovanými požáry: Near

Posledním nástrojem, který byl pro určení prostorového rozložení požárů použit, je nástroj Near. Tento nástroj počítá vzdálenost mezi vstupními prvky a nejbližším prvkem v jiné vrstvě nebo třídě prvků (ESRI, ©2022 c) a byl použit pro zjištění vztahů mezi plánovanými a neplánovanými požáry od sezóny 1969/70 z důvodu chybějících souvislých ročních záznamů u plánovaných požárů. Cílem bylo zjistit vzdálenosti plánovaných požárů k neplánovaným.



## 6. Charakteristika studijního území

Austrálie je nejmenší kontinent světa ležící na jižní polokouli. Na ploše téměř 7,7 mil. km<sup>2</sup> žije podle Australian Bureau of Statistics (2022) více než 25 mil. obyvatel. Na zhruba 12 000 ostrovů spadající pod Austrálii připadá 750 tis. km<sup>2</sup>, což činí zhruba 8,5 % z celkové rozlohy pevniny. Austrálie se rozkládá po obou stranách obratníku Kozoroha (23° 26' 14.440" j.š.), který kontinent protíná přibližně v polovině, a je omývána na třech stranách otevřeným oceánem. Od nejsevernějšího k nejj jižnějšímu bodu je vzdálenost rovna 3 200 km, od západu k východu je největší šířka rovna vzdálenosti 4 100 km (Culek et al., 2013). Většina kontinentu je v relativně nízké nadmořské výšce s méně než 1 % země nad 1 000 m. n. m. Nadmořské výšky přesahující 2 000 m se nacházejí pouze v oblasti Sněžných hor v Novém Jižním Walesu, přičemž nejvyšším vrcholem je Mount Kosciuszko 2 228 m. n. m (Australian Bureau of Statistics, 2006).

Nový Jižní Wales, ve kterém je v rámci této práce sledována aktivita požárů, je jedním ze států jihovýchodní Austrálie a nejlidnatějším státem Austrálie s více než 8 mil. obyvateli (NSW Government, ©2022). Jedná se také o nejstarší a největší stát Austrálie s rozlohou přes 800 tis. km<sup>2</sup>. Je ohraničen Tichým oceánem na východě a státy Victoria na jihu, Jižní Austrálie na západě a Queensland na severu (Encyclopædia Britannica, ©2021). Nový Jižní Wales je rozdělen podle přírodních prvků do čtyř odlišných geografických sekcí. První z nich je pobřeží, jehož pás je dlouhý 1 460 km a táhne se od subtropické oblasti Northern Rivers poblíž Queenslandu až ke chladnějšímu jižnímu pobřeží. Druhou geografickou sekcí jsou hory, přesněji Velké předělové pohoří, které zahrnuje Sněžné hory, Severní, Centrální a Jižní náhorní plošiny, Jižní vysočinu a Jihozápadní svahy. Přestože tyto hory nejsou strmé, mnoho vrcholů se tyčí nad 1 000 m. n. m. a řadí se mezi jedny z nejstarších pohoří na zemi. Posledními dvěma geografickými sekcemi jsou Centrální a Západní pláně. Obdělávané centrální pláně se rozprostírají 500 km od východu na západ a jsou zemědělskou velmocí ekonomiky Nového Jižního Walesu díky bohaté a úrodné půdě a dostatečnému zásobování vodou. Vyprahlé západní pláně pokrývají více než dvě třetiny státu s úrodnou půdou, ale nízkými úhrny srážek a nedostatečnými říčními systémy (NSW Government, ©2022).

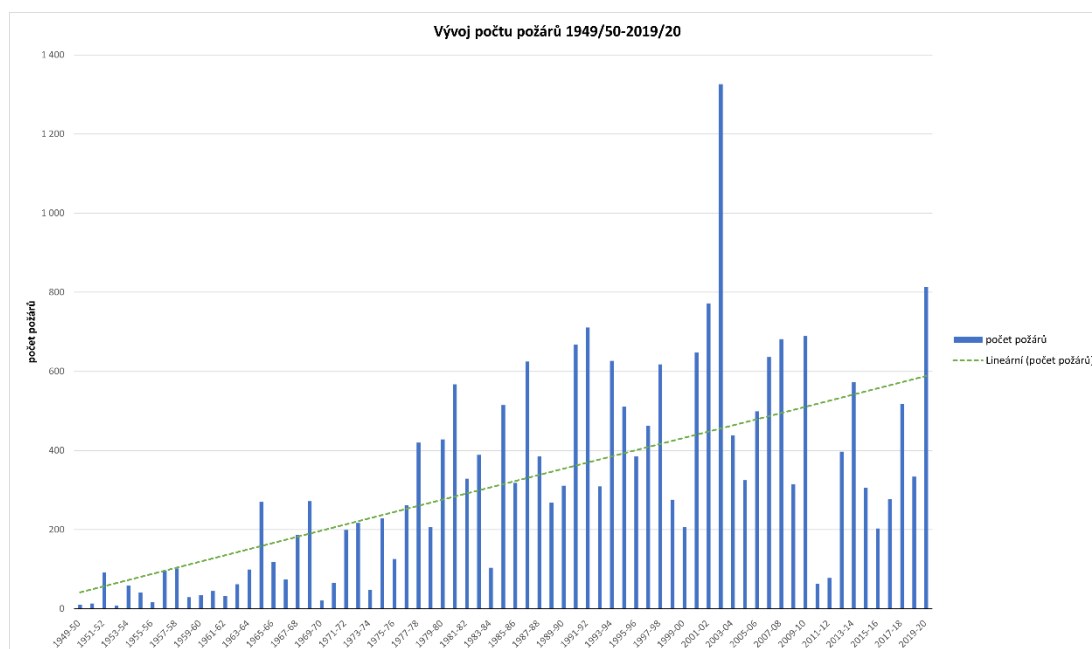
Nový Jižní Wales má obecně mírné klima s horkými léty a chladnějšími zimami. Suché podnebí a hojné sluneční paprsky, které vládou nad státem, představují problémy zejména pro zemědělce. Například hlavní město Nového Jižního Walesu, Sydney, je bez slunečního svitu v průměru jen 23 dní v roce. Průměrné teploty se v létě pohybují od 24-29 °C, v zimě od 7-15 °C. Ani teploty přes 38 °C ale nejsou v letních měsících neobvyklé a noční mráz je v zimě běžný ve vyšších nadmořských výškách. Zatímco Západní divize, která se skládá ze semiaridních plání, je považována za oblast s výrazným nedostatkem srážek s ročním úhrnem menším než 250 mm, ležící za západní hranicí pěstování pšenice, pobřežní okresy mají nejvíce ročních srážek s úhrny od 900 mm na jihu do 1 500 mm na severu. Sucho a záplavy jsou všudypřítomné hrozby, se kterými Australané žijí (Encyclopædia Britannica, ©2021).

Co se týče vegetace, s výjimkou severního pobřeží, kde přežívají zbytky subtropického deštného pralesa, je vegetace převážně xerofytní, tedy přizpůsobená častým suchům. Dominantními druhy na území jsou stálezelené eukalypty (více než 600 druhů) a akácie v podobě křovin na pláních (Encyclopædia Britannica, ©2021).

# 7. Výsledky práce

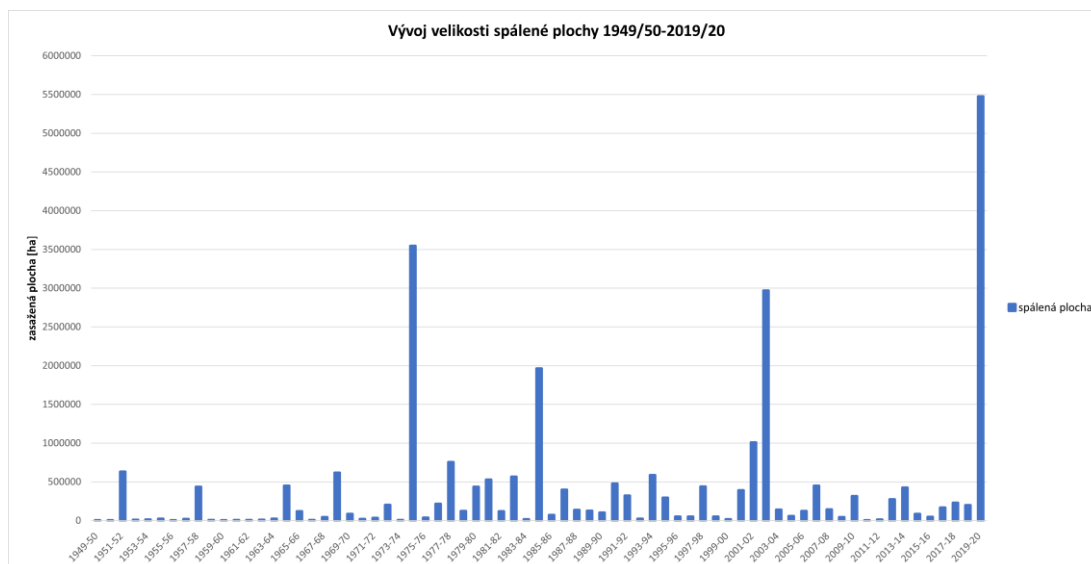
## 7.1 Souvislost požárů s ENSO

Jedním z cílů práce bylo zjistit souvislost požárů s ENSO v sezónách nejvýznamnější na spálenou plochu a dále také v sezónách s největší četností požárů. Na obrázku 10 znázorňujícím vývoj četnosti požárů od sezóny 1949/50 až do sezóny 2019/20 je na první pohled viditelný patrný rostoucí trend. V této části byla práce zaměřena na sezóny, ve kterých četnost požárů přesáhla 600 událostí. Mezi ně spadá dvanáct následujících sezón: 1986/87, 1990/91, 1991/92, 1993/94, 1997/98, 2000/01, 2001/02, 2002/03, 2006/07, 2007/08, 2009/10 a 2019/20.



Obrázek 10: Vývoj četnosti požárů 1949/50-2019/20 (autor)

Na obrázku 11 zobrazujícím velikosti spálené plochy v jednotlivých sezónách mezi 1949/50 a 2019/20 jsou na první pohled vidět nejméně čtyři sezóny, kdy spálená plocha jasně vyčnívá oproti ostatním. Jedná se o následující sezóny: 1974/75, 1984/85, 2002/03, 2019/20. Tyto sezóny byly zařazeny mezi sezóny s významnou velikostí spálené plochy. Pokud je dosaženo plochy 1 mil. ha, bývá sezóna považována za sezónu mega požárů. Z toho důvodu mezi významné sezóny byla zařazena i sezóna 2001/02.



Obrázek 11: Vývoj velikosti spálené plochy 1949/50-2019/20 (autor)

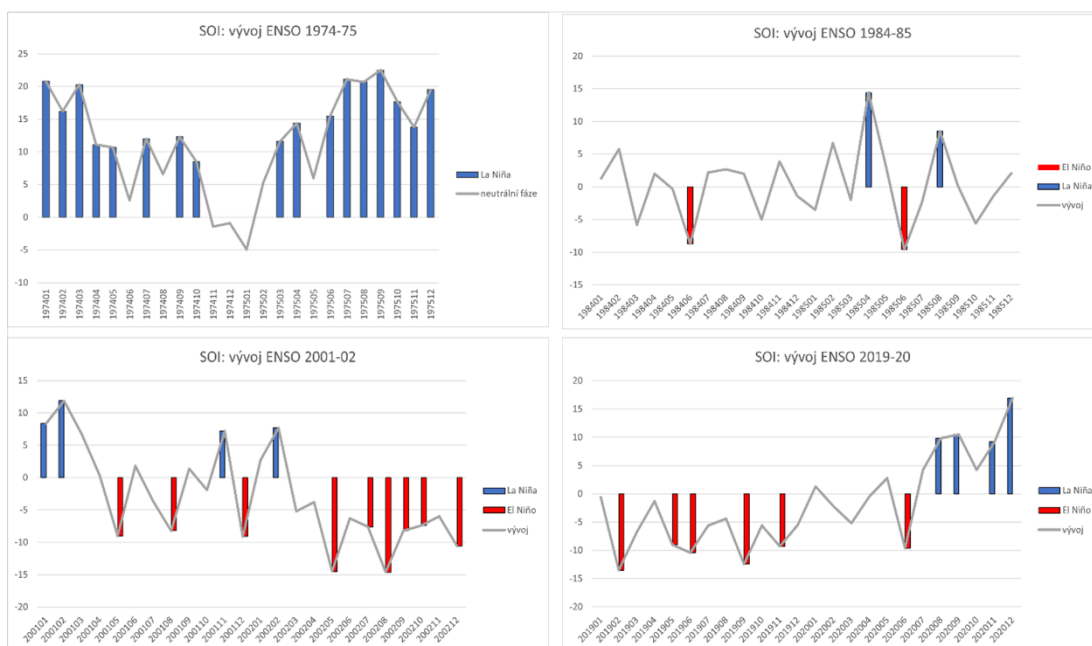
Celkem tedy bylo pro další postup vybráno čtrnáct sezón, ve kterých byl dále sledován podrobný měsíční vývoj ENSO, přičemž sezóny 2001/02, 2002/03 a 2019/20 byly zastoupeny v obou kategoriích (nejčtenější sezóny, sezóny s největší spálenou plochou). U obou charakteristik byla věnována pozornost výskytu fáze El Niño, která se v mnoha studiích ukázala jako důležitá pro vytváření dobrých požárních podmínek díky suchu a teplu, které přináší do Austrálie.

### 7.1.1 Významné sezóny s ohledem na velikost spálené plochy

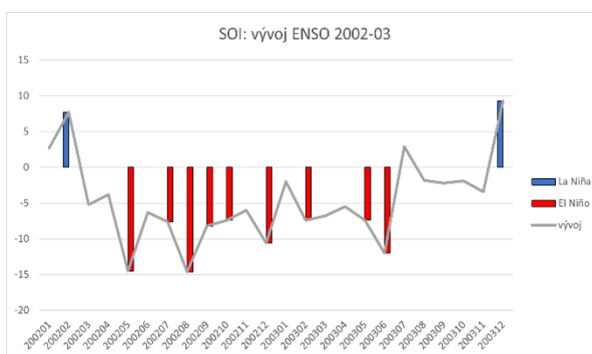
Následující obrázky (12, 13) zachycují vývoj ENSO pomocí SOI v sezónách, kdy spálená plocha přesáhla 1 mil. ha. Grafy znázorňují červeně hodnoty -7 a nižší (tedy hodnoty signalizující možný nástup fáze El Niño, viz 5.2) a modře hodnoty 7 a vyšší (tedy hodnoty signalizující možný nástup fáze La Niña, viz 5.2) v jednotlivých vybraných sezónách. Jak již jednou bylo zmíněno, aby mohla být jedna z fází považována za aktivní, musí splňovat několik kritérií. Proto byly následně zjišťovány také informace o jednotlivých sezónách z ENSO Outlook (Bureau of Meteorology, ©2022 c).

Obrázek 12 zobrazuje vývoj ENSO v sezónách, ve kterých podle Bureau of Meteorology (©2022 c) fáze El Niño nenastala. Sezóna 1974/75 je považována za sezónu, kdy se vyskytla fáze La Niña, což je patrné i z příslušného grafu. Sezóna 1984/85 také nevykazuje žádné známky aktivity fáze El Niño. To se mění u posledních dvou sezón na obrázku 12. V měsících přecházejících létu 2001/02 spadla hodnota SOI

na méně než -7 a podle ENSO Outlook (Bureau of Meteorology, ©2022 c) se v této sezóně dostalo ENSO pouze do fáze El Niño WATCH (více v 5.2). Patrnější výskyty záporných hodnot signalizující možný výskyt El Niño jsou vidět v měsících předcházející létu 2019/20, což odpovídá fázi El Niño ALERT (viz 5.2). Sezóna 2002/03 je jediná sezóna vybraná s ohledem na velikost spálené plochy, kdy byla fáze El Niño aktivní (obrázek 13).



Obrázek 12: Grafy zobrazující vývoj ENSO v sezónách s největší spálenou plochou bez výskytu El Niño (autor)



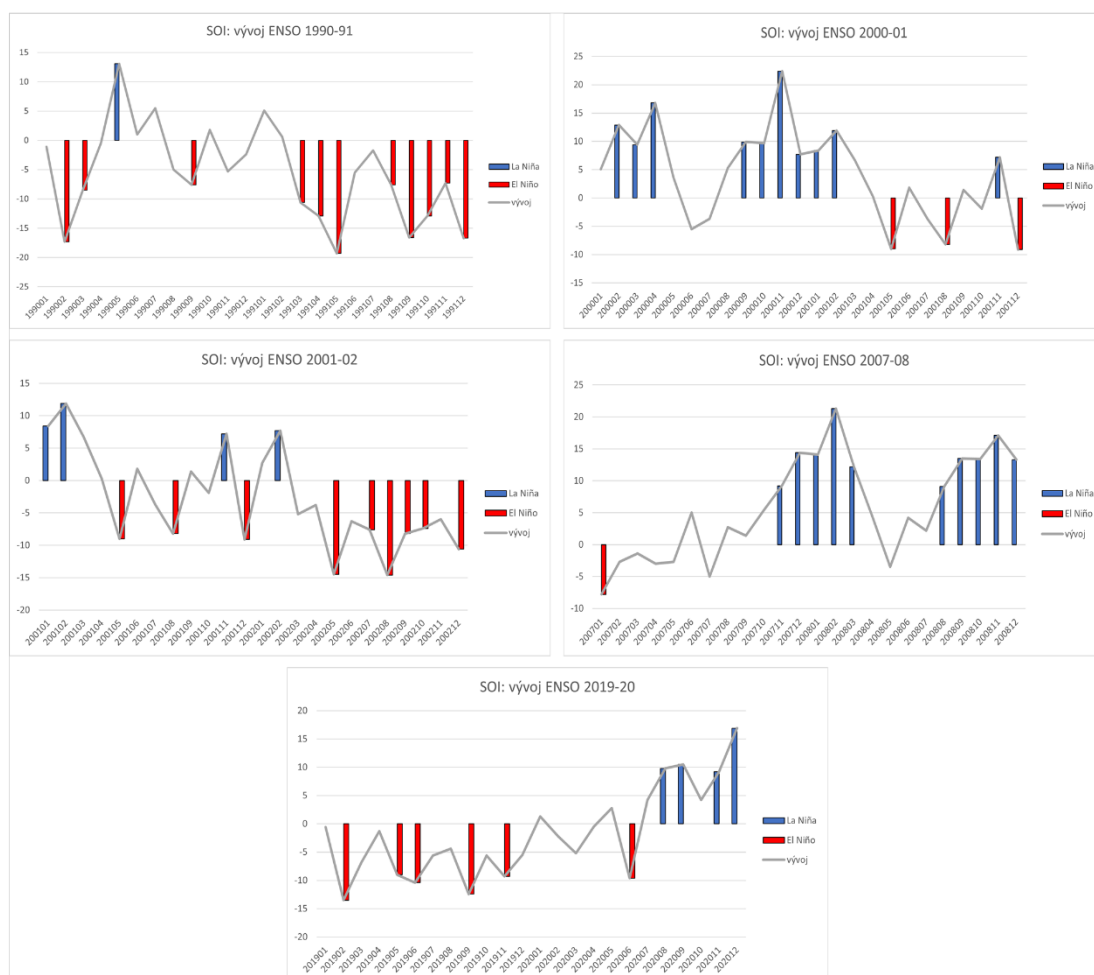
Obrázek 13: Graf zobrazující vývoj ENSO v sezóně 2002/03 s výskytem El Niño (autor)

### 7.1.2 Významné sezóny s ohledem na četnost požárů

Následující obrázky (14, 15) zachycují vývoj ENSO pomocí SOI v sezónách, kdy četnost požárů v dané sezóně přesáhla 600 událostí. Grafy opět znázornují červeně hodnoty -7 a méně (tedy hodnoty signalizující možný nástup fáze El Niño, viz 5.2) a modře hodnoty 7 a více (tedy hodnoty signalizující možný nástup fáze La Niña, viz

5.2) v jednotlivých vybraných sezónách. Následně, stejně jako u sezón s největší spalenou plochou, byly zjišťovány informace také z ENSO Outlook (Bureau of Meteorology, ©2022 c).

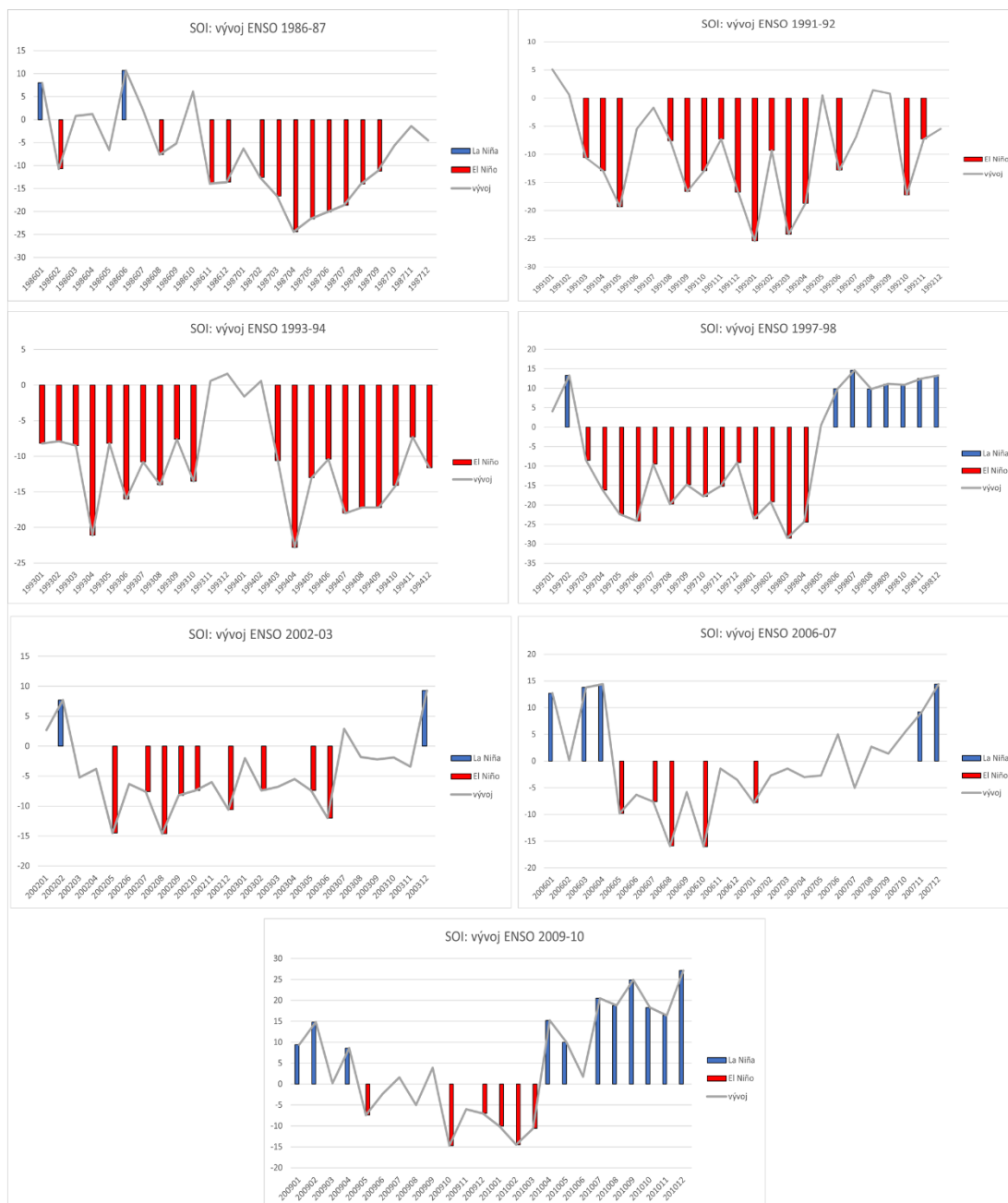
Prvních pět sezón vyobrazených na obrázku 14 opět zobrazuje sezóny bez výskytu El Niño. Jedná se o sezóny 1990/91, 2000/01, 2001/02, 2007/08 a 2019/20, přičemž dvěma z těchto pěti sezón (2001/02, 2019/20) byla pozornost věnována již v přecházející kapitole (7.1.1), a proto zde nebyly znovu rozebírány. Na začátku roku 1990 jsou patrné negativní hodnoty signalizující možný výskyt fáze El Niño. Podle ENSO Outlook (Bureau of Meteorology, ©2022 c) byla v této části roku splněna kritéria odpovídající fázi El Niño ALERT (viz 5.2). Sezóny 2000/01 a 2007/08 jsou naopak považovány za sezóny s výskytem La Niña.



Obrázek 14: Grafy zobrazující vývoj ENSO v sezónách s největší četností bez výskytu El Niño (autor)

Ve zbývajících sedmi sezónách (obrázek 15) se fáze El Niño vyskytla, přičemž sezóna 2002/03 byla již dříve okomentována (viz 7.1.1). U sezón 1991/92, 1993/94, 1997/98

a 2002/03 je naprosto patrný dlouhotrvající výskyt hodnot  $-7$  a méně. V sezóně 2006/07 se podle ENSO Outlook (Bureau of Meteorology, ©2022 c) ENSO vyvinulo v El Niño v září, v sezónách 1986/87 a 2009/10 až v listopadu, nicméně jak již bylo dříve zmíněno, podle Harris & Lucas (2019) má výskyt El Niño velice významný vliv nejen v jarních, ale i v letních měsících.



Obrázek 15: Grafy zobrazující vývoj ENSO v sezónách s největší četností s výskytem El Niño (autor)

## 7.2 Prostorové rozložení požárů

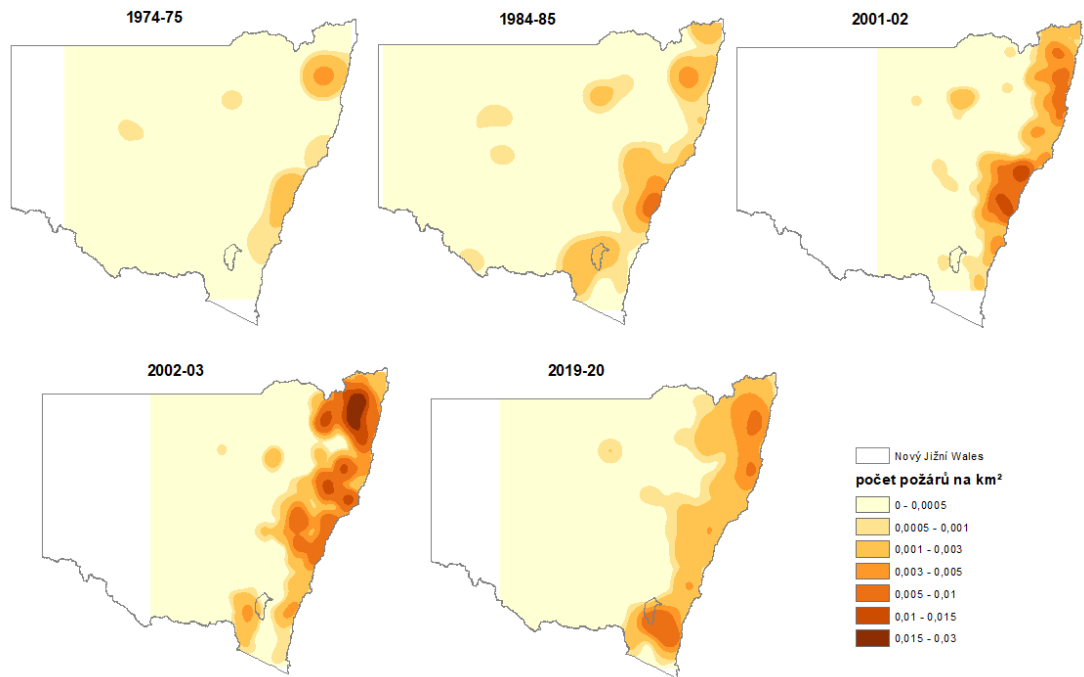
Prostorové rozložení požárů bylo sledováno v sezónách, kdy spálená plocha překročila hranici 1 mil. ha (1974/75, 1984/85, 2001/02, 2002/03, 2019/20), dále v sezónách, kdy plocha zasažená požárem nebyla větší než 3 000 ha (1949/50, 1950/51, 1959/60) a poté ve všech ostatních sezónách, které nebyly zastoupeny ani v jedné z výše zmíněných kategoriích, dohromady. Nejprve mezi sebou bylo porovnáváno prostorové rozložení požárů v sezónách s největší spálenou plochou, dále byly porovnávány rozdíly mezi sezónami s největší a nejmenší spálenou plochou, a nakonec také rozdíly mezi sezónami s největší spálenou plochou a všemi ostatními sezónami dohromady.

### 7.2.1 Prostorové změny v hustotách požárů

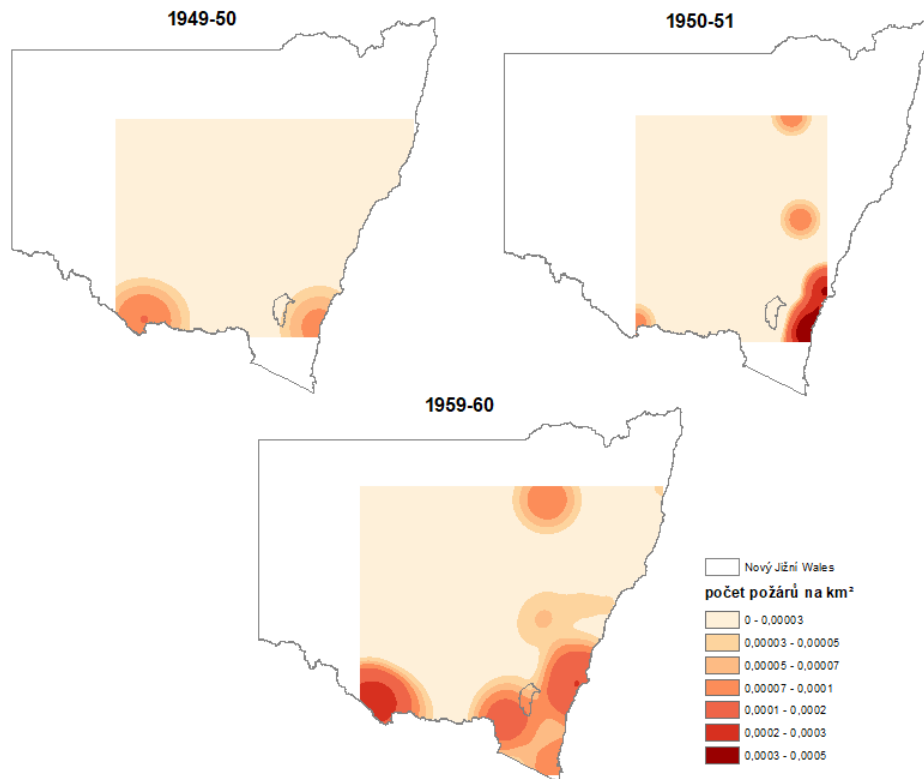
Níže na obrázku 16 je vidět pět nejvýznamnějších sezón s ohledem na velikost spálené plochy a jejich rozdíly v prostorovém rozložení hustot požárů. Obecně se nejvíce požárů objevuje hlavně podél pobřeží Nového Jižního Walesu (jihovýchodního pobřeží Austrálie), naopak zřídka lze vidět husté zastoupení požárů směrem do vnitrozemí a když ano, tak ne ve velké míře. Lze si všimnout, že největší hustoty požárů podél jihovýchodního pobřeží nepatrně cestují a nevyskytují se v těchto sezónách vždy na stejných místech. Vůbec největší hustota požárů je vidět v sezóně 2002/03, kdy se v severovýchodní části Nového Jižního Walesu pohybuje až od 0,015-0,03 požárů na km<sup>2</sup>. V takové hustotě se požáry v ostatních významných sezónách s ohledem na velikost spálené plochy nevyskytly. Změny jsou tedy v těchto sezónách patrné, nicméně požáry se hojně vyskytují zejména podél pobřeží.

U požárně nevýznamných sezón s ohledem na velikost spálené plochy je tomu částečně jinak, jak je vidět na obrázku 17. Zde se mění prostorové rozložení hustot oproti významným sezónám a jsou zastoupeny především v jižní části a částečně také na jižních hranicích státu a ve vnitrozemí, zatímco požáry významných sezón se hojně vyskytovaly v severní pobřežní části (obrázek 16). Nutno podotknout, že se zde logicky počet požárů na km<sup>2</sup> pohybuje zcela v jiných číslech, než tomu bylo u významných sezón vzhledem k menšímu výskytu požárů. Největší hustota se u těchto nevýznamných sezón pohybuje kolem 0,0003-0,0005 požárů na km<sup>2</sup>, (což u předešlých významných sezón byla vůbec ta nejspodnější hranice) a to sice v sezóně 1950/51 u jihovýchodní pobřežní části Nového Jižního Walesu.



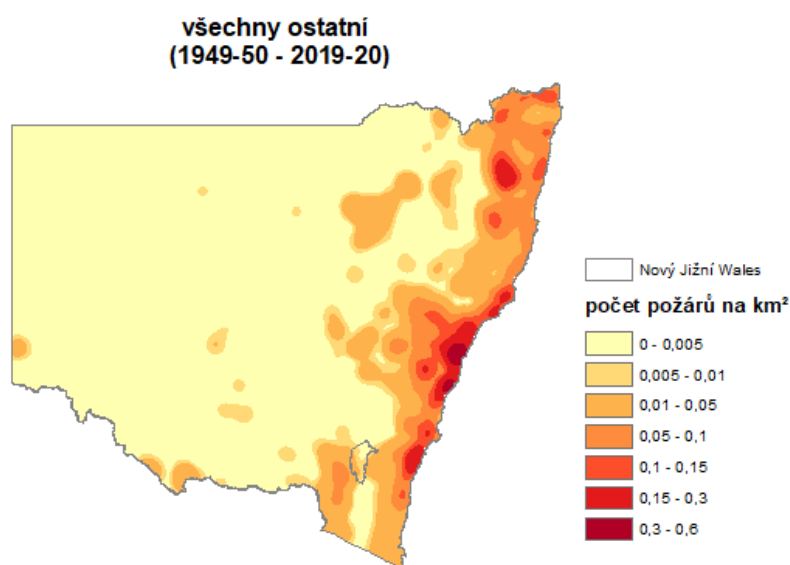


Obrázek 16: Kernel Density: Prostorové změny v hustotách požárů v sezónách s největší spálenou plochou (autor)



Obrázek 17: Kernel Density: Prostorové změny v hustotách požárů v sezónách s největší spálenou plochou (autor)

Obrázek 18 zahrnuje požáry ze všech ostatních sezón, jež nebyly zastoupeny ani v jedné z předchozích kategorií, a shrnuje tak, kde dochází k největšímu výskytu požárů v Novém Jižním Walesu celkově. Z toho důvodu se počet požárů na km<sup>2</sup> opět pohybuje ve vyšších řádech, než tomu bylo u významných sezón (obrázek 16) a samozřejmě také u méně významných sezón (obrázek 17). Tento obrázek nápadně připomíná podobné rozložení hustot, jako tomu bylo u významných sezón. Požáry jsou nejvíce zastoupeny podél pobřeží, přičemž k vůbec nejvíce požárům (0,3-0,6 km<sup>2</sup>) dochází ve střední části Nového Jižního Walesu při pobřeží.



Obrázek 18: Kernel Density: Prostorové rozložení hustot požárů ve zbylých sezónách (autor)

Obecně je tedy pravděpodobně na požáry nejnáchylnější oblastí Nového Jižního Walesu oblast při pobřeží. Nepatrně v rozporu jsou s tímto závěrem požárně nevýznamné sezóny, které do jisté míry vykazují odlišné vzorce. Prostorové rozložení hustot se mění, nicméně centra největších hustot zůstávají při pobřeží.

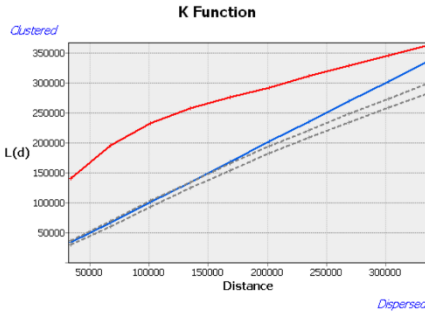
### 7.2.2 Změny v prostorovém rozložení požárů

Ve všech vybraných sezónách (i v případě výpočtu pro všechny zbývající sezóny) byla pomocí nástroje Multi-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripley's K) zjištěna prostorová závislost požárů pro 10 vzdáleností (tzv. distance bands) a bylo použito devět permutací k vytvoření 90 % intervalu spolehlivosti. U zbývajících volitelných parametrů bylo ponecháno výchozí nastavení.

Obrázek 19 ukazuje prostorovou závislost požárů ve významných sezónách s ohledem na velikost spálené plochy. Obrázek zahrnuje pět grafů a tabulek, jež jsou výsledkem zmíněného nástroje. Na všech z těchto pěti grafů a v každé z deseti vzdáleností se křivka ObservedK (tedy pozorovaná K hodnota) pohybuje nad křivkou ExpectedK (tedy očekávaná K hodnota). Toho si lze všimnout i u hodnot v tabulkách, ze kterých vždy vychází příslušný graf (i zde je vždy hodnota ObservedK větší než ExpectedK). To znamená, že požáry ve všech deseti vzdálenostech, pro které byly provedeny výpočty (distance bands), tvoří shluky. Křivka ObservedK je navíc u všech grafů obrázku nad horním limitem intervalu spolehlivosti (HiConfEnv) a jde tedy o statisticky významné shlukování v těchto vzdálenostech. Křivky ObservedK i ExpectedK se u všech významných sezón chovají téměř stejně, nicméně důležité je zjištění, že požáry ve významných sezónách tvoří shluky napříč vzdálenostmi, pro které byly počítány.

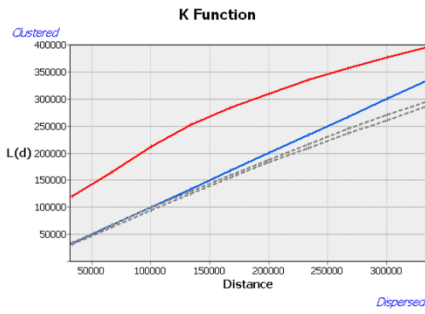
U nevýznamných sezón (obrázek 20) se křivky chovají jinak. Je to dáno mimo jiné tím, že nástroj pro provedení výpočtu považuje za ideální alespoň třicet událostí v rámci vstupních dat (v tomto případě alespoň třicet požárů), což v případě nevýznamných sezón splňovala pouze sezóna 1959/60. Křivka ObservedK je na všech vzdálenostech nad křivkou ExpectedK v tomto případě pouze v sezóně 1950/51. Tabulka s výsledky pro sezónu 1949/50 ukazuje, že hodnota ObservedK je větší než hodnota Expected K pro prvních osm tříd vzdáleností. Na těchto vzdálenostech dochází ke shlukování. V posledních dvou vzdálenostech je ale hodnota ExpectedK větší než Observed K, což je patrné i z grafu. Znamená to, že distribuce požárů je v těchto vzdálenostech spíše rozptýlenější. Podobnou situaci zachycuje i graf sezóny 1959/60. U deváté třídy vzdáleností se hodnota v tabulce v poli DiffK (rozdíl mezi ObservedK a ExpectedK) dostane do záporných hodnot a hodnota ExpectedK je v této vzdálenosti tedy vyšší než ObservedK. V posledních dvou vzdálenostech ke shlukování již nedochází, jako tomu je u předcházejících osmi vzdálenostech, a opět je zde distribuce požárů spíše rozptýlená.

1974-75



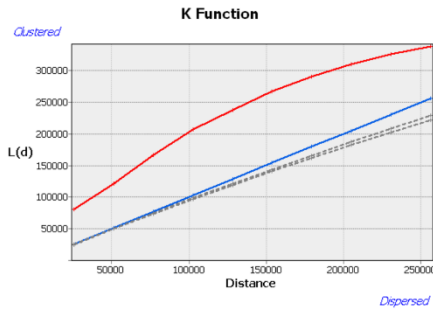
OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	33640,478942	140479,610672	106839,131731	29642,888791	36258,685891
1	67280,957884	195981,647869	128700,689985	60509,068578	69734,839727
2	100921,436825	232351,464947	131430,028121	93468,403205	104060,275324
3	134561,915767	258118,602854	123556,687086	124302,729954	134411,371553
4	168202,394709	275240,579993	107036,185284	154291,367904	165518,854539
5	201842,873651	291261,042204	89418,168553	182226,735132	193789,144197
6	235483,352593	311931,670186	76448,317594	206290,292583	220649,098397
7	269123,831534	328852,617813	59728,786278	233837,318537	248121,852382
8	302764,310478	345149,368222	42385,057744	258337,579438	273256,048779
9	336404,789418	362567,36447	26162,575052	282764,76152	299138,589005

1984-85



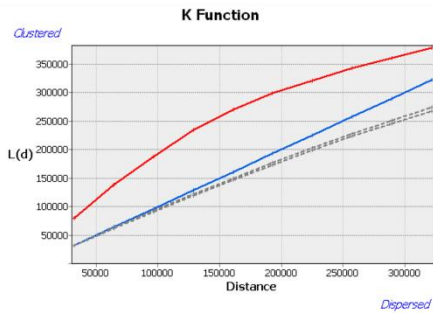
OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	33415,436352	120686,814467	87271,378115	31038,188922	34082,364841
1	66830,872704	165441,269481	98610,396777	63789,532395	67006,912745
2	100246,309056	212214,279376	111967,97032	94633,543957	100306,875948
3	133661,745407	251734,414482	118072,669074	125282,137497	129540,373992
4	167077,181759	283269,039028	116191,857269	154427,116564	159239,218248
5	200492,618111	309770,608112	109277,990001	183064,815979	188281,435075
6	233908,054463	335345,837776	101437,783313	209534,230094	216995,027426
7	267323,490815	357453,993377	90130,502562	236475,419913	244842,794997
8	300738,927167	377351,706555	76612,779389	261366,150268	270558,950271
9	334154,363518	395737,732665	61583,369147	286528,409541	295444,592277

2001-02



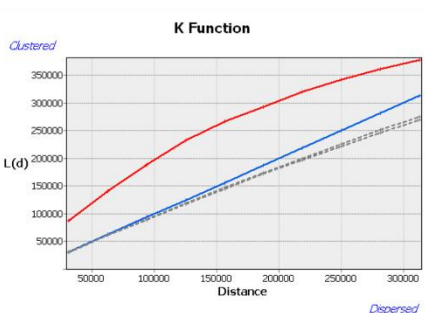
OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	25636,696052	81365,675529	55728,979477	24637,943301	26191,720199
1	51273,392104	121054,055685	69780,66358	49776,538756	50753,985878
2	76910,088156	166656,914271	89746,826114	73327,549443	75255,924605
3	102546,784209	207149,08725	104602,303041	96840,969841	98644,913545
4	128183,480261	237236,122402	109052,642141	119123,12323	121398,740093
5	153820,176313	266531,115504	112710,939191	140861,04553	143589,130827
6	179456,872365	289931,192851	110474,320486	162216,994239	165786,752632
7	205093,568417	309600,72282	104507,154403	182845,484419	187306,330594
8	230738,264469	325336,524948	94608,260478	202576,88079	208216,969997
9	256366,960521	337992,395782	81625,43526	222113,914374	228486,905982

2002-03



OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	32189,115903	79937,498382	47748,382479	31362,751232	32181,532057
1	64378,231805	137953,487621	73575,255815	61887,988457	62742,678459
2	96567,347708	188001,370371	91434,022663	91001,130903	92530,950753
3	128756,463611	233758,87774	105002,414129	119641,499643	121509,225785
4	160945,579514	269544,852807	108599,273293	146929,488233	149415,496457
5	193134,695417	298224,089602	105089,394186	173289,530023	176356,309537
6	225323,811319	321211,509696	95887,778378	198543,942982	202247,137523
7	257512,927222	342103,377479	84590,450257	222801,346009	227384,925465
8	289702,043125	361035,188747	71333,145623	245928,869365	251365,397283
9	321891,159028	378341,288989	56450,109961	267897,394155	274280,128671

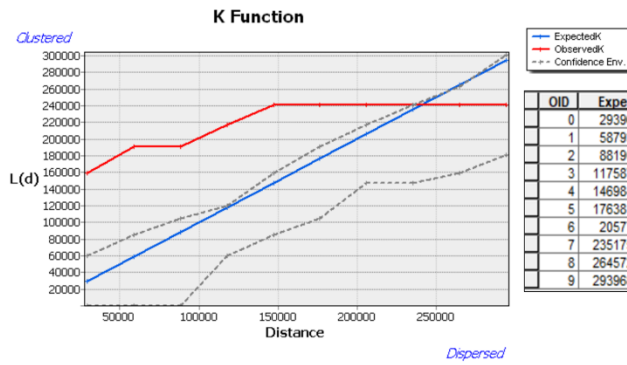
2019-20



OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	31250,932229	87095,555912	55834,622783	29851,489939	31630,382799
1	62501,864458	140211,574053	77709,709595	58612,021610	61969,593724
2	93752,796887	188663,712772	94910,916085	87951,588613	91842,434414
3	125003,728915	231861,723933	106857,995017	115973,229271	120633,546729
4	156254,661144	266488,636242	110233,975097	143892,625946	148892,275891
5	187505,583373	293012,118685	105506,525312	169955,352387	176476,755284
6	218756,525602	319774,424756	101017,899154	195836,095023	203721,775372
7	250007,457831	342092,232941	92084,77511	220828,697333	229992,105493
8	281258,39006	360211,926148	78953,536088	244872,655414	254714,908266
9	312509,322289	377276,832494	64767,510205	268126,901486	278923,564432

Obrázek 19: Ripley's K: Grafy a tabulky zachycující prostorové závislosti dat v různých vzdálenostech ve významných sezónách (autor)

1949-50



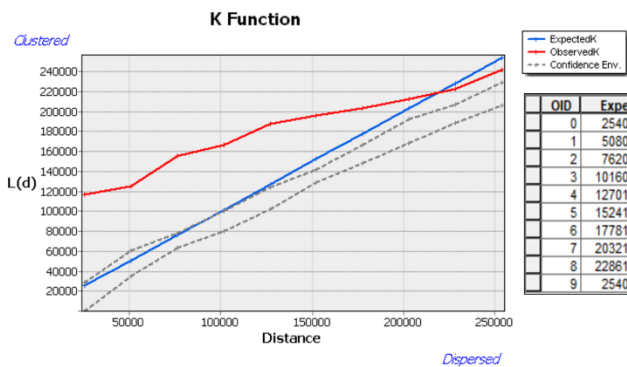
OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	29396,896491	159292,472718	129895,576227	0	60206,895505
1	58793,792983	190390,920645	131597,127662	0	85145,408172
2	88190,689474	190390,920645	102200,23117	0	104281,401981
3	117587,585966	217079,048881	99491,462915	60206,895505	120413,791011
4	146984,482457	240827,582021	93843,099564	85145,408172	159292,472718
5	176381,378949	240827,582021	64446,203073	104281,401981	190390,920645
6	205778,27544	240827,582021	35049,306581	147476,172985	217079,048881
7	235175,171932	240827,582021	5652,41009	147476,172985	240827,582021
8	264572,068423	240827,582021	-23744,486402	159292,472718	262435,773212
9	293968,964915	240827,582021	-53141,382893	180620,686516	301034,477527

1950-51



OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	21499,319917	124548,584373	103049,264455	0	41516,194791
1	42998,639835	124548,584373	81549,944538	0	83032,389582
2	64497,959752	168064,779164	101566,819412	0	101693,4933
3	85997,279669	203386,9866	117389,70693	0	109941,526799
4	107496,599586	203386,9866	95890,387013	83032,389582	117425,531463
5	128995,919504	242078,934683	113083,015179	83032,389582	131285,735323
6	150495,239421	249097,168746	98601,929325	101693,4933	149688,769081
7	171994,559338	249097,168746	77102,609407	124548,584373	171175,656297
8	193493,879256	269055,693225	75561,813969	143816,31743	185666,067439
9	214993,199173	278499,101159	63505,901986	160791,531023	211691,887369

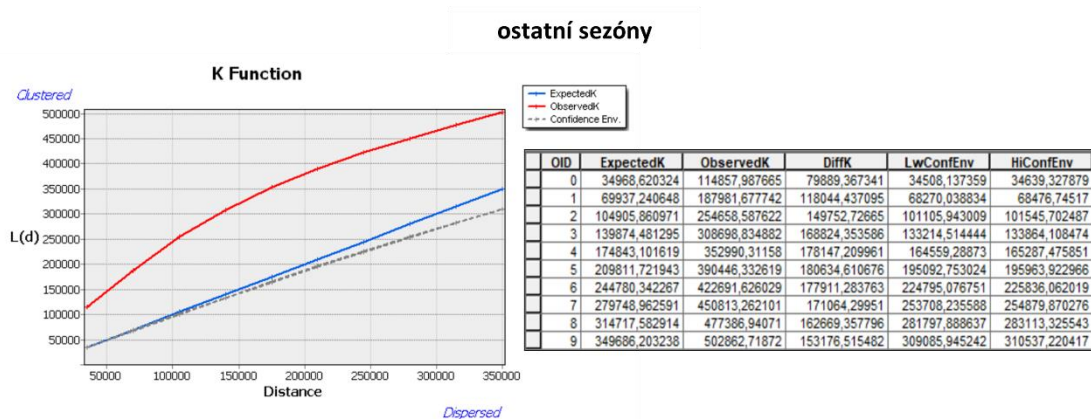
1959-60



OID	ExpectedK	ObservedK	DiffK	LwConfEnv	HiConfEnv
0	25402,002631	117216,327624	91814,324993	0	28429,135285
1	50804,005262	125539,662236	74735,656974	34818,437638	60307,303029
2	76206,007893	155712,786859	79506,778966	63569,479038	77856,393429
3	101608,010524	166983,360818	65375,350294	80409,737373	100512,171716
4	127010,013155	187503,025008	60493,011854	102502,704986	123919,727759
5	152412,015786	195934,293373	43522,277587	128718,384574	142145,676424
6	177814,018417	203024,634922	25210,616505	147722,120186	166983,360818
7	203216,021048	212744,168076	9528,147028	168189,032509	192815,776636
8	228618,023679	222946,78195	-5671,241728	188577,549708	206967,228931
9	254020,02631	242065,364407	-11954,661903	205988,65499	229203,016227

Obrázek 20: Ripley's K: Grafy a tabulky zachycující prostorové závislosti dat v různých vzdálenostech v nevýznamných sezónách (autor)

Poslední obrázek (obrázek 21) zachycuje vývoj prostorové závislosti v různých vzdálenostech ve všech zbylých sezónách, jež nebyly zařazeny mezi významné či nevýznamné sezóny. V tomto případě ve všech vzdálenostech dochází ke statisticky významnému shlukování.



Obrázek 21: Ripley's K: Graf a tabulka zachycující prostorovou závislost dat v různých vzdálenostech ve zbylých sezónách (autor)

### 7.2.3 Prostorové vztahy mezi plánovanými a neplánovanými požáry

Poslední částí v rámci prostorového rozložení požárů bylo zjišťování vztahů mezi plánovanými a neplánovanými požáry. Cílem této části bylo zjistit vzdálenosti neplánovaných požárů od požárů plánovaných. Mezivýsledkem měla být tabulka ukazující vzdálenosti plánovaných a neplánovaných požárů ve stejné sezóně. Tato tabulka obsahovala cca 610 záznamů o zmíněných vzdálenostech. U zhruba 100 z celkových 610 záznamů byla výslednou vzdáleností mezi plánovanými a neplánovanými požáry 0 m. Zároveň se u takových případů plocha spálená neplánovaným požárem rovnala ploše spálené plánovaným požárem. Z důvodu těchto nesrovnalostí v datech zde byla analýza této části ukončena.

## 8. Diskuse

Souvislost mezi ENSO (přesněji teplou fází ENSO, El Niño) a aktivitou požárů nebyla potvrzena v takové míře, jak bylo na začátku očekáváno. Práce v této části měla podobnou myšlenku jako studie Mariani et al. (2016), a to sice zhodnotit vliv ENSO především na velikost spálené plochy a na četnost požárů. Zatímco Mariani et al. (2016) prezentuje jasné propojení mezi El Niño a velikostí spálené plochy i četností požárů, souvislost El Niño s velikostí spálené plochy se v této práci v podstatě nepotvrdila. Silnější vztah byl však pozorován mezi El Niño a četností požárů.

Alternativních možností, jak pozorovat souvislost mezi ENSO a požáry, existuje mnoho, a tak by se práce pro dosažení slibnějších výsledků mohla dále ubírat hned několika směry. Vývoj ENSO zde byl sledován pomocí SOI. Indexů, pomocí kterých lze sledovat vývoj ENSO, je však mnoho a mohlo by to hrát roli ve výsledcích, protože parametry vstupující do výpočtu a samotný výpočet každého indexu se do jisté míry liší. Zajímavé by bylo pozorovat souvislost ve všech sezónách, tedy od přelomu roku 1949/50 až do 2019/20, a to i pomocí pokročilejších statistických analýz. Další možnou cestou by bylo pozorovat FFDI a meteorologická a klimatická data vedoucí k zjištění míry nebezpečí vzniku požárů na základě výskytu některé z extrémních fází ENSO.

Na požáry mají vliv i jiné klimatické jevy, a tak by dalším možným směrem této práce mohlo být pozorování jejich vzájemného působení s ENSO v souvislosti s chováním požárů.

Pozorování změn v prostorovém rozložení požárů v Novém Jižním Walesu ukázalo, že k výskytu požárů dochází nejvíce po délce celého pobřeží státu. Takový výsledek prezentuje i Visner et al. (2021) ve své studii sledující časoprostorové změny ohnisek lesních požárů (tzv. hotspots) během 100 let v Novém Jižním Walesu. Zmiňuje také, že podle výsledků analýz zmíněné studie četnost požárů v Novém Jižním Walesu roste. Patrný rostoucí trend četnosti požárů byl prezentován i v této práci.

Jedním z cílů práce, kterého se nepodařilo dosáhnout kvůli nesrovnalostem v datech, bylo zjistit vztah mezi plánovanými a neplánovanými požáry. Pokud by tyto nesrovnalosti v datech nenastaly, práce by se mohla v tomto směru dále věnovat i otázce efektivity plánovaných požárů jako nástroje pro snižování rizika požárů.

## 9. Závěr a přínos práce

Tato bakalářská práce se v rámci teoretické části podrobně zabývala složitostí proměnlivosti australského klimatu. Ukázalo se, že Austrálii ovlivňuje hned několik klimatických jevů, přičemž největší vliv na jeho proměnlivost má pravděpodobně ENSO. Problematika požárů je však daleko složitější a aby došlo k významné požární události, musí být splněno několik kritérií. Byl vyzdvižen i fakt, že se požár vždy nemusí rovnat přírodní katastrofě a je hojně využíván jako managementový nástroj. Na základě dat se ukázalo, že požáry v Austrálii (konkrétně v Novém Jižním Walesu) opravdu nejsou ničím neobvyklým a dochází k nim ve větší či menší míře v každé letní sezóně. Byl navíc prezentován patrný rostoucí trend četnosti požárů.

V této bakalářské práci bylo na začátku stanoveno několik hlavních a dílčích cílů. Prvním hlavním cílem bylo sledování vztahu mezi ENSO (konkrétně El Niño) a aktivitou požárů v Novém Jižním Walesu. Byly vybrány významné sezóny v období 1949/50-2019/20 z hlediska spálené plochy (sezóny, kdy spálená plocha přesáhla 1 mil. ha) a z hlediska četnosti požárů (sezóny, kdy došlo k více než 600 požárům) a následně byl v těchto vybraných sezónách sledován podrobnější vývoj ENSO na základě SOI.

Výsledky této části ukázaly patrnější vliv El Niño na četnost požárů. Celkem v sedmi ze dvanácti vybraných sezón mohla být četnost požárů ovlivněna i fází El Niño, která byla před sezónou nebo v jejím průběhu aktivní. Vliv El Niño na velikost spálené plochy se spíše neprokázal. Pouze v jedné z pěti vybraných sezón významných z hlediska spálené plochy byla přítomna fáze El Niño. Souvislost s ENSO tedy nebyla potvrzena v takové míře, jako bylo na počátku práce předpokládáno, a ENSO pravděpodobně není jediným klimatickým jevem, který má na jihovýchodním pobřeží Austrálie vliv na činnost požárů.

Druhým hlavním cílem bylo sledování prostorových změn v hustotách a v rozložení požárů v Novém Jižním Walesu, opět od sezóny 1949/50 až do sezóny 2019/20. Sledování změn probíhalo v předem určených skupinách. První skupinu tvořily významné sezóny (kdy spálená plocha přesáhla 1 mil. ha), druhou skupinu tvořily nevýznamné sezóny (kdy spálená plocha nepřesáhla hranici 3 000 ha) a do třetí skupiny spadaly všechny ostatní sezóny, jež nebyly zastoupeny ani v jedné



z předešlých skupin. Výsledky prostorových změn jednotlivých skupin mezi sebou byly poté porovnávány. Dílčím cílem tohoto hlavního cíle bylo také sledování vztahů mezi plánovanými a neplánovanými požáry.

U prostorových změn v hustotách bylo patrné jak ve skupině významných sezón, tak ve skupině ostatních sezón, že k nejvíce požárům dochází podél pobřeží Nového Jižního Walesu. U skupiny významných sezón bylo patrné, že se největší hustoty v jednotlivých sezónách objevují na různých místech podél pobřeží. Nepatrně jiné výsledky přinesla skupina nevýznamných sezón, kde prostorové rozložení hustot vykazovalo odlišné vzorce a kde se největší hustoty vyskytovaly spíše v jižní části Nového Jižního Walesu, na hranicích se státem Victoria. U skupiny ostatních sezón bylo však dosaženo výsledků, které se podobaly výsledkům skupiny významných sezón, a to tak, že pobřeží je v rámci Nového Jižního Walesu náchylnější na požáry než ostatní oblasti tohoto státu. Obecně tedy lze říci, že prostorové rozložení hustot podléhá změnám, největší koncentrace požárů je však podél pobřeží.

Změny v prostorovém rozložení požárů byly opět pozorovány ve vybraných skupinách. Výsledky skupin významných sezón a ostatních sezón ukázaly, že požáry mají tendence tvořit shluky, a to napříč různými vzdálenostmi, pro které byla počítána K funkce. U skupiny nevýznamných sezón byly patrné odlišnosti v chování křivky reprezentující pozorované K hodnoty oproti předešlým dvěma skupinám. Křivka ukazovala statisticky významné shlukování pouze v prvních osmi z deseti vzdáleností u dvou ze tří nevýznamných sezón. Ve zbývajících dvou vzdálenostech tedy ke statisticky významnému shlukování nedochází. Třetí sezóna ze skupiny nevýznamných sezón nicméně vykazovala statisticky významné shlukování ve všech deseti vzdálenostech tak, jako tomu bylo u skupin významných sezón a ostatních sezón. Požáry tedy obecně tvoří spíše shluky.

Výsledku prostorových vztahů mezi plánovanými a neplánovanými požáry nebylo dosaženo kvůli zmíněným nesrovnalostem v datech, a tak nelze z této části vyvodit žádné závěry.

# 10. Přehled literatury a použitých zdrojů

- AFAC, ©2012: Bushfire glossary (online) [cit.2022.03.23], dostupné z <<https://www.afac.com.au/docs/default-source/doctrine/bushfire-terminology.pdf>>
- Ashok, K., Guan, Z., Yamagata, T., 2003: Influence of the Indian Ocean Dipole on the Australian winter rainfall. *Geophysical Research Letters*. 30(15), 3–6.
- Attiwill, P. M. & Adams, M. A., 2013: Mega-fires, inquiries and politics in the eucalypt forests of Victoria, south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*. 294, 45–53.
- Australia State of the Environment, ©2016: Rainfall (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://soe.environment.gov.au/theme/climate/topic/2016/rainfall>>
- Australian Bureau of Statistics, ©2022: National, state and territory population (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.abs.gov.au/statistics/people/population/national-state-and-territory-population/sep-2021>>
- Australian Bureau of Statistics, 2006: Year Book Australia 2006. Canberra, Australian Bureau of Statistics.
- Australian Bureau of Statistics, 2010: Year Book Australia 2009-10. Canberra, Australian Bureau of Statistics.
- Australian Government & data.gov.au, ©2022: Geoscape Admin Boundaries (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://data.gov.au/data/dataset/geoscape-administrative-boundaries/resource/53c24b8e-4f55-4eed-a189-2fc0dcca6381>>
- Beard, J. S., 1977: Tertiary Evolution of the Australian Flora in the Light of Latitudinal Movements of the Continent. *Journal of Biogeography*. 4, 111-118.
- Behera, S., Brandt, P., Reverdin, G., 2013: The tropical ocean circulation and

dynamics. In: Siedler, G., Griffies, S. M., Gould, J., Church, J. A. (eds.): *International Geophysics* (2nd ed., Vol. 103). Academic Press, Cambridge.

Bowman, D. M. J. S., 2002: The Australian Summer Monsoon. *Australian Geographical Studies*. 40(3), 261–277.

Bowman, D. M. J. S., Brown, G. K., Braby, M. F., Brown, J. R., Cook, L. G., Crisp, M. D., Ford, F., Haberle, S., Hughes, J., Isagi, Y., Joseph, L., McBride, J., Nelson, G., Ladiges, P. Y., 2010: Biogeography of the Australian monsoon tropics. *Journal of Biogeography*. 37(2), 201–216.

Bowman, D., Williamson, G., Yebra, M., Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M. L., Shah, S., Bradstock, R., Chuvieco, E., 2020: Wildfires: Australia needs national monitoring agency. *Nature*. 584(7820), 188–191.

Bureau of Meteorology, ©2022 a): Australian Climate Influences (online) [cit.2022.03.23], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/watl/about-weather-and-climate/australian-climate-influences.shtml>>

Bureau of Meteorology, ©2022 b): ENSO Outlook (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/enso/outlook/#tabs=Criteria>>

Bureau of Meteorology, ©2022 c): ENSO Outlook history (online) [cit.2022.03.25], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/enso/outlook/#tabs=ENSO-Outlook-history>>

Bureau of Meteorology, ©2022 d): Indian Ocean (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/watl/about-weather-and-climate/australian-climate-influences.shtml?bookmark=iod>>

Bureau of Meteorology, ©2022 e): Indian Ocean influences on Australian climate (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/iod/>>

Bureau of Meteorology, ©2022 f): Past Bushfires in Australia (online) [cit.2022.03.23], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/weather-services/fire-weather-centre/weather-patterns/index.shtml>>

- Bureau of Meteorology, ©2022 g): Southern Oscillation Index (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/enso/index.shtml#tabs=Pacific-Ocean&pacific=SOI>>
- Bureau of Meteorology, ©2022 h): Southern Oscillation Index (SOI) since 1876 (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/enso/soi/>>
- Bureau of Meteorology, ©2022 ch): The Australian Monsoon (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/watl/about-weather-and-climate/australian-climate-influences.shtml?bookmark=monsoon>>
- Bureau of Meteorology, ©2022 i): The Madden-Julian Oscillation (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/about/?bookmark=mjo>>
- Bureau of Meteorology, ©2021: What is Niño and how does it impact Australia? (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/updates/articles/a008-el-nino-and-australia.shtml>>
- Cai, W., Cowan, T., Raupach, M., 2009: Positive Indian Ocean Dipole events precondition southeast Australia bushfires. *Geophysical Research Letters*. 36(19), 1-6.
- Canadell, J. G., Meyer, C. P. (Mick., Cook, G. D., Dowdy, A., Briggs, P. R., Knauer, J., Pepler, A., Haverd, V., 2021: Multi-decadal increase of forest burned area in Australia is linked to climate change. *Nature Communications*. 12(1), 1-11.
- Clarke, H., Lucas, C., Smith, P., 2013: Changes in Australian fire weather between 1973 and 2010. *International Journal of Climatology*. 33(4), 931–944.
- CLIVAR, ©2022: About Asian-Australian Monsoon (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.clivar.org/asian-australian-monsoon>>
- Cruz, M. G., Sullivan, A. L., Gould, J. S., Sims, N. C., Bannister, A. J., Hollis, J. J.,

Hurley, R. J., 2012: Anatomy of a catastrophic wildfire: The Black Saturday Kilmore East fire in Victoria, Australia. *Forest Ecology and Management*. 284, 269–285.

CSIRO & Bureau of Meteorology, ©2020 a): Climate Change in Australia: Australian Climate Influences (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://climatechangeinaustralia.gov.au/en/overview/climate-system/australian-climate-influences/>>

CSIRO & Bureau of Meteorology, ©2020 b): State of the Climate 2020: Australia's changing climate (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate/documents/State-of-the-Climat-2020.pdf>>

Culek M., Hofmann E., Rychnovský B., Svobodová H., Mísařová D., 2013: Austrálie. Masarykova univerzita, Brno.

Česká meteorologická společnost, ©2017: Elektronický meteorologický slovník (eMS) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<http://slovník.cmes.cz/>>

Department of Industry, Science, Energy and Resources, ©2020: Estimating greenhouse gas emissions from bushfires in Australia's temperate forests: focus on 2019-20 (online) [cit.2022.03.25], dostupné z <<https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2020-04/estimating-greenhouse-gas-emissions-from-bushfires-in-australias-temperate-forests-focus-on-2019-20.pdf>>

Encyclopædia Britannica, The Editors of Encyclopædia, ©2017: Madden-Julian oscillation (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/Madden-Julian-oscillation>>

Encyclopædia Britannica, Brown N., Fletecher B. H., Jeans D.N., ©2021: New South Wales (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.britannica.com/place/New-South-Wales>>

- Encyclopædia Britannica, The Editors of Encyclopædia, ©2012: Southern Oscillation (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/Southern-Oscillation>>
- ESRI, ©2022 a): How Kernel Density Works (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>>
- ESRI, ©2022 b): Multi-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripley's K function) (Spatial Statistics) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/multi-distance-spatial-cluster-analysis.htm>>
- ESRI, ©2022 c): Near (Analysis) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/analysis/near.htm>>
- Fidelis, A., 2020: Is fire always the “bad guy”? *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 268, 1-3.
- Filkov, A. I., Ngo, T., Matthews, S., Telfer, S., Penman, T. D., 2020: Impact of Australia's catastrophic 2019/20 bushfire season on communities and environment. Retrospective analysis and current trends. *Journal of Safety Science and Resilience*. 1(1), 44–56.
- Forest Fire Management Group, ©2014: National Bushfire Management Policy Statement for Forests and Rangelands (online) [cit.2022.03.25], dostupné z <<https://www.environment.nsw.gov.au/-/media/OEH/Corporate-Site/Documents/Parks-reserves-and-protected-areas/Fire/national-bushfire-management-policy-statement-forests-rangelands.pdf>>
- Forest Fire Management Victoria, ©2022 a): History and incidents: Ash Wednesday 1983 (online) [cit.2022.03.23], dostupné z <<https://www.ffm.vic.gov.au/history-and-incidents/ash-wednesday-1983>>

- Forest Fire Management Victoria, ©2022 b): History and incidents: Black Friday 1939 (online) [cit.2022.03.23], dostupné z <<https://www.ffm.vic.gov.au/history-and-incidents/black-friday-1939>>
- Harris, S. & Lucas, C., 2019: Understanding the variability of Australian fire weather between 1973 and 2017. *PLoS ONE*. 14(9), 1-33.
- Hennessy, K. J., Lucas, C., Nicholls, N., Bathols, J., Suppiah, R., Ricketts, J., CSIRO Marine and Atmospheric Research, 2005: Climate change impacts on fire-weather in south-east Australia (online) [cit.2022.03.25], dostupné z <[http://www.cmar.csiro.au/e-print/open/hennessykj\\_2005b.pdf](http://www.cmar.csiro.au/e-print/open/hennessykj_2005b.pdf)>
- Hong, C. C., Lu, M. M., Kanamitsu, M., 2008: Temporal and spatial characteristics of positive and negative Indian Ocean dipole with and without ENSO. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 113(8), 1-15.
- Chand, S. S., 2017: Impact of climate variability and change on tropical cyclones in the South Pacific. In *Earth Systems and Environmental Sciences* (Vols. 1–5). Elsevier.
- Chen, Y. C., 2017: A tutorial on kernel density estimation and recent advances. *Biostatistics and Epidemiology*. 1(1), 161–187.
- Chuvieco, E., 2009: Global Impacts of Fire. In *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. Springer, Berlin.
- Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., Bradstock, R. A., 2011: Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*. 16(8), 406-411.
- Kershaw, P., Clark, J. S., D’Costa, D. M., Gill, M., 2002: A History of Fire in Australia. In Bradstock, R. A., Williams, J. E., Malcolm, A. G. (eds.): *Flammable Australia: The Fire Regimes and Biodiversity of a Continent*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Krivoruchko K., 2011: Spatial Statistical Data Analysis for GIS Users Spatial Statistical Data Analysis for GIS Users. Esri Press, California.

- Lagache, T., Lang, G., Sauvonnet, N., Olivo-Marin, J. C., 2013: Analysis of the spatial organization of molecules with robust statistics. *PLoS ONE*. 8(12), 2–9.
- Mariani, M., Fletcher, M. S., Holz, A., Nyman, P., 2016: ENSO controls interannual fire activity in southeast Australia. *Geophysical Research Letters*. 43(20), 1-33.
- Meyers, G., McIntosh, P., Pigot, L., Pook, M., 2007: The years of El Niño, La Niña and interactions with the tropical Indian Ocean. *Journal of Climate*. 20(13), 2872–2880.
- Morgan, G. W., Tolhurst, K. G., Poynter, M. W., Cooper, N., McGuffog, T., Ryan, R., Wouters, M. A., Stephens, N., Black, P., Sheehan, D., Leeson, P., Whight, S., Davey, S. M., 2020: Prescribed burning in south-eastern Australia: history and future directions. *Australian Forestry*. 83(1), 4–28.
- NOAA, ©2009: Climate Variability: Oceanic Niño Index (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index>>
- NOAA, ©2022: Southern Oscillation Index (SOI) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/soi>>
- NOAA, National Weather Service, ©2022: What is El Niño-Southern Oscillation (ENSO)? (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.weather.gov/mhx/ensowhat>>
- Noble, I. R., Gill, A. M., Bary, G. A. V. (1980): McArthur's fire-danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*. 5(2), 201–203.
- NSW Government, ©2022: Key facts about NSW (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.nsw.gov.au/about-nsw/key-facts-about-nsw>>
- NSW National Parks and Wildlife, 2012: *Living with Fire in NSW National Parks*. Office of Environment and Heritage, Sydney.
- Paul, B. K., Rashid, H., 2017: Tropical Cyclones and Storm Surges. In: *Climatic Hazards in Coastal Bangladesh*. Butterworth-Heinemann, Oxford.



- Pitman, A. J., Narisma, G. T., McAneney, J., 2007: The impact of climate change on the risk of forest and grassland fires in Australia. *Climatic Change*. 84(3–4), 383–401.
- Penman, T., Clarke, H., Cirulis, B., Boer, M., Price, O., Bradstock, R., 2020: Cost-Effective Prescribed Burning Solutions Vary Between Landscapes in Eastern Australia. *Frontiers in Forests and Global Change*. 3, 1–16.
- Recher, H. F. & Christensen, P. E., 1981: Fire and the evolution of the Australian biota. *Ecological biogeography of Australia*. 1, 137-162.
- Risbey, J. S., Pook, M. J., McIntosh, P. C., Wheeler, M. C., Hendon, H. H., 2009: On the remote drivers of rainfall variability in Australia. *Monthly Weather Review*. 137(10), 3233–3253.
- Ruda A., 2014: Klimatologie a hydrogeografie pro učitele. Masarykova univerzita, Brno.
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., Yamagata, T., 1999: A dipole mode in the tropical Indian ocean. *Nature*. 401(6751), 360–363.
- SEED, ©2022: NPWS Fire History - Wildfires and Prescribed Burns (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://datasets.seed.nsw.gov.au/dataset/fire-history-wildfires-and-prescribed-burns-1e8b6>>
- Smith, M. O., Ball, J., Holloway, B. B., Szabo, G., Stone, E., Graham, J., Lawrence, J. J., 2014: *A Modification of Ripley's K Function to Measure Aggregation About a Mass*. 1–27.
- Statista, ©2022: Share of bushfire ignitions in Australia as of November 2019, by cause (online) [cit.2022.03.23], dostupné z <<https://www.statista.com/statistics/1104822/australia-causes-of-bush-fire-ignitions/>>
- Šebesta D., Fňukal M., Tláškal M., 2013: Regionální geografie anglosaské Ameriky, Austrálie a Antarktidy. Univerzita Palackého, Olomouc.

- Verdon, D. C., Kiem, A. S., Franks, S. W., 2004: Multi-decadal variability of forest fire risk - Eastern Australia. *International Journal of Wildland Fire*. 13(2), 165–171.
- Visner, M., Shirowzhan, S., Pettit, C., 2021: Spatial analysis, interactive visualisation and gis-based dashboard for monitoring spatio-temporal changes of hotspots of bushfires over 100 years in New South Wales, Australia. *Buildings*. 11(2), 1–27.
- Wang, G., Cai, W., 2020: Two-year consecutive concurrences of positive Indian Ocean Dipole and Central Pacific El Niño preconditioned the 2019/2020 Australian “black summer” bushfires. *Geoscience Letters*. 7(1), 1-9.
- Węglarczyk S., 2018: Kernel density estimation and its application. *ITM Web of Conferences*. 23, 1-8.
- WMO, ©2014: El Niño/Southern Oscillation (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=7888](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7888)>
- Yuan, W., Zheng, Y., Piao, S., Ciais, P., Lombardozzi, D., Wang, Y., Ryu, Y., Chen, G., Dong, W., Hu, Z., Jain, A. K., Jiang, C., Kato, E., Li, S., Lienert, S., Liu, S., Nabel, J. E. M. S., Qin, Z., Quine, T., Sitch, S., Smith, W. K., Wang, F., Wu, C., Xiao, Z., Yang, S., 2019: Increased atmospheric vapor pressure deficit reduces global vegetation growth. *Science Advances*. 5(8), 1–13.
- Zhang, C., 2015: Climate and Climate Change: Global Impacts of the Madden-Julian Oscillation. In: North, G. R., Pyle, J., Zhang, F. (eds.): *Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition* (Second Edi, Vol. 2). Academic Press, Cambridge.

# 11. Seznam obrázků

- Obrázek 1: Monzunová cirkulace v létě a v zimě (North Carolina Climate Office: Monsoon Systems) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://legacy.climate.ncsu.edu/edu/Monsoons>>.
- Obrázek 2: Pohyb ITCZ během léta a zimy (Halldin, M.: ITCZ January-July) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ITCZ\\_january-july.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ITCZ_january-july.png)>.
- Obrázek 3: Neutrální podmínky a Walkerova cirkulace (NOAA) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.climate.gov/media/13542>>.
- Obrázek 4: Zpětná vazba oceánu a atmosféry během El Niño (NOAA) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.climate.gov/media/13534>>.
- Obrázek 5: Zpětná vazba oceánu a atmosféry během La Niña (NOAA) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.climate.gov/media/13532>>.
- Obrázek 6: Zpětná vazba oceánu a atmosféry během neutrálního stavu (NOAA) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.climate.gov/media/13530>>.
- Obrázek 7: Oblast Niño-3.4 (NOAA) (online) [cit.2022.03.24], dostupné z <<https://www.climate.gov/media/5541>>.
- Obrázek 8: Příčiny vzplanutí požárů v parcích a rezervacích Nového Jižního Walesu v období 1995-2010 (NSW National Parks and Wildlife, 2012).
- Obrázek 9: SOI a výskyt velkých požárů v Novém Jižním Walesu mezi lety 1976-2009 (NSW National Parks and Wildlife, 2012).
- Obrázek 10: Vývoj četnosti požárů 1949/50-2019/20 (autor).
- Obrázek 11: Vývoj velikosti spálené plochy 1949/50-2019/20 (autor).
- Obrázek 12: Grafy zobrazující vývoj ENSO v sezónách s největší spálenou plochou bez výskytu El Niño (autor).
- Obrázek 13: Graf zobrazující vývoj ENSO v sezóně 2002/03 s výskytem El Niño (autor).
- Obrázek 14: Grafy zobrazující vývoj ENSO v sezónách s největší četností bez výskytu El Niño (autor).
- Obrázek 15: Grafy zobrazující vývoj ENSO v sezónách s největší četností s výskytem El Niño (autor).
- Obrázek 16: Kernel Density: Prostorové změny v hustotách požárů v sezónách s největší spálenou plochou (autor).
- Obrázek 17: Kernel Density: Prostorové změny v hustotách požárů v sezónách s největší spálenou plochou (autor).

Obrázek 18: Kernel Density: Prostorové rozložení hustot požárů ve zbylých sezónách (autor).

Obrázek 19: Ripley's K: Grafy a tabulky zachycující prostorové závislosti dat v různých vzdálenostech ve významných sezónách (autor).

Obrázek 20: Ripley's K: Grafy a tabulky zachycující prostorové závislosti dat v různých vzdálenostech v nevýznamných sezónách (autor).

Obrázek 21: Ripley's K: Graf a tabulka zachycující prostorovou závislost dat v různých vzdálenostech ve zbylých sezónách (autor).

# 12. Přílohy

## 12.1 Přehled použitých zkratk

ENSO – El Niño/Southern Oscillation (El Niño/jižní oscilace)

FFDI – McArthur Forest Fire Danger Index

IOD – Indian Ocean Dipole (indickooceánský dipól)

ITCZ – Intertropical Convergence Zone (Intertropická zóna konvergence)

KDE – Kernel Density Estimation (jádrový odhad hustoty)

MJO – Madden-Julian Oscillation (Maddenova-Julianova oscilace)

ONI – Oceanic Niño Index

SOI – Southern Oscillation Index (index jižní oscilace)