

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



**Sledování dopadů havárie jaderné elektrárny Fukušima na
vývoj lokální vegetace pomocí metod DPZ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Jana Šeblová

Vedoucí práce: Ing. David Moravec, Ph.D.

Praha 2023

Prohlášení autora:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, jež jsem v textu použila, a že tyto zdroje jsou uvedeny na konci v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou.

Obrovské poděkování patří vedoucímu práce Ing. Davidovi Moravcovi PhD. za jeho odborné rady, rychlé odpovědi a podporu, kterou se mi v průběhu vypracování dostávalo. Děkuji také ostatním, kteří mi psychicky pomáhali a motivovali mě k dokončení práce.

ZKRATKY A VYSVĚTLIVKY

DPZ – Dálkový průzkum Země

GIS – Geografický informační systém

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index; normalizovaný diferenční vegetační index

IZOTOP – Nuklid se stejným počtem protonů ale jiným počtem neutronů

MAGNITUDA - Seismologická jednotka velikosti zemětřesení

ENDEMIT - Organismus, který vznikl a je rozšířen jen v určitém omezeném území a nikde jinde se nevyskytuje

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tématem, jak velký vliv měl výbuch elektrárny Fukushima Daiichi v roce 2011 v Japonsku na místní vegetaci. Cílem práce je porovnat dvě oblasti na ostrově Honšú a zjistit, jak moc se index mezi těmito 2 zónami odlišuje a jaké důsledky měla radioaktivita na vegetaci.

První část práce popisuje načerpané poznatky z výzkumů, prací, vědeckých článků či knih spojené s explozí v okolí Fukushimy, které charakterizují základní pojmy související s tématem.

V první oblasti byla radioaktivita naměřena ve vysokém množství a druhá oblast byla zasažena minimálně. Tato data byla zpracována pomocí normalizovaného diferenčního vegetačního indexu.

Zpracované výsledky jsou prezentovány ve formě grafů. Je vidět, že po nehodě tam je pokles indexu a trvá zhruba 2 roky, než NDVI oblasti se dostane na stejnou úroveň jako před nehodou. Tyto grafy ovšem neberou v potaz jiné okolnosti, které jsou zmíněny v diskusi a které mohly výsledky ovlivnit.

Klíčová slova: Radioaktivita, Fukushima, Japonsko, kontaminace, vegetace, poločas rozpadu, NDVI

Abstract

This bachelor thesis focuses on how big influence the explosion of the Fukushima Daiichi power plant in Japan in 2011 had on the local vegetation. The aim of the work is to compare two areas on an island of Honshu and to find out how much the index differs between these 2 zones and what consequences radioactivity had on the vegetation.

The first part of the work describes the knowledge gained from research, papers, scientific articles and books connected with the explosion in the of the Fukushima and its surroundings which characterize the basic terms related to the topic.

One area has a high radioactivity and the other was hit by radioactivity minimum. These data were processed by using the normalized differential vegetation index.

The processed results are presented in the form of graphs. It can be seen that after the accident there is a decrease in the index and it takes about 2 years for the NDVI of the area to reach the same level as before the accident. However, these graphs do not take into consideration other circumstances that are mentioned in the discussion and that can impact the result.

Key words: Radiation, Fukushima, Japan, contamination, vegetation, radioactive decay, NDVI

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Dálkový průzkum Země	10
3. NDVI.....	11
4. Data	12
5. Radioaktivita.....	12
5. 1. Popis nehody	13
5. 2. 1. I^{131}	14
5. 2. 2. Cs^{137} a Cs^{134}	14
5. 3. Poločas rozpadu	14
5. 4. Měření radioaktivity	15
6. Historie ostrova	16
6. 1. Geologie.....	17
6. 2. Flóra	18
6. 3. Fauna.....	19
7. METODIKA	20
7. 1. Zájmové území.....	20
7. 2. Data	22
7. 3. Zpracování dat.....	22
8. Výsledky	24
9. Diskuse.....	25
10. Závěr	27
11. Seznam použité literatury	28
11. 1. Seznam obrázků	31
11. 2. Seznam příloh.....	31
11. 3. Seznam tabulek	31

1. Úvod

Bakalářská práce se zaměřuje na tragické období v japonské historii. Začalo to zemětřesením na ostrově Honšú, pokračovalo vyvolanou vlnou tsunami, která ve svém důsledku vedla k výbuchu jaderné elektrárny. Všechno se stalo v průběhu několika hodin. Během výbuchu a po něm unikly do ovzduší nebezpečné látky, které kontaminovaly své okolí a ze vzduchu se začaly ukládat do půdy a následně do vegetace. V práci jsou popsány některé nebezpečné izotopy, které unikly do ovzduší. Následně je zde popsán termín poločas rozpadu, co je to radioaktivita, jak se měří a jak se v oblasti Fukushima dají k měření využít hadi či divoká prasata. Určitá část práce je věnována geologii ostrova, kde je vysvětleno, proč jsou zemětřesení v této oblasti tak častá. Je zde i zmíněno, jaký vliv měla radioaktivita na místní faunu a flóru.

2. Dálkový průzkum Země

Jedním ze způsobů, jak získat data o zemském povrchu měřením, je dálkový průzkum Země. Tato technika, jenž se používá pro sběr informací o Zemi z dálky pomocí senzorů umístěných na satelitech nebo letadlech. Tyto senzory mohou zaznamenávat informace o povrchu Země, atmosféře, oceánech a dalších geografických a klimatických faktorech. Jeho princip lze přirovnat ke vnímání světa lidským zrakem nebo pořizování fotografií, které jsou nejstaršími daty DPZ (doc. Ing. Lena Halounová, 2018).

Obecně lze říct, že jako mnoho vynálezů byl i dálkový průzkum Země nejvíce rozvíjen a využíván armádou. Během první světové války pozorovatelé na palubě letadla skicovali území ze vzduchu. Postupem času byli nahrazeni speciálními fotoaparáty navrženými pro letecký průzkum (Surový et al., 2019). V některých případech byly využívány i tepelné senzory.

Manuální sběr dat se ukázal být finančně náročný a zdlouhavý, a proto i pro komerční využití se začalo přecházet na vyspělejší technologie. Dnes máme různé platformy. Zařízení pro dálkový průzkum Země mohou být umístěna jak na zemi, tak ve vzduchu či v kosmickém prostoru. Tato pozemní snímací zařízení se nacházejí na jeřábech, vysokých budovách, lešení a jiné.

Mezi nejčastější metody DPZ se řadí fotografické, radarové a laserové snímání, termální snímání a spektrální analýzy. Tyto metody umožňují získávat informace o různých vlastnostech Země, jako jsou teplota, barva, výška, složení, povrchová nerovnost a mnoho dalších (Gorelick et al., 2017).

V poslední době jsou velice populární pro snímání ploch ze vzduchu drony. Jejich jednodušší manipulace a dlouhá životnost na jedno nabití umožňuje obletět velký kus prostoru. K dalšímu oblíbeným zařízením patřící mezi letecké nosiče jsou letadla s pevnými křídly, případně i vrtulníky. Letadla jsou oblíbená díky svému rozsahu a velice kvalitním snímkům (Surový et al., 2019). V kosmickém prostoru se dříve k nepravidelnému sběru využívaly pilotované raketoplány, k pravidelnému sběru se snímací zařízení umísťuje na družice a umožňuje sledování už od 70. let.

Tyto měřicí technologie poskytovaly mnohem přesnější informace, které poskytovala data v kvalitnějším měřítku i větším objemu. Tato data je třeba dále upravit, aby šla kombinovat s mapami a dále z nich získávat potřebné informace (Gorelick et al., 2017).

Z výše uvedeného je zřejmé, že data DPZ jsou využívána velmi často jako vstupní zdrojová data do Geografického informačního portálu (dále jen GIS) popisující zemský povrch, případně i jevy pod zemským povrchem, které se na zemském povrchu ale určitým způsobem projevují. (doc. Ing. Lena Halounová, 2018). DPZ v kombinaci s GIS je vhodný způsob, jak zanalyzovat chtěné území, a proto byl i tento postup jedna z možností v této práci.

3. NDVI

Normalizovaný diferenční vegetační index není jediný vegetační index, který je používán k mapování vegetace na různých místech, ovšem je jeden z nejrozšířenějších (Löfgren et al., 2018). NDVI se používá jako prostředník pro měření a zobrazení biomasy na daném snímku. Často se používá pro monitorování vegetace a jejího vývoje v různých typech ekosystémů, jako jsou lesy, pastviny, zemědělské plochy a další. Podle barvy listu rostliny, který určuje obsah chlorofylu, lze poznat, zda je rostlina zdravě zelená či stresová. Zdravě zelený list s chlorofylem je schopen pohlcovat dopadající záření a má velice vysokou odrazivost v infračervené části spektra. Pokud rostlina začne uvadat, listy začnou žloutnout a odrazivost klesá (Tucker, 1979).

Výpočet vegetačního indexu lze spočítat pomocí následujícího vzorce:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}$$

NIR v tomto případě představuje odrazivost v blízkém infračerveném pásmu a Red je průměrná odrazivost v červeném pásmu. Výsledek tohoto vzorce se vždy pohybuje v hodnotách od -1 do +1 (Amiri & Pourghasemi, 2022).

Výsledek pohybující se okolo 0 nás informuje, že na snímku se nenachází žádné zelené listy či se jedná o zastavěnou plochu bez vegetace. Naopak výsledek blízký k +1 značí vysoké množství biomasy, a tedy i kvalitní vegetaci. Z těchto hodnot se sestavují vegetační mapy, které lze využívat v zemědělství, ekologii a dalších odvětvích (Tucker, 1979).

4. Data

Satelitní data použitá pro oblast Prefektury Fukushima, nacházející se na ostrově Honšú, v této práci, jsou výsledkem satelitních MODIS senzorů, jehož hodnoty byly staženy přes Google Earth Engine platformu (Gorelick et al., 2017).

5. Radioaktivita

Radioaktivní prvky v přirozené formě se nachází v naší biosféře všude, avšak koncentrace těchto látek není stejná. Znamky jejich výskytu lze nalézt v živé i neživé přírodě (Hála, 1998). Největší přítomnost přirozené radioaktivity je v zemské kůře, atmosféře a v kosmickém záření. Odtud se dostávají do vody, atmosféry, rostlin, organismů živočichů nebo třeba i do stavebního materiálu.

Radioaktivita hraje významnou roli v ekologii, neboť může mít vliv na životní prostředí a živé organismy. Některé radioaktivní prvky jsou součástí zemské kůry,

zatímco jiné se vyskytují v důsledku lidské aktivity, jako jsou například jaderné havárie nebo vypouštění radioaktivních odpadů. V důsledku těchto situací vznikají nové směrnice pro práci s radioaktivními látkami, aby zamoření životního prostředí bylo minimální. (Beneš, 1974)

Radioaktivita může mít různé dopady na životní prostředí a ekosystémy. Vysoké dávky ionizujícího záření mohou poškodit buňky i DNA, což může vést k mutacím a následnému vymírání druhů (Hála, 1998). Ba co víc, radioaktivita může také ovlivnit vodní systémy a půdu, což má mít pravděpodobně vliv na rostliny, zvířata a další organismy zotavovat (Wada et al., 2023).

V rámci ekologie se také zkoumá, jak se radioaktivita šíří v životním prostředí, a jak může být ovlivněna různými faktory, jako jsou například větrné proudy, srážky nebo migrace živých organismů (Cooke et al., 2022). Tyto studie jsou důležité pro pochopení dopadů radioaktivity na životní prostředí a pro navrhování opatření, jak minimalizovat její negativní vlivy.

5. 1. Popis nehody

Fukushima byla zasažena silným zemětřesením s magnitudou 9,0 v roce 2011, což bylo nejsilnější zemětřesení v historii Japonska (Lin, a další, 2014). Toto zemětřesení vyvolalo následné tsunami o výšce 10 metrů, které postihlo pobřeží Tohoku a způsobilo katastrofu v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi (Koo et al., 2014). Během tsunami došlo k vyřazení z provozu elektrických generátorů a následně došlo ke ztrátě chlazení jaderných reaktorů. Tento nedostatek chladicí kapaliny způsobil nadměrné zahřívání palivových tyčí a tím i jejich poškození. Bohužel tato situace vedla k uvolnění velkého množství radioaktivních látek do okolí (Koo et al., 2014).

V průběhu následujících dnů došlo k několika výbuchům a požárům v různých částech elektrárny, což ještě zhoršilo situaci. Radioaktivní látky se šířily do okolí (Hirose & Povinec, 2022) a způsobily evakuaci velkého počtu lidí v blízkosti elektrárny. V důsledku expozice radioaktivitě se bohužel zvýšil počet případů nádorů a dalších onemocnění (Onda, a další, 2020).

Následkem nehody bylo uvolněno mnoho různých radioaktivních látek, jako jsou I^{131} , Cs^{137} a Cs^{134} do ovzduší (Lin et al., 2014). Tyto látky se uvolnily při poškození palivových tyčí a jejich následné oxidace a vypařování se (Koo et al., 2014).

5. 2 .1. I^{131}

Jedná se o krátkodobě radioaktivní izotop, který se často uvolňuje během jaderných havárií. Má poločas rozpadu asi 8 dní a může být nebezpečný pro lidské zdraví, pokud je vdechován nebo spolknut (Onda et al., 2020).

5. 2. 2. Cs^{137} a Cs^{134}

Jsou dlouhodobě radioaktivní izotopy, které mohou zůstat v půdě a vodě po mnoho let. I tyto látky představují nebezpečí pro lidský organismus, pokud se dostanou těla (Nemoto et al., 2020). Radioaktivní Cesium se ukládají do půdy, kde jim trvá 32 až 40 let, než se rozpadnou. Z kontaminované půdy postupně roste nová vegetace, která už obsahuje ve svých listech prvky radioaktivního Cesiumu. Tato přítomnost Cs, které se hromadí v listech ve vakuolách, ovlivňuje schopnost rostliny čerpat vodu. Cs totiž vakuoly uzavře a asimilace i transpirace rostliny není možná díky uzavření kořenů (Gupta et al., 2017).

5. 3. Poločas rozpadu

Poločas rozpadu je situace, kdy radioaktivní látky samovolně vysílají neviditelné ionizující záření alfa, beta nebo gama. Toto záření vzniká rozpadem atomových jader. Takže poločas rozpadu je doba, za kterou se polovina atomů určitého izotopu rozpadne na jiné izotopy nebo na stabilní produkty rozpadu (Hála, 1998). Poločas rozpadu se liší v závislosti na izotopu a může se pohybovat od zlomků sekundy až po miliardy let. Krátkodobě radioaktivní izotopy mají obvykle vysokou úroveň záření, ale jejich poločas rozpadu je krátký. V tomto případě to znamená, že rychle přestanou být

nebezpečné. Na druhé straně dlouhodobě radioaktivní izotopy mohou být méně zářivé, ale mají delší poločas rozpadu a mohou zůstat nebezpečné po mnoho let (Beneš, 1974).

Vzorec pro poločas rozpadu:

$$\tau = (\ln 2) / \lambda$$

$T_{1/2}$ = poločas rozpadu

$\ln 2$ = logaritmus čísla 2

λ = rychlost rozpadu

5. 4. Měření radioaktivity

Radiometr a dozimetr jsou dva různé typy přístrojů, které se používají k měření ionizujícího záření, ale každý mají různé funkce a účely.

Radiometr je přístroj používaný k měření celkového množství radioaktivity v daném materiálu nebo oblasti. Může měřit celkovou aktivitu radioaktivního materiálu nebo povrchovou aktivitu, což je množství radioaktivního materiálu přítomného na povrchu materiálu (Kržanović et al., 2019). Radiometr může být buď ruční, kdy je snadno přenosný, nebo automatický, který se používá k měření většího množství vzorků.

Dozimetr je přístroj, který měří absorbovanou dávku ionizujícího záření. Používá se k měření úrovně ozáření vystavené osoby, včetně množství radiace, kterou osoba přijala v průběhu času (Ginjaume et al., 2007). Dozimetry mohou být pasivní, jako jsou detektory stop nebo termoluminiscenční dozimetry nebo aktivní, kam patří ionizační komory nebo Geigerova měřidla (Švec, 2005).

Jeden z typů radiometrů využívaných při měření radioaktivity po nehodě ve Fukushima je scintilační detektor (Helebrant et al., 2021). Tyto typy jsou velice citlivé na ionizující záření. Scintilační detektor je jedním z nejčastěji používaných typů radiometrů, který využívá fluorescenčního záření ke generování světelných fotonů, které jsou následně detekovány a zaznamenány jako elektrický signál (Šilar, 1960).

Díky jeho kompaktnosti a relativně snadnému přenosu není problém měření radiace na vícero místech (Helebrant et al., 2021).

Dalším využitým typem radiometru jsou ionizační komory (Tetsuji et al., 2012). Jsou to velmi přesné a citlivé přístroje, které se používají k měření ionizujícího záření, jako jsou alfa, beta a gama záření. Ionizační komory využívají ionizace plynu uvnitř komory při průchodu ionizujícího záření. Ionizace vede k tvorbě elektrických nábojů, které jsou detekovány pomocí elektrod v komoře a převáděny na elektrický signál, který lze zaznamenat. Často se využívají v jaderné energetice k monitorování úrovně radiace v reaktorech a v oblastech s vyhořelým jaderným palivem (Švec, 2005).

Neméně populárním přístrojem na měření radioaktivity jsou Geigerova-Müllerova měřidla. Fungují na principu ionizace plynu uvnitř detekční trubice. Když ionizující záření vstoupí do trubice, ionizuje plyn uvnitř a uvolní se elektrony. Tyto elektrony jsou posílány k anodě a generují impulzy, které jsou zaznamenány a převedeny na čitelné údaje o intenzitě ionizujícího záření (Kržanović et al., 2019). I Geigerova-Müllerova měřidla byla využívána k měření radioaktivity po výbuchu a v následujících letech ke kontrole .

Tyto detektory byly instalovány na mnoha místech, včetně oblastí, kde bylo podezření na vysokou úroveň radiace, jako jsou obytné čtvrti, zemědělské plochy, rybářské přístavy a městská centra.

Měření radioaktivity se také provádělo v ovzduší, půdě, vodě, potravinách a zvířatech, aby se zjistilo, zda je radioaktivita v prostředí příliš vysoká a zda jsou potraviny a voda bezpečné pro lidskou spotřebu (Onda et al., 2020). V případě potřeby byly přijaty opatření k uzavření oblastí, evakuaci lidí a omezení spotřeby potravin a vody.

6. Historie ostrova

Honšú je největší a nejzaměstnanější ostrov Japonska. Nachází se na východě země a je tvořen pohořím, které se táhne z jihu na sever. Na jihu ostrova se nachází

mnoho velkých měst, jako jsou Tokio, Jokohama, Nagoja a Kjóto, které jsou důležitými centry ekonomiky, kultury a politiky Japonska (BlueJapan, 2023).

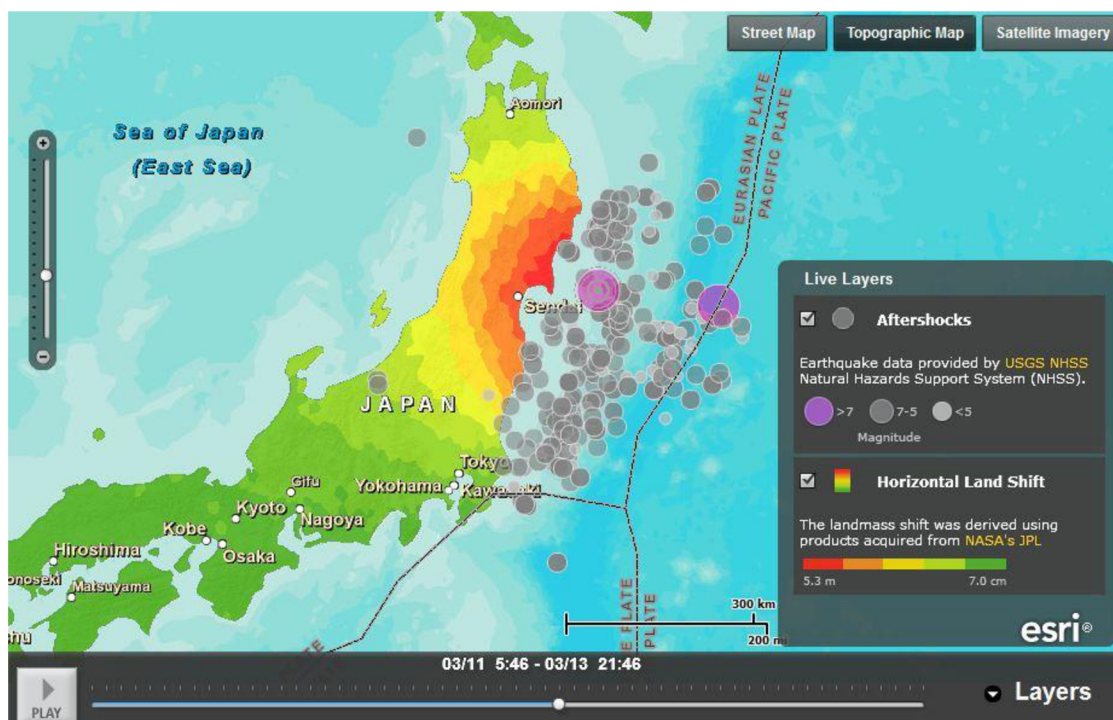
Je to důležité průmyslové centrum Japonska, s mnoha továrnami a výrobními závody, které vyrábějí různé produkty, včetně automobilů, elektroniky, oceli a textilu. Ostrov má také rozvinutou dopravní infrastrukturu, včetně sítě dálnic, železnic a letišť, které umožňují snadnou dopravu po celém Japonsku (Jensen et al., 2023).

Fukushima je prefektura nacházející se v severovýchodní části Japonska, na ostrově Honšú a pyšní se rozlohou 13 782 km². Poskytuje domov pro více než 1,8 milionů obyvatel z celkových 80 milionů, jež na ostrově žijí (japan.gov, 2021). Fukushima leží v oblasti Tohoku, která je známá svými krásnými horskými krajinami a bohatou kulturou (Jensen et al., 2023).

6. 1. Geologie

Fukushima se nachází v oblasti Tohoku, která je lokalizována na východním okraji eurasijské desky, kde dochází k aktivnímu subdukčnímu procesu. Pod tuto oblast se stéká Tichomořská deska, která se pod Eurasijskou deskou zanořuje. Toto

geologické uspořádání je příčinou silných zemětřesení a sopečné aktivity, které jsou v této části charakteristické.



Obrázek 1 - Sensinmické desky, zdroj: <https://gisportal.cz>

6. 2. Flóra

Fukushima má rozmanitou flóru, která je charakteristická pro oblast Tohoku. Prefektura se nachází v oblasti s mírným podnebím, kde jsou časté deště a teploty se zde mění v průběhu roku (Jensen et al., 2023).

Před havárií v jaderné elektrárně byla oblast známá svou rozmanitou zemědělskou produkcí, zejména rýží, ovoce a zeleniny. Tyto plodiny byly často pěstovány na malých polích (Onda, a další, 2020). V oblasti se také vyskytují některé chráněné druhy rostlin a zvířat, jako jsou například různé druhy ptáků, motýlů a mnoho druhů rostlin. Ochrana těchto druhů je stále důležitá a mnoho organizací pracuje na obnově a ochraně přírodních stanovišť v oblasti Fukushima.

Před rokem 2011 se v Prefektuře Fukushima nacházely různé druhy rostlin, včetně endemických druhů, které se vyskytovaly pouze v této oblasti. Bohužel po

havárii některé druhy zcela vymizely či ještě nebyly dostatečně zmapovány, a tudíž se o jejich stavu moc neví (Pape Møller et al., 2013)

6. 3. Fauna

Fukushima a její okolí jsou domovem mnoha druhů zvířat, včetně několika endemitů. Po havárii v roce 2011 byly některé populace zvířat v oblasti zasaženy radioaktivní kontaminací a jejich populace se tak může stále zotavovat (Wada et al., 2023).

Ovšem je důležité poznamenat, že po havárii se četnost některých druhů v oblasti Fukushima zlepšila, a dokonce se zotavila v důsledku uhynutí některých invazivních druhů. Vědci pokračují ve sledování populace zvířat v kontaminované oblasti a zkoumají i potravu, kterou tvorové pozřou. U divokých prasat se prokázalo, že hladina radioaktivity v jejich svalech byla už tak vysoká a zkonsumovaná potrava neměla na hladinu vliv (Nemoto et al., 2020). Tento poznatek svědčí o tom, že některé druhy jsou schopny se na radioaktivitu adaptovat.

V posledních letech se vědci rozhodli využít moderní techniky a izolované oblasti, kterou lidé opustili. Pro zjištění radiační hladiny byla na divoká prasata umístěny GPS trasovače, které zaznamenají hladinu, jakmile se prase pohne. Několik dozimetrů bylo umístěno na hady ve snaze změřit absorbovanou dávku ionizačního záření (Morales, 2021).

7. METODIKA

7. 1. Zájmové území

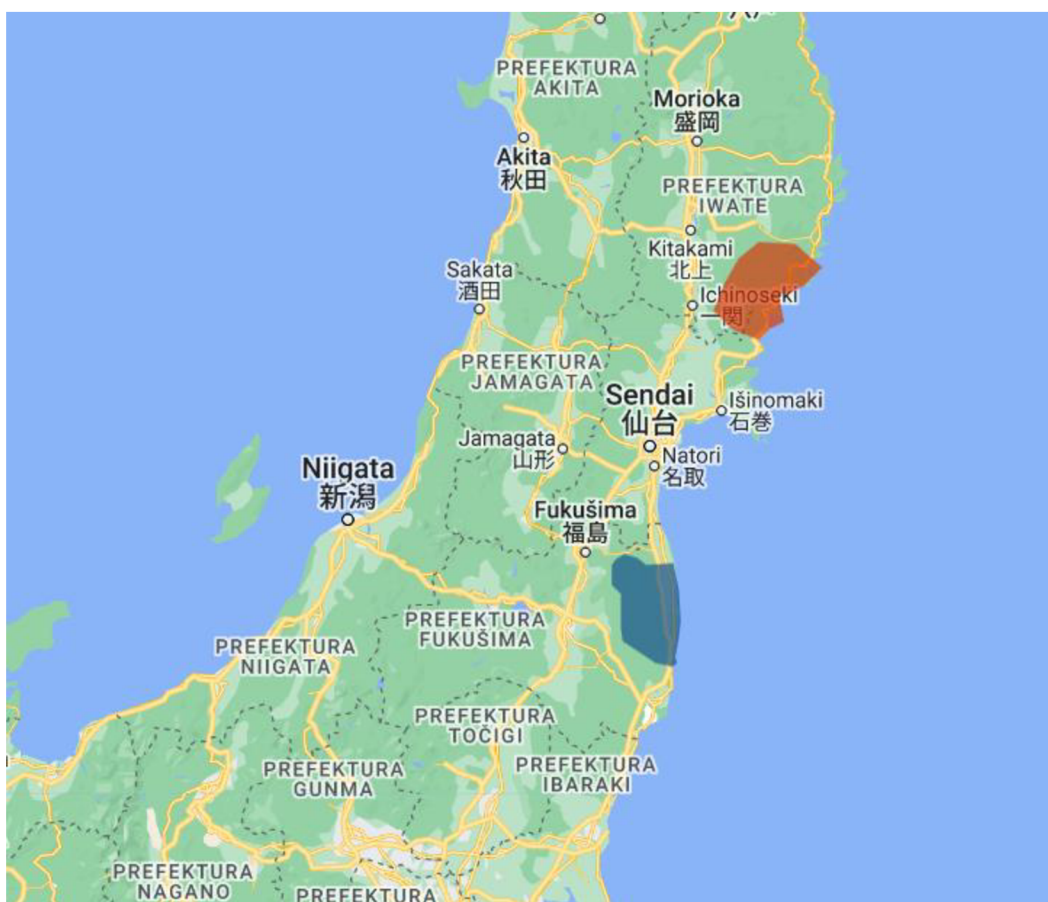
V rámci porovnání množství radioaktivity byly vyselektovány 2 oblasti. Kontaminovaná radiací (oblast A) byla vybrána podle studie, která zmiňuje souřadnice míst, kde byly vzorky odebrány. (Taniguchi et al., 2020). Jedná se o nejvíce kontaminované místo v okolí Fukushima po výbuchu. Výše kontaminace se zjistila analýzou vzorku půdy. Tyto vzorky byly zpravidla odebrány z různých míst v zasažených oblastech a jsou pak analyzovány v laboratoři (Taniguchi et al., 2020). Analýzy se obvykle zaměřují na určité radioaktivní izotopy, jako jsou jód¹³¹, cesium¹³⁴ a cesium¹³⁷, které byly hlavními zdroji radioaktivní kontaminace v oblasti po havárii (Onda et al., 2020). Vzorky kontaminované půdy z oblasti Fukushima jsou skladovány na několika různých místech v Japonsku. V rámci uchování vzorků byly vybudovány speciální skladovací haly pro uskladnění kontaminované půdy a dalšího radioaktivního materiálu (Taniguchi et al., 2020).

Oblast A byla po výbuchu uzavřena pro veřejnost. Lidská bytost zde měla zákaz vstupu v důsledku obav o zdraví.

Nezasažená oblast (oblast B) se nachází přibližně 100 km severně od Fukushima. Pro potřeby výzkumu bylo toto místo vybráno z důvodu velmi nízké změřené radiace, stejného podnebí a podobného zemského povrchu. Bezpečná hranice změřené radioaktivity je 2 mR/h a v oblasti B se naměřila radiace nižší než 1 mR/h (milliRoentgen per hour). Mnou vytvořený polygon oblasti B je úměrná velikosti oblasti A. Je důležité vybrat správné místo, které má stejné složení jako oblast okolo elektrárny – pláže, roviny i kopce. Místo, kde se nachází větší město, by mohlo svou urbanizací zkreslit výsledky.



Obrázek 2: Sběr kontaminované půdy, zdroj: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106373>



Obrázek 3 Oblast A (modrá) a Oblast B (červená), zdroj: <https://code.earthengine.google.com> upraveno vlastním zpracováním

7. 2. Data

Pro účely práce jsou zvolena data za období od roku 2000 do roku 2022. Pro potřeby práce byly staženy z Google Earth engine (Gorelick a kol. 2017) datové produkty MODIS (Moderate Resoluting Imaging Spectroradiometer) speciálně – MODIS/061/MOD13Q1. Tento produkt poskytuje družice Terra a Aqua se středním rozlišením. Jakmile je potřeba zpracovat data v rámci vegetace, je hodně využíván. Konkrétně poskytuje informace o množství chlorofylu v rostlinách a o produkci primární produkce vegetace. Tyto informace jsou získávány pomocí algoritmů zpracování dat, které analyzují odraz světla od povrchu Země. Data se používají v mnoha oblastech, jako je např.: monitoring vegetačního pokryvu, sledování změn krajiny nebo analýza dopadů změn klimatu na rostlinný růst (Gorelick a kol. 2017).

7. 3. Zpracování dat

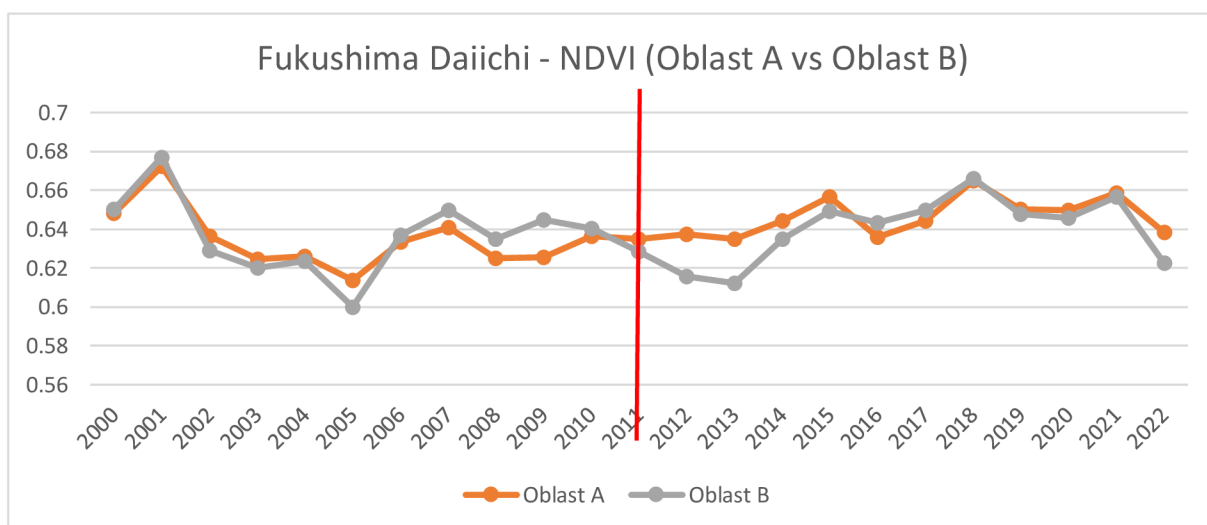
Podle vědeckého článku Taniguchi et al. (2020) zaměřeného na radioaktivní Cesium a jeho uchování v půdě, a jak se následná kontaminace dostala do řek a moří (Taniguchi et al., 2020), jsem si stáhla souřadnice 19 míst (Příloha 2), kde byla prokázána vysoká radioaktivita při sběru vzorků půdy. Z těchto 19 bodů se na mapě v Google Earth Engine vytvořil polygon (oblast A). Poté pomocí skriptu (Příloha 1), který byl zaměřen na oblast A jsem vygenerovala 22ročních průměrných hodnot pro NDVI a vyexportovala je do csv dokumentu. Prvních 11 hodnot představuje roční průměr NDVI od roku 2000 do roku 2011, kdy byla proběhla již zmíněná nehoda. Zbýlých 11 hodnot bylo vygenerováno stejným způsobem, jen reprezentují průměrné roční hodnoty 11 let po nehodě.

Rok	Oblast A - průměr	Oblast B - průměr
2000	0,648242562	0,650058802
2001	0,672252627	0,677126129
2002	0,636306342	0,629149945
2003	0,624762493	0,620368668
2004	0,626146569	0,6235468
2005	0,613737959	0,600034523
2006	0,633709867	0,636762341
2007	0,64080702	0,649613225
2008	0,624997732	0,63494817
2009	0,625449037	0,644712134
2010	0,6366674	0,640306476
2011	0,634730526	0,628471114
2012	0,637285513	0,615564914
2013	0,634880303	0,612030664
2014	0,644135871	0,635172816
2015	0,656614532	0,649235888
2016	0,636172772	0,643234037
2017	0,644433624	0,649561803
2018	0,664877509	0,665939682
2019	0,650379443	0,647727751
2020	0,649683239	0,645725341
2021	0,658733905	0,656548731
2022	0,638261917	0,62240128

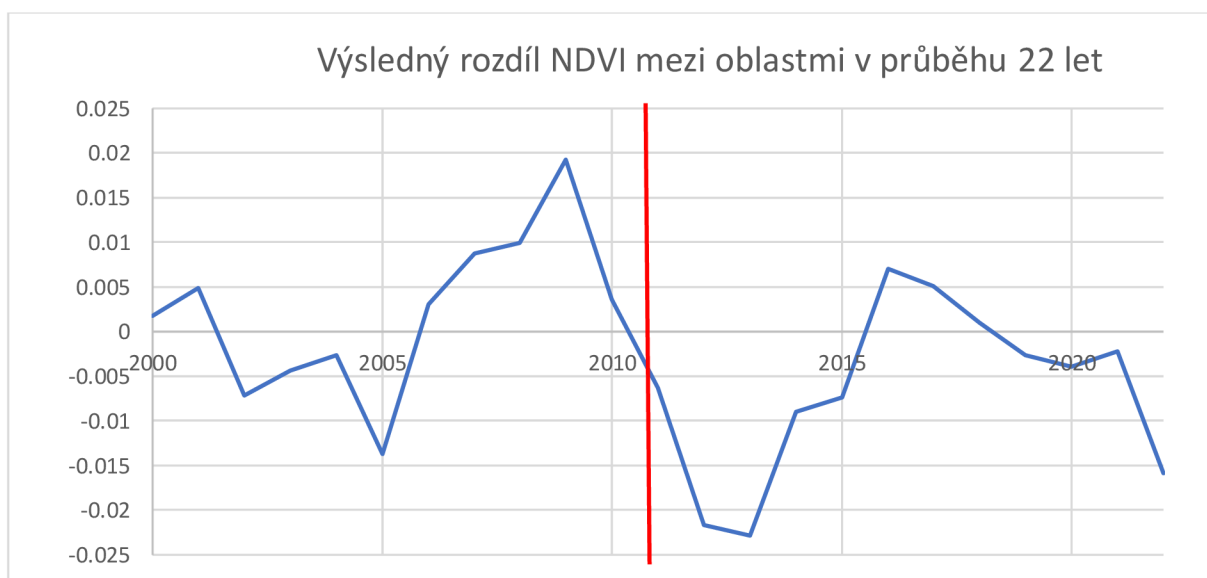
Tabulka 1: Průměrné roční NDVI pro Oblast A a Oblast B, zdroj: vlastní zpracování

Díky průměrným hodnotám za 22 let jsem v excelu vypočítala korelační index.

8. Výsledky



Obrázek 4: Graf ukazující změny NDVI v průběhu roku. Červená čára znázorňuje moment havárie, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 5 Graf ukazující rozdíl mezi oblastí A a oblastí B. Červená čára znázorňuje moment havárie, zdroj: vlastní zpracování

Na začátku práce jsme si stanovili cíl. Díky sběru a zpracování dat jsem byla schopna vypočítat vegetační index zájmových oblastí a na základě hodnot v indexu vytvořit graf meziročních změn. Na grafu (Obrázek 4) je vidět, že v roce 2011, kdy

ostrov postihlo zemětřesení, tsunami a výbuch jaderné elektrárny, NDVI pokleslo a trvalo zhruba 2 roky, než se zase začala vegetace obnovovat.

Výsledky měření v porovnané kontaminované oblasti (oblast A) a oblasti nacházející se 100 km dál bez radiace s podobným reliéfem (oblast B) nám ukázaly zásadní změny vegetačního indexu po nehodě. Před nehodou je vidět, že NDVI obou oblastí se relativně kopírují, zatímco po nehodě se NDVI kontaminované oblasti (oblast A) skoro nemění oproti oblasti B. V roce 2015 je index stejně vysoký jako index druhé oblasti a od té doby se zase kopírují. Na grafu je vidět, že tu byly drobnější poklesy i v letech 2005 a 2007. Ty jsou zřejmě způsobeny zemětřesením a následnou vlnou tsunami, podobné scénáře jsou pro tuto oblast časté.

Korelační koeficient

	Oblast C
před	0,888992191
po	0,85186934

Tabulka 2: Vypočítaný korelační koeficient, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 2 zabývající se korelačním koeficientem ověřila, že vývoj obou oblastí před rokem 2011 probíhal stejně. Po nehodě je číslo menší. Podobnost mezi oblastmi klesla a každá se vyvíjela trochu jinak.

9. Diskuse

Z výsledků se zdá být patrné, že radiace měla vliv na své okolí. Pravdou je, že pro jednotlivé živočišné i rostlinné druhy to nebyla jediná stěžejní situace, které mohla místní faunu a flóru ovlivnit. Ostrov Honšú je místem, které pravidelně postihují silné deště až monzuny, střídají se tu s obdobím sucha, se silnými větry či tajfuny (Edgington et al., 2021). Tyto netypické podmínky nejsou jednoduché pro udržení stejného počtu populace. Kontaminace radiací v kombinaci s přírodními podmínkami měla na spoustu druhů smrtící efekt. Některé druhy přežili, ale jejich budoucnost je

natolik ohrožena, že jejich stav je nadále sledován vědci a jsou vytvořena chráněná území. Některé druhy zase byly schopné se adaptovat, přizpůsobit se radioaktivnímu okolí a pomalým způsobem se jeho populace obnovuje (Cooke et al., 2022). Revitalizaci pomohlo také uzavření oblasti, kam po dobu několik let nemohla vstoupit lidská bytost. Lidé se začali pomalu vracet během roku 2019 (McCurry, 2019). Určité druhy si vypěstovaly dokonce větší odolnost na prostředí s vysokým obsahem radioaktivních izotopů. Sami vědci ale přiznávají, že toto téma není dostatečně prozkoumané a u spoustu druhů (ať rostlinných či živočišných) se dodnes neví, jaký je jejich současný stav (Gerke et al., 2020).

Ještě větší problém je ale s radioaktivní vodou. Jak bylo výše zmíněno, po nehodě se odebíraly vzorky nejenom půdy ale i vody z řek (McCurry, 2019). Tato voda je skladována v nádržích v areálu elektrárny spolu s vodou, která byla používána k ochlazení reaktorů, tudíž byla také kontaminována radioaktivními izotopy (Koo et al., 2014). Nádrže se nacházejí v areálu elektrárny, ovšem začíná být problém s jejich skladováním, protože počet nádrží v průběhu let neustále stoupá (Taniguchi et al., 2020). Přestože se vláda rozhodla vodu v nádržích vyčistit, veřejnost pobouřila zpráva o vypuštění této kontaminované vody zpět do moře.

Vláda a někteří zastánci tvrdí, že byly provedeny řádné testy a opatření a kontaminovaná voda se dostatečně zředí v oceánu a nebude nebezpečná pro mořský život a lidi. Ovšem nikdo ve skutečnosti neví, jaký dopad to doopravdy na životní prostředí bude mít. Pokud se tak doopravdy stane a kontaminovaná voda bude vypuštěna, bude to představovat problém i pro místní rybáře. Dnes jsou v některých oblastech elektrárny stále restriktce, kde je zakázáno rybařit z důvodu vysokého limitu pro obsah radioaktivních látek v mořských plodech. Tato situace se od roku 2011 zlepšovala a zlepšovala (Wada et al., 2023). Otázkou je, zda by vypuštění kontaminované vody tato zlepšení v průběhu let nezpomalilo či úplně nezvrátilo. Vypuštění kontaminované vody je naplánováno na konec tohoto roku, tak se jistě výsledek brzy dozvíme.

10. Závěr

Výsledky práce nám ukázaly, že zemětřesení, tsunami a výbuch elektrárny na výsledné NDVI vliv měly. Když porovnáme zónu, která se nachází přímo uprostřed kontaminovaného centra s oblastí, která primárně zasažena nebyla, můžeme si všimnout, že Oblasti B hodnota indexu klesla a trvalo 2 roky, než zase začala růst.

Tato situace nám ukazuje, že skript (Příloha 1) byl správně napsaný a oblast (oblast B) dobře zvolená. Je překvapivé, že se vegetace vzpamatovala tak brzy, ale to jen dokazuje, jak odliv lidí pomohl a zároveň nás to vede k otázce, jak by se některá místa zalesnila, pokud by odtamtud lidé odešli.

Je důležité, aby výzkumy pokračovaly dál. Z grafu (Obrázek 4) je patrné, že Oblast B má ve většině případů rostoucí efekt a pokud se v této oblasti nestane další nehoda, ať už přírodní nebo vinnou lidské ruky, mohlo by na tom časem okolí být jen lépe.



Obrázek 6: Skladování kontaminované vody, kterou chce vláda vypustit do oceánu, zdroj: www.science.org

11. Seznam použité literatury

Amiri, Mahdis, and Saskia Keesstra., Mapping the NDVI and Monitoring of Its Changes Using Google Earth Engine and Sentinel-2 Images., *Elsevier eBooks*, Elsevier BV, Jan. 2022, pp. 127–36. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-89861-4.00044-0>.

Asahara, Takashi, et al., A Wearable Active-type X-ray Dosimeter Having Novel Functions to Derive Both Incident Direction and Absolute Exposure Dose., *Radiation Physics and Chemistry*, Elsevier BV, 1 Mar. 2023, p. 110932. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.110932>.

Beneš, Jaroslav. *Radioaktivní Zamoření Biosféry*. 1974.

Brook, Barry W., and Corey J. A. Bradshaw., Key Role for Nuclear Energy in Global Biodiversity Conservation., *Conservation Biology*, vol. 29, no. 3, Wiley-Blackwell, June 2015, pp. 702–12. <https://doi.org/10.1111/cobi.12433>.

Cooke, M., et al., Radioactivity Concentration Measurements in Fish and Shellfish Samples From the West Coast of Canada After the Fukushima Nuclear Accident (2011–2018)., *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 251–252, Elsevier BV, 11 June 2022, p. 106934. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106934>.

Edgington, David W., Planning for Earthquakes and Tsunamis: Lessons From Japan for British Columbia, Canada., *Progress in Planning*, vol. 163, Elsevier BV, 25 Nov. 2021, p. 100626. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2021.100626>.

FPS538/FP538: Scaevola Frutescens Scaevola, Beach Naupaka., <https://edis.ifas.ufl.edu/edis.ifas.ufl.edu/pdf/FP/FP53800.pdf>.

Geras'kin, Stanislav A., Ecological Effects of Exposure to Enhanced Levels of Ionizing Radiation., *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 162–163, Elsevier BV, Oct. 2016, pp. 347–57. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.06.012>.

Gerke, Hannah C., et al., Radiocesium Concentrations and GPS-coupled Dosimetry in Fukushima Snakes., *Science of the Total Environment*, vol. 734, Elsevier BV, 10 Sept. 2020, p. 139389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139389>.

Ginjaume, Mercè, et al., Overview of Active Personal Dosimeters for Individual Monitoring in the European Union., *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 125, no. 1–4, Oxford UP, 15 Sept. 2006, pp. 261–66. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncl136>.

Gorelick, Noel, et al., Google Earth Engine: Planetary-scale Geospatial Analysis for Everyone., *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, Elsevier BV, 6 July 2017, pp. 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.

Gupta. Dharmendra K., and Clemens Walther., Impact of Cesium on Plants and the Environment., *Springer eBooks*, Springer Nature, Jan. 2017, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41525-3>.

Hála, Jiří. *Radioaktivita, Ionizující Zářeni, Jaderná Energie*. 1998.

Halounová, Lena. *Remote Sensing and GIS for Change Detection on the Earth*. České vysoké učení technické v Praze, 2018.

Helebrant, Jan., Centrum Pro Podporu Obyvatelstva Pro Případ Skutečného Nebo Domnělého Vzniku Mimořádných Jaderných a Radiačních Událostí., <https://www.suro.cz>, 2021, www.suro.cz/system/files/2022-01/IMPAKT_Souhrna_zprava_obcanska_mereni.pdf.

Hirose, Katsumi, and Pavel P. Povinec., Ten Years of Investigations of Fukushima Radionuclides in the Environment: A Review on Process Studies in Environmental Compartments., *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 251–252, Elsevier BV, Oct. 2022, p. 106929. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106929>.

Hrazdira, Ivo, and Vojtěch Momstein., Lékařská Biofyzika a Přístrojová Technika., *Neptun*, Jan. 2001.

Imanaka, Tetsuji, et al., Early Radiation Survey of Iitate Village, Which Was Heavily Contaminated by the Fukushima Daiichi Accident, Conducted on 28 and 29 March 2011.” *Health Physics*, vol. 102, no. 6, Lippincott Williams and Wilkins, June 2012, pp. 680–86. <https://doi.org/10.1097/hp.0b013e31824cfe18>.

“Japan.” *Encyclopedia Britannica*, www.britannica.com/place/Japan/additional-info.

Japan Plans to Release Fukushima’s Wastewater Into the Ocean., *Science | AAAS*, 29 Mar. 2023, www.science.org/content/article/japan-plans-release-fukushima-s-contaminated-water-ocean.

Koo, Yang-Hyun, et al., Radioactivity Release From the Fukushima Accident and Its Consequences: A Review., *Progress in Nuclear Energy*, vol. 74, Elsevier BV, 1 July 2014, pp. 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.02.013>.

Kržanović, Nikola, et al., Development and Testing of a Low Cost Radiation Protection Instrument Based on an Energy Compensated Geiger-Müller Tube., *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 164, Elsevier BV, 1 Nov. 2019, p. 108358. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108358>.

Lin, W. T., et al., Radioactivity Impacts of the Fukushima Nuclear Accident on the Atmosphere., *Atmospheric Environment*, vol. 102, Elsevier BV, Feb. 2015, pp. 311–22. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.047>.

Löfgren, Oskar, et al., Landscape History Confounds the Ability of the NDVI to Detect Fine-scale Variation in Grassland Communities., *Methods in Ecology and Evolution*, Wiley-Blackwell, 1 Sept. 2018, <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13036>.

McCurry, Justin., Fukushima Disaster: First Residents Return to Town Next to Nuclear Plant., *The Guardian*, 10 Apr. 2019, www.theguardian.com/world/2019/apr/10/fukushima-disaster-first-residents-return-to-town-next-to-nuclear-plant.

Møller, Anders Pape, et al., Differences in Effects of Radiation on Abundance of Animals in Fukushima and Chernobyl., *Ecological Indicators*, vol. 24, Elsevier BV, 1 Jan. 2013, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.06.001>.

Navrátil, Vratislav., RADON, JEHO PRODUKTY ROZPADU a LIDSKÉ ZDRAVÍ., <https://www.ped.muni.cz/>, 2011, www.ped.muni.cz/z21/knihy/2011/40/texty/cze/25_navratil_cze.pdf.

Nemoto, Yui, et al., Effects of ¹³⁷Cs Contamination After the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station Accident on Food and Habitat of Wild Boar in Fukushima Prefecture.,

Journal of Environmental Radioactivity, vol. 225, Elsevier BV, 16 Sept. 2020, p. 106342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106342>.

Onda, Yuichi, et al., Soil and Vegetation Sampling During the Early Stage of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and the Implication for the Emergency Preparedness for Agricultural Systems., *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 223–224, Elsevier BV, 1 Nov. 2020, p. 106373. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106373>.

Palmer, Stephanie E., et al., Remote Sensing of Inland Waters: Challenges, Progress and Future Directions., *Remote Sensing of Environment*, vol. 157, Elsevier BV, 1 Feb. 2015, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.021>.

Průšová, H., et al., Dose-response Dependencies of Turnbull Blue, Modified Fricke, VIPET, and Presage® Gel Dosimeters in High-dose-rate Radiation Fields., *Radiation Measurements*, vol. 161, Elsevier BV, 1 Feb. 2023, p. 106910. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2023.106910>.

Pyroklastické Horniny - Geologická Encyklopedie.” Jan Petránek 1993; *Česká Geologická Služba 2006*, www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?pyroklasticke_hominy.

Richardson, Arthur J., and James H. Everitt., Using Spectral Vegetation Indices to Estimate Rangeland Productivity., *Geocarto International*, vol. 7, no. 1, Taylor and Francis, 1 Mar. 1992, pp. 63–69. <https://doi.org/10.1080/10106049209354353>.

Šilar, Josef. *Scintilační Detektory*. dml.cz/dmlcz/137066.

Surový, Peter. *Aplikace Dálkového Průzkumu Země V Lesnictví*. 2019.

Švec, Jiří. *Radioaktivita a Ionizující Zářeni*. 1. vydání, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2005.

Taniguchi, Keisuke, et al., Dataset on the 6-year Radiocesium Transport in Rivers Near Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant., *Scientific Data*, vol. 7, no. 1, Macmillan Publishers, 15 Dec. 2020, <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00774-x>.

TEPCO Starts Work on Facilities to Release Treated Water Into Ocean | the Asahi Shimbun Asia and Japan Watch., *The Asahi Shimbun*, www.asahi.com/ajw/articles/14687301.

The Government of Japan., The Government of Japan - JapanGov., *JapanGov - the Government of Japan*, www.japan.go.jp.

Tucker, Compton J., Red And Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation., *Remote Sensing of Environment*, vol. 8, no. 2, Elsevier BV, May 1979, pp. 127–50. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).

Verhoeven, Vincent, and Irene C. Dedoussi., Annual Satellite-based NDVI-derived Land Cover of Europe for 2001–2019., *Journal of Environmental Management*, vol. 302, Elsevier BV, Jan. 2022, p. 113917. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113917>.

Wada, Toshihiro, et al., Factors Affecting ¹³⁷Cs Radioactivity and Water-to-body Concentration Ratios of Fish in River and Pond Environments Near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant., *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 258, Elsevier BV, 1 Mar. 2023, p. 107103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107103>.

11. 1. Seznam obrázků

Obr. 1: Sensimické desky (Lukáš, M.: Japonské zemětřesení a GIS (online)), dostupné z <<https://gisportal.cz/japonske-zemetreseni-gis/>>

Obr. 2: Soil and vegetation sampling during the early stage of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident and the implication for the emergency preparedness for agricultural systems (Onda et al., 2020).

Obr. 3: Oblast A (modrá) a Oblast B (červená), <https://code.earthengine.google.com> upraveno vlastním zpracování

Obr. 4: Graf ukazující změny NDVI v průběhu roku, vlastní zpracování

Obr. 5: Graf ukazující rozdíl mezi oblastí A a oblastí B, vlastní zpracování

Obr. 6: Skladování kontaminované vody (AP Images: Japan Japan plans to release Fukushima's wastewater into the ocean), dostupné z

<<https://www.science.org/content/article/japan-plans-release-fukushima-s-contaminated-water-ocean>>

11. 2. Seznam příloh

Příloha 1: Skript upraven pro získání ročního NDVI , vlastní zpracování

Příloha 2: ., Dataset on the 6-year Radiocesium Transport in Rivers Near Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (Taniguchi et al., 2020).

11. 3. Seznam tabulek

Tabulka 1: : Průměrné roční NDVI pro Oblast A a Oblast B, zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 2: Vypočítaný korelační koeficient, zdroj: vlastní zpracování