

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD



Česká zemědělská
univerzita v Praze

TVORBA MODELU RIZIKA LESNÍCH POŽÁRŮ
V SEVERNÍM TERITORIU AUSTRÁLIE

CONSTRUCTION OF A FOREST FIRE RISK MODEL
IN THE NORTHERN TERRITORY OF AUSTRALIA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: D.SC. OLGA ŠPATENKOVÁ

Bakalant: ONDŘEJ VÁLEK

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Válek

Geografické informační systémy a dálkový průzkum Země v životním prostředí

Název práce

Tvorba modelu rizika lesních požárů v Severním teritoriu Austrálie

Název anglicky

Construction of a forest fire risk model in the Northern Territory of Australia

Cíle práce

Práce se věnuje tématu modelování rizika lesních požárů v Austrálii, konkrétně v oblasti Severního teritoria. V teoretické části objasní postupy, které se v současnosti v požární prevenci uplatňují. Získané znalosti dále aplikuje v praktické části, která se zaměří na tvorbu vlastního modelu a jeho zhodnocení.

Metodika

Na základě podrobné literární rešerše budou stanoveny hlavní faktory, které v odborné praxi do modelování rizika požárů vstupují. Uvažována přitom budou specifika dané zájmové lokality. Tyto faktory budou poté použity pro vytvoření nového modelu, který bude podrobně popsán. Kvalita modelu bude následně vyhodnocena s využitím dostupných historických záznamů o požárech v daném území.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

požáry, modelování rizika, prevence požárů, dálkový průzkum, GIS

Doporučené zdroje informací

- ARAGÓ, P., et al. Spatial point process modeling applied to the assessment of risk factors associated with forest wildfires incidence in Castellón, Spain. *European Journal of Forest Research*, 2016, 135.3: 451-464.
- CLARK, Colin, et al. Causes of Big Bushfires in Australia: Higher Temperatures and Rainfall or More Fuel?. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2020, 8.08: 79.
- LEVIN, Noam; YEBRA, Marta; PHINN, Stuart. Unveiling the Factors Responsible for Australia's Black Summer Fires of 2019/2020. *Fire*, 2021, 4.3: 58.
- TURNER, Rolf. Point patterns of forest fire locations. *Environmental and ecological statistics*, 2009, 16.2: 197-223.
- WILSON, Nicholas; CARY, Geoffrey J.; GIBBONS, Philip. Relationships between mature trees and fire fuel hazard in Australian forest. *International journal of wildland fire*, 2018, 27.5: 353-362.
-

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 Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2022

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma Tvorba modelu rizika lesních požárů v Severním teritoriu Austrálie vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou/závěrečnou práci 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 vědom, že odevzdáním bakalářské/závěrečné 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 30.3.2022

.....

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat své vedoucí práce, D.Sc. Olze Špatenkové, za vedení této práce, věcné rady a připomínky, trpělivost a motivující přístup. Dále patří poděkování mé rodině a blízkým, spolužákům, kolegům a všem, kdo mě během práce podporovali.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá modelováním rizika vzniku požárů na území Severního teritoria v Austrálii. Rešeršní část je věnována seznámení s problematikou požárů na území Austrálie a jejich prevenci. V této části jsou také vysvětleny faktory ovlivňující riziko vzniku požárů a síly jejich vlivu při výpočtu indexů rizika, kterým je v této části práce také věnován prostor.

Na základě informací získaných v rešeršní části práce byl vytvořen model rizika vzniku požárů pro území Severního teritoria. Tento model se skládá ze tří hlavních komponent, každá pro jeden faktor ovlivňující možné riziko. Data, vstupující do výpočtu, byla získána do velké míry od australských státních organizací či nadnárodních organizací dálkového průzkumu Země. Pro validaci modelu byla zvolena sada historických dat incidence požárů. K těmto bodovým incidentům byla vztažena hodnota rizika, ve kterém se jednotlivé požáry vyskytly. Za pomoci těchto dat také došlo k vizuálnímu zhodnocení prostorového rozložení požárů.

Výsledné hodnoty rizika vzniku požárů jsou převážně dlouhodobého charakteru, především kvůli absenci přímého vlivu klimatických podmínek, jenž se do výpočtu promítá jen částečně v rámci některých zvolených faktorů. I přesto však model přináší nový pohled na tuto problematiku, a to primárně díky práci s informacemi z posledních studií, provedených v zájmovém území, nebo zahrnutí i méně vlivných faktorů do výpočtu rizika.

KLÍČOVÁ SLOVA

požáry, modelování rizika, prevence požárů, dálkový průzkum, GIS

ABSTRACT

The Bachelor thesis deals with forest fire risk in Northern Territory located in Australia. The research part is devoted to the problematics of wildfires in Australia and their prevention. This part also explains the factors influencing the fire risk as well as the strength of their influence while modeling risk indices, which are also mentioned in this part.

Based on the information obtained in the research part of this thesis, a model of fire risk for the Northern Territory was created. This model consists of three main components, each for one factor influencing potential risk. The data used for computing this model were mostly obtained from the Australian government or remote sensing organizations. A set of historical fire incidence data was used for validation of the model. The value of risk in which the individual fires occurred was related to these point incidents. The spatial distribution of these incidents was also evaluated using the same data.

The result values of fire risk are mostly of a long-term nature, mainly due to the absence of a direct influence of climatic conditions, which is reflected in the calculations only partially within a few selected factors. Nevertheless, the model brings a new perspective on the issue of forest fire risk modeling, primarily through considering information from recent studies conducted in the area as well as including factors with lesser influence in the calculations.

KEYWORDS

wildfires, risk mapping, fire prevention, remote sensing, GIS

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

AFMS	Australian Flammability Monitoring System
AVHRR	Advanced Very-High-Resolution Radiometer
CRC	Cooperative Research Centre
CSV	Comma-Separated Value
DEM	Digital Elevation Model
ESA	European Space Agency
FHC	Fuel Hazard Component
FMC	Fuel Moisture Content
FRI	Fire Risk Index
GDA94	Geocentric Datum of Australia 1994
GIS	Geografické informační systémy
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
HFI	Hybrid Fire Index
HRI	Human Risk Index
ICONA	Instituto para la Conservación de la Naturaleza
LC	Land Cover
LFMC	Live Fuel Moisture Content
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBRU	National Bushfire Research Unit
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NFDRS	National Fire Danger Rating
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPP	National Polar-orbiting Partnership
OSFM	Office of the State Fire Marshal

PI	Probability of Ignition
SFI	Structural Fire Index
SNPP	Suomi National Polar-orbiting Partnership
VHI	Vegetation Health Index
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
WDI	Weather Danger Index
WFU	Wildland Fire Use

OBSAH

1. ÚVOD	12
2. CÍLE PRÁCE	13
3. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ, STRUČNÁ HISTORIE POŽÁRŮ A JEJICH ŠETŘENÍ NA ÚZEMÍ AUSTRÁLIE	14
3.1 Obecná charakteristika území Austrálie	14
3.2 Austrálie a požáry	14
3.2.1 Historie požárů v Austrálii	15
4. Prevence a mapování požárů	18
4.1 Plánované požáry	18
4.2 Mapování požárů a modely rizika vzniku požárů v Austrálii	19
4.3 Mapování požárů a modely rizika vzniku požárů mimo území Austrálie	20
5. RIZIKOVÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ RIZIKO VZNIKU POŽÁRŮ A INDEXY PRO VÝPOČET RIZIKA	22
5.1 Faktory ovlivňující riziko vzniku požárů	22
5.1.1 Vegetace	22
5.1.2 Klimatické podmínky	23
5.1.3 Topografie	24
5.1.4 Lidská činnost	25
5.2 Indexy rizika vzniku požárů	26
5.2.1 Structural Fire Index (SFI)	26
5.2.2 Fire Risk Index (FRI)	27
5.2.3 Hybrid Fire Index (HFI)	27
6. Data a Metodika	28
6.1 Zájmové území	28
6.2 Data	29
6.2.1 Vegetace	29
6.2.2 Antropogenní činnost	30

6.2.3 Vliv topografie	30
6.2.4 Historická data požárů	30
6.3 Metodika.....	30
6.3.1 Model vlivu vegetace	31
6.3.2 Model vlivu antropogenní činnosti	33
6.3.3 Model vlivu topografie	34
6.3.4 Validace modelu daty ze senzoru VIIRS	36
7. VÝSLEDKY	37
8. DISKUSE.....	41
9. ZÁVĚR	44
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
11. PŘÍLOHY.....	52

1. ÚVOD

Požáry jsou jednou z nejčastějších přírodních katastrof, ke kterým dochází v oblastech po celém světě. Na území Austrálie, které patří díky své geografické poloze a s tím spojenými klimatickými podmínkami k nejrizikovějším na světě vůbec, jsou požáry nedílnou součástí zdejší přírody. Velké množství místní fauny a flory, která se v Austrálii vyskytuje, je výsledkem dlouhého evolučního procesu přizpůsobení se mimo jiné i ohnivým živlům. Nelze opominout ničivou sílu požárů, které mohou způsobit značné škody na majetku a ztráty na životech lidí i zvířat. Od roku 1851, kdy začala dokumentace těchto incidentů, mají požáry za následek přibližně 800 lidských úmrtí, další miliardy pak u zvířat. Některé druhy byly následkem těchto katastrof dohnány až do stádia kritického ohrožení, a to především v posledních desetiletích, kdy požáry nabírají ničivějších rozměrů, což je spojováno s globální klimatickou změnou.

Modelování rizika vzniku požárů a následná prevence jsou v dnešní době velice důležité pro ochranu lidských i zvířecích životů či majetku. Pro vytvoření kvalitního modelu je potřeba co nejvíce informací o chování požárů, popřípadě zjištění podmínek ideálních pro vznik požáru. Existuje nemalé množství studií a odborné literatury, zabývající se touto problematikou. Mezi těmito pracemi i odborníky na tuto problematiku panuje shoda jak o jednotlivých faktorech ovlivňujících možné riziko vznícení, tak i o síle vlivu těchto faktorů. V průběhu posledních sta let bylo vytvořeno několik různých indexů pro rozdílné oblasti, ve kterých jsou používány.

Za pomoci dnešní výpočetní techniky a GIS systémů lze vytvářet modely s vysokým prostorovým rozlišením ve velmi krátkém čase. Výhoda těchto systémů spočívá v možnosti vytvoření algoritmů, které jsou následně schopny na základě vložených dat vypočítat oblasti zvýšeného rizika. Silnou roli má i dálkový průzkum Země, jenž umožňuje sledování rozsáhlých území během krátkého časového úseku. Díky družicovým systémům získáváme klíčové informace pro modelování rizika vzniku, jako jsou například informace o zdravotním stavu vegetace nebo topografická data, ale máme také možnost v reálném čase sledovat aktuální data o probíhajících požárech. K tomu jsou využívány především senzory na palubě družicových systémů organizací jako jsou NASA, ESA či NOAA. Výsledkem používání těchto systémů je rychlejší nasazení potřebných sil v boji s požáry, nebo k efektivnější prevence před nimi.

2. CÍLE PRÁCE

Cíle této bakalářské práce lze rozdělit do tří dílčích celků. Prvním z nich je určení faktorů, které nejsilněji ovlivňují riziko vzniku požárů. Tyto faktory budou určeny na základě odborné literatury, studií zabývajících se problematikou rizika vzniku požárů, a již existujících modelů, používaných po celém světě. Dále se v práci zaměřím na vlivy jednotlivých faktorů – jaká váha je jednotlivým faktorům přiřkládána, jakým způsobem dané faktory ovlivňují modelování rizika. V neposlední řadě se v této části budu zabývat již používanými indexy, jakým způsobem jsou modelovány, jaké proměnné do jejich výpočtů vstupují a pro jaké oblasti jsou užívány. V neposlední řadě bude v práci obsaženo krátké seznámení s problematikou požárů v Austrálii, jakým způsobem je zajištěna jejich prevence, popřípadě modelování a mapování rizika či už aktivních požárů.

Druhým dílčím cílem je vytvoření vlastního modelu rizika vzniku požárů v praktické části této bakalářské práce. Jako zájmové území bylo zvoleno Severní Teritorium v Austrálii. Tento model bude složen z několika dílčích komponent. Každá z těchto komponent bude zaměřena na výpočet vlivu jednotlivých faktorů ovlivňující riziko vzniku požárů. Proměnné vstupující do výpočtu, váha každé z proměnných v dílčích komponentách a následné váhy každé z komponent budou zvoleny na základě literární rešerše a informací získaných v první části této bakalářské práce s možnou modifikací. Jelikož bude model vytvářen pro rozlehlé území, bude prostorové a časové rozlišení dat odpovídat této skutečnosti. Data, použitá v praktické části, budou získána z prověřených zdrojů (australské vládní instituce, mezinárodní vesmírné organizace) tak, aby byla zajištěna určitá kvalita výsledného modelu. Zároveň se pokusím, aby byla získaná data volně přístupná a aktuální.

Poslední část práce je zaměřena na validaci vytvořeného modelu rizika vzniku požárů. Tato validace bude probíhat dvěma způsoby. Prvním způsobem je ověření funkčnosti modelu pomocí dat incidencí požárů, kdy budou provedeny analýzy množství výskytů těchto požárů v jednotlivých kategoriích rizika. K ověření budou využita historická data o požárech. Druhým způsobem validace výsledného modelu bude zhodnocení dat vstupujících do výpočtu – jaké jsou alternativy těchto dat, časová proměnlivost dat, nebo komplikace spojené s použitím některých proměnných. Tato část bude taktéž věnována možnostem zpřesnění a vylepšení výsledného modelu.

3. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ, STRUČNÁ HISTORIE POŽÁRŮ A JEJICH ŠETŘENÍ NA ÚZEMÍ AUSTRÁLIE

3.1 Obecná charakteristika území Austrálie

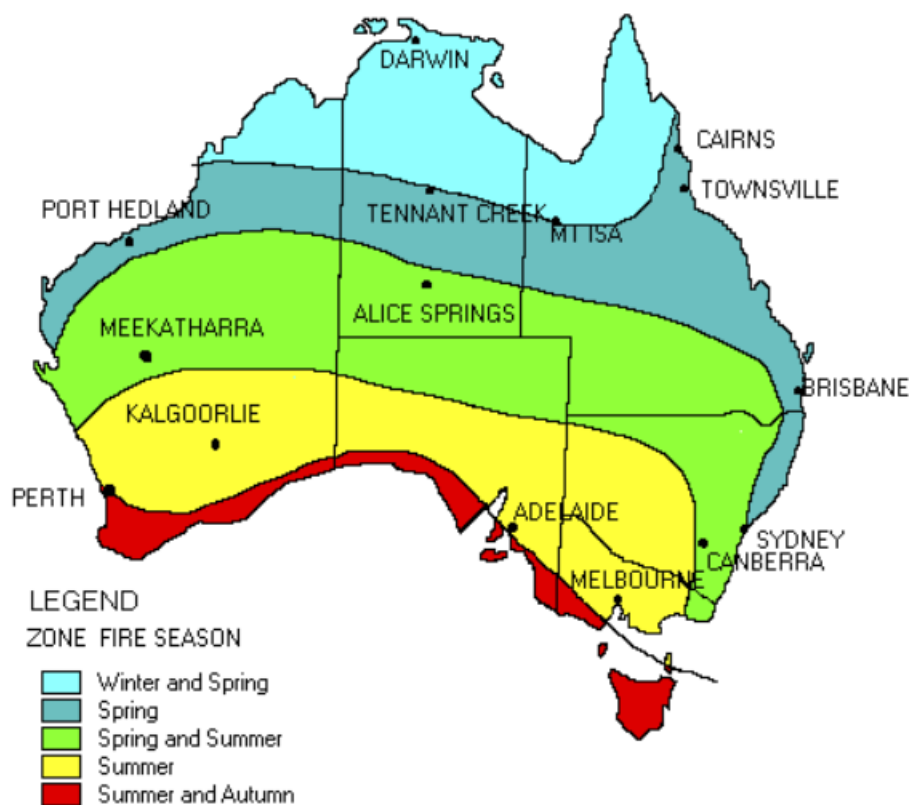
Austrálie, rozléhající se z velké části na stejnojmenném kontinentu je nejsušším a nejplošším obydleným světadílem a má nejmenší množství úrodné půdy. Většina australského povrchu má pouštní nebo polopouštní charakter, nicméně lze zde nalézt mnoho dalších prostředí od vřesovišť po tropické deštné lesy. Díky dlouhodobému odloučení od ostatních kontinentů se zde nachází velké množství unikátních (endemických) organismů – tyto druhy jsou často obětmi lesních požárů, dochází k velkému poklesu populací druhů, což může vést ke kritickému ohrožení až k vymření některých druhů (Ward, 2020).

Australské klima je z velké části ovlivněno Pacifickým a Indickým oceánem. Většina území Austrálie má aridní, popřípadě semiaridní podnebí, což spolu s jevem El Niño způsobuje sezónní sucha a nedostatek srážek (s výjimkou východního pobřeží a Tasmánie). Z pohledu ročního úhrnu srážek je na tom Austrálie ze všech kontinentů nejhůře, a to i přesto, že během 20. století došlo k nárůstu průměrných ročních srážek o 6 % (Lavery, 1998). Vysoká průměrná teplota, která byla v roce 2021, jenž patřil podle Bureau of Meteorology (2022) k nejchladnějšímu od roku 2012, 24,86 °C, je také nedílnou součástí Australského klimatu. Nutno brát v potaz i fakt, že zkoumáním trendů v teplotních extrémech v období 1957–1996 (je však předpoklad, že tato zjištění pokračují i do současnosti) byl zjištěn nárůst frekvence teplotně extrémních událostí, zatímco dochází k poklesu chladných extrémů (Collins et al., 2000).

3.2 Austrálie a požáry

Požáry jsou nedílnou součástí Australského prostředí a ekologie (Russell-Smith et al., 2020), většina z nich vzniká během hlavní požárové sezóny. Podle Cheney (1995), jsou tato období nejvíce ovlivněna zeměpisnou šířkou dané oblasti. V severní Austrálii je období požárů převážně v zimě a na jaře. V jižní části kontinentu je to pak především léto a podzim (viz obr. 1) (Cheney, 1995). Nejvíce náchylnou částí na vznícení je východní část země, a to kvůli silnému zastoupení eukalyptových lesů, které mají tendenci se za určitých povětrnostních podmínek velmi rychle vznítit (Volkova et al, 2019). Bylo určeno množství příčin těchto požárů, mezi těmi hlavními se jedná o vysoké teploty, nepovolené pálení nechtěné vegetace, zásah bleskem

nebo nepozornost při stanování (Linacre & Hobbs, 1977). Od roku 1850 došlo celkem k 29 různým požárům (viz tab. 1), které měly rozlohu větší než 1 milion hektarů (Clark, 2020).



Obr. 1: Mapa požárových sezón v Austrálii (Cheney, 1995)

3.2.1 Historie požárů v Austrálii

Oheň je v australském prostředí jedním z nejdůležitějších přírodních projevů s historií zasahující ještě před objevení tohoto kontinentu Evropany. Jak uvádí Blainey (2015), už členové prvních evropských námořních expedic zaznamenali na pobřeží Austrálie rozlehlé kouřové mraky způsobené požáry. Tyto požáry byly výsledkem počínání nejen přírody, ale i původních obyvatel Austrálie. Původní obyvatelé často zakládali ohně v rámci zlepšení stavu vegetace či v rámci zlepšení úrody v zemědělství (Tangentyre Landcare, 2005). Mimo to byly požáry zakládány i jako ochrana před jejich pozdějším rozšířením, které hrozilo během hlavní požárové sezóny (Cheney, 1995).

Po usazení Evropanů na území Austrálie byla vynaloženo obrovské úsilí na snížení množství požárů, které byly založeny původními obyvateli a došlo k omezení cíleného vypalování (Ward et al., 2001). Tato omezení tradičních metod, jak uvádí Cheney (1995), měla za následek zrychlené opětovné zarůstání spálených oblastí.

Některé studie však poukazují, že Evropany zavedené nespoutané zarůstání především vegetací náchylnou ke vznícení a kácení starých stromů, které vedlo k nahrazení těchto dřevin především křovinami a keři, mělo za následek větší náchylnost některých oblastí ke vzniku a rozšíření rozsáhlých lesních požárů (*Ward et al., 2011; Wilson et al., 2018*). Ve 20. století došlo také k importu a následnému rozšíření krmné vysoké trávy *Andropogon gyanus*, původem z africké savany, která později sloužila jako palivo při požárech buše (*Head & Atchison, 2015*).

Velmi často převažuje názor, že po kolonizaci Austrálie Evropany došlo k navýšení frekvence požárů, ale z historicky doložitelných dokumentů je jasné, že není pravdivý – frekvence výskytů požárů se výrazně snížila, nicméně díky nahromadění paliva byly požáry podstatně intenzivnější a rozsáhlejší (*Cheney, 1995*). První takovouto velkou zdokumentovanou událostí byly požáry v roce 1851, které později dostaly název Black Thursday bushfires. Během těchto požárů byla spálena téměř čtvrtina státu Victoria (téměř 50 tisíc čtverečních kilometrů) (*Pounder, 1984*) a jednalo se o první požár na území Austrálie, kdy byly zaznamenány ztráty na lidských životech (*Westgarth, 1988*). Přesto, že tyto požáry nebyly zdaleka nejničivější, měly za následek první regulace k omezení rizika vzniku požárů – bylo zakázáno rozdělávat ohně během období sucha a hlavních požárové sezóny, později pak byly vytvořeny první profesionální skupiny požárníků (*Pounder, 1984*).

I přes veškeré regulace a zákazy zasáhly Austrálii během 20. století další ničivé události. Jednou z těchto událostí byly požáry, které začaly během požárové sezóny roku 1938 a vrcholem bylo vznícení požárů ve státě Victoria v pátek 13. ledna 1939 – podle toho dostala tato událost název Black Friday bushfires. Tyto požáry však trvaly až do konce léta 1939 a dosáhly až na okraje velkých měst jako Sydney či Melbourne (*Warden, 2014*). Jednalo se o 3 nejvíce smrtící požáry v historii kontinentu (požáry měly za následek 71 úmrtí (*Stretton, 1939*) a teploty naměřené na některých stanicích z této události dělají nejteplejší požáry v historii – například v městečku Menindee bylo naměřeno rekordních 49.7 °C, v Melbourne pak 45.6 °C (*Hannam, 2019*).

V roce 1967 proběhly nejničivější požáry v historii mimo pevninskou část Austrálie, na ostrově Tasmánie. Jedná se o 4 nejvíce ničivé požáry v historii Austrálie, a to i přesto, že je Tasmánie podstatně menší, než kontinentální část. Jak uvádí *McArthur (1969)*, meteorologické podmínky nebyly nijak zvlášť extrémní. Díky silným severním větrům se požár dostal i do hlavního města Hobart, kde bylo zničeno přes tisíc domovů a 62 lidí přišlo o život (*Williams, 2011*). O pár let později byla kontinentální část zasažena nejrozsáhlejšími požáry, kdy celých 15 % Australského

povrchu utrpělo poškození ohněm (*Cheney, 1995*). Podle *Cole (2020)* bylo požáry zasaženo přibližně 117 milionů hektarů.

Požáry v Austrálii v 21. století se zatím řadí k těm nejhorším katastrofám, jaké Austrálie ve své historii zažila. V letech 2008-2009 měly dlouhodobě vysoké teploty spolu se silnými větry za následek tzv. Black Saturday bushfires, během kterých přišlo o život 173 lidí, což z nich dělá nejsmrtelejší požáry v historii země a 9. nejsmrtelejší požáry v historii lidstva (*Teague et al., 2010; ATE, 2020*). Poslední velkou událostí jsou požáry v letech 2019-2020. Velkým faktorem, který ovlivnil vznik těchto požárů, přezdívaných Black Summer bushfires, byl fakt, že rok 2019 byl nejteplejším a nejsušším v dokumentované historii Austrálie (*Bureau of Meteorology, 2020*). Podle *Dickman & McDonald (2020)* zemřelo během těchto požárů přes 1 miliardu zvířat a někteří ekologové se obávají, že některé druhy dokonce vymřely (*Southwell et al., 2020*). Způsobené škody byly pak odhadovány na 20 miliard australských dolarů (*Wilkie, 2020*), což je rekordní suma v Australské historii.

Year	State	Mean maximum temperature	Area burnt MHa	Median Z score	Estimated duration (days)
1851	VIC	31.3	5.0	1.63	30
1926	NSW	26.9	>2.0	1.33	60
1939	VIC	32.4	1.52	1.81	45
1944	VIC	30.9	1	0.88	30
1951	QLD	35.2	2.83	0.17	60
1952	VIC	33.1	>4.0	0.82	80
1957	NSW	25.7	>2.0	1.53	45
1961	WA	30.7	1.5	0.90	75
1968	NSW	21.9	>2.0	0.84	150
1969	NT	37.7	45	0.83	120
1974	QLD	35.0	7.3	-0.55	140
1974	NSW	24.1	4.5	-0.51	140
1974	SA	26.7	16	-0.58	120
1974	NT	34.4	45	-0.76	150
1974	WA	30.2	29	-0.50	140
1974	Nation	30.2	101.8	-0.55	-
1976	QLD	31.1	1.89	0.30	230
1980	NSW	30.0	>1	0.94	90
1985	NSW	33.7	3.5	0.25	90
2001	QLD	31.1	1.6	-0.02	120
2002	NT	33.3	38	0.39	285
2002	NSW	24.7	1.46	0.84	220
2003	VIC	29.8	1.1	0.36	80
2003	WA	31.1	2.1	0.14	120
2007	VIC	30.3	1.1	1.12	69
2020	NSW	25.0	5.4	1.28	215
2020	NT	35.7	6.8	1.19	185
2020	VIC	30.9	1.5	0.30	125
2020	WA	31.7	2.2	0.88	130
2020	QLD	33.7	2.5	0.71	125

Tab. 1.: Tabulka požárů větších než 1Mha (*Clark, 2020*)

4. Prevence a mapování požárů

Prevence požárů či jejich management mají za účel redukovat riziko vzniku požáru a omezení jeho následného šíření. Cílem metod k tomuto používaných je řídit kvalitu ovzduší, udržovat ekologickou rovnováhu a zdraví vegetace, chránit přírodní zdroje, nebo ovlivnit budoucí požáry. Jednou z využívaných metod tzv. fire managementu jsou plánované požáry – vládními agenturami zapalované požáry během příznivějších podmínek (*Webb, 1988*). Druhou obdobnou metodou jsou tzv. Wildland Fire Use (WFU). Jedná se o požáry, které na rozdíl od těch plánovaných vznikly vlivem přírodního charakteru, nejsou však uhašeny a zůstávají pod dálkovým dohledem, čímž nejsou například v odlehlejších oblastech hasiči vystavováni případnému nebezpečí (*Wagtendonk, 2007*).

Na počátku 20. století byly k mapování požárů používány vyhlídkové věže, odkud parkové hlídky nahlašovali a mezi sebou komunikovali pomocí telefonů, holubů či heliografů (*Stone, 1957*). Během 50 let minulého století bylo k detekci požárů využíváno letecké snímání, které bylo v následných letech nahrazeno senzory citlivými v infračerveném pásmu. V tomto období však ještě bohužel nebyly komunikační prostředky na dostatečné úrovni, reakce na požáry proto nebyla vždy dostatečně rychlá (*Ambrosia et al., 1998, Chuvieco & Congalton, 1989*). V dnešní době je k monitorování požárů využívána kombinace elektronických družicových či leteckých senzorů a lidských pozorovatelů. Mezi nejpoužívanější družicové systémy k mapování aktivních požárů patří ty od organizací NASA či NOAA – jedná se především o infračervené senzory MODIS, GOES, AVHRR či VIIRS (*Miller et al., 2013*).

4.1 Plánované požáry

Plánované požáry jsou doporučovány a velmi často využívány pro udržitelné řízení ekosystémů náchylných ke vznícení, díky své schopnosti snížit množství paliva a zabránit, či alespoň zmírnit velmi intenzivní požáry (*Boer et al., 2009*). Tato metoda může poskytnout nástroje pro opětovné zavedení či udržení významných procesů přirozené disturbance v ekosystémech náchylných ke vznícení (*Burrows, 2008*). Nicméně jak uvádí *Freckleton (2004)*, pro valnou část těchto ekosystémů stále není dostatek dat pro určení, zdali má metoda plánovaného spalování z dlouhodobého hlediska pozitivní či negativní výsledky. Aplikace této metody se však v posledních letech stává komplikovanější, jelikož se kvůli klimatickým změnám zmenšují časová okna, kdy lze plánované spalování provádět (*Quinn-Davidson & Varner, 2011*).

Některé studie poukazují na to, že tato metoda je sice velice efektivní, a to především v přechodných oblastech mezi volnou přírodou a obydleným územím, ekonomicky se však vždy nejedná o nejlepší volbu (Florec et al., 2019). Další studie naznačují, že negativní následky plánovaného spalování mohou vést ke zdravotním problémům či škodě na zemědělské produkci, což může vyvolávat vlny nesouhlasu určitých komunit obyvatel například v USA (Broome et al., 2016; Brunson & Evans, 2005).

4.2 Mapování požárů a modely rizika vzniku požárů v Austrálii

Velmi důležitou roli hraje mapování jak již aktivních či minulých požárů (incidence), tak mapování rizika vzniku požárů – při mapování rizik se však vychází z modelů založených na statistických údajích, existuje zde tedy určitý prostor pro chybovost. Jak uvádí Aragó et al. (2016), při mapování požáru je potřeba rozlišovat dva termíny – riziko vzniku požáru a incidence požáru. Zatímco incidencí požáru vyjadřujeme určitý případ výskytu požáru (s danou polohou v daném čase), riziko vzniku požáru vyjadřuje předpoklad možného vzniku požáru s určitou pravděpodobností na základě daného matematického modelu.

Prvním modelem, který vznikl pod záštitou National Bushfire Research Unit (NBRU) byl tzv. National Bushfire Model. Tento model se začal vyvíjet v červenci 1987 a jeho primárním cílem bylo poskytování informací v reálném čase zasahujícím jednotkám – první fáze projektu se soustředila na mapování incidencí požárů. Projekt se rozšiřoval ve 4 etapách, a to dvěma směry – funkcemi samotného modelu a prostorovým pokrytím. Struktura modelu se ve finální fázi skládala z množství vstupních informací – dlouhodobě neměnná data uložená na disku (informace o terénu, typ vegetace), často se měnící data vkládána uživatelem (vlhkost půdy a vegetace, meteorologické podmínky), ekonomická data (hodnota zdrojů). Na základě těchto informací se pomocí algoritmů získávaly finální výstupy – mapa aktuálních požárů, potencionální rozšíření požárů, mapa hodnot území za účelem zajištění primární ochrany hodnotnějších oblastí (Beer, 1991).

Nejnovějším projektem pro mapování požárů je Australian Flammability Monitoring System (AFMS). Tento projekt, spuštěný roku 2017, spadá pod záštitu Australského ministerstva průmyslu, vědy, energií a zdrojů, a je součástí projektu Bushfire & Natural Hazards CRC. Na vývoji tohoto projektu se podílí vládní a státní organizace, univerzity, agentury pro správu půdy, odborníci v dané problematice a mnoho dalších. Projekt AFMS je součástí plánovaného nového modelu National Fire Danger Rating System (NFDRS) (Australian National University, 2017, Bushfire & Natural hazards CRC, 2017).

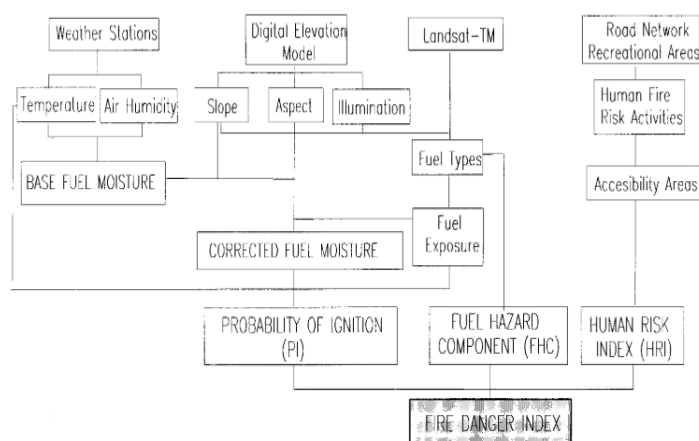
Tento projekt se skládá z několika dílčích modelů. Prvním z nich je Fuel Moisture Content (FMC) – informace o vlhkosti vegetace se získávají především z dat družic Terra a Aqua, na lokální úrovni poté tato data zajišťují sítě in-field senzorů. Druhým modelem je model incidence požárů. Neméně důležitým je výpočet indexu hořlavosti, pro zabránění šíření požáru či správnému rozmístění jednotek hasičů. Do tohoto algoritmu vstupuje množství proměnných – tzv. Fireweather (rychlost větru, teplota, vlhkost, ...), vlhkost půdy, typ vegetace, FMC, FMC mrtvé vegetace, množství živé a mrtvé vegetace a další (Australian National University, 2017).

Velkou výhodou tohoto projektu je získávání informací pomocí družicových systémů. S vývojem těchto systémů se zvyšuje přesnost informací, což napomáhá k efektivnějšímu vyhodnocování informací a zlepšuje jejich předávání do terénu. Jak již bylo zmíněno výše, aktuální data jsou zajišťována senzorem MODIS na palubě družic Terra a Aqua. Tyto družice již několik let přesluhují svou plánovanou životnost. Družicemi, které jsou považovány za adekvátní náhradu jsou například Japonská Himawari-8, Evropský Sentinel-2, nebo systém Landsat (Australian National University, 2017).

Rizika vzniku požáru nelze modelovat se 100 % přesností. Požáry, jakožto přírodní geohazard, mají neurčitý průběh a vždy obsahují náhodný element, který znemožňuje získání přesného modelu.

4.3 Mapování požárů a modely rizika vzniku požárů mimo území Austrálie

Mezi další území, kde se požáry běžně vyskytují, patří například Sibiř, Kalifornie či oblasti mediteránu. Na území Španělska byla jednou z prvních organizací, zabývajících se modelováním rizika vzniku požárů, Instituto para la



Conservación de la Naturaleza (ICONA). Součástí modelování rizika je algoritmus pro výpočet tzv. Fire Danger Indexu (Chuvienco & Salas, 1996). Tento model je složen ze tří částí – Weather Danger Index (WDI), Fuel Hazard Component (FHC) a Human Risk Index (HRI).

Obr. 2: Schéma modelu rizika organizace ICONA (Chuvienco & Salas, 1996)

WDI má nejvyšší vliv při výpočtu výsledného rizika. Zahrnuje v sobě dva faktory: pravděpodobnost vznícení (PI) a vliv větru. První z nich určuje pravděpodobnost vznícení mrtvé vegetace, sloužící jako palivo. Pro získání tohoto faktoru jsou používána data o teplotě vzduchu, relativní vlhkosti, typu vegetace a podmínkami určenými vlivem topografie (nasvícení, orientace a náklon svahu). FHC určuje pravděpodobnost vzniku či rozšíření požáru na základě schopnosti určitých typů vegetace být tzv. "nosičem" požáru. Polední částí modelu je HRI, který indikuje části území, ve kterých je zvýšená pravděpodobnost vzniku požárů, především kvůli vyšší aktivitě lidí (*Chuvienco & Salas, 1996*).

Kalifornie spadá, především díky svým klimatickým podmínkám a vysoké zalidněnosti, mezi oblasti, ve kterých mohou mít požáry ničivé dopady. Ročně zde dojde ke spálení v průměru kolem 1,5 % celkové plochy Kalifornie. Přibližně 350 000 obyvatel Kalifornie pak žije v sídlech nacházejících se ve vysoce rizikových oblastech (*Sabalow et al., 2019*). Velké sumy z veřejných rozpočtů jsou investovány do prevence a bojů s požáry každý rok. Podle *OSFM (2022)* jsou zóny rizika vzniku požárů získávány algoritmem, vytvořeným na základě vědeckých poznatků a informací získaných z terénu. Do výpočtu je zahrnuto velké množství faktorů – množství a změna vegetace, historická data o klimatických podmínkách, topografická data, ale i informace o minulých požárech či možné rozšíření uhlíků po okolí (*OSFM, 2022*). Výsledným produktem tohoto algoritmu jsou mapy znázorňující tzv. Fire Hazard Severity Zones. Celkem existují tři hlavní kategorie rizika – střední, vysoké a velmi vysoké. Důležitou informací k tomuto modelu je fakt, že algoritmus pracuje více s daty historickými (30-50 let zpět), výsledné mapy tedy nepodávají informaci o aktuálním riziku, ale spíše obecněji určují zóny potenciálního nebezpečí – jak často bude v dané oblasti hořet, jakou mají požáry v dané oblasti charakteristiku a jak se budou s nejvyšší pravděpodobností šířit. Tyto mapy jsou pravidelně updatovány, k poslednímu takovému procesu došlo naposledy v roce 2022 (*OSFM, 2022*).

5. RIZIKOVÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ RIZIKO VZNIKU POŽÁRŮ A INDEXY PRO VÝPOČET RIZIKA

5.1 Faktory ovlivňující riziko vzniku požárů

Náchylnost jakéhokoliv území ke vzniku požárů je závislá na nemalém množství faktorů. Mezi tyto faktory patří především typ vegetace, klimatické podmínky (primárně množství srážek v území a teplotní podmínky) či vzdálenost od lidských obydlí a komunikací. Jednotlivé vlivy lze, jak uvádí *Adab et al. (2013)*, rozdělit do dvou hlavních kategorií – strukturální či dlouhodobé vlivy, které se mění jen v podstatně delším časovém horizontu (*Cheret & Denux, 2011*). Patří sem například typ vegetace Land Cover, vlivy topografie či vzdálenost od lidských obydlí či komunikací (*Pelizzari et al. 2008*). Další kategorií jsou vlivy krátkodobého charakteru, označovány také jako dynamické (*Adab et al., 2013*). Do této kategorie spadají mimo jiné i klimatické podmínky, jako je srážkový úhrn nebo teplota. Klimatické podmínky poté silně ovlivňují další faktor z této kategorie, pravděpodobnost vznícení vegetace (*Albini, 1976*). Nejvýznamnější faktory rizika vzniku požárů v Austrálii jsou uvedeny níže.

5.1.1 Vegetace

Vegetace je nedílnou součástí modelování rizika vzniku požárů. Při studii zkoumající faktory ovlivňující vznik požárů v období 2019-2020 bylo dokonce zjištěno, že proměnné související se stavem či typem vegetace mají na vznik požárů nejvyšší vliv, následovány klimatickými podmínkami (*Levin et al., 2021*). Vegetace má při požárech klíčový vliv, kdy pro požár funguje jako palivo. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou v těchto případech typ vegetace, její struktura a množství, zdravotní stav a množství vody obsažené ve vegetaci (*Bajocco & Ricotta, 2008; Moreira et al., 2009*). Tyto vlastnosti jsou dány typem vegetace a klimatickými podmínkami.

Typ vegetace, jak již zmíněno výše, patří ke vlivům vegetace, které spadají do skupiny faktorů dlouhodobého charakteru. Typ vegetace také z části určuje mnohé další charakteristiky, jako je množství vody ve vegetaci nebo obsah jiných látek, které mohou napomáhat ke vznícení a šíření požárů. Je velmi vysoká shoda na tom, které typy vegetace patří k nejnáchylnějším ke vznícení – jedná se především o biomy listnatých a smíšených lesů mírného pásma a biom travin, pastvin a křovin (*Levin et al., 2021; Carmo et al., 2011*). Na území Austrálie jsou velmi silným prvkem porosty stromu eukalyptu, které navíc obsahují ve svých listech olej (*Williams, 2007*), což z těchto porostů dělá ideální typ vegetace pro vznik a šíření požárů. Nejméně

rizikovým typem vegetace či využitím zemského povrchu je pak zemědělsky využívaná půda (Cipriani et al., 2011; Carmo et al., 2011; Jaiswal et al., 2002). Je to dáno především tím, že zemědělské objekty a pole či plantáže jsou plánovány tak, aby bylo riziko jejich vznícení, nebo případného šíření požáru minimální (Carmo et al., 2011). Jak uvádí Carmo et al. (2011), velkým problémem je také opouštění některých zemědělských oblastí, čímž dochází k zarůstání a přetváření těchto oblastí na biotopy křovin či lesů.

Obsah vody ve vegetaci je neméně důležitým faktorem, který velmi blízce souvisí se zdravím vegetace. Zdravá vegetace má větší tendenci zadržovat vodu. Vegetace s vyšším obsahem vody má podstatně nižší riziko vznícení a následného šíření požáru (Sichalou et al., 2009). Podle Fiorucci et al. (2007) lze získávat informace o stavu zdraví vegetace a obsahu vody v ní z tzv. "zelených indexů", vypočítávaných z multispektrálních dat družicových systémů (např indexy NDVI, VHI, NDMI). Obsah vody ve vegetaci je ovlivňován nejen klimatickými podmínkami, ale z velké části také nadmořskou výškou či orientací svahu (Adab et al., 2013). Jelikož jsou tyto dva faktory velmi závislé na klimatických podmínkách a spadají do dynamické skupiny faktorů, měl by model jejich vlivu být počítán na denní bázi (Carrao et al., 2003).

5.1.2 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky všude po světě hrají zásadní roli při vytváření oblastí příznivých pro vznik požárů. Jak uvádí Jaiswal (2002), klima určuje nejen typ vegetace, který se v daných oblastech vyskytuje, ale také zajišťuje podmínky příznivé pro vznik požárů. Nemałym vlivem také přispívá globální změna klimatu, jejímž následkem pokrývají požárové sezóny delší období a jsou více ničivé (Newey, 2020). Mezi nejčastější faktory ovlivňující riziko vzniku požáru pak patří vysoké teploty, nízká relativní vlhkost prostředí či silný vítr (Levin et al., 2021).

Globální zvyšování teploty je největší příčinou násobného zvýšení množství jednotlivých incidencí požárů v posledních několika dekádách (Levin et al., 2021). Podle Shi et al. (2021) lze předpokládat, že za současného tempa globálního růstu teploty budou tyto incidence dramaticky narůstat, pokud nedojde k zavedení výraznějších systémů fire managementu. Zajištění stabilních klimatických podmínek může vést k dosažení rovnováhy mezi ekosystémy a regionálním klimatem, což může snížit dopad ničivého vlivu požárů (Shi et al., 2021).

Každé velké požáry v Austrálii od roku 1983 vznikly za doprovodu dlouhodobého sucha, způsobeného mimo jiné extrémně vysokými teplotami (Cai et al., 2009). Jak uvádí Shi et al. (2021), zkoumání požárů v posledních dekádách v Austrálii naznačuje, že riziko vzniku požáru koreluje spíše s amplitudou teploty než s jejím průměrem – incidence požárů je vyšší, pokud dojde v daném roce k podstatně vyššímu nárůstu teploty, než byla teplota v roce předešlém. Dlouhodobě vysoké teploty spolu s nízkými srážkovými úhrny v období sucha mají za následek snížení obsahu vody ve vegetaci, která je pak náchylnější ke vznícení (Sichalou et al., 2009). Teploty jsou mimo klimatických podmínek závislé i na nadmořské výšce či nasvícení svahu (Xiangwei et al., 2011; Adab et al., 2013).

Množství srážek ovlivňuje obsah vody ve vegetaci, půdě a vlhkost prostředí, všechny parametry kritické pro riziko vzniku požárů. Nízké množství srážek, na australském kontinentu především během zimního období, může mít za následek silné vlny veder či období sucha (Levin et al., 2021). Pro získání co nejpřesnějších informací o těchto parametrech je klíčové sledovat atmosférické parametry v rozsahu dnů, týdnů až měsíců či několika let – tyto parametry mohou v různém měřítku indikovat budoucí klimatické podmínky, například při nízkém srážkovém úhrnu v rámci předešlých let lze předpokládat silnější požáry během hlavní požárové sezóny (Levin et al., 2021). Srážky mají také silný vliv při hašení malých požárů (do 5km²) (Ramos-Neto & Pivello, 2000). Při požárech silnějšího charakteru je lidské úsilí o uhašení požárů velmi často nemožné a nástup srážek je nezbytný pro dosažení výsledku (Levin et al., 2021). Podle Clark (2020), mohou mít však deště i negativní vliv na riziko vzniku požárů, pokud k nim dojde těsně před hlavní požárovou sezónou – tyto deště mají tendenci podněcovat růst vegetace, čímž dochází ke vzniku nové masy paliva, která je následným horkem náchylnější na vznícení.

Dalším faktorem, který ovlivňuje jak vznik požárů, tak i jejich šíření jsou silné větry či další přírodní faktory. Při silném větru může dojít k zanášení žhavého popela až do vzdálenosti 40 km, kde může dojít k následnému vznícení (Albini, 1976). Podle Levin et al. (2021) je velké množství (při požárech v Austrálii v letech 2019-2020 se jednalo o cca 24 % lesních požárů) požárů spojováno s blesky, jakožto jejich příčinou.

5.1.3 Topografie

Topografie je důležitým fyziografickým faktorem, který nejvíce souvisí s chováním větru (Jaiswal et al., 2002). Chování požárů z pohledu topografie nejvíce ovlivňují 3 faktory – sklonitost terénu, orientace svahu a nadmořská výška.

Sklonitost terénu je z vlivů topografie pravděpodobně faktorem nejvíce ovlivňujícím riziko vzniku požárů. Velmi ovlivňuje šíření požárů především díky vlastnostem požárů, které se následkem silnějšího větru šíří lépe na více nakloněných, než na rovných plochách (*Kushla & Ripple, 1997*).

Nadmořská výška je spojena především s teplotou, vlhkostí prostředí a silou větru (*Xiangwei et al., 2011*). Nadmořská výška ovlivňuje strukturu a vlhkost vegetace či vzduchu. Existuje také množství studií naznačujících menší závažnost ohnivého chování ve vyšších nadmořských výškách, jak uvádí *Chuvieco & Congalton (1988)*.

Orientace svahu naznačuje, jaké množství slunečního svitu daná plocha obdrží. Na jižní polokouli je nejvíce nasvícenou světovou stranou sever, vegetace je na této světové straně ve většině případů sušší a více náchylná ke vzplanutí.

5.1.4 Lidská činnost

Je známo, že lidská činnost je jedním ze základních faktorů ovlivňujících riziko vzniku požárů. Kvůli intenzivnějším lidským aktivitám se zvyšuje riziko požáru a vzniká velké množství příležitostí k neočekávanému vznícení způsobeného člověkem (*Alencar et al., 2004*). Jak uvádí *Levin et al. (2021)*, požáry mohou z lidské strany vzniknout úmyslně (žhářství, plánované vypalování), nebo z nedbalosti či nedopatřením (uniklé požáry z táboráků, nedopalky od cigaret, pád kabelů vysokého napětí). Lidé jsou tedy nejčastějším původem požárů, například v Indii je až 90 % požárů založeno lidmi (*Jaiswal et al., 2002*), v Austrálii pak 87 % (*Levin et al., 2021*). Některé oblasti mohou být také více zatíženy lidskou přítomností (například oblasti těžby či sběru surovin), s čímž je opět spojeno vyšší riziko vznícení. Mezi nejvlivnější faktory v této kategorii patří vzdálenost od lidských obydlí, vzdálenost od silnic a železnic či elektrické infrastruktury, ale i výskyt chráněných území, kde je šance na ať už úmyslné či neúmyslné započetí požáru téměř nulová (*Levin et al., 2021*).

Pohyb lidí, zvířat a vozidel a jejich aktivity na silnicích poskytují příležitosti pro vznícení požáru (*Jaiswal et al., 2002*). Podle *Adab et al. (2013)* jsou oblasti nepříliš vzdálené od komunikací více náchylné ke vzniku požárů mimo jiné i kvůli jejich lepší dostupnosti lidem, kteří do těchto oblastí mají možný přístup. Z některých studií vyplývá, že vzdálenost od komunikací hraje velmi silnou roli při modelování rizika, jelikož nejvíce požárů vzniká právě v okolí těchto komunikací (*Cipriani et al., 2011; Aragó et al., 2016*).

Oblasti v blízkosti lidských sídel jsou také ve většině případů náchylnější ke vzniku požárů, jelikož jsou zatěžovány aktivitami zde žijících obyvatel (*Jaiswal et al., 2002*). Podle *Adab et al. (2013)* jsou ke vznícení v okolí lidských obydlí nejvíce náchylné oblasti lesů a travin, kde ve velké míře dochází k plánovaným požárům (*Florec et al., 2019*). Při těchto požárech může dojít k odloučení a následného rozšíření jednoho z ohňů, což může vést ke vzniku a rozšíření nekontrolovaného požáru (*Florec et al., 2019*). Tyto události jsou stále častější, jelikož kvůli stoupajícím teplotám se plánované požáry musí provádět i v podmínkách, které nejsou pro tyto zásahy ideální (*Quinn-Davidson & Varner, 2011*). V některých oblastech má však vzdálenost od lidských sídel vliv snižující možné riziko, právě kvůli plánovaným požárům. V Austrálii jsou plánované požáry v praxi praktikovány tak, aby především v okolí sídel bylo riziko vznícení minimalizováno (*Penman et al. 2011; Levin et al., 2021*).

5.2 Indexy rizika vzniku požárů

5.2.1 Structural Fire Index (SFI)

SFI je empirický index kombinující ve svém výpočtu pět faktorů, důležitých pro získání výsledného rizika – typ vegetace, sklonitost svahu, orientace svahu, nadmořská výška a vzdálenost od silnic a cest (*Chuvieco & Congalton, 1989*). Tento index byl vytvořen za účelem získání spolehlivého způsobu výpočtu rizika vzniku požárů pro oblasti mediteránu (*Chuvieco & Congalton, 1989*).

$$SFI = 1 + 100v + 30s + 10a + 5r + 2e$$

Ve vzorci figuruje celkem pět proměnných, kdy *v* značí vliv vegetace, *s* sklonitost svahu, *a* orientaci svahu, *r* vzdálenost od komunikací a *e* nadmořskou výšku. Každému faktoru je přiřazena váha podle toho, jaký vliv mají tyto faktory na riziko vzniku požárů. Touto váhou jsou násobeny jednotlivé faktory, které mají koeficienty rizika v rozmezí 3–0 (nízké – vysoké). Z toho tedy vyplývá, že hodnoty blízké k 1 značí vysoké riziko, a naopak vyšší hodnoty značí riziko nižší. Hodnota 0 je vyhrazena pro vodní plochy, k čemuž slouží konstanta 1 na začátku vzorce, což zaručuje, že výsledek je vždy vyšší nebo rovný hodnotě 1 (*Chuvieco & Congalton, 1989*). Jednotlivé váhy faktorů byly získány z odborné literatury a z terénních zkušeností ve zkoumaných oblastech. V praxi byl index využit poprvé poblíž Španělského města Castellón (*Chuvieco & Congalton, 1989*), dále pak například v Portugalsku (*Pelizzari et al., 2008*) či Brazílii (*Cipriani et al., 2011*).

5.2.2 Fire Risk Index (FRI)

Fire Risk Index je dalším indexem používaným v oblastech mediteránu, tentokrát však východněji. Byl použit při modelování rizika vzniku požárů v Turecku (*Erten et al., 2004*) a Řecku (*Siachalou et al., 2009*). Je založen na pěti proměnných – obsahu vody ve vegetaci (V_t), sklonitost a orientace svahu (S , respektive A), vzdálenost od komunikací (D_r) a sídel (D_s).

$$FRI = 7 \times V_t + 5 \times (S + A) + 3 \times (D_r + D_s)$$

Vliv vegetace má nejvyšší váhu ze všech přítomných faktorů, následován topografickými faktory – váhy všech proměnných jsou určeny konstantními hodnotami uvedenými ve vzorci. Nejnižší váhu na modelování rizika podle FRI mají vzdálenosti od lidských obydlí a komunikací. Každá kategorie je rozdělena do pěti (u orientace svahu do čtyř, podle světových stran) skupin, k nimž jsou přiřazeny koeficienty rizika vzniku požáru, a to v hodnotách 1-5, kdy hodnota 1 je spojena s nízkým rizikem, hodnota 5 pak s rizikem velmi vysokým (*Erten et al., 2004*).

5.2.3 Hybrid Fire Index (HFI)

Ani jeden z indexů SFI a FRI nepočítá ve svém výpočtu s daty o nadmořské výšce a vzdálenostech od lidských obydlí – SFI sice používá informace o nadmořské výšce, ve výpočtu však chybí data vzdáleností od sídel a naopak. HFI zahrnuje oproti předešlým indexům obě datové sady (*Adab et al., 2013*). Celkem tedy do výpočtu HFI vstupuje šest parametrů: obsah vody ve vegetaci (v), sklonitost svahu a jeho orientace (s , respektive a), vzdálenosti od komunikací (r) a lidských obydlí (c), nadmořská výška (e).

$$HFI = \frac{100v + 50s + 25a + 10 \times (r + c) + 5 \times e}{10}$$

Váhy jednotlivých faktorů, ve vzorci vyjádřených konstantami před proměnnými, mají své hodnoty založené na odborné literatuře a již proběhlých studiích, ale z velké míry i na znalosti expertů či pozorování v terénu (*Chuvieco & Congalton, 1989; Erten et al., 2004; Adab et al., 2013*). HFI index byl poprvé představen ve studii zabývající se problematikou modelování rizika vzniku požárů v Íránu, kde performoval nejlépe ze všech tří zvolených indexů – SFI, FRI a HFI (*Adab et al., 2013*). Díky těmto výsledkům můžeme tento index považovat za jednu z nejlepších variant při lokalizaci oblasti s vysokým rizikem vznícení.

6. Data a Metodika

6.1 Zájmové území

Severní teritorium je jedním z 8 dílcích částí území Austrálie. Se svou rozlohou přes 1,3 milionů čtverečních kilometrů (cca 5,4% celkové rozlohy Austrálie) se jedná o 3 největší dílčí území země, svým počtem obyvatel (246 tis.) se však řadí na úplný konec v tomto žebříčku (*Australian Bureau of Statistics, 2021*). Územím prochází jedna z hlavních komunikací v celé Austrálii – Stuart highway, přezdívaná také "the road", kolem které se nachází veškerá velká sídla, například hlavní město teritoria Darwin, Alice Springs či Tennant Creek.

Severní teritorium lze rozdělit na dvě klimaticky rozdílné části. V severní části je podnebí spíše tropické a vyskytují se zde 2 hlavní období – období sucha (od května do září) a období dešťů (od října do dubna). Během období sucha se průměrné denní teploty pohybují v rozmezí 20,9° - 31,5 °C, s vlhkostí vzduchu kolem 30 % (*Bureau of Meteorology, 2022*). Během období sucha nebyl nikdy zaznamenán mráz. V období dešťů jsou průměrné teploty obdobné, jako během období sucha, nicméně denní maxima dosahují podstatně vyšších hodnot, až 38° (*Bureau of Meteorology, 2022*). Toto období je spojováno s monzunovými dešti a tropickými cyklónami, kdy může relativní vlhkost prostředí dosahovat až 70 %. Ve střední a jižní částí Severního teritoria je podnebí semiaridní. Deště zde nejsou příliš časté, vyskytují se zde v malém množství, a to především v období října až března. Roční období a jsou zde mnohem více rozdílná, než je tomu v severní části území – léta jsou zde velmi teplá a suchá, oproti tomu zimy jsou zde chladnější, občasně je zaznamenán i mráz (*Bureau of Meteorology, 2022*).

Měsíc	Darwin (S)	Alice Springs (J)
Leden	31,8 °C	36,3 °C
Únor	31,4 °C	35,1 °C
Březen	31,9 °C	32,7 °C
Duben	32,7 °C	28,2 °C
Květen	32 °C	23 °C
Červen	30,6	19,8 °C
Červenec	30,5 °C	19,7 °C
Srpen	31,3 °C	22,6 °C
Září	32,5 °C	27,1 °C
Říjen	33,2 °C	30,9 °C
Listopad	33,2 °C	33,7 °C
Prosinec	32,6 °C	35,4 °C

Tab. 2: Průměrné teploty v největších městech Severního teritoria

Velká část území Severního teritoria je převážně rovinatá, v jižní části se však rozléhá několik horských oblastí, největšími z nich jsou MacDonellovo pohoří, ve kterém se nachází mimo jiné i nejvyšší hora Severního teritoria Mount Zeil (1 531 m n. m) (*Geoscience Australia, 2009*).

Na severu území jsou primárním biotem tropické savany, kde dominují traviny a křoviny s občasným výskytem stromů především druhů akácie či baobabu. Lesy, které se zde také vyskytují a tvoří druhý nejvíce zastoupený biot jsou tvořeny stromy eukalyptu, náchylnému ke vznícení (Williams, 2007). Ve střední a jižní části území je nejvíce plochy zabráno biotem pouští a křovin. V této oblasti se také nacházejí jedny z nejrozsáhlejších australských pouští – poušť Tanami (184 500 km²) a Simpsonova poušť (176 500 km²) (Geoscience Australia, 2008). Na celém území Severního teritoria se také nachází celkem 85 národních parků a chráněných rezervací (Department of Environment, Parks and Water Security, 2021), ve kterých se vykytuje velké množství chráněných a ohrožených druhů.

6.2 Data

6.2.1 Vegetace

Vegetace má na možné riziko vzniku požárů ze všech faktorů pravděpodobně nejvyšší vliv. Podle Levin et al., (2021) došlo při požárech v letech 2019 -2020 ke vznícení 61% nelesních a 20% lesních požárů na rozmezí mezi travinami a lesy, a až 21% požárů na rozmezí zemědělské půdy a lesy, proto byl i tento fakt zohledněn v modelu vlivu vegetace. Pro tuto potřebu byla získána data od Australian Bureau of Agriculture and Resource Economics and Sciences, naposledy aktualizována v listopadu 2019 a obsahují celkem 34 klasifikovaných kategorií typů využití zemského povrchu.

Zdraví vegetace je dalším důležitým faktorem. Zdravá vegetace má nižší pravděpodobnost vznícení, především díky lepší schopnosti zadržet vodu. K tomuto slouží index zdraví vegetace (VHI), jehož hodnoty byly získány jako součást setu produktů monitorující stav vegetace od americké vládní agentury NOAA. Data byla stažena k datu 6.2.2022.

Obsah vody ve vegetaci je posledním neméně důležitým faktorem vstupujícím do modelu vlivu vegetace, jelikož ovlivňuje jak pravděpodobnost zapálení vegetace, tak i následné šíření požárů (Sichalou et al., 2009). Informace o vlhkosti vegetace lze získat různými multispektrálními indexy, v této práci byl však z výpočetních důvodů použit již hotový výrobek, získaný k datu 6.2.2022 z monitorovacího systému Australian Flammability Monitoring System (AFMS).

6.2.2 Antropogenní činnost

Faktory lidské činnosti mohou být jedním ze základních faktorů ovlivňujících riziko vzniku požárů (*Dong et al., 2005*). Jak uvádí *Jaiswal et al. (2002)*, pohyb lidí, vozidel či vlaků může mít za následek náhodný či úmyslný vznik požáru. Naopak v okolí lidských obydlí dochází k lidmi plánovanému vypalování, tudíž je zde riziko samovolného vzplanutí podstatně menší (*Florec et al., 2019*). Data obsahující vrstvy komunikací, železnic a sídel byla stažena z projektu Open Street Map, s daty aktualizovanými ke dni 5.2.2022.

6.2.3 Vliv topografie

Při získání modelu vlivu topografie byly brány v potaz tři primární faktory – sklonitost svahů, orientace svahů vůči světovým stranám a informace o nadmořské výšce. Data pro výpočet veškerých dílčích komponent pro model vlivu topografie byla vypočítána z datového souboru GEODATA 9 Second Digital Elevation Model (DEM-9S), který pokrývá celou kontinentální část Austrálie s prostorovým rozlišením 250m.

6.2.4 Historická data požárů

Ověření modelu bylo v této práci provedeno pomocí bodových dat aktivních požárů. Tato data jsou k dostání od National Aeronautics and Space Administration (NASA) a byla získána pomocí senzoru VIIRS S-NPP na družici Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP). Data byla stažena ve formátu textového souboru .csv. Pro ověření funkcionality modelu byla získána jak data týdenní (k datu 16.2.2022), tak historická data v období 2017–2021.

6.3 Metodika

Pro vytvoření modelu rizika vzniku požárů byly vytvořeny 3 dílčí komponenty, které vstupovaly do finálního výpočtu – komponenty vlivu vegetace, vlivu antropogenní činnosti, topografie. Každé z těchto komponent byla přidána váha v závislosti na síle vlivu ovlivňující riziko vzniku požáru. Váhy jednotlivých komponent byly určeny na základě již existujících indexů jako je například Hybrid Fire Index (HFI) nebo Fire Risk Index (FRI), místních pozorování, či studiemi, zabývajícími se problematikou faktorů stojících za vznikem požárů (*Jaiswal et al., 2002; Siachalou et al., 2009; Adab et al., 2013; Levin et al., 2021*).

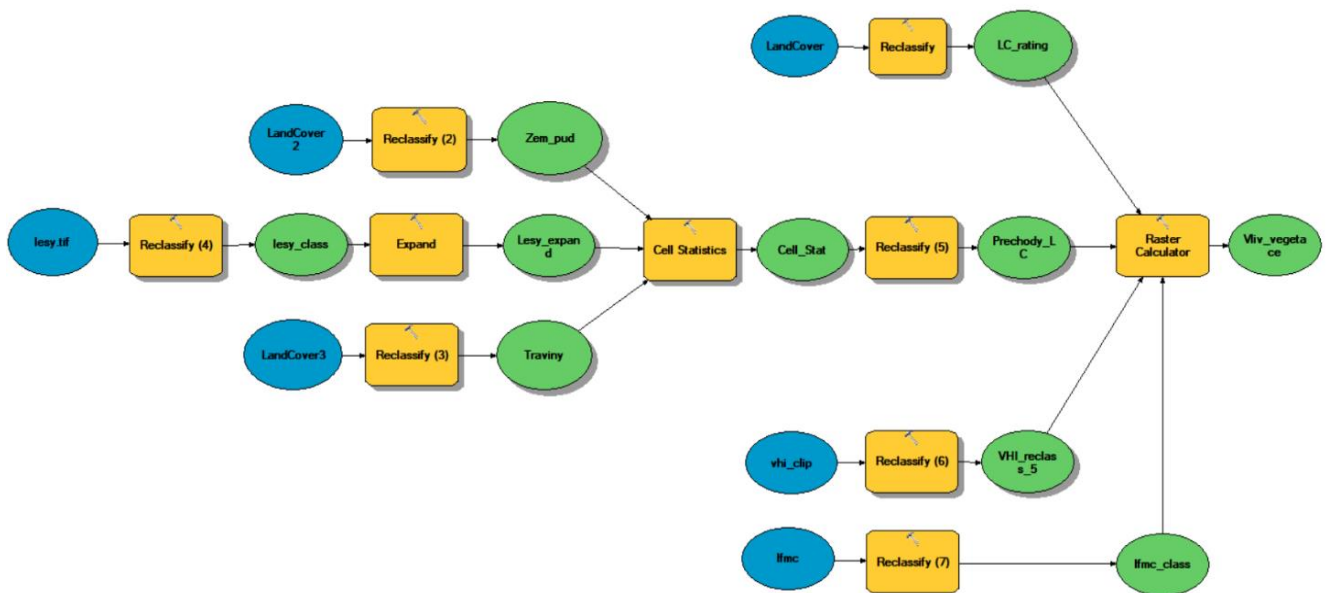
$$R = \frac{(7 \times V) + (5 \times T) + (3 \times A)}{15}$$

Proměnné ve vzorci:

- R – výsledné riziko
- V – vliv vegetace
- T – vliv topografie
- A – vliv lidské činnosti

6.3.1 Model vlivu vegetace

Vliv vegetace byl počítán modelem skládajícím se ze 4 jednotlivých faktorů – typu využití zemského povrchu (Land Cover), přechodnými územími mezi určitými typy Land Cover, indexem zdravotního stavu vegetace Vegetation Health Index (VHI) a obsahu vody ve vegetaci (LFMC).



Obr. 3: Model vlivu vegetace výsledného modelu

Data využití zemského povrchu byla nejprve klasifikována do několika kategorií podle typu vegetace. Těmito kategoriím pak byla udělena hodnota v rozmezí 0–10 podle možného rizika. Následně byly z dat Land Cover zvlášť extrahovány oblasti s typem vegetace lesy, traviny a zemědělská půda za účelem získání oblastí přechodu mezi těmito typy Land Cover. Při výpočtu oblastí přechodů vybraných typů vegetace, ve kterých může být zvýšené riziko vzniku požárů, bylo potřeba nejprve prostorově rozšířit extrahovanou vrstvu lesů. Kolem lesů byl zvolen buffer ve vzdálenost 500 m, což je, dle již provedených studií, vzdálenost nejvíce riziková pro

vznik požárů. Tato vrstva byla poté porovnána s již extrahovanými vrstvami zemědělské půdy a travin. Tímto krokem byly získány informace o oblastech překryvu těchto vrstev s vrstvou lesů. Buňkám těchto vrstev, kde docházelo k překryvu, bylo následně přiřazeno hodnocení rizika podle typu přechodu mezi typy vegetace.

Poslední součástí modelu vlivu vegetace na riziko vzniku požárů byla informace o zdravotním stavu vegetace a obsahu vody v ní, a to pomocí indexu VHI a LFMC. Jelikož tato data byla již získána jako hotová datová sada, bylo posledním krokem klasifikace hodnot indexu VHI do několika skupin, v závislosti na riziku vznícení. Pro data LFMC bylo potřeba data rozdělit do tříd (celkem 10) podle obsahu vody.

Pro výsledný výpočet modelu byl sestaven vzorec beroucí v potaz veškeré výše zmíněné proměnné. Veškeré výsledné hodnoty jednotlivých komponent jsou v rozmezí 0-10, což bylo zahrnuto i do výsledného vzorce, kdy výsledné hodnoty jsou děleny součtem jednotlivých vah, aby byl zajištěn výsledek vždy v rozmezí 0-10.

$$V = \frac{(10 \times LC) + (3 \times LCp) + (7 \times VHI) + (8 \times LFMC)}{28}$$

Proměnné ve vzorci:

- *LC* – kategorie Land Cover s určeným rizikem vzplanutí
- *LCp* – přechody mezi určitými typy vegetace
- *VHI* – Vegetation Health Index
- *LFMC* – Live Fuel Moisture Content

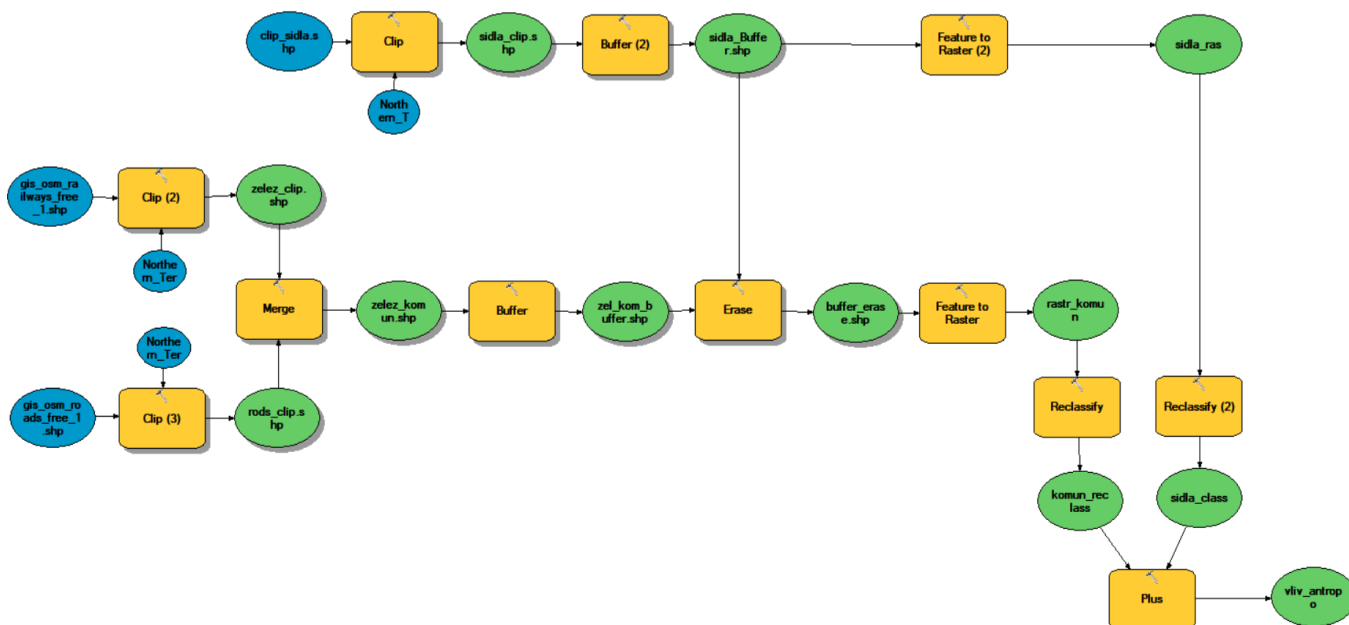
Faktory	Třídy	Hodnocení rizika	Riziko
Land Cover (váha = 10)	Vodní plochy	0	nízké
	Pusitny	2	nízké
	Bažiny a mokřady	1	nízké
	Zemědělská půda	2	nízké
	Traviny	6	vyšoké
	Traviny - rozptýlené	5	střední
	Křoviny a keřové porosty	6	vyšoké
	Křoviny a keřové porosty - rozptýlené	5	střední
	Lesy	10	velmi vyšoké
	Lesy - rozptýlené	8	vyšoké
Přechody mezi typy LC (váha = 3)	Les - Traviny (FGI)	6	vyšoké
	Les - Zemědělská půda (FAI)	4	střední
	Ostatní	0	nízké
VHI (váha = 7)	0 - 38	2	nízké
	38 - 52	4	střední
	52 - 65	6	vyšoké
	65 - 80	8	vyšoké
	80 - 100	10	velmi vyšoké
LFMC (váha = 8)	3 - 33,3	1	nízké
	33,3 - 63,6	2	nízké
	63,6 - 93,8	3	střední
	93,8 - 124,1	4	střední
	124,11 - 154,4	5	střední
	154,4 - 184,7	6	vyšoké
	184,7 - 214,9	7	vyšoké
	214,9 - 245,2	8	vyšoké
	245,2 - 275,5	9	velmi vyšoké
	275,5 - 305,7	10	velmi vyšoké

Tab. 3: Tabulka kategorií a jejich rizika pro model vlivu vegetace

6.3.2 Model vlivu antropogenní činnosti

Vliv lidské činnosti se skládá z 2 částí – vzdáleností od lidských sídel a vzdáleností od silnic a železnic.

Nejprve bylo kolem sídel vybráno okolí 1 km, ve kterém je předpokládáno snížené riziko vznícení. Obdobný buffer byl poté vytvořen i kolem vrstvy komunikací, která se skládá ze sloučených vrstev silnic a železnic. Okolí bylo zvoleno v rozmezí 250 m. Jelikož se komunikace nacházejí i v oblasti sídel a jejich okolí, bylo potřeba překrývající se části vrstev odstranit. Ve výsledku tak vnikly 2 vrstvy – vrstva sídel a jejich okolí 1 km a vrstva komunikací a jejich okolí 250 m. Obě tyto vrstvy byly převedeny do rastrového formátu, aby na nich mohly být prováděny následné analýzy a výsledná část mohla vstupovat do výsledného modelu.



Obr. 4: Schéma modelu vlivu lidské činnosti

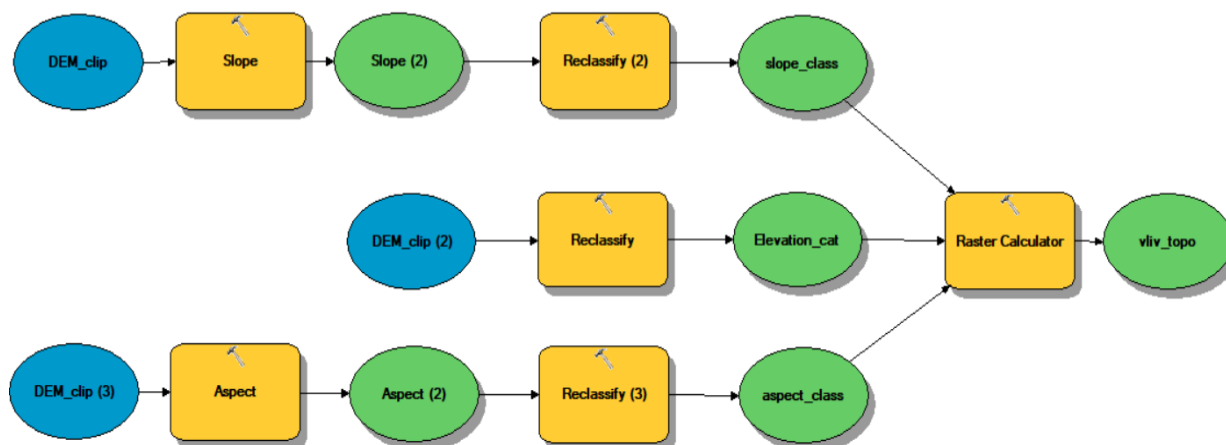
Vrstvy byly nakonec klasifikovány a následně sečteny, čímž byla získána dílčí část vlivu lidské činnosti na riziko vzniku požárů. Při klasifikaci byly jednotlivým oblastem nastaveny hodnoty přiměřeně jejich schopnosti ovlivnit riziko vzniku požáru – oblasti v okolí komunikací, kde hrozí vyšší šance na vznícení, mají hodnotu rizika 10, zatímco oblasti sídel a jejich okolí mají hodnotu 1, jelikož zde je riziko vznícení minimální. Ostatní plochy, kterých se vliv lidské činnosti netýká, mají střední hodnotu rizika 5.

$$A = \frac{(10 \times K) + (5 \times O) + (1 \times S)}{16}$$

- K – vzdálenost od komunikací
- S – vzdálenost od sídel
- O – ostatní plochy

6.3.3 Model vlivu topografie

Topografická komponenta výsledného modelu se skládá ze 3 částí – modelu svažitosti terénu, modelu nasvícení svahu a modelu nadmořské výšky. Veškerá data nebylo potřeba převádět do jiného souřadnicového systému, jak je v některých případech potřeba například při výpočtu modelu svažitosti, jelikož původní data jsou v souřadnicovém systému GDA94, který má jednotky v metrech.



Obr. 5: Schéma modelu vlivu topografie

Pro vytvoření modelů svažitosti byly použity data DEM, ze kterých byly rovnou vypočítány modely svažitosti terénu a nasvícení svahu. Pro získání modelu nadmořské výšky stačilo klasifikovat data do kategorií s přiřazenými hodnotami rizika vzniku požárů. Totéž poté bylo provedeno na předchozích modelech svažitosti a nasvícení. Pro model nasvícení svahů bylo vytvořeno 10 kategorií s hodnocením rizika v závislosti na úhlu nasvícení – nejvyšší riziko je na severních svazích (360°), nejnižší pak na jižních (180°). U modelu svažitosti pak bylo vytvořeno 6 kategorií, s nejvyšším rizikem na svazích se stoupáním nad 35 %, a nejnižším rizikem v oblastech s žádným, popřípadě velmi nízkým stoupáním (do 3 %).

Následně byl vytvořen vzorec pro výpočet vlivu topografie na riziko vzniku požárů.

$$T = \frac{(15 \times S) + (5 \times A) + E}{21}$$

Proměnné ve vzorci:

- S – model svažitosti terénu
- A – model nasvícení svahu
- E – model nadmořské výšky

Faktory	Třídy	Hodnocení rizika	Riziko
Svažitost terénu (váha = 15)	0 - 3 %	2	nízké
	3 - 5 %	3	střední
	5- 10 %	4	střední
	10 - 15 %	5	střední
	15 - 35 %	6	vysoké
	35 - 73%	10	velmi vysoké
Nasvícení svahu (váha = 5)	0 - 18°; 342 - 360° (S)	10	velmi vysoké
	18 - 36°; 324 - 342°	9	velmi vysoké
	36 - 54°; 306 - 324°	8	vysoké
	54 - 72°; 288 - 306°	7	vysoké
	72 - 90°; 270 - 288°	6	vysoké
	90 - 108°; 252 - 270°	5	střední
	108 - 126°; 234 - 252°	4	střední
	126 - 144°; 216 -234°	3	střední
	144 - 162°; 198 - 216°	2	nízké
	162 - 180°; 180 - 198° (J)	1	nízké
Nadmořská výška (váha = 1)	0 - 141,9 m. n. m.	10	velmi vysoké
	141,9 - 295,6 m. n. m.	8	vysoké
	295,6 - 600 m. n. m.	6	vysoké
	600 - 975 m. n. m.	4	střední
	975 - 1513,4 m. n. m.	2	nízké

Tab. 4: Tabulka kategorií a jejich rizika pro model vlivu topografie

6.3.4 Validace modelu daty ze senzoru VIIRS

K ověření funkcionality vytvořeného modelu byla použita data požárů ve formátu textového souboru. Z těchto souboru byly vytvořeny bodové vrstvy a k těmto bodům byly poté extrahovány hodnoty z výsledného modelu. Výsledný model byl rozdělen do 4 kategorií podle možného rizika vzniku požárů, pravdivost modelu byla poté otestována na datech získaných během druhého týdne v únoru 2022, poté i na historických datech v rozmezí let 2017-2021.

7. VÝSLEDKY

Z odborné literatury a studií zabývající se obdobnou problematikou, jako tato práce, lze určit velké množství faktorů, různě ovlivňujících riziko vzniku požárů a jeho modelování. I přes nemalý počet těchto faktorů je však možné určit ty, které toto riziko ovlivňují nejvíce. Bylo zjištěno, že nejsilnější vliv na riziko vznícení (ale i na následné šíření požárů) má vegetace, která funguje jako palivo. Při zkoumání vlivu vegetace jsou nejpodstatnějšími faktory tyto: typ vegetace, její zdraví a obsah vody v ní. Tyto poslední dva faktory spolu velmi silně korelují, což je dáno i skutečností, že zdravá vegetace má tendenci zadržovat více vody.

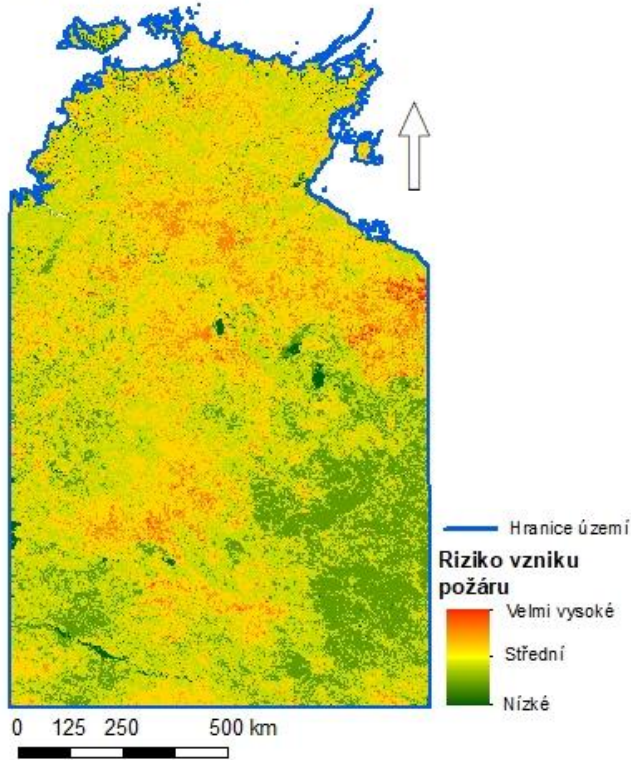
Dalším, o něco málo méně vlivným faktorem jsou klimatické podmínky. Klima určuje mimo jiné i typ vegetace, nebo podmínky vhodné ke vzniku požárů. Tento faktor je v posledních letech také často spojován se globální změnou klimatu, která má za následek častější a ničivější požáry každý rok. I přes vysoký vliv klimatických podmínek nebyl tento faktor zahrnut v žádném z používaných indexů, ani v modelu, jenž je součástí této práce.

V neposlední řadě je riziko vzniku požárů zatíženo i vlivy topografie a lidské činnosti. Topografickými vlivy jsou sklonitost terénu, orientace svahu a nadmořská výška. V případě lidského faktoru je potřeba zvažovat primárně vzdálenost od lidských sídel a komunikací. Ve většině případů je v okolí těchto infrastruktur riziko zapálení zvýšené, nicméně jak ukazují některé studie, v Austrálii jsou v okolí měst praktikovány plánované požáry, a riziko vznícení je zde tedy podstatně nižší.

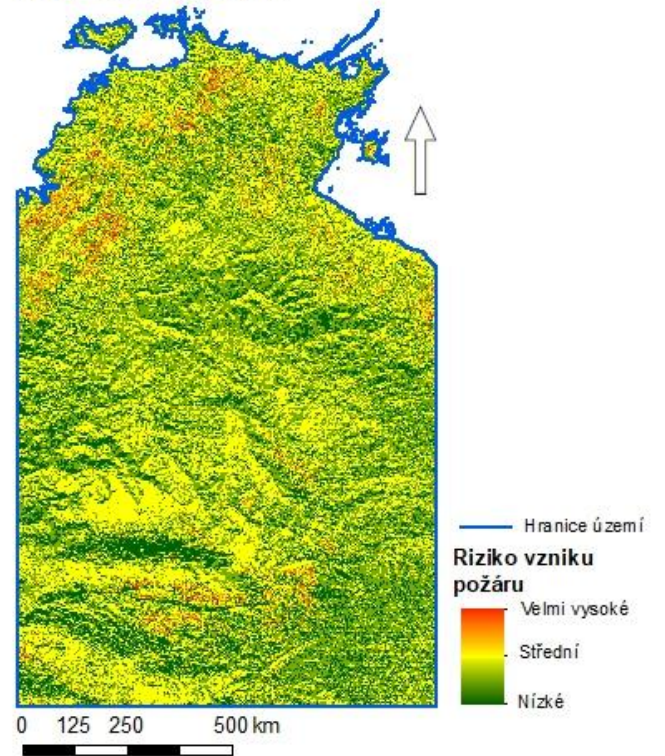
Celkem byly v této práci zahrnuty 3 indexy – SFI, FRI a HFI. U těchto indexů byly zjištěny podobnosti u zvolených proměnných a určení jejich vlivu na modelování rizika. Byly nalezeny drobné odlišnosti, které jsou dány rozdílností oblastí, ve kterých jsou používány. V obecnější rovině však jsou proměnné ve všech indexech obdobné.

V praktické části byl vytvořen model rizika vzniku požárů pro území Severního Teritoria v Austrálii. Rozloze zájmového území také odpovídá prostorové rozlišení modelu, kde byla zvolena na velikost buňky 250 m. Výsledný model je složen ze 3 dílčích komponent (viz obr. 6), která se každá věnuje vlivu jednotlivých faktorů. Tyto faktory a váhy jejich vlivu byly získány kombinací z indexů zmíněných v první části této práce. Data získaná pro výpočty byla stažena primárně z oficiálních zdrojů, jako jsou instituce australské vlády, nicméně u některých proměnných nebylo možné tato data získat touto cestou, byla pro ně tedy zvolena adekvátní alternativa.

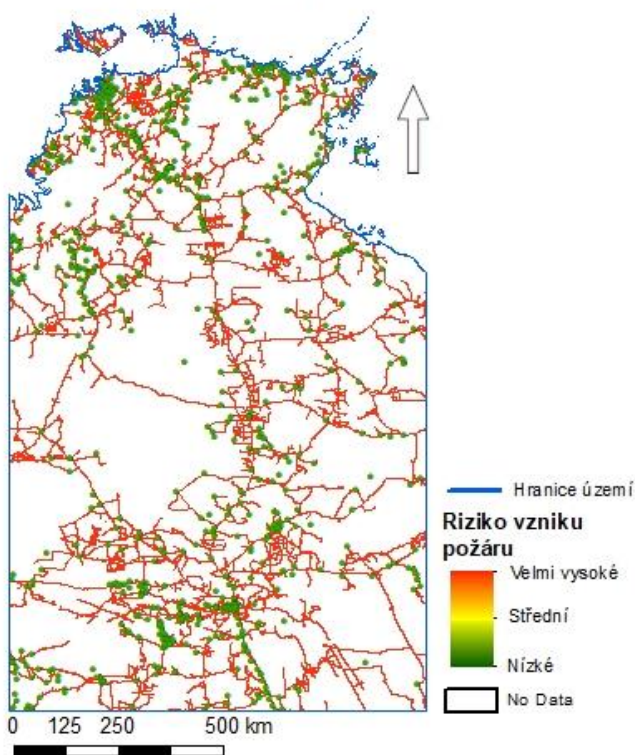
a) VLIV VEGETACE



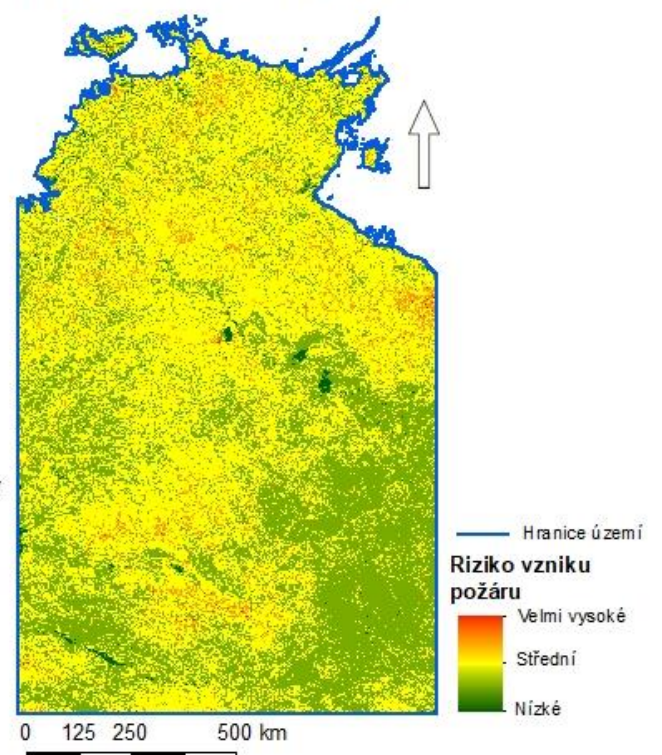
b) VLIV TOPOGRAFIE



c) VLIV LIDSKÉ ČINNOSTI



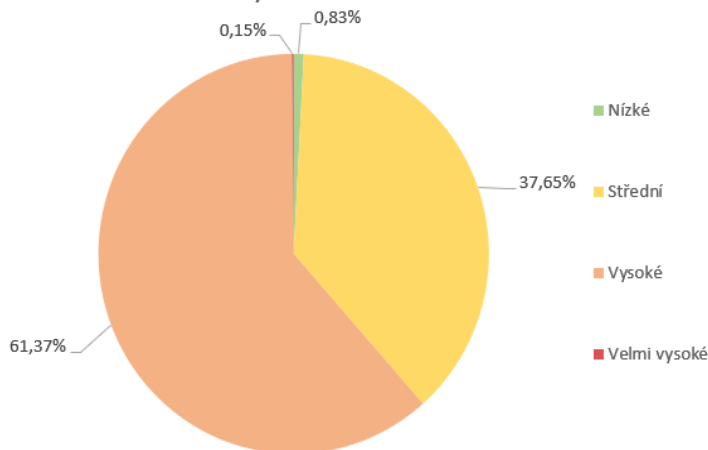
d) MODEL RIZIKA VNIKŮ POŽÁRŮ



Obr. 6: Výstupy dílčích komponent modelu (a – vliv vegetace, b – vliv topografie, c – vliv lidské činnosti) a výsledný model rizika (d)

Výsledný model byl klasifikován do čtyř kategorií, určujících riziko vzniku požáru. Tyto kategorie vznikly sloučením odpovídajících hodnot rizika – nízké (1, 2), střední (3, 4, 5), vysoké (6, 7, 8) a velmi vysoké (9, 10). Hodnota rizika 0 byla ponechána vodním plochám, u kterých není předpoklad vzniku požáru. Nejvyšší zastoupení má kategorie vysokého

Zastoupení kategorií rizika vzniku požárů ve výsledném modelu

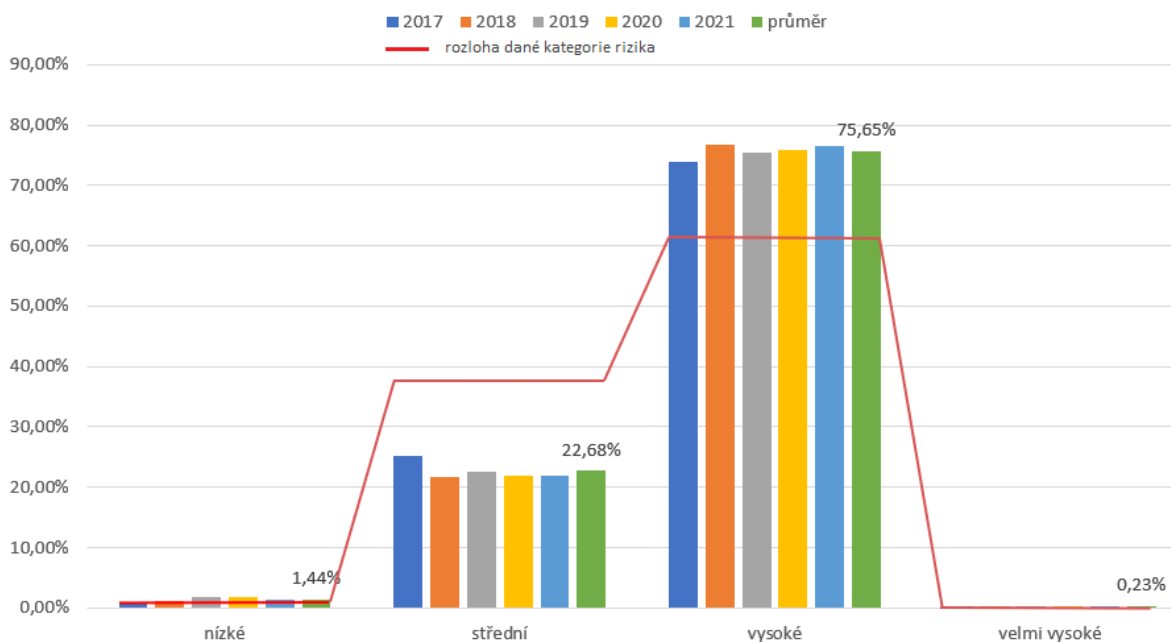


Graf 1: Procentuálně vyjádřené zastoupení jednotlivých kategorií rizika ve výsledném modelu 1

rizika (61,37 %), následuje riziko středí s 37,65 %, nejméně zastoupené jsou oblasti s nízkým a velmi vysokým rizikem (0,83 %, resp. 0,15 %) – viz graf 1.

Ověření funkčnosti a kvality modelu bylo provedeno extrahováním dat o incidenci požárů za období 2017-2021. Výsledné hodnoty (v procentech) lze vidět v grafu č. 2. Z tohoto ověření lze předpokládat jistou funkčnost vytvořeného modelu.

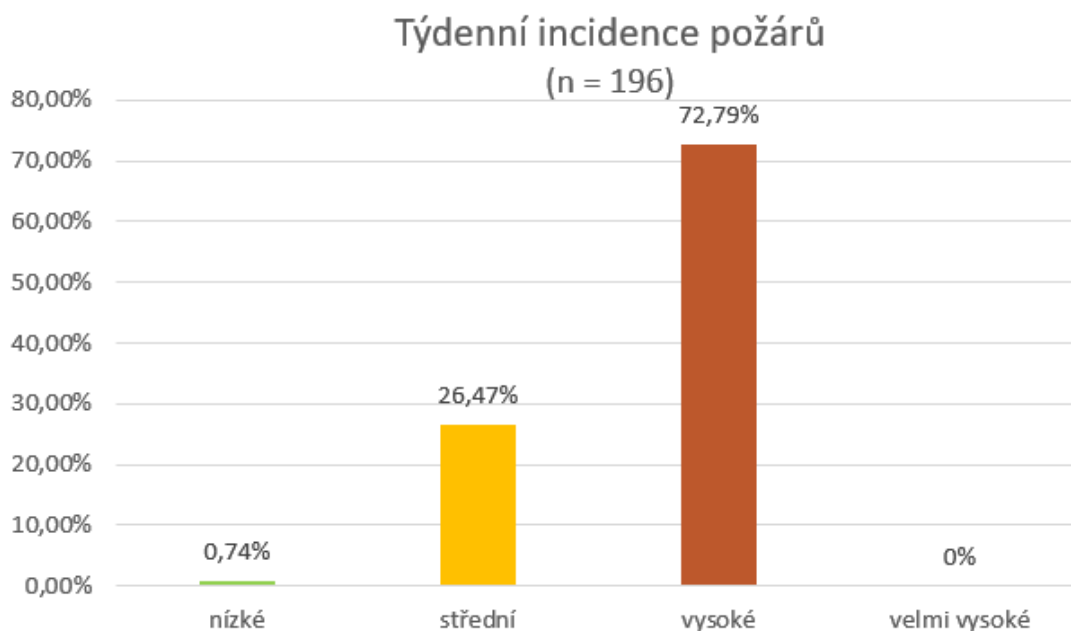
Požáry za období 2017 – 2021
(n = 1 749 232)



Graf 2: Incidence požárů v kategoriích rizika vzniku požáru za období 2017-2021

V průměru 75,65 % všech požárů se vyskytly v oblastech kategorie vysokého rizika. Toto je velmi silně ovlivněno faktem, že tato kategorie má nejsilnější zastoupení. Z prostorového rozložení dat incidencí je také zřejmé, že dlouhodobě nejvíce zatíženou částí oblastí je sever zkoumaného území (viz přílohy 1 až 5). Jak si ale lze ve grafu č. 2 všimnout, kategorie středního rizika, u které se vyskytlo v průměru 22,68 % požárů, což je i přes druhé nejvyšší zastoupení (37,65 %) poměrově podstatně méně než u kategorie vysokého rizika. Nejnižší počet incidence požárů byl poté zjištěn u kategorie velmi vysokého rizika (v průměru 0,23 %), což je však vůči jejímu zastoupení ve výsledném modelu přirozené. Obdobně je na tom i kategorie nízkého rizika, u které je incidence požárů v průměru 1,44 %.

Jelikož byl model složen i z proměnných měnících se v čase, byla provedena validace aktuálnějšími daty, a to k 16. únoru 2022. Proces validace byl stejný jako u dat historických. Výsledky tohoto prověření jsou k vidění v grafu č. 3, nicméně trend zastoupení v jednotlivých kategoriích je obdobný, jako tomu bylo za období 2017-2019. Během tohoto týdenního období bylo na území Severního Teritoria identifikováno celkem 196 požárů, z toho se nejvíce (72,79 %) nacházelo v oblastech s vysokým rizikem. V kategorii velmi vysokého rizika se poté nevyskytl ani jeden incident. Důvodem tohoto se budu mimo jiné zabývat dále v diskusi.



Graf 3: Incidence požárů v kategoriích rizika vzniku požárů za období druhého týdne v únoru 2022

8. DISKUSE

Z výsledků je zřejmé, že výsledný model funguje s přiměřenou kvalitou a pravdivostí. I přesto je však k nalezení určitý prostor pro vylepšení jeho přesnosti. Toto zpřesnění lze provést několika způsoby – získáním přesnějších dat, rozšířením dílčích modelů o další proměnné, či změnou postupu u některých výpočtů.

Velkým vlivem na výsledné provedení modelu měl především výběr jednotlivých faktorů vstupujících do výpočtu. Model vytvořený v této práci ukazuje do velké míry dlouhodobé riziko vzniku požárů, jelikož velká část zvolených proměnných má spíše neměnný charakter (typ vegetace, vliv topografie, vzdálenosti od sídel či komunikací, a další). Jak bylo zjištěno ze studií a odborné literatury, riziko vzniku požárů je silně ovlivňováno i klimatickými podmínkami. Tento faktor může mít, a velmi často má, silnou proměnlivost i během relativně krátkého časového úseku. V modelu vytvořeném pro tuto práci je vliv klimatických podmínek zahrnut jen z malé části, a to v datech o zdraví vegetace a obsahu vody v ní. Pro zpřesnění by tedy bylo potřeba k modelu přidat 4 komponentu, která by se věnovala vlivu právě klimatických podmínek – daty vstupujícími do této části by mohly být například informace o průměrné teplotě vzduchu, síle větru nebo množství srážek. Tyto informace však, jak již bylo zmíněno výše, mohou být spojeny s jistou proměnlivostí, což by spolu s faktem, že jsou velmi často dodávány v podobě bodových měření a je tedy potřeba je nejprve interpolovat, mělo za následek podstatné zvýšení požadavků výpočetní kapacity.

Při výpočtu komponenty vlivu vegetace byly použity následující proměnné: typ Land Cover, přechody mezi jednotlivými typy LC a poté data o zdraví vegetace – indexy VHI a LFMC. Index VHI je sice dobrým indikátorem této informace, nicméně jeho lepší alternativou je index Normalized Difference Moisture Index (NDMI). Tento index je taktéž používán ve většině modelů či studiích, kterými se zabírala tato práce v části literární rešerše. I přesto, že je NDMI lepším indikátorem o stavu vegetace, nebyl kvůli nedostupnosti dat do výpočtu této komponenty zařazen. Získání těchto dat je případně možné i vlastním výpočtem, kvůli velikosti zájmového území jsou však nároky na výpočetní kapacitu obrovské – tento fakt je znásoben i tím, že se jedná o proměnlivý faktor, a výpočty by tedy bylo potřeba provádět opakovaně.

Jedinými daty, která nebyla získána z oficiálních zdrojů, byly vrstvy sídel a komunikací. Veřejně dostupné balíčky těchto dat obsahovaly jen data pro část území, nebo nebyly plně funkční – v tomto případě byl Australské vládní organizaci Geoscience Australia emailem zaslán podnět obsahující tuto informaci. Data tedy

byla získána alternativní cestou, a to z veřejného portálu projektu Open Street Map. Jelikož nejsou data od oficiálního zdroje, je pravděpodobné, že jsou zatížena určitou chybovostí nebo nemusí být úplná. Vyřešení tohoto problému je možné pouze získáním oficiálního balíčku dat, o který by však bylo potřeba požádat přímo australské vládní organizace.

Dalším možným způsobem zpřesnění modelu je rozšíření výpočtu komponenty vlivu lidské činnosti. V aktuálním výpočtu je v okolí sídel a komunikací vytvořena jen jedna zóna s možným rizikem. Vytvořením více oblastí v okolí se stupňovaným rizikem (čím blíže ke komunikaci, tím vyšší pravděpodobnost vzniku požáru) by mohlo dojít ke zlepšení kvality výsledku. Jak ale bylo zjištěno v určitých studiích, na území Austrálie jsou v okolí sídel praktikovány plánované požáry, což má za následek naopak snížení rizika. Vliv plánovaných požárů byl v této práci ponechán jako pozitivní, tj. riziko v okolí lidských obydlí je bráno jako nižší. Tento jev je ale ještě součástí hlubší diskuse, jelikož velké množství jiných studií naopak indikuje zvýšené riziko v oblastech, kde jsou plánované požáry prováděny.

Výsledný model obsahuje hodnoty rizika 0-10, s hodnotou 0 jakožto riziko nejnižší, 10 naopak nejvyšší. Na základě provedené literární rešerše byly vytvořeny čtyři kategorie rizika: nízké až velmi vysoké. Z výsledného výstupu lze vidět, že oblastí s nejvyšším rizikem se vyskytují jak v severní, tak v jižní části zkoumaného území. V severní části je tento fakt dán především vegetací, která se zde nachází a je náchylnější na vznícení. Naopak v jižní části území se jedná o plochy vegetace s nízkým množstvím obsažené vody, což je dáno především klimatickými podmínkami v této oblasti. Velký shluk buněk s vyšším rizikem je k vidění také v severovýchodní části území, v okolí ústí řeky Calvert. V této oblasti je zvýšené riziko výsledkem souhry několika faktorů – vysoký vliv vegetace (především kvůli porostům mangovníků a eukalyptů), nízká nadmořská výška a nízká svažítost kolem řeky a v neposlední řadě množství komunikací vedoucích do nedalekého městečka Nicholson. Nejnížší riziko vznícení je pak nejvíce zastoupeno na východě, jihovýchodě a na jihu zájmové oblasti. Velmi vysoké zastoupení této kategorie si zde lze vysvětlit velmi nízkým zastoupením vegetace, jelikož se jedná především o pouštní oblasti. Toto tvrzení silně potvrzuje i prostorové rozložení incidencí požárů (viz přílohy 1 až 5), kdy se vysoké množství požárů vyskytuje především v severní části zkoumaného území.

Jak lze vidět v grafu č. 1, znázorňujícím procentuální zastoupení jednotlivých kategorií rizika, nejméně zastoupenými kategoriemi jsou rizika velmi vysoké a nízké. Tato skutečnost může mít více důvodů. Jedním z nich je rozdělení hodnot rizika do

jednotlivých kategorií. Kategorie nízkého rizika obsahuje jen hodnoty 1 a 2 (hodnota 0 se vyskytuje jen v případech vodních ploch), v porovnání s tím jsou v kategorii středního rizika hodnoty 3,4 a 5. Pro nízké zastoupení kategorie velmi vysokého rizika může být částečným vysvětlením datum, k jakému byla získána část dat. Informace o zdraví vegetace, ale především hodnoty indexu LFMC byly získány k datu 5.2.2022, kdy byly v některých oblastech Severního teritoria naměřeny nadprůměrné hodnoty srážek. Tato skutečnost, pokud přihlédneme k silnému vlivu vegetace při výpočtu, mohla výrazně ovlivnit výsledné hodnoty rizika.

V neposlední řadě bylo nutné provést validaci modelu. Jelikož model znázorňuje spíše dlouhodobější rizikovost vzniku požárů, byla pro tento proces zvolena metoda ověření pomocí historických dat incidencí požárů. Tento způsob ověření má však jeden nedostatek – data o požárech zahrnují veškeré identifikovatelné incidenty, tudíž i ty, které se rozšířily a vznikly za pomoci již existujících požárů. Vytvořený algoritmus však modeluje spíše oblasti, kde je zvýšené riziko vzniku požárů než pravděpodobnost jejich šíření. Jedná se sice o dvě rozdílné skutečnosti, které jsou však z velké části ovlivněny stejnými vlivy. Alternativním přístupem k validaci modelu by mohlo být porovnání s již vytvořenými a používanými indexy, kterým je věnována část literární rešerše této práce, popřípadě porovnání s hodnotami z existujících modelů (například AFMS).

9. ZÁVĚR

Jedním z cílů této práce bylo určení faktorů, jenž nejvíce ovlivňují riziko vzniku požárů. Při procházení odborné literatury, studií zabývajících se problematikou modelování rizika vzniku požárů a již existujících modelů byly zjištěny silné podobnosti mezi faktory vstupujícími do jednotlivých výpočtů. To samé platí i pro síly vlivů těchto proměnných. Nejvlivnějšími faktory se jeví být vliv vegetace (typ vegetace – LC, zdravotní stav či obsah vody ve vegetaci, v Austrálii pak i přechody mezi určitými kategoriemi LC), klimatické podmínky (množství srážek, vlhkost vzduchu, amplituda teploty), vliv topografie (naklonění a nasvícení svahu, nadmořská výška), ale i vliv lidské činnosti (vzdálenost od sídel a komunikací). Většina z těchto faktorů a empirická data o nich jsou podkladem pro vzorce modelující výsledné riziko. Existuje velké množství těchto indexů pro uskutečnění takovýchto výpočtů, nicméně je zde jistá variabilita, ať už ve zvolených proměnných či při určení jejich vlivů na výsledné riziko. Tuto variabilitu lze vysvětlit zvolenou metodikou nebo lokalitou, kde je index využíván.

V další části práce byl vytvořen vlastní model rizika pro území Severního teritoria v Austrálii. Podkladem pro vzorec tohoto modelu byly informace získané z literární rešerše. Vstupní data byla získána z velké části od institucí australské vlády či jiných nadnárodních organizací. Výsledný model obsahuje celkem čtyři kategorie rizika – od nízkého po velmi vysoké. Nejvíce rizikovou oblastí je okolí ústí řeky Calvert na severovýchodě zkoumaného území. Oblast s naopak nejnižším rizikem lze nalézt na východní hranici Severního teritoria. Velká část území je zatížena vysokým rizikem (přes 60 %) vzniku požárů, naopak jen malé množství ploch se nachází v kategoriích nízkého, respektive velmi vysokého rizika (dohromady tvoří necelé procento území).

Validace modelu byla provedena pomocí historických dat incidencí požárů z let 2017-2021 a daty aktuálnějšími z 16.2.2022. Ověření proběhlo extrahováním jednotlivých bodů incidencí k výslednému modelu. Při tomto procesu bylo zjištěno zastoupení incidentů v kategoriích rizika. Nejvíce zatížené jsou především oblasti s vysokým rizikem. Jak naznačují výsledky, 75,65 % incidentů bylo zjištěno právě v místech s touto kategorií rizika. Z prostorového rozložení těchto incidencí je také zřejmé, že nejvíce zatížená je severní část zkoumané oblasti. Nejméně požárů se naopak vyskytlo v okolí již zmíněné východní hranice a na jihu území.

Zásadním přínosem práce je vytvoření nového vzorce pro výpočet rizika, přizpůsobeného vlivům, které ovlivňují vznik požárů v Austrálii. I přes funkčnost tohoto modelu je zde však určitý prostor pro vylepšení přesnosti, ať už ve výběru dat

vstupujících do výpočtu, přehodnocením některých faktorů a jejich vlivů, či přidáním celé další komponenty pro komplexnější představu o riziku vzniku požárů na území Severního teritoria.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Odborné publikace

- ADAB, H.; KANNIAH, K. D.; SOLAIMANI, K., 2013: Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural hazards*, 65.3: 1723-1743.
- ALBINI, F. A., 1976: Estimating wildfire behavior and effects. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- ALENCAR, A.; SOLÓRZANO, L. A.; NEPSTAD, D. C., 2004: Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. *Ecological Applications*, 14.sp4: 139-149.
- AMBROSIA, V. G.; BUECHEL S. W.; BRASS, J. A.; PETERSON, J. R.; DAVIES, R. H.; KANE, R. J.; SPAIN, S., 1998: An Integration of Remote Sensing, GIS, and Information Distribution for Wildfire Detection and Management. In: *Photogrammetric engineering & Remote Sensing -- PE&RS Journal*, Vol. 64, No. 10. p. 977-985.
- ARAGÓ, P.; JUAN, P.; DÍAZ-AVALOS, C.; SALVADOR, P., 2016: Spatial point process modeling applied to the assessment of risk factors associated with forest wildfires incidence in Castellón, Spain. *European Journal of Forest Research*, 135.3: 451-464.
- BAJOCCO, S.; RICOTTA, C., 2008: Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer?. *Landscape Ecology*, 23.2: 241-248.
- BEER, T., 1991: The Australian national bushfire model project, *Math1 Comput. Modelling*, Vol. 13, No. 12, pp. 49-56.
- BLAINEY, G., 2015: *The Story of Australia's People. The Rise and Fall of Ancient Australia* Melbourne: Penguin Australia Pty Ltd. 400 s. ISBN 9780670078714.
- BOER, M. M., SADLER, R. J.; WITTKUHN, R. S.; MCCAW, L.; GRIERSON, P. F., 2009: Long-term impacts of prescribed burning on regional extent and incidence of wildfires—evidence from 50 years of active fire management in SW Australian forests. *Forest Ecology and Management*, 259.1: 132-142.
- BROOME, R. A., JOHNSTON, F. H.; HORSLEY, J.; MORGAN, G. G., 2016: A rapid assessment of the impact of hazard reduction burning around Sydney, May 2016. *The Medical Journal of Australia*, 205.9: 407-408.
- BRUNSON, M. W.; EVANS, J., 2005: Badly burned? Effects of an escaped prescribed burn on social acceptability of wildland fuels treatments. *Journal of Forestry*, 103.3: 134-138.
- BURROWS, N. D., 2008: Linking fire ecology and fire management in south-west Australian forest landscapes. *Forest ecology and management*, 255.7: 2394-2406.
- CAI, W.; COWAN, T.; RAUPACH, M., 2009: Positive Indian Ocean dipole events precondition southeast Australia bushfires. *Geophysical Research Letters*, 36.19.,
- CARMO, M.; MOREIRA, F.; CASIMIRO, P.; VAZ, P., 2011: Land use and topography influences on wildfire occurrence in northern Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 100.1-2: 169-176.
- CARRAO, H.; FREIRE, S.; CAETANO, M. R., 2003: Fire risk mapping using satellite imagery and ancillary data: toward operationality. In: *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology IV*. SPIE, 154-165.
- CIPRIANI, H. N.; PEREIRA, J. A. A.; SILVA, R. A.; DE FREITAS, S. G.; DE OLIVEIRA, L. T., 2011: Fire risk map for the Serra de São Domingos Municipal park, Poços de caldas, MG. *Cerne*, 17: 77-83.
- CLARK, C., 2020: Causes of Big Bushfires in Australia: Higher Temperatures and Rainfall or More Fuel?. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8.08: 79.

- COLLINS, D. A.; DELLA-MARTA, P. M.; PLUMMER, N.; TREWIN, B. C., 2000: Trends in annual frequencies of extreme temperature events in Australia. *Australian Meteorological Magazine*, 49.4: 277-292.
- DICKMAN, C.; MCDONALD, T., 2020: Some personal reflections on the present and future of Australia's fauna in an increasingly fire-prone continent. *Ecological Management & Restoration*, 21.2: 86-96.
- DONG, X.; LI-MIN, D.; GUO-FAN, S.; TANG, L.; HUI, W., 2005: Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of forestry research*, 16.3: 169-174.
- ERTEN, E.; KURGUN, V.; MUSAOGLU, N., 2004: Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: a case study. In: XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey. 222-230.
- FIORUCCI, P.; GAETANI, F.; LANORTE, A.; LASAPONARA, R., 2007: Dynamic fire danger mapping from satellite imagery and meteorological forecast data. *Earth Interactions*, 11.7: 1-17.
- FLOREC, V.; BURTON, M.; PANELL, D.; KELSO, J.; MILNE, G., 2019: Where to prescribe burn: the costs and benefits of prescribed burning close to houses. *International journal of wildland fire*, 29.5: 440-458.
- FRECKLETON, R. P., 2004: The problems of prediction and scale in applied ecology: the example of fire as a management tool. *Journal of Applied Ecology*, 599-603.
- HEAD, L.; ATCHISON, J., 2015: Governing invasive plants: Policy and practice in managing the Gamba grass (*Andropogon gayanus*)–Bushfire nexus in northern Australia. *Land Use Policy*, 47: 225-234.
- CHENEY, N. P., 1995: Bushfires—an integral part of Australia's environment. *Year Book Australia*, 77: 515-521.
- CHERET, V.; DENUX, J.-P., 2011: Analysis of MODIS NDVI time series to calculate indicators of Mediterranean forest fire susceptibility. *GIScience & Remote Sensing*, 48.2: 171-194.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G., 1988: Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data. *Geocarto International*, 3.4: 41-53.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G., 1989: Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29.2: 147-159.
- CHUVIECO, E.; SALAS, J., 1996: Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 10.3: 333-345.
- JAISWAL, R. K.; MUKHERJEE S.; RAJU, K. D.; SAXENA, R., 2002: Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 4.1: 1-10.
- KUSHLA, J. D.; RIPPLE, W. J., 1997: The role of terrain in a fire mosaic of a temperate coniferous forest. *Forest Ecology and Management*, 95.2: 97-107.
- LAVERY, B.; DAHNI, R.; MCAVANEY, B., 1998: Australian temperature, Australian rainfall and the Southern Oscillation, 1910-1992: coherent variability and recent changes. *Australian Meteorological Magazine*, 47.2.
- LEVIN, N.; YEBRA, M.; PHINN, S., 2021: Unveiling the Factors Responsible for Australia's Black Summer Fires of 2019/2020. *Fire*, 4.3: 58.
- LINACRE, E.; HOBBS, J., 1987: *The Australian climatic environment*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- MILLER, J.; BORNE, K.; THOMAS, B.; HUANG, Z.; CHI, Y., 2013: Automated wildfire detection through artificial neural networks. In: *Remote Sensing and Modeling Applications to Wildland Fires*. Springer, Berlin, Heidelberg, 293-304.

- MOREIRA, F.; VAZ, P.; CATRY, F.; SILVA, J. S., 2009: Regional variations in wildfire susceptibility of land-cover types in Portugal: implications for landscape management to minimize fire hazard. *International Journal of Wildland Fire*, 18.5: 563-574.
- MORITZ, M.A., BATLLORI, E., BRADSTOCK, R.A., GILL, A.M., HANDMER, J., HESSBURG, P.F., LEONARD, J., MCCAFFREY, S., ODION, D.C., SCHOENNAGEL, T., SYPHARD, A.D., 2014: Learning to coexist with wildfire. *Nature* 515, 58–66.
- PELIZZARI, A.; GONCALVES, R. Ar.; CAETANO, M., 2008: Information extraction for forest fires management. In: *Computational intelligence for remote sensing*. Springer, Berlin, Heidelberg, 295-312.
- PENMAN, T. D.; CHRISTIE, F. J.; ANDERSEN, A. N.; BRADSTOCK, R. A.; CARY, G. J.; HENDERSON, M. K.; PRICE, O.; TRAN, C.; WARDLE, G. M.; WILLIAMS, R. J.; YORK, A., 2011: Prescribed burning: how can it work to conserve the things we value?. *International Journal of Wildland Fire*, 20.6: 721-733.
- POUNDER, D. J., 1984: Bushfires in Australia-A Historical Perspective. *Med. Sci. & L.*, 24: 107.
- QUINN-DAVIDSON, L. N.; VARNER, J. M., 2011: Impediments to prescribed fire across agency, landscape and manager: an example from northern California. *International Journal of Wildland Fire*, 21.3: 210-218.
- RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R., 2000: Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. *Environmental management*, 26.6: 675-684.
- RUSSELL-SMITH, J.; MCCAWE, L.; LEAVESLEY, Ad., 2020: Adaptive prescribed burning in Australia for the early 21st Century—context, status, challenges. *International journal of wildland fire*, 29.5: 305-313.
- SHI, G.; YAN, H.; ZHANG, W.; DODSON, J.; HEIJNIS, H.; BURROWS, M., 2021: Rapid warming has resulted in more wildfires in northeastern Australia. *Science of the total environment*, 771: 144888.
- SIACHALOU, S.; DOXANI, G.; TSAKIRI-STRATI, M, 2009: Integrating remote sensing processing and GIS to fire risk zone mapping: a case study for the Seih-Sou forest of Thessaloniki. In: *Proceeding of ICC*.
- SOUTHWELL, D.; HAO, A.; SMART, A.; VALAVI, R.; WILKINSON D.; WINTLE, B., 2020: Design considerations for post natural disaster (fire) on-ground assessment of status of species, ecological communities, habitats and threats. 119
- STRETTON, L. E. B., 1939: Report of the Royal Commission to Inquire into the Causes of and Measures Taken to Prevent the Bush Fires of January, 1939, and to Protect Life and Property, and the Measures Taken to Prevent Bush Fires in Victoria and Protect Life and Property in the Event of Future Bush Fires. No. 2,—[1S. 3D.]—6912/39. Melbourne: Parliament of Victoria: T. Rider, Acting Government Printer. 36 s.
- TEAGUE, B., MCLEOD, R., PASCOE, S., 2010: 2009 Victorian Bushfires Royal Commission - Final Report Summary. PP No. 332 – Session 2006–10. Melbourne: Government Printer for the State of Victoria.
- VAN WAGTENDONK, J. W., 2007: The history and evolution of wildland fire use. *Fire Ecology*, 3.2: 3-17.
- VOLKOVA, L.; WESTON, C. J., 2019: Effect of thinning and burning fuel reduction treatments on forest carbon and bushfire fuel hazard in *Eucalyptus sieberi* forests of South-Eastern Australia. *Science of the Total Environment*, 694: 133708.
- WARD, D. J.; LAMONT, B. B.; BURROWS, C. L., 2001: Grass trees reveal contrasting fire regimes in eucalypt forest before and after European settlement of southwestern Australia. *Forest Ecology and Management*, 150.3: 323-329.

- WARD, M.; TULLOCH, A. I. T.; RADFORD, J. Q.; WILLIAMS, B. A.; RESIDE, A. E.; MACDONALD, S. L.; MAYFIELD, H. J.; MARON, M.; POSSINGHAM, H. P.; VINE, S. J.; O'CONNOR, J. L.; MASSINGHAM, E. J.; GREENVILLE, A. C.; WOINARSKI, J. C. Z.; GARNETT, S. T.; LINTERMANS, M.; SCHEELE, C.; CARWARDINE, J.; NIMMO, D. G.; LINDENMAYER, D. B.; KOOYMAN, R. M.; SIMMONDS, J. S.; SONTER, L. J.; WATSON, J. E. M., 2020: Impact of 2019–2020 mega-fires on Australian fauna habitat. *Nature Ecology & Evolution*, 4.10: 1321-1326.
- WILSON, N.; CARY, G. J.; GIBBONS, P., 2018: Relationships between mature trees and fire fuel hazard in Australian forest. *International journal of wildland fire*, 27.5: 353-362.

Internetové zdroje

- ATE, 2020: 10 Deadliest Wildfires in World History (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<https://www.alltopeverything.com/deadliest-wildfires/>>.
- AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS, 2021: National, state and territory population (online) [cit. 2022.03.15.], dostupné z <<https://www.abs.gov.au/statistics/people/population/national-state-and-territory-population/jun-2021#states-and-territories>>.
- AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY, 2017: Mapping Bushfire Hazard and Impact (online) [cit. 2021.08.30], dostupné z <<http://wald.anu.edu.au/mapping-bushfire-hazard-and-impact/>>.
- BUREAU OF METEOROLOGY, 2020: Annual climate statement 2019 (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/aus/2019/>>.
- BUREAU OF METEOROLOGY, 2022: Annual climate statement 2021 (online) [cit. 2022.02.11], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/aus/#tabs=Highlights>>.
- BUREAU OF METEOROLOGY, 2022: Northern Territory in 2021: warm year for the Top End (online) [cit. 2022.03.15], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/nt/archive/2021.summary.shtml>>.
- BUREAU OF METEOROLOGY, 2022: Northern Territory in May to September 2021: warm days overall in the Top End for the northern dry season (online) [cit. 2022.03.15], dostupné z <<http://www.bom.gov.au/climate/current/season/nt/archive/202109.summary.shtml>>.
- BUSHFIRE & NATURAL HAZARDS CRC, 2017: Partners in research (online) [cit. 2021.08.30], dostupné z: <<https://www.bnhcrc.com.au/about/organisations-partners>>.
- COLE, B., 2020: What Caused The Wildfires In Australia? Amid Worst Blazes For A Decade, 24 People Are Charged With Arson (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<https://archive.ph/20200214151857/https://www.newsweek.com/australia-wildfires-arson-new-south-wales-police-1480733#selection-3121.0-3121.104>>.
- GESCIENCE AUSTRALIA, 2008: Deserts (online) [cit. 2022.03.15], dostupné z <<https://web.archive.org/web/20091205171650/http://www.ga.gov.au/education/geoscience-basics/landforms/deserts.jsp>>.
- GESCIENCE AUSTRALIA, 2009: Highest Mountains (online) [cit. 2022.03.15], dostupné z <<https://web.archive.org/web/20100406044856/http://www.ga.gov.au/education/geoscience-basics/landforms/highest-mountains.jsp>>.
- HANNAM, P., 2019: Lessons learnt (and perhaps forgotten) from Australia's 'worst fires' (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<https://www.smh.com.au/environment/climate-change/lessons-learnt-and-perhaps-forgotten-from-australia-s-worst-fires-20190108-p50qol.html>>.

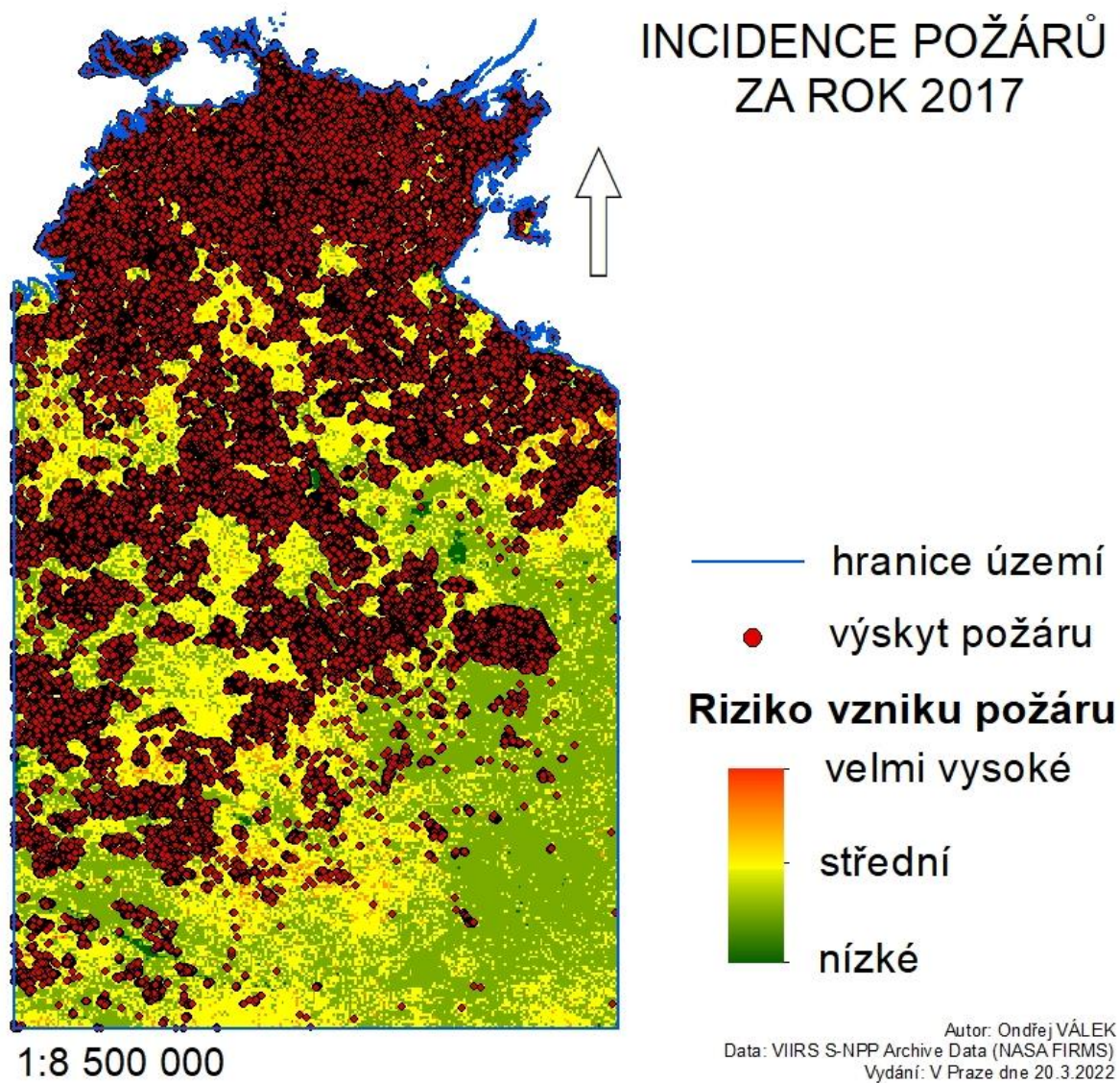
- MCARTHUR, A. G., 1969: The Tasmanian Bushfires of 7th February 1967 and Associated Fire Behaviour Characteristics (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<https://web.archive.org/web/20020802231837/http://sres.anu.edu.au/associated/fire/IUFRO/CONFLAG/HOBART67/AlanMc67.HTM>>.
- NEWAY, S., 2020: Australia is burning - but why are the bushfires so bad and is climate change to blame? (online) [cit. 2022.02.16], dostupné z <<https://www.telegraph.co.uk/global-health/climate-and-people/australia-burning-bushfires-bad/>>.
- OFFICE OF THE STATE FIRE MARSHAL, 2022: Fire Hazard Severity Zones (online) [cit. 2022.03.22], dostupné z <<https://osfm.fire.ca.gov/divisions/community-wildfire-preparedness-and-mitigation/wildfire-preparedness/fire-hazard-severity-zones/>>.
- SABALOW, R.; REESE, P.; KASLEY, D., 2019: Destined to Burn: California races to predict which town could be next to burn (online) [cit. 2022.03.22], dostupné z <<https://krctv.com/news/local/destined-to-burn-california-races-to-predict-which-town-could-be-next-to-burn>>.
- STONE, R., 1957: Radio communication keeps fire rangers in touch (online) [cit. 2022.03.20], dostupné z <<https://www.cbc.ca/archives/entry/forest-fires-radio-communication-keeps-rangers-in-touch>>.
- TANGENTYERE LANDCARE, 2005: The Fire Book (online) [cit. 2022.02.14], dostupné z <<https://web.archive.org/web/20150227223739/http://www.schools.nt.edu.au/tlcland/publications/Fire%20Book.pdf>>.
- WARDEN, I., 2014: H.G Wells and the big chill in Canberra's 1939 heatwave (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<https://www.canberratimes.com.au/story/6146527/hg-wells-and-the-big-chill-in-canberras-1939-heatwave/>>.
- WEBB, N. R., 1998: The Role of Fire in the Ecology of Heathland in Southern Britain (online) [cit. 2022.03.20], dostupné z <https://web.archive.org/web/20110716212702/http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/gb/gb_1.htm>.
- WESTGARTH, W., 1888: Bushfires in Victoria 1851 Black Thursday (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<http://romseyaustralia.com/fire1851.html>>.
- WILKIE, K., 2020: Devastating bushfire season will cost Australian the economy \$20BILLION, experts warn (online) [cit. 2022.02.16], dostupné z <<https://www.dailymail.co.uk/news/article-7863335/Devastating-bushfire-season-cost-Australian-economy-20BILLION-experts-warn.html>>.
- WILLIAMS, C., 2007: Ignition impossible: When wildfires set the air alight (online) [cit. 2022.02.16], dostupné z <<https://www.newscientist.com/article/mg19526151-900-ignition-impossible-when-wildfires-set-the-air-alight/>>.
- WILLIAMS. L. T., 2011: The worst bushfires in Australia's history (online) [cit. 2022.02.15], dostupné z <<https://www.australiangeographic.com.au/topics/science-environment/2011/11/the-worst-bushfires-in-australias-history/>>.

Obrázky a tabulky

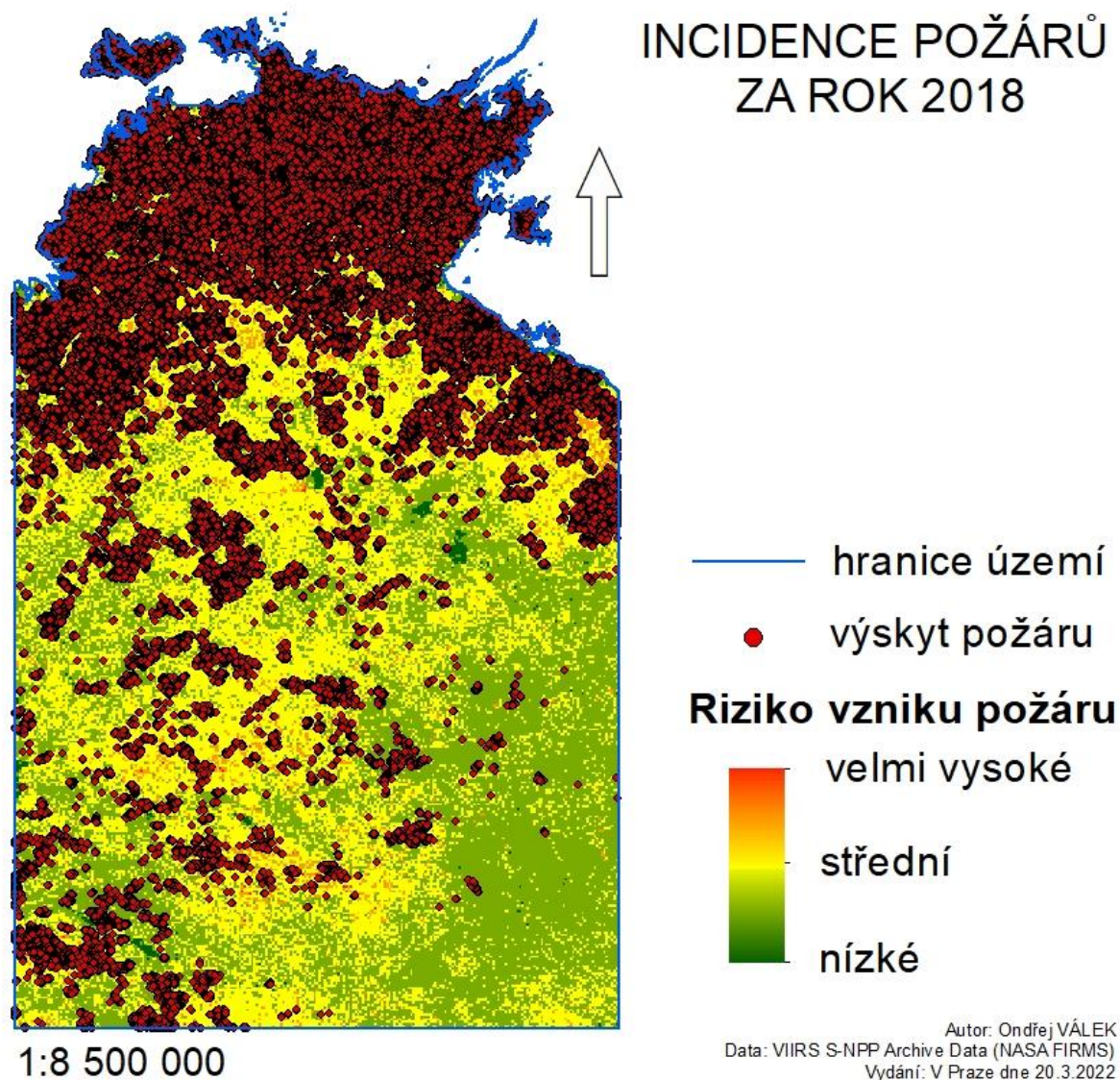
- Obr. 1: Mapa požárových sezón v Austrálii (CHENEY, N. P., 1995: Bushfires—an integral part of Australia's environment (online) [cit. 2022.02.15.], dostupné z <<https://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/lookup/6c98bb75496a5ad1ca2569de00267e48>>.
- Obr. 2: Schéma modelu rizika organizace ICONA (CHUVIECO, E.; SALAS, J., 1996: Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS (online) [cit. 2022.03.22.], dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/220649916_Mapping_the_Spatial_Distribution_of_Forest_Fire_Danger_Using_GIS>.

Tab. 1: Tabulka požárů větších než 1Mha (CLARK, C., 2020: Causes of Big Bushfires in Australia: Higher Temperatures and Rainfall or More Fuel? (online) [cit. 2022.02.15.], dostupné z <<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=102587>>.

11. PŘÍLOHY

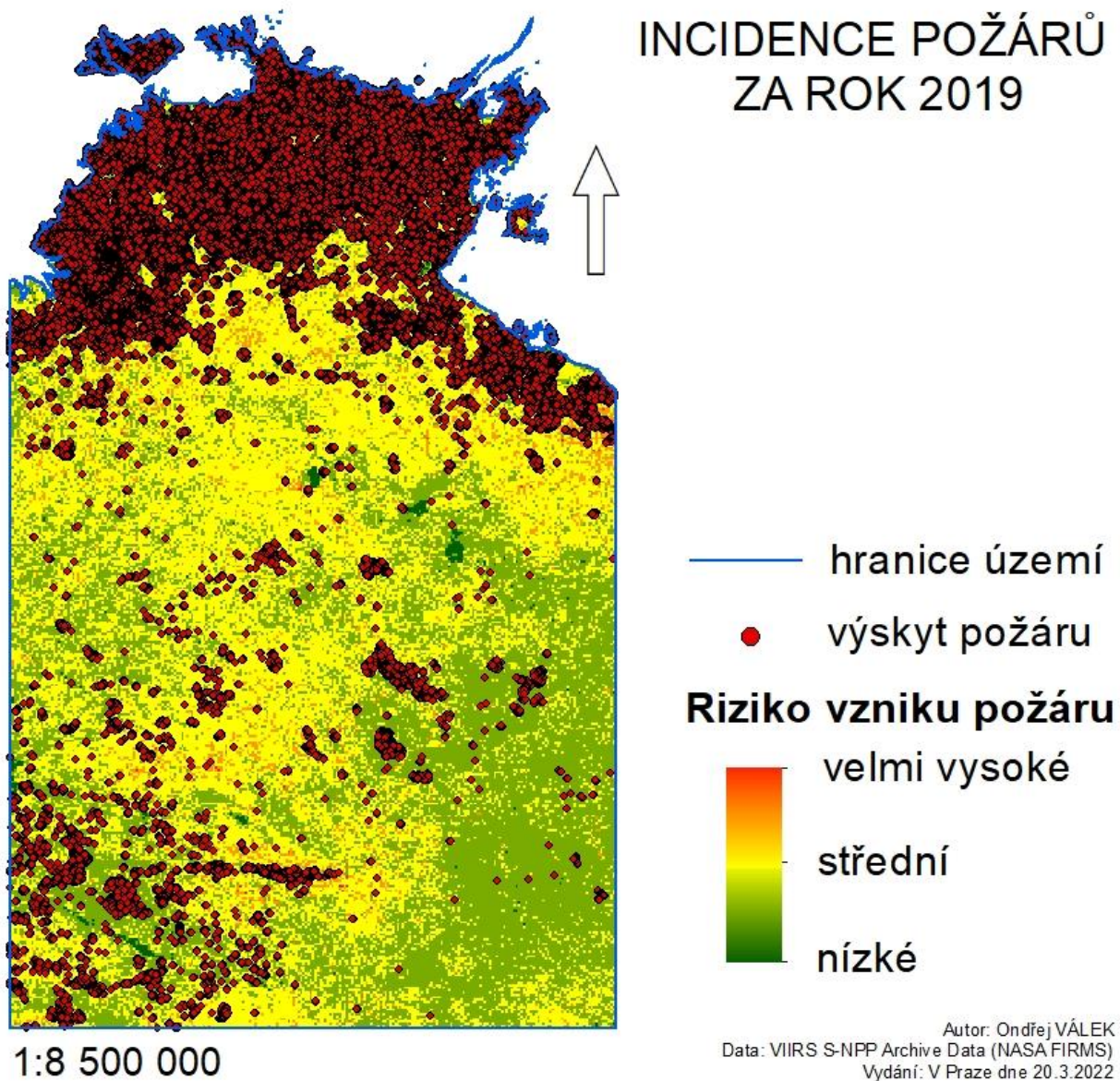


Příloha 1: Mapa incidence požárů v roce 2017 na území Severního teritoria



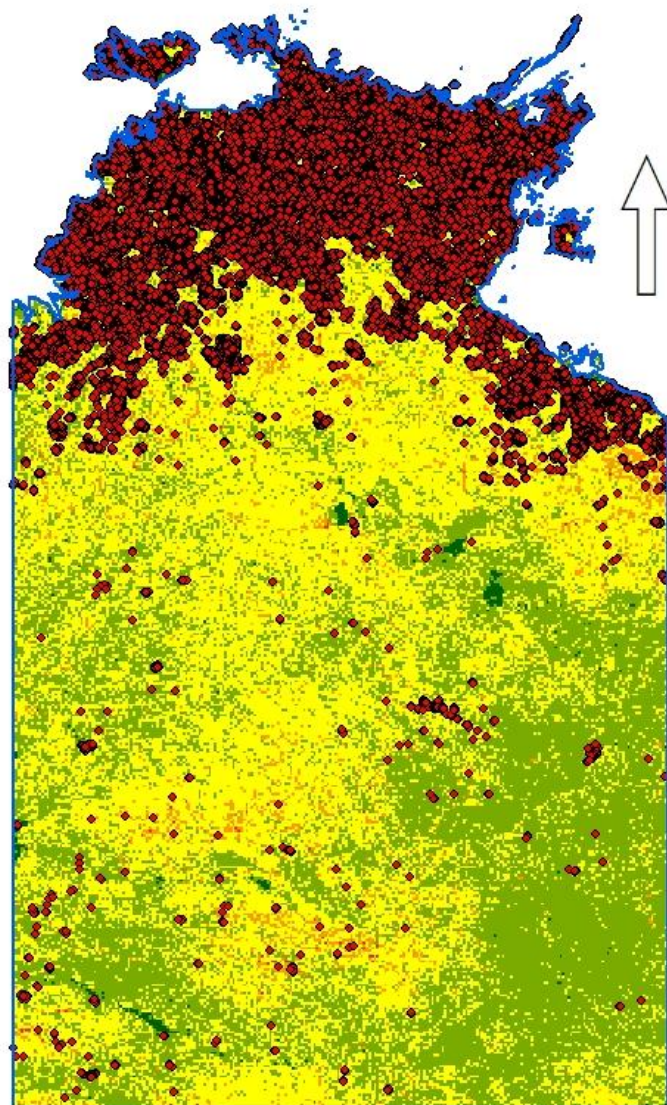
Příloha 2: Mapa incidence požárů v roce 2018 na území Severního teritoria

INCIDENCE POŽÁRŮ ZA ROK 2019



Příloha 3: Mapa incidence požárů v roce 2019 na území Severního teritoria

INCIDENCE POŽÁRŮ ZA ROK 2020



— hranice území

• výskyt požáru

Riziko vzniku požáru

velmi vysoké

střední

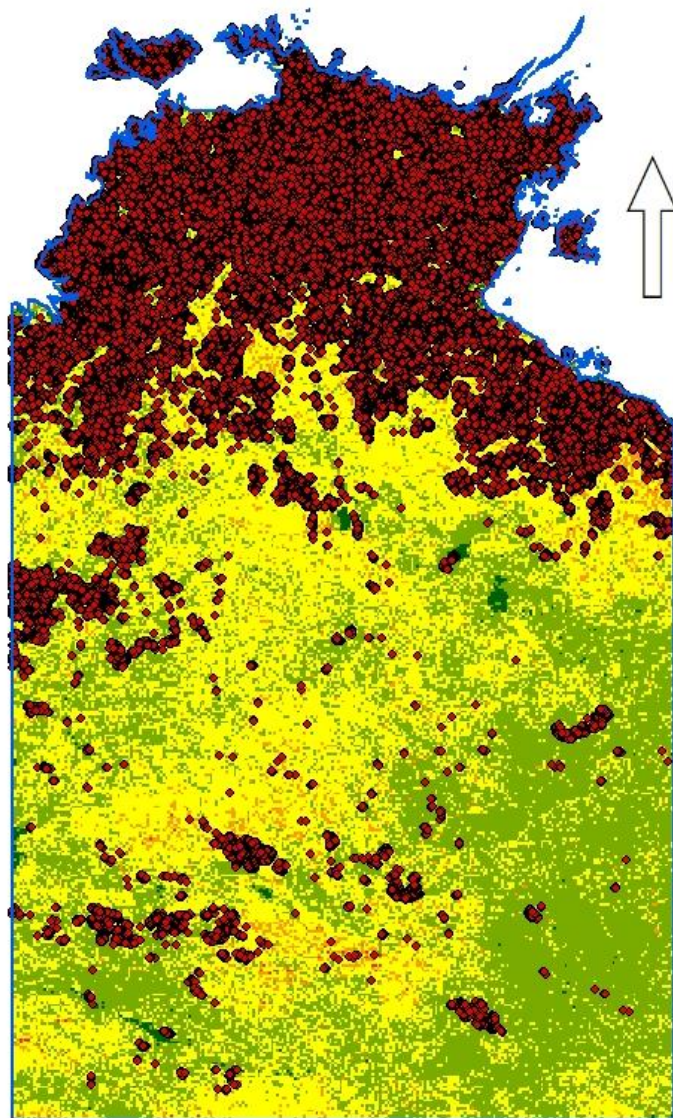
nízké

1:8 500 000

Autor: Ondřej VÁLEK
Data: VIIRS S-NPP Archive Data (NASA FIRMS)
Vydání: V Praze dne 20.3.2022

Příloha 4: Mapa incidence požárů v roce 2020 na území Severního teritoria

INCIDENCE POŽÁRŮ ZA ROK 2021



— hranice území

• výskyt požáru

Riziko vzniku požáru



1:8 500 000

Autor: Ondřej VÁLEK
Data: VIIRS S-NPP Archive Data (NASA FIRMS)
Vydání: V Praze dne 20.3.2022

Příloha 5: Mapa incidence požárů v roce 2021 na území Severního teritoria