

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Termální dálkový průzkum Země - analýza krajinné změny s možným dopadem na teplotní poměry

Bakalářská práce

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

Bakalant: Dominik Pasler

2022



Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Dominik Pasler
Studijní program:	Územní technická a správní služba v životním prostředí
Vedoucí práce:	Ing. David Moravec, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra prostorových věd
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Termální dálkový průzkum Země - analýza krajinné změny s možným dopadem na teplotní poměry
Název anglicky:	Thermal remote sensing - analysis of landscape changes with a possible impact on temperature conditions
Cíle práce:	Cílem bakalářské práce je pomocí dat dálkového průzkumu Země zmapovat disturbance lesních porostů a jejich dopady na teplotní poměry nastalé v zájmové lokalitě u Zruče nad Sázavou po orkánech Kyrill a Emma.
Metodika:	K dosažení cílu práce bude využito vhodných družicových snímků Landsat, které budou získány pomocí aplikace EarthExplorer. Na základě satelitních snímků bude stanovena hranice lesů před a po disturbance. Následně bude pomocí vhodného výpočtu získána teplota povrchu lesů a jejich okolí před a po působení orkánů Kyrill a Emma.
Doporučený rozsah práce:	30 stran
Klíčová slova:	DPZ, dálkový průzkum země, krajinná změna, termální dálkový průzkum země

Doporučené zdroje informací:

1. ADRIAN C. NEWTON, ROSS A. HILL, CRISTIAN ECHAVERRÍA, 2009. Remote sensing and the future of landscape ecology, 33 (4). 528-546 s.
2. FORMAN, R T T. -- GODRON, M. *Krajinná ekologie*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1993. ISBN 80-200-0464-5.
3. HALOUNOVÁ, L. -- PAVELKA, K. -- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Dálkový průzkum Země*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03124-1.

Předběžný termín 2021/22 LS - FZP
obhajoby:

Elektronicky schváleno: 22. 3.
2022
doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 23. 3.
2022
prof. RNDr. Vladimír Bejček,
CSc.
Děkan

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „Termální dálkový průzkum Země - analýza krajinné změny s možným dopadem na teplotní poměry“ 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 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 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

Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Davidu Moravcovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za cenné rady a trpělivost.

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje sledování krajinných změn. Tyto změny nastaly v krajině, ve které vichřice poškodily lesní plochy. Poškozené lesní plochy musely být následně pokáceny. Pomocí metod dálkového průzkumu Země bylo zkoumáno, zda poškození a následné vykácení lesů mělo vliv na povrchovou teplotu v místě narušených lesních ploch.

K vyřešení cíle a postupu byly využity družicové snímky Landsat 5. Družicové snímky byly staženy z Earth Explorer United States Geological Survey, kde je možné od roku 2008 volně stahovat dostupná data. Stažené družicové snímky byly zpracovávány v softwarech SNAP 8.0 a ArcGis Desktop 10.7.1. Nejprve byly v softwaru SNAP snímky oříznuty na zkoumanou oblast, následně byla pomocí spektrálního indexu NDVI odvozena emisivita. Dále byly provedeny atmosférické korekce a výpočet povrchové záře a povrchové teploty. V softwaru ArcGis Desktop, respektive aplikaci ArcMap 10.7.1 byly pak provedeny prostorové analýzy.

Zkoumaná oblast byla v okolí Zruče nad Sázavou, která se nachází ve Středočeském kraji. V roce 2008 došlo k poškození lesů vinou vichřic Kyrill a Emma. Zda došlo k teplotním změnám bylo zjišťováno z družicového snímku pořízeného v roce 2007, tedy asi rok před změnou, a z družicového snímku pořízeného v roce 2009, tedy asi rok po změně.

Po zpracování družicových snímků a vyhodnocení výsledků vyšlo najevo, že krajinné změny měly vliv na povrchovou teplotu na místě poškození. Povrchová teplota se zvýšila v průměru na všech sledovaných poškozených plochách asi o 3,5 °C. Zjednodušený model ukázal, že při malém úbytku lesní plochy (cca do 13 %) se povrchová teplota prakticky nemění. Od této hranice na každých dalších 10 % úbytku lesa vychází nárůst povrchové teploty asi o 1,4 °C.

Klíčová slova: DPZ, dálkový průzkum Země, krajinná změna, termální dálkový průzkum Země

Abstract

The bachelor thesis deals with the monitoring of landscape changes. These changes occurred in a landscape where storms damaged forest areas. These forest areas subsequently had to be felled. Using the Earth remote sensing method, it was determined whether the damage and deforestation had an effect on the surface temperature at the site of the forest defect.

Landsat 5 satellite images were used to address goals and progress. Satellite images were downloaded from the Earth Explorer United States Geological Survey, where available data can be freely downloaded since 2008. The downloaded satellite images were processed in SNAP 8.0 and ArcGis Desktop 10.7.1 software. First, the images were cropped to the examined area in the SNAP software, then the emissivity was derived using NDVI, then atmospheric corrections and the calculation of the surface radiance and surface temperature were performed. Spatial analyzes were then performed in ArcGis Desktop 10.7.1.

The researched area was in the vicinity of Zruč nad Sázavou, which is located in the Central Bohemian region. In 2008, the forests were damaged by Kyrill and Emma storms. Whether there were temperature changes was determined from a satellite image taken in 2007, about a year before the change, and from a satellite image taken in 2009, about a year after the change.

After processing the satellite images and evaluating the results, it turned out that the landscape changes had an effect on the surface temperature at the site of damage. The surface temperature increased on average on all areas about 3.5 ° C. At the same time, it turned out that with a small decrease in forest area (up to about 13 %), the surface temperature practically does not change. From this limit, for every 10 % of forest loss, the surface temperature increases by about 1.4 ° C.

Keywords: RS, remote sensing, landscape change, thermal remote sensing

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce	10
3	Literární rešerše	10
3.1	Definice dálkového průzkumu Země.....	10
3.2	Historie dálkového průzkumu Země.....	10
3.3	Elektromagnetické záření.....	11
3.4	Elektromagnetické spektrum.....	12
3.5	Spektrální index NDVI	13
3.6	Vliv atmosféry	13
3.7	Termální dálkový průzkum Země.....	14
3.8	Landsat.....	15
3.9	Geografické informační systémy	16
3.10	Krajinná ekologie a lesy jako významný faktor ovlivňující klima	16
4	Metodika	18
4.1	Zájmové území.....	18
4.2	Data.....	20
4.3	Stažení a oříznutí dat.....	20
4.4	Převod hodnot z DN na hodnoty odrazivosti	20
4.5	Odvození emisivity pomocí NDVI	21
4.6	Oprava snímku o vliv atmosféry a výpočet povrchové záře	22
4.7	Výpočet povrchové teploty	24
4.8	Zájmové území a vektorová vrstva lesů v ArcMap	24
4.9	Výpočet úbytku lesa a tvorba regresní křivky.....	25
4.10	Porovnání povrchových teplot v jednotlivých kategoriích zájmového území	25
4.11	Stažení dat z meteostanice Zruče nad Sázavou.....	26
5	Výsledky	26
5.1	Vizuální posouzení povrchových teplot v zájmovém území	26
5.2	Posouzení povrchových teplot jednotlivých ploch lesů v zájmovém území.....	28
5.3	Úbytek lesa v procentech na jednotlivých plochách a regresní křivka	29
5.4	Průměrné teploty jednotlivých částí zájmového území	30
5.5	Teploty vzduchu z meteostanice Zruče nad Sázavou	31
6	Diskuze	32
7	Závěr	34
8	Seznam použité literatury.....	35
9	Přílohy.....	40

1 Úvod

Lesy, jako nejrozšířenější vegetační zemský typ s největším využitím sluneční energie a koloběhem látek, jsou významným producentem kyslíku a důležitým faktorem týkajícím se regenerace klimatu (Vráblíková a kol. 2014).

Newton a Tejedor (2011) uvádějí, že rozsáhlá ztráta a degradace původních lesů je považována za významný environmentální problém. Upozorňují, že problém je natolik velký, že bývá označován jako „krize odlesňování“ a že v reakci na ztrátu a degradaci lesů je stále větší úsilí zaměřeno na ekologickou obnovu. Obnovu lesa vysvětlují jako proces napomáhání obnově ekosystému lesa, který byl degradován, poškozen nebo zničen. Obnova lesa může zahrnovat i znovuzavedení charakteristik lesního ekosystému, jako je složení, struktura a funkce, které převládaly před degradací.

Azevedo a Pinto (2014) publikují, že lesní krajinná ekologie zažila v 80. letech 20. století významný rozmach. Stala se dílčím oborem krajinné ekologie. Přibližují, že krajinná ekologie se zabývá procesy a změnami v krajině, tedy i v lesní krajině a jejich souvislostmi vzhledem ke krajinnému a lesnímu hospodaření. Význam lesní krajinné ekologie roste v návaznosti na poznávání problematiky degradace a zranitelnosti lesní krajiny. Píší, že je důležité využívat dostupné znalosti a poznatky lesní krajinné ekologie tak, aby byly efektivně využívány k lesnímu managementu. Upozorňují, že připravenost sektoru lesnictví na řešení změn je v současné době nedostatečná. Schopnost vypořádat se se změnami by měla být velmi důležitým prvkem v plánování lesního hospodářství.

Změny v lesních ekosystémech mají za následek různé reakce ekosystémů. Tyto reakce jsou ovlivněny mnoha faktory a mění se podle velikosti a povahy změny. Zaznamenávání a analyzování změn v průběhu času umožňuje porozumět těmto změnám a pochopit reakce ekosystému. Otevřený a volný přístup k archivu Landsatu v roce 2008 zásadně ovlivnil způsoby využívání dat monitoringu lesa. Volně dostupné družicové snímky umožňují sledování vývoje lesů a širší možnosti analýzy a zkoumání změn lesní vegetace před a po změně (Wulder a kol., 2019).

Dálkový průzkum Země je věda o získávání informací na dálku pomocí senzorů, které nejsou v přímém kontaktu s objektem, který je pozorován. Dálkový průzkum Země má velmi mnoho možností využití. Patří k nim shromažďování informací a vytváření map o přírodních jevech, předpovědi počasí a další (Randall, 2012).

Výše uvedení autoři upozorňují na význam lesů a negativní dopad na krajinu v případě jeho úbytku. Dále popisují možnosti, jak pomocí dálkového průzkumu Země monitorovat stav lesů a jejich možný vývoj a tím zabránit jejich degradaci a zlepšit lesní hospodářství. V návaznosti na to bylo v této bakalářské práci metodami dálkového průzkumu Země zjišťováno, zda po narušení lesní krajiny v roce 2008 došlo k nějakým změnám v teplotách povrchu dané oblasti. Poškození lesa bylo zapříčiněno vichřicemi. K analýzám byly využity družicové snímky Landsat 5, které byly staženy z Earth Explorer United States Geological Survey. Ke zpracování družicových snímků sloužil software SNAP a software ArcGis Desktop, respektive aplikace ArcMap.

Analyzované snímky byly z roku 2007 a z roku 2009. Šlo tedy o snímky pořízené rok před, a rok po narušení lesní krajiny.

2 Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je pomocí metod dálkového průzkumu Země analyzovat a zmapovat krajinné změny vybraného zájmového území a pokusit se zjistit, zda tyto změny měly dopad na teplotní poměry ve zkoumané oblasti. Krajinné změny byly zapříčiněny vichřicemi, které způsobily významný úbytek lesních porostů.

3 Literární rešerše

3.1 Definice dálkového průzkumu Země

Dálkovým průzkumem Země se rozumí zkoumání, měření a zobrazování objektů a jevů v krajinné sféře bez přímého fyzického kontaktu s nimi (Svatoňová, Lauermann, 2010).

Dálkový průzkum Země znamená způsob pozorování objektů na zemském povrchu z větších vzdáleností. Je využíván v mnoha odvětvích, jako je lesnictví, ochrana přírody, kartografie... Je praktikován pomocí senzoru, který sleduje a zaznamenává ve vybrané části elektromagnetického spektra. Senzor je přístroj, který pořizuje, detekuje a ukládá informace o pozorování. Senzor je umístěn na platformě, což je plošina neboli nosič snímače. Může to být například satelit nebo letadlo. Zaznamenaná data ze senzoru jsou následně analyzována. Výsledné analýzy představují informace, které se dají dále využívat a zpracovávat (Reese, Olsson, 2016)

Pasivní systém dálkového snímání zaznamenává energii přirozeně vyzařovanou nebo odraženou z daného objektu. Naopak aktivní systém dálkového průzkumu Země dodává svůj vlastní zdroj energie, který je namířen na objekt za účelem měření vrácené energie. Příkladem aktivní systému dálkového průzkumu Země je radar, který poskytuje vlastní zdroj elektromagnetické energie v mikrovlnné oblasti (Levin, 1999).

3.2 Historie dálkového průzkumu Země

Významné pokroky v rozvoji dálkového průzkumu Země přicházely v polovině 19. století s vynálezem fotografie. Během 19. století byly také učiněny objevy ohledně elektromagnetického záření mimo viditelné spektrum. Konkrétně infračervené záření od Herschela, ultrafialové záření od Rittera a rádiové vlny od Hertze. Následně pak teorii elektromagnetických vln rozvinul Maxwell (Rees, 2012).

První letecké fotografování Země následovalo prakticky ihned po objevu fotografie. První letecký snímek pravděpodobně pořídil v roce 1858 Gaspard-Felix Tournachon z balónu, a to z výšky asi 80 metrů. Dalším významným pokrokem v rozvoji dálkového průzkumu Země byl rozvoj letectví začátkem 20. století. Letecké fotografování bylo využíváno za 1. světové války za účelem průzkumů. V období po 1. světové válce bylo letecké mapování a fotografování země využíváno za účely kartografie, geologie, zemědělství, lesnictví. Během meziválečného období John Logie Baird, který vynalezl první televizor, provedl ranné práce na skenovacích systémech, které by byly schopné přenášet obraz na zem (Rees, 2012).

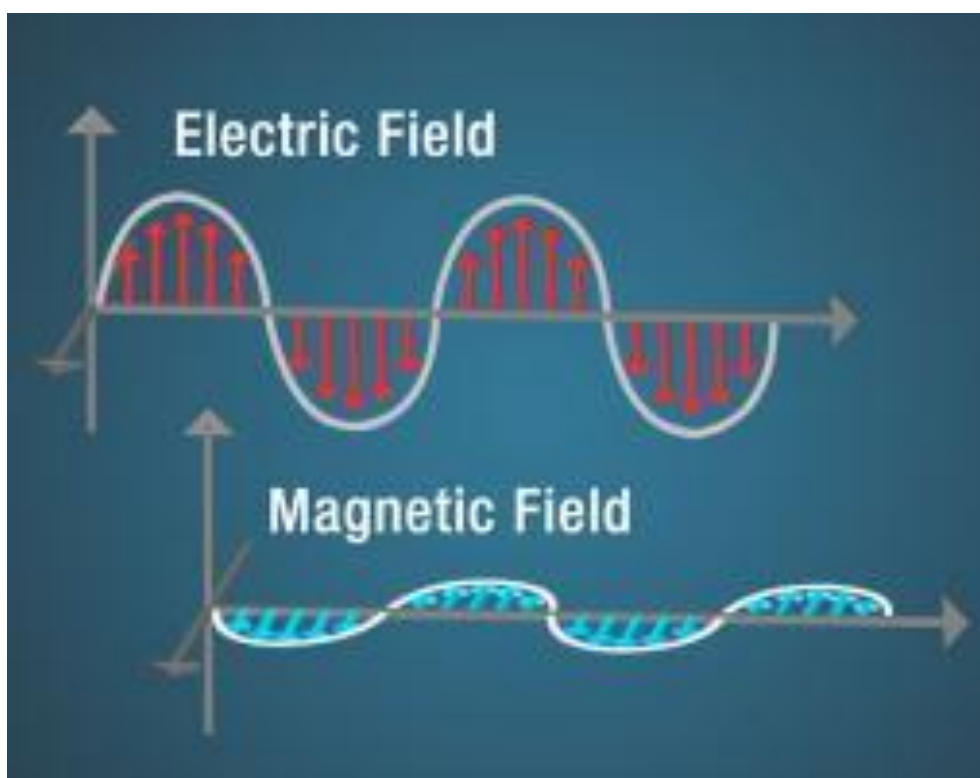
Zásadní rozvoj dálkového průzkumu Země přišel během 2. světové války. Letecké fotografické průzkumy dosáhly vysokého stupně rozvoje. V poválečné době byl pro mapování vegetace použit infračervený film, který byl původně vyvíjen pro vojenské použití. V 60. letech 20. století byly získány první multispektrální vesmírné snímky Země Apollem 6 (Rees, 2012).

Za zahájení moderního dálkového průzkumu Země by mohl být označen červenec 1972. Satelit amerického Národního úřadu pro letectví a vesmír (NASA) ERTS byl přejmenován na Landsat-1. Program Landsat pokračuje dodnes. Od vypuštění ERTS v roce 1972 se počet a rozmanitost vesmírných a vzdušných systémů dálkového průzkumu Země rychle rozrostl. Rychlý nárůst množství generovaných dat je doprovázen růstem dostupnosti výpočetních zdrojů a zařízení pro ukládání a přenos dat. Od roku 2005 je pak k dispozici program Google Earth. To výrazně zlepšilo dostupnost dat dálkového průzkumu Země pro veřejnost a možnost jejich využívání (Rees, 2012).

3.3 Elektromagnetické záření

Základní princip dálkového průzkumu Země je založen na faktu, že každý předmět, jehož teplota je vyšší, než absolutní nula vyzařuje elektromagnetické záření (Plánka, 2007).

Elektromagnetické záření se šíří prostorem ve formě elektromagnetické vlny a šíří se rychlostí světla. Elektromagnetické vlny se skládají ze dvou složek, a to z elektrické vlny a z magnetické vlny (obrázek 1). Tyto složky spolu svírají pravý úhel a jsou rovnoběžné ve směru šíření. Základními charakteristikami elektromagnetického záření je vlnová délka a frekvence (Dobrovolný, 1998).



Obrázek 1 – elektromagnetické vlnění (science.nasa.gov).

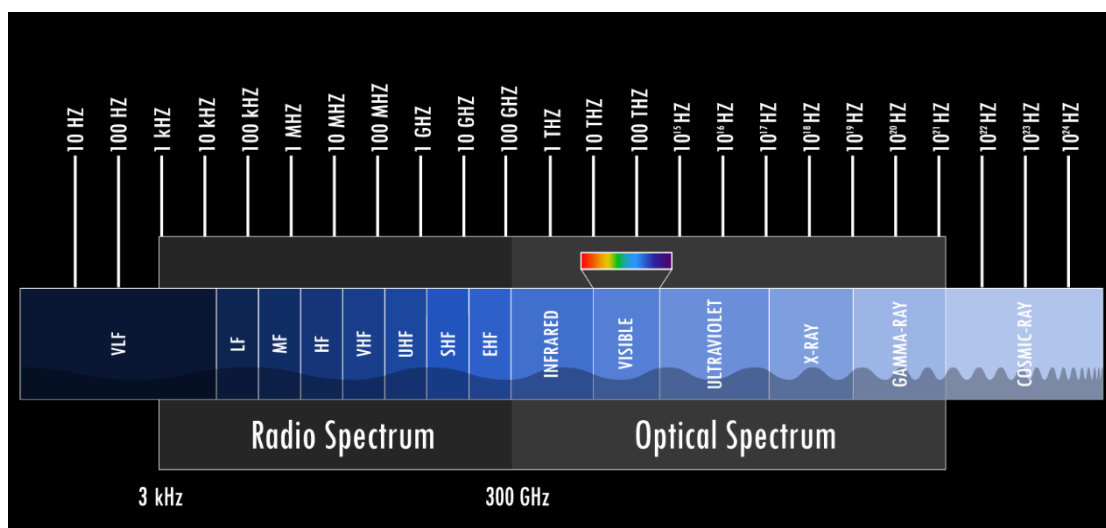
Elektromagnetické záření můžeme popisovat jak pomocí vln, tak pomocí částic. Maxwellova teorie elektromagnetických vln, zformulována kolem roku 1865, vysvětlovala elektrická a magnetická pole a jejich vztah k nábojům a proudu pomocí souboru parciálních diferenciálních rovnic. Maxwellovy rovnice vysvětlují velké množství jevů souvisejících s šířením, rozptylem, odrazem, lomem a interferencí elektromagnetických vln (Reddy, 2008).

Energie fotonu a energie elektromagnetického záření jsou závislé na vlnové délce, a čím je vlnová délka delší, tím jsou energie fotonu a energie elektromagnetického záření menší. Proto je nutné používat při práci s delšími vlnovými délkami citlivější aparatury, případně pak přijímat signál z velké plochy. Tyto aspekty mívají za následek horší rozlišení při práci s delšími vlnovými délkami (Horák, 2014).

Viditelné světlo je jednou z mnoha forem elektromagnetického záření. Rádiové vlny, ultrafialové paprsky, sálavé teplo a rentgenové záření jsou jeho další známé formy. Všechny tyto formy jsou ve své podstatě podobné a šíří se v souladu se základní vlnovou teorií (Lillesand a kol., 2015).

3.4 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum má velký rozsah. Je spojité (obrázek 2). V dálkovém průzkumu Země se pracuje nejvíce s pásmy viditelnými, infračervenými a mikrovlnnými částmi spektra (Horák, 2014).



Obrázek 2 – elektromagnetické spektrum (nasa.gov).

Lidské oko, protože je citlivé pouze na světlo, vnímá malé rozmezí vlnových délek. Znamená to, že vnímá pouze viditelnou část spektra. Ostatní vlnové délky lidské oko samo od sebe není schopno vidět. Vidění či vnímání ostatních vlnových délek je možno pouze se speciálními pomůckami (Svatoňová, Lauermann, 2010).

3.5 Spektrální index NDVI

Spektrální indexy umožňují matematické operace s několika pásmy najednou. To umožňuje zvýraznit vlastnosti nějakého konkrétního jevu, na základě znalosti spektrálního chování daného jevu. Spektrální index NDVI, který se využívá v této práci, vyjadřuje fotosyntetickou aktivitu vegetace. Souvisí s různými biofyzikálními parametry jako je množství biomasy, zdravotní stav vegetace, obsah chlorofylu. Spektrální index NDVI má teoretický rozsah hodnot -1, až 1, kdy 1 je hustá, zdravá vegetace (Komárek a kol., 2020).

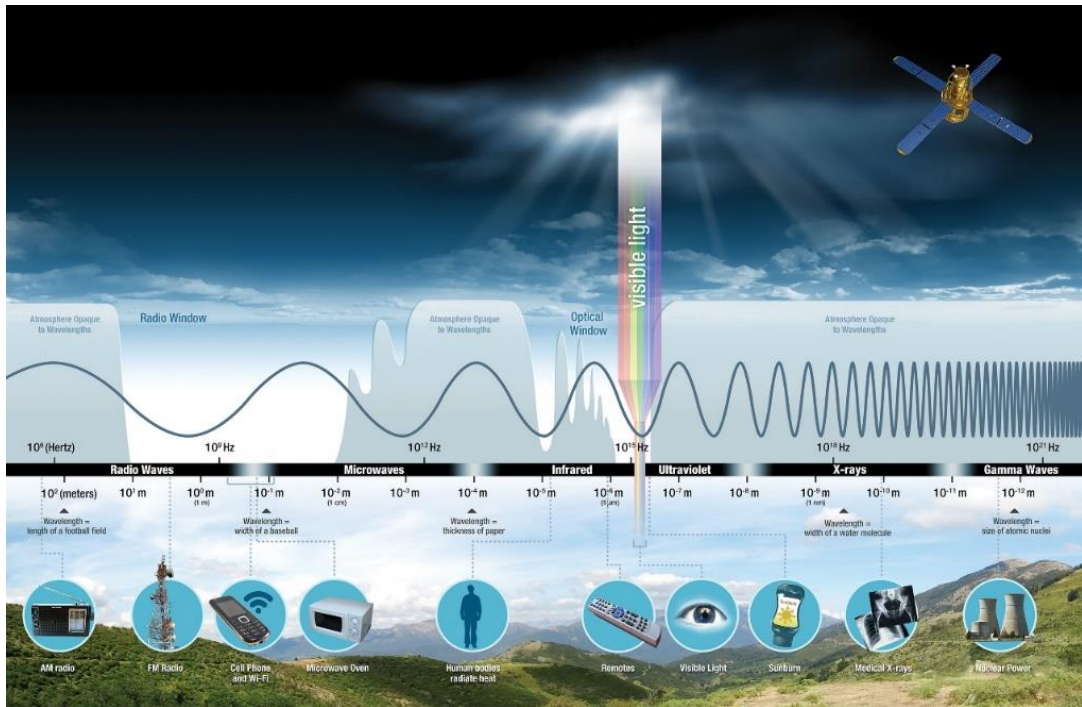
3.6 Vliv atmosféry

Atmosféra je složena z jednotlivých vrstev. První vrstvou je troposféra, která sahá do výšky asi 11 km. Zároveň obsahuje 75 % všeho vzduchu. V troposféře probíhají skoro všechny meteorologické jevy a procesy. V troposféře teplota klesá asi o 0,65 stupně Celsia na každých 100 metrů. Následuje stratosféra, která dosahuje do výšky 50-60 km, a teplota v ní se pohybuje mezi -45 až -75 stupni Celsia. Další vrstvou je mezosféra, která sahá do výšky cca 80 km. Poté následuje termosféra, která dosahuje do výšky přibližně 500 km. Následuje exosféra sahající do výšky 20000 až 70000 km. V této výšce už je atmosféra složena pouze z nejjednodušších plynů (Horák, 2014).

Z pohledu člověka se zdá, že atmosféra je v podstatě průhledná. Je tendence předpokládat, že průhledná je i pro elektromagnetické záření. Ve skutečnosti však atmosférické plyny rozptylují světlo různých vlnových délek. Plyny také absorbují elektromagnetické záření v určitých vlnových délkách. Oblasti s vysokou propustností záření se nazývají atmosférická přenosová pásma nebo okna. Částice a plyny v atmosféře mohou ovlivnit přicházející světlo a záření. Tyto účinky jsou způsobeny mechanismy rozptylu a absorpce.

V dálkovém průzkumu Země existuje více teorií rozptylu. Například Rayleighova teorie popisuje rozptyl v momentě, kdy dojde ke kontaktu elektromagnetického záření s tak malými molekulami plynů nebo velmi malými částicemi, které jsou výrazně menší než vlnová délka elektromagnetického záření. Z toho vyplývá, že elektromagnetické záření, jehož vlny jsou krátké, je rozptylováno více než elektromagnetické záření, jehož vlny jsou dlouhé. Proto se obloha lidskému oku jeví ve dne modrou barvou, protože modré světlo se rozptyluje až čtyřikrát silněji proti světlu červenému (Zemek a kol., 2014).

Moment, kdy je dopadající elektromagnetické záření zadrženo částicemi v atmosféře, je nazýván jako absorpce, tedy pohlcování záření. Toto pohlcování způsobují zejména plyny v atmosféře. Na rozdíl od rozptylu tedy absorpce způsobuje, že částice v atmosféře pohltí energii záření o různých vlnových délkách. Hlavními třemi složkami v atmosféře, které pohlcují elektromagnetické záření jsou ozón, oxid uhličitý a vodní pára. Oblasti elektromagnetického spektra, které nejsou příliš ovlivněny atmosférickým pohlcováním se nazývají atmosférická okna (Levin, 1999) obrázek 3.



Obrázek 3 – atmosférická okna a elektromagnetické spektrum (science.nasa.gov).

3.7 Termální dálkový průzkum Země

Značná část pásem a tím i výsledných družicových snímků je závislých na odráženém slunečním záření. V případě termálního snímání to tak ale není, a tak je možné snímat za účelem získání termálních dat v jakoukoli dobu, ať už ve dne nebo v noci. Z důvodu atmosférických vlivů jsou systémy na termální snímání provozovány v rozsahu vlnových délek 3 až 5 mm nebo 8 až 14 mm. Objekt má svou kinetickou teplotu, což je velmi zjednodušeně „vnitřní“ teplota daného objektu. „Vnější“ teplota je potom vyzařována, což udává energetický stav objektu. Tento energetický stav je potom snímán metodami termálního dálkového průzkumu. Podle vyzařované neboli emitované energie se dále odvozuje zemská povrchová teplota (Lillesand a kol., 2015).

Každý objekt, jehož teplota je vyšší než absolutní nula ($-273,15$ stupně Celsia) vyzařuje elektromagnetické záření. Síla vyzařované energie je závislá na teplotě objektu a na jeho emisivitě. Emisivita (koeficient vyzařování) je schopnost vyzařování tepelného záření daného objektu v porovnání s vyzařováním tepelného záření absolutně černým tělesem při stejné teplotě. Absolutně černé těleso je takové těleso, které pohltí veškeré záření na něj dopadající (Zemek a kol., 2014).

Objekty v reálném světě se nechovají jako absolutně černé těleso, tedy nepohlcují veškeré záření, které na ně dopadá. Každý reálný objekt vyzařuje jen určité množství na něj dopadající záření, které by vyzařovalo absolutně černé těleso za předpokladu stejné. Hodnoty emisivity se pohybují od 0 do 1 a mění se s vlnovou délkou. (Dobrovolný, 1998).

Stejně jako u dalších pasivních systémů dálkového průzkumu Země, má svůj vliv atmosféra i v termálním dálkovém průzkumu. Plyny a částice mohou absorbovat

nebo rozptylovat emitované záření měřených objektů na Zemi, což vede ke snížení zaznamenané energie měřicím zařízením. Funguje i opačný problém, kdy naopak plyny a částice v atmosféře samy emitují energii, které je pak také zaznamenáno měřicím zařízením a tím je měření samotných objektů opět zkresleno. Na výsledné hodnoty termálního měření objektů mají velký vliv také meteorologické podmínky. Například mlha nebo mraky prakticky znemožňují jakékoli termální snímání (Lillesand a kol., 2015).

Nezbytnou součástí při zpracování termálních dat a jeho analýzách jsou korekce. Korekcemi se nejčastěji rozumí odstranění vlivu atmosféry, dále kalibrace senzoru a geometrické korekce. Jelikož senzory většinou získávají takzvaná surová termální data, tedy nijak nezpracovaná, je hlavním úkolem zpracovat termální data tak, aby byly určeny vztahy mezi naměřenými hodnotami a vyzářováním povrchu Země (Zemek a kol., 2014).

Korekce vlivu atmosféry na termální data jsou prováděny pomocí atmosférických modelů. Tyto modely pracují s množstvím kritérií. Jsou jimi například vertikální teplotní profily atmosféry, tlak vzduchu nebo koncentrace oxidu uhličitého. Často tyto kalibrace vycházejí ze vzájemného vztahu měřicího termálního zařízení a pozemními měřeními určitých meteorologických jevů. Tyto jevy jsou zaznamenány přibližně v době, kdy přelétá daným místem nosič s termálním měřicím zařízením. Z naměřených meteorologických hodnot a z naměřených hodnot termálního snímače je sestavena kalibrační křivka, která následně umožňuje určit přesnou povrchovou teplotu (Dobrovolný, 1998)

3.8 Landsat

Program Landsat má velký podíl na rozvoji dálkového průzkumu Země jako vědního oboru. Díky datům, které družice Landsat posbíraly, je možné studovat a analyzovat změny, které se na Zemi v čase uskutečňují. Ať už se jedná o změny související s přírodními procesy, či změny, související s činností člověka (Svatoňová, Lauer mann, 2010).

Družice Landsat poskytují cenné informace jak o zemském povrchu, tak i o pobřežních měřčinách, útesech, korálech. Data z těchto družic jsou zásadní pro sledování vývoje globálních jevů. Navíc od roku 2008 je možné zadarmo stahovat všechny archivní snímky z družic Landsat z portálu USGS (United States Geological Survey). Ze satelitů Landsat, které byly doposud vypuštěny, se nepodařilo dosáhnout oběžné dráhy pouze jednomu, a to Landsat 6 (Lillesand a kol., 2015).

Multispektrální skener, který byl v červenci 1972 vypuštěný na palubě Landsatu 1, byl prvním družicovým senzorem na světě pro pozorování Země. Tento multispektrální skener sledoval čtyři spektrální pásma, a dále odrazivost zemského povrchu ve viditelné a blízké infračervené oblasti, elektromagnetického spektra při jmenovitém prostorovém rozlišení 80 m. Data Landsat, která byla nashromážděna družicemi Landsat 1-5 v letech 1972-1993 poskytují největší archiv družicových obrazových dat pro sledování zemského povrchu. Landsat 4 a 5, který byl na oběžnou dráhu vypuštěn v roce 1982, respektive v roce 1984, byl vylepšen senzorem, který je známý jako Thematic Mapper. Thematic Mapper má sedm spektrálních pásem. Šest

z nich získává údaje o odrazivosti zemského povrchu. Jedno pásmo pak získává údaje o teplotě zemského povrchu. (Levin,1999).

3.9 Geografické informační systémy

Geografický informační systém (GIS) je obvykle počítačový systém poskytující základní čtyři funkce k řešení georeferencovaných dat. První zajišťuje jejich sběr a přípravu. Druhou je správa dat, včetně ukládání a údržby. Třetí funkcí je analýza dat. A konečně čtvrtá zajišťuje je prezentaci dat (Huisman, de By, 2009).

Geografické informace jsou informace vázané na daný soubor míst na zemském povrchu. Označení GIS se používá v případě, když je s geografickými informacemi v digitální podobě nějakým způsobem zacházeno. Například v momentě, kdy se geografické informace zpracovávají do map, nebo v momentě, kdy probíhá analýza těchto informací za účelem prognóz geografických procesů (University of Benin).

ArcGis

ArcGIS je geografický informační systém který je nástrojem pro zpracování prostorových dat. Umožňuje správu a tvorbu dat, dále umožňuje jejich analýzu a následně jejich vizualizaci. Výsledné výstupy je možné prezentovat a sdílet pomocí map, či je možné využít interaktivní aplikace nebo reporty (arcdata.cz).

ArcMap je součástí ArcGIS. Jedná se o aplikaci, pomocí níž jsou prováděny prostorové analýzy, editace dat. Umožňuje vytvářet mapy a kartografické výstupy. ArcMap obsahuje většinu geoprocessingových nástrojů ke zpracování dat a jejich analýzu (arcdata.cz).

3.10 Krajinná ekologie a lesy jako významný faktor ovlivňující klima

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v §3, odst. k) definuje krajinu takto: „*krajina je část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky*“.

Vráblíková a kol. (2014), píší, že krajinná ekologie se zabývá vztahy a procesy v krajině, krajinnými prostorovými vazbami, dále pak také ekologickou interpretací leteckých snímků. Lipský (1998) popisuje, že krajinou se zabývá mnoho odvětví, ať se jedná o lesnictví, zemědělství, nebo ať jde o územní plánování, geografii a podobně. Turner a Gardner (2015) říkají, že krajinná ekologie má historii s kořeny ve střední a východní Evropě. Pojem „krajinná ekologie“ zavedl německý biogeograf Carl Troll (1939).

Alkama a Cescatti (2016) ve své publikaci píší o vlivu lesního porostu na klima. Uvádí, že ztráty lesů zesilují denní kolísání teplot, a zvyšují střední a maximální teploty. Ve výsledcích ukazují, že ve všech klimatických pásmech vykácené lesy způsobí výrazné zvýšení středních ročních maximálních povrchových teplot, mírné změny minimálních teplot a celkový nárůst středních teplot, s výjimkou u nejsevernějších zeměpisných šířek. Zároveň kácení lesů způsobí zvýšení teplot okolo 1 °C v mírném a tropickém pásmu a o více než 2 °C v aridní zóně. Zároveň zmiňují, že náchylnost k teplotním změnám zemského povrchu v důsledku kácení lesů je asi o 50 % vyšší než náchylnost k teplotním změnám vzduchu. Dodávají, že, biofyzikální

vlastnosti lesů přispívají k ustálení teplot, a snižovat denní teploty, a to především v letních měsících.

Problematiku teploty klimatu a vliv vegetace na tuto problematiku řešili Mildrexler a kol. (2011). Srovnávají ve své publikaci teploty vzduchu z meteorologických stanic a povrchové teploty z dat MODIS. Zmiňují důležitost dat o teplotě zemského povrchu z důvodu, že hrají důležitou roli ve studiích o klimatu, hydrologii, ekologii a podobně. Vysvětlují rozdíl mezi měřením teploty vzduchu nad povrchem, které probíhá na meteorologických stanicích 1,5 metru nad zemským povrchem, a měřením teploty povrchu, které probíhá zpracováním například satelitních snímků. V této studii nejprve zkoumali vztah teploty vzduchu a teploty povrchu bez ohledu na krajinný pokryv. Při nižších teplotách pozorovali konzistentní pozitivní korelaci mezi maximálními naměřenými teplotami pro teplotu vzduchu a maximálními naměřenými teplotami pro teplotu povrchu. Píší, že čím je obecně teplota vyšší, tím je větší rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou povrchu, kde teplota povrchu může být až o 20 °C vyšší. Mildrexler a kol. dále zjistili závislost krajinného pokryvu na vztahu teploty vzduchu a teploty povrchu. Zjistili, že v případě lesního krajinného pokryvu nejsou rozdíly mezi teplotou vzduchu a teplotou povrchu tak velké, jako v případě jiného krajinného pokryvu.

Jak říkají mnohé další publikace, povrchová teplota půdy je důležitým faktorem ve studiích změn klimatu, ve studiích řešících tepelné bilance, nebo jako nástroj pro sledování dynamiky klimatu. Studie Kayeta a kol. (2016), zkoumala pomocí metod dálkového průzkumu Země vliv změn využívání půdy a jejich dopad na teplotu zemského povrchu. Pracovali se satelitními snímky z Landsat 5 a 7 a analyzovali vliv změn v oblasti Saranda Forest, Jharkhand, kde se těží železná ruda. Konkrétně zkoumali snímky z roku 1994, 2004 a 2014, navíc využili i data krajinného pokryvu. Výsledky studie říkají, že teplota povrchu se výrazně liší podle krajinného pokryvu. Zároveň studie uvádí, že důsledkem růstu těžebního průmyslu v oblasti ubývá vegetace, a s tím je spojený nárůst povrchových teplot. Dodávají, že těžařské společnosti společně s místní správou lesů musí přijmout adekvátní postoj pro rekultivaci a obnovu poškozených ploch, které vznikly v důsledku těžby.

Chen a kol. (1999) ve své publikaci popisují jak lidské činnosti, jako je zemědělství a lesnictví, nebo přírodní katastrofy, může narušit a pozměnit prostředí ekosystému. Také píšou o mikroklimatu jako o sadě klimatických jevů měřených v daných oblastech. Tyto jevy daného prostředí, mezi které patří teplota, světlo, rychlost větru nebo vlhkost byly důležitým faktorem i v historii a poskytovaly smysluplné ukazatele pro výběr například zemědělských stanovišť. Zmiňují význam mikroklimatu při ovlivňování ekologických procesů, jako je regenerace a růst rostlin, okysličování půdy, koloběh živin výběr stanovišť divoké zvěře... Píší, že dobré zacházení s mikroklimatem a ochrana správné struktury krajiny může být důležitým nástrojem k zachování zdravého ekosystému. Stejně tak Bonan a kol. (1992) píšou o důležitosti krajinných ekosystémů, a jejich roli při určování regionálního a globálního klimatu. Jako příklad zmiňují Amazonii, kde kácení deštného pralesa vede k teplejším a sušším podmínkám. Uvádějí, že lesní ekosystémy jsou vlivným faktorem určující klima. Zmiňují, že při rostoucích teplotách dochází na pevninách a oceánech k tání ledovců a sněhu, které mají mimo jiné vysoké schopnosti odrazivosti slunečního záření. To vede k tomu, že

povrchy pevnin a oceánů absorbují větší množství slunečního záření. Tato absorpce pak vede k dalšímu oteplování povrchu. Zhou a kol. (2019) se ve své práci věnují přímo vlivu vegetace a lesů na teplotu v městských oblastech. Varují před rychlou urbanizací a nahrazováním vegetačních oblastí stavebními materiály jako je například souvislá dlažba a podobně, které přispívají k oteplování a tepelným městským ostrovům. Zmiňují důležitost strategie plánování lesních ploch a vegetace a také míru efektu ochlazování prostředí závisující na tvaru a velikosti vegetačních ploch. Píší, že výsledky studie poskytují urbanistům a správcům přírodních zdrojů určité teoretické a praktické informace o tom, jak by měla být městská lesní vegetace plánována a lépe obhospodařována. Také Ren a kol. (2016), se ve své publikaci soustředili více na lesy ve městech a jejich vliv na okolní povrchovou teplotu a klima. Zmiňují benefity, které vzejdou z identifikace faktorů, které ovlivňují teplotu zemského povrchu v okolí městských lesů, jako je možnost zlepšení simulace a předpovědi vývoje městských chladných/tepelných ostrovů. Cílem jejich studie bylo odhalit, jak lidská aktivita a ekologické faktory ovlivňují povrchovou teplotu městských lesů. K dosažení cílů použili například digitální výškový model, satelitní snímky, které byly zpracovávány metodami dálkového průzkumu Země. Výsledky studie ukázaly, že klíčovým faktorem ovlivňující povrchovou teplotu v městských lesích byla výška stromů a druh lesního porostu.

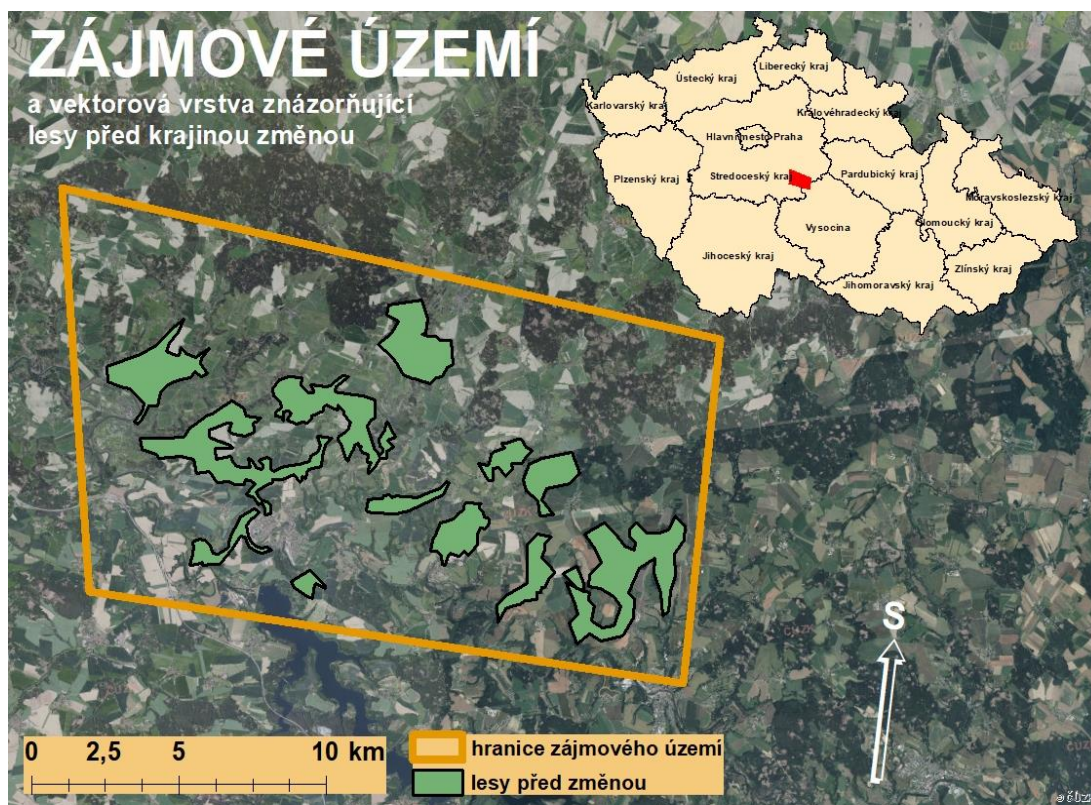
Wang a kol. (2012) publikují, že pro sledování dynamiky lesní krajiny a pro její lepší pochopení jsou důležité různé prostorové nástroje, které mohou vést rovněž ke zlepšení účinnosti plánování lesní krajiny a ke zlepšení činností lesního hospodářství. V jejich studii odhalují užitečnost dálkového průzkumu Země pro detekci a monitorování změn lesní biomasy v krajině. Zkoumají sesbíraná terénní data a také data snímků Landsat z roku 1999 a 2007. Přibližují, že Landsat TM pásmo 4 a Difference Vegetation Index byly nejlepšími metodami pro zkoumání a monitorování v dané oblasti. Dochází k závěru, že při monitorování lesů jsou metody dálkového průzkumu Země jsou vhodným prostředkem, které mohou vést ke zlepšení hospodaření v lesích. Dodávají, že je zapotřebí další výzkum, aby se zjistilo, zda přístup, který využili v jejich studii a na jejich zkoumané oblasti, funguje stejně také v lesích v jiných regionech.

4 Metodika

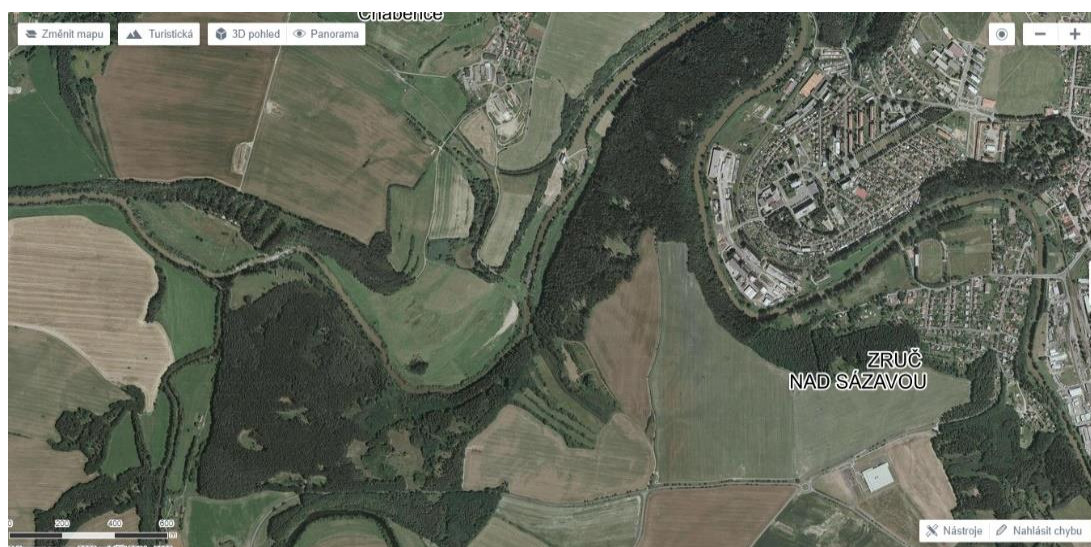
4.1 Zájmové území

Jako téma krajinné změny byl vybrán důsledek vichřice, která způsobila poškození lesního porostu a jeho následné vykácení. Lokalita, kde byly změny zkoumány, je v okolí Zruče nad Sázavou. Zruč nad Sázavou se nachází v okrese Kutná Hora ve Středočeském kraji. Jak bylo zmíněno, poškození v krajině nastalo částečným vykácením lesního porostu kvůli vichřici. V březnu 2008 prošly kutnohorským okresem orkány Kyrill a Emma. V červenci pak následovala další silná vichřice, která zasáhla území zejména kolem Zruče nad Sázavou a Kácova. Lesy ČR později uvedly, že po těchto vichřicích bylo zlikvidováno 700 tisíc metrů krychlového dřeva (region.rozhlas). Obrázek 4 zobrazuje, kde se nachází zájmové území v České republice, a dále zobrazuje plochy lesů v zájmovém území, které byly zkoumány.

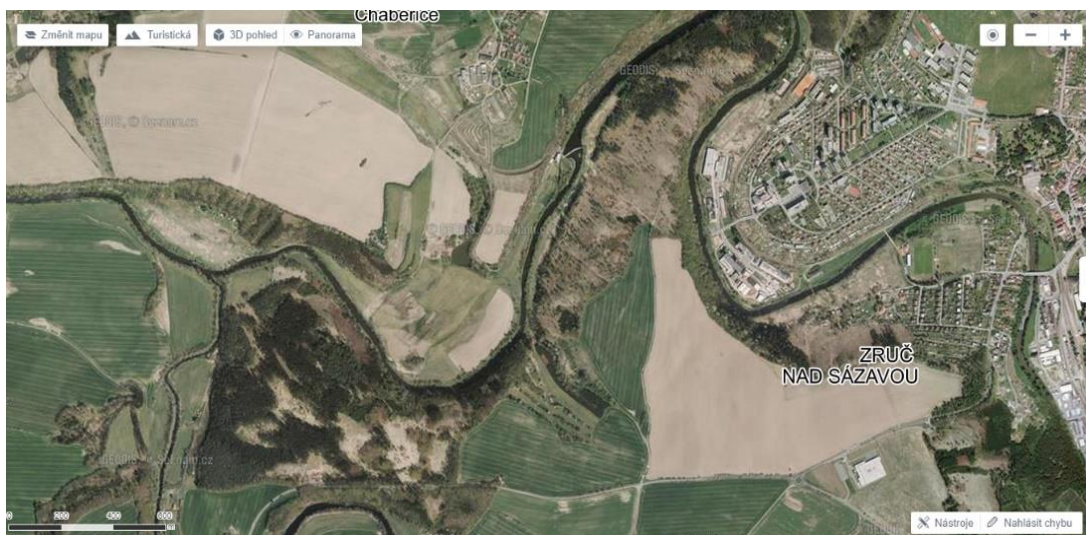
Níže, na obrázku 5, je vidět v jakém stavu byla část lesa blízko Zruče nad Sázavou před vichřicí. Na obrázku 6 je poté vidět, v jakém stavu byla tato část lesa po vichřici. V okolí Zruče nad Sázavou je těchto oblastí více.



Obrázek 4 – kde se nachází zájmové území v České republice a zkoumané plochy lesů (podkladová data: ČÚZK).



Obrázek 5 – letecký snímek z mapy.cz pořízený v roce 2006.



Obrázek 6 – letecký snímek z mapy.cz pořízený v roce 2012.

4.2 Data

V bakalářské je pracováno s daty z roku 2007 a 2009. Tedy s daty, která byla pořízena asi rok před vichřicí, která způsobila krajinné změny, a s daty, která byla pořízena rok po této vichřici. Pro rok 2007 i pro rok 2009 byla zpracována data v podobném období, a to v červnu.

Pro rok 2007 se jedná o snímek *LT05_LITP_191025_20070625_20161112_01_T1*, který byl pořízený 25. června. Pro rok 2009 se pak jedná o snímek *LT05_LITP_191025_20090614_20161025_01_T1*, který byl pořízený 14. června. Jedná se o snímky z družice Landsat 5, které byly staženy z portálu USGS EarthExplorer.

USGS EarthExplorer je uživatelské rozhraní vyvinuté organizací United States Geological Survey (USGS). Je možné online vyhledávat, procházet, a hlavně stahovat data z družic, ale i letadel a podobně. Pro stahování dat z EarthExplorer je nutná registrace (USGS).

4.3 Stažení a oříznutí dat

V prvním kroku byla stažena data z USGS EarthExplorer. Konkrétně se jednalo o výše popsané satelitní snímky z Landsat 5.

Dále byl v softwaru SNAP 8.0 vytvořen jednoduchý Graph Builder s nástrojem Subset. Tento nástroj zajistí oříznutí dat v přibližné lokalitě zájmového území a tím i snížení objemu dat, která budou zpracovávána. Software SNAP je volně dostupný software, který je určený především pro zpracování dat z družic Sentinel, ale je možné v něm zpracovávat data i z dalších družic, v případě této bakalářské práce z družic Landsat.

4.4 Převod hodnot z DN na hodnoty odrazivosti

Ve dalším kroku byla upravena v softwaru SNAP pásma 3 (RED) a 4 (Near-Infrared). Obrázek 7 zobrazuje prostředí Band Maths a vzorec pro převod.

Z metadat snímku je potřeba zjistit hodnoty:

- SUN_ELEVATION
- REFLECTANCE_MULT
- REFLECTANCE_ADD

a to pro pásmo 3 a 4.

Pomocí Band Maths a vzorce:

$$\frac{((\text{reflectance_mult} * \text{band}) + \text{reflectance_add})}{\sin(\text{sun elevation})}$$

se převedou pásma na hodnoty odrazivosti.

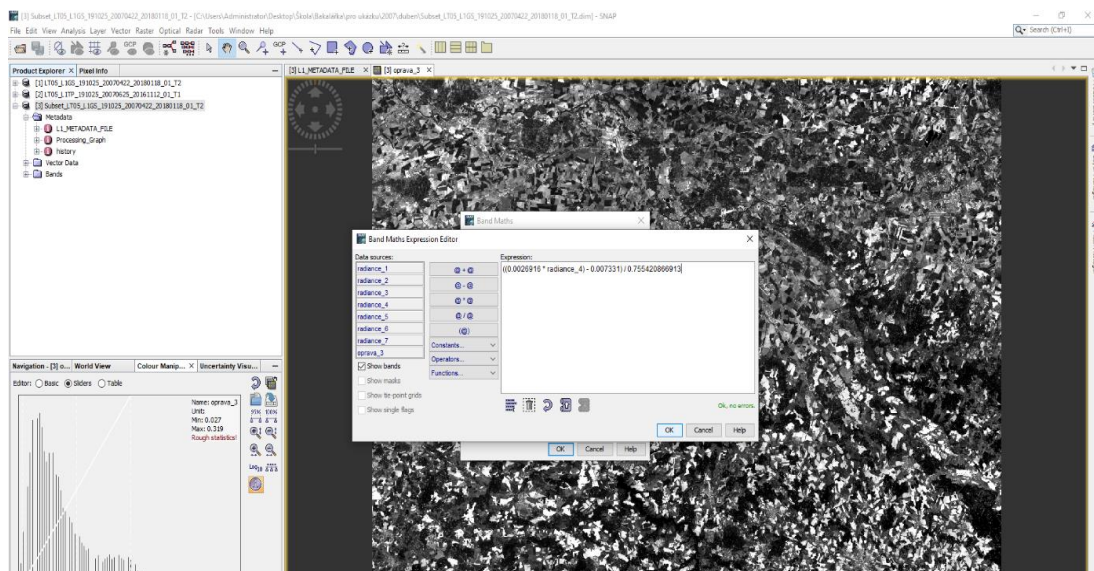
Konkrétně tedy pro pásmo 3 je vzorec:

$$\frac{((\text{reflectance_mult_band_3} * \text{RED band}) + \text{reflectance_add_band_3})}{\sin(\text{sun elevation})}$$

A pro pásmo 4 je vzorec:

$$\frac{((\text{reflectance_mult_band_4} * \text{NIR band}) + \text{reflectance_add_band_4})}{\sin(\text{sun elevation})}$$

Výsledkem jsou hodnoty odrazivosti pásem 3 a 4.



Obrázek 7 – prostředí Band Maths a vzorec pro převod z hodnot DN na hodnoty odrazivosti pásma 4 (RED). (zdroj: autor)

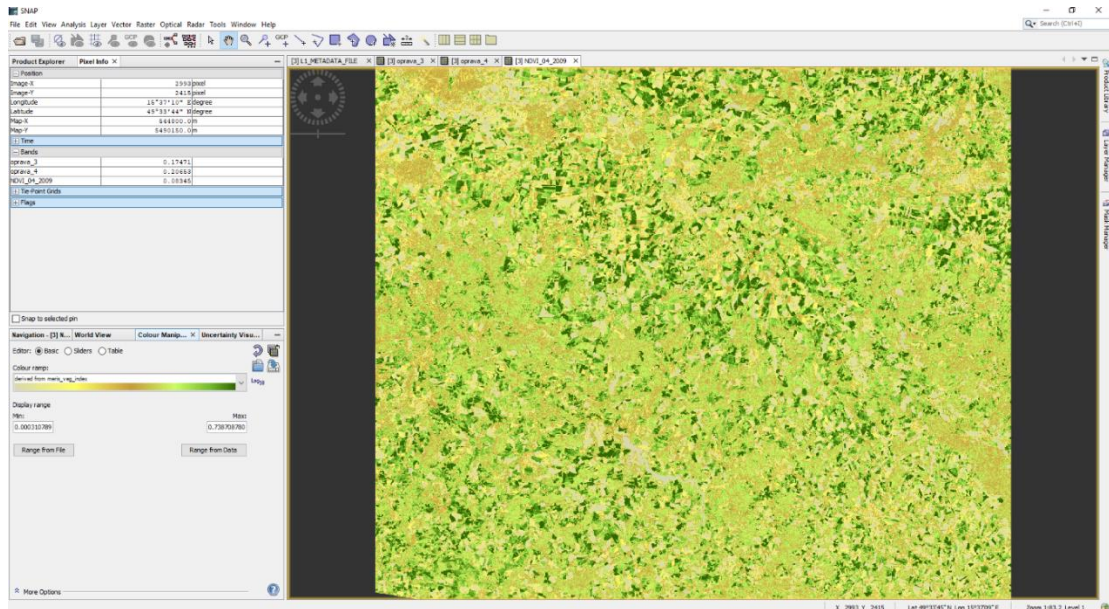
4.5 Odvození emisivity pomocí NDVI

Ve tomto kroku byla odvozena emisivita pomocí spektrálního indexu NDVI. Pomocí vzorce pro výpočet NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a opravených pásem 3 a 4 z předchozího kroku bylo vypočítáno NDVI v softwaru SNAP přes nástroj Band Maths. Obrázek 8 ukazuje vizuální výsledek v softwaru SNAP.

Vzorec pro výpočet normalizovaného vegetačního indexu:

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

Kde: NIR = odraz v blízkém infračerveném spektru, RED = odraz v červeném rozsahu spektra.



Obrázek 8 – vizuální výsledek výpočtu NDVI v softwaru SNAP. (zdroj: autor)

Pro výpočet emisivity v krajině byl použit vzorec z práce Van de Grienda a Owea (1991): $1.0094 + 0.047 * \log(NDVI)$

V tomto případě je ve vzorci logaritmováno NDVI. Je problém, že NDVI má i záporné hodnoty (například voda). Voda má ale zároveň vysokou emisivitu. Takže vzorec byl napsán tak, že kde je NDVI záporné, je to vodní hladina, která má emisivitu 0,99. V lepším postupu je třeba použít masku na odstranění některých (například městských) objektů, které mají vysokou emisivitu a tudíž budou výsledek zkreslovat.

V softwaru SNAP pomocí nástroje Band Maths byla použita podmínka:

if NDVI <=0 then 0.99 else 1.0094 + 0.047 * log(NDVI)

Kde: NDVI = vypočítaný rastr NDVI

4.6 Oprava snímku o vliv atmosféry a výpočet povrchové záře

Atmosféra termální záření propouští, pohlcuje nebo sama atmosféra něco vyzařuje. Tedy atmosféra buď přidává, propouští nebo ubírá. Proto je třeba opravit každý snímek o tyto vlivy. Kalkulačka *Atmospheric Correction Parameter Calculator* (Obrázek 9) vypočítá profil atmosféry (obrázek 10) daného snímku a všechny parametry, které jsou potřeba do korekční rovnice. V tomto případě údaje o Lu (upwelling), Ld (downwelling) a τ (transmisivita).

Enter the parameters for which you wish calculate atmospheric transmission and upwelling radiance:

Year: Month: Day:
 GMT Hour: Minute:

Latitude: Longitude:
+ is North, - is South + is East, - is West

Use atmospheric profile for closest integer lat/long [help](#)
 Use interpolated atmospheric profile for given lat/long [help](#)

Use mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)
 Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile [help](#)

Use [Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve](#)
 Use [Landsat-7 Band 6 spectral response curve](#)
 Use [Landsat-5 Band 6 spectral response curve](#)
 Output only atmospheric profile, do not calculate effective radiances

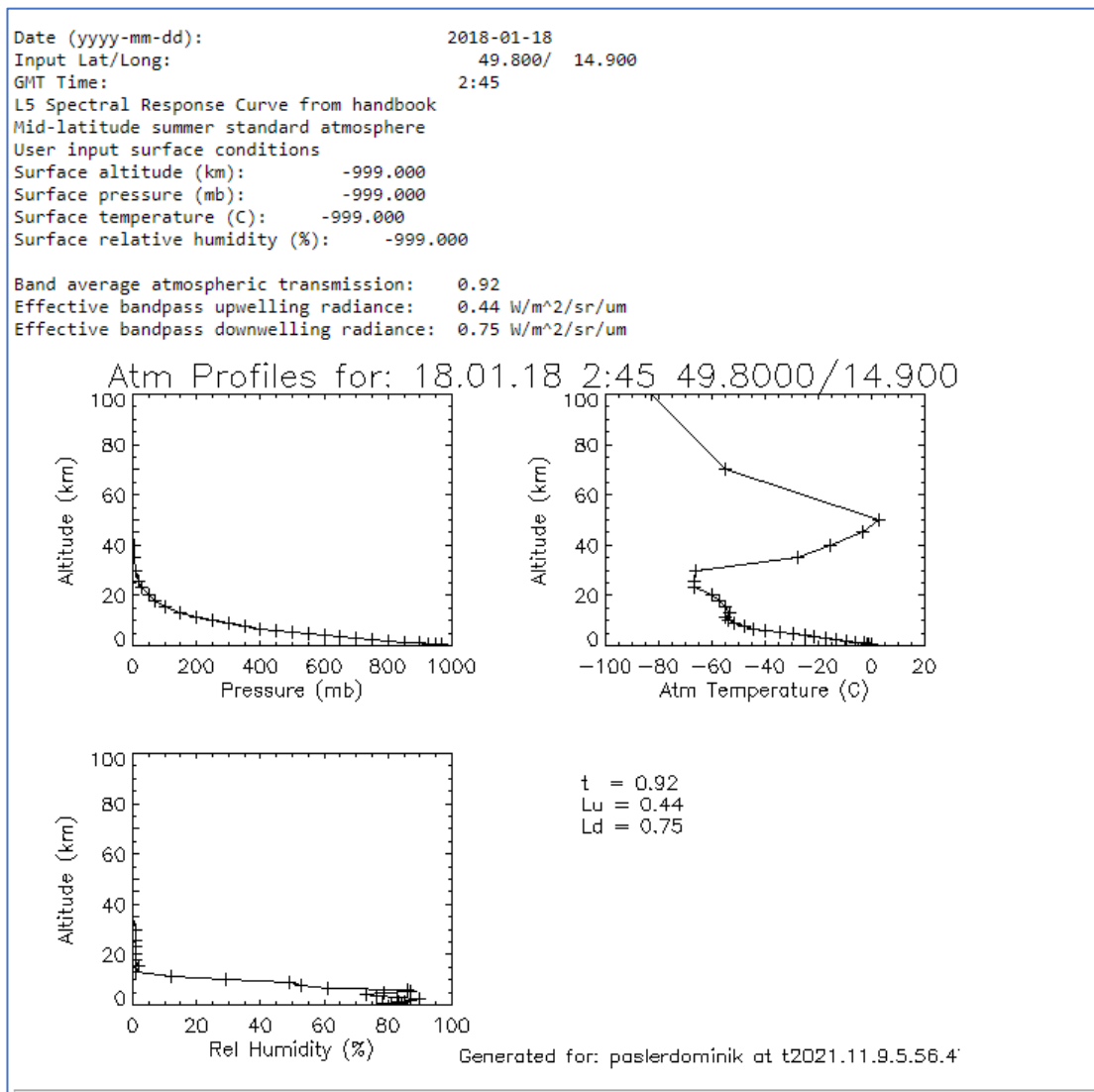
Optional: Surface Conditions
(If you do not enter surface conditions, model predicted surface conditions will be used.
 If you do enter surface conditions, all four conditions must be entered.)

Altitude (km): Pressure (mb):
 Temperature (C): Relative Humidity (%):

Results will be sent to the following address:
 Email:

Reference: Barsi, J.A., J.L. Barker, J.R. Schott. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. IGARSS03, 21-25 July 2003, Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France.
 Reference: Barsi, J.A., J.R. Schott, F.D. Palluconi, S.J. Hook. Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments. Earth Observing Systems X, Proc. SPIE Vol. 5882, August 2005, San Diego, CA.

Obrázek 9 - kalkulačka Atmospheric Correction Parameter Calculator (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>, Barsi a kol., 2003).



Obrázek 10 – výsledný profil atmosféry.

(<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>)

K opravě snímku o vliv atmosféry a výpočtu povrchové záře byla použita rovnice z práce Barsiho a kol. (2005):

$$L_t = \frac{LTOA - Lu - \tau(1 - \varepsilon)L_d}{\tau\varepsilon}$$

Kde: L_t = zemská povrchová záře, $LTOA$ = rastr spektrální záře, záře na povrchu vyjádřená ve wattech na metr čtvereční (SNAP tuto záři převede, proto se do vzorce jen dosadí termální pásmo, v tomto případě pásmo 6), τ = transmisivita (propustnost), Lu = upwelling (co atmosféra zářila), L_d = downwelling (co atmosféra pohlcovala), ε = emisivita.

Výsledkem postupu je rastr povrchové záře, který je opravený o vliv atmosféry.

4.7 Výpočet povrchové teploty

Poté, co byla odvozena emisivita a poté, co byl vypočítán rastr povrchové záře opravený o vliv atmosféry, bylo možné přistoupit k výpočtu samotné povrchové teploty.

K převodu povrchové záře na povrchovou teplotu byl použit odhad Planckovy křivky od Barsiho (Barsi a kol. 2005). Vzorec na převod záře na teplotu:

$$T = \frac{K2}{\log((K1/L_t) + 1)}$$

Kde: T = povrchová teplota ve stupních Kelvina, $K1$ = kalibrační konstanta $K1$. Každý sensor má svou kalibrační konstantu. Lze zjistit v metadatech daného snímku., $K2$ = kalibrační konstanta $K2$. Každý sensor má svou kalibrační konstantu. Lze zjistit v metadatech daného snímku, L_t = rastr zemské povrchové záře vypočítaný v předchozím kroku.

Po použití výše popsaného vzorce byl získán výsledný rastr povrchové teploty ve stupních Kelvina.

Pro převod na stupně Celsia bylo potřeba odečíst od rastru povrchové teploty ve stupních Kelvinech hodnotu 273,15 (absolutní nula). Výsledkem je rastr povrchové teploty ve stupních Celsia.

4.8 Zájmové území a vektorová vrstva lesů v ArcMap

V aplikaci ArcMap 10.7.1 byla vytvořena vektorová vrstva zájmového území v souřadnicovém systému S-JTSK. Dále byla vytvořena vektorová vrstva ploch lesů v zájmovém území, která zobrazuje plochy, které byly nejvíce zasaženy krajinnými změnami důsledkem vichřic v roce 2008. Těchto ploch, reprezentujících bývalé lesy, bylo vytvořeno celkem 12. Vektorová vrstva lesů byla tvořena pomocí vektorizace leteckých snímků z roku 2006 z mapy.cz a ortofotomapy z ArcGis Online.

Dále, ze softwaru SNAP 8.0 byly převedeny do aplikace ArcMap 10.7.1 rastry s údaji o povrchové teplotě. Jedná se o rastry povrchové teplotě z června z let 2007 a 2009. Tyto rastry byly převedeny na souřadnicový systém S-JTSK nástrojem Project. Poté byly tyto rastry finálně oříznuty pomocí nástroje Extract by Mask a vytvořené vektorové vrstvy zájmového území na plochu zájmového území.

Jednou z částí analýzy rastrů povrchových teplot bylo zjištění povrchových teplot zmiňovaných 12 jednotlivých ploch lesů. Pro posouzení konkrétních čísel byla použita funkce Zonal Statistics as Table. Výsledné tabulky jsou uvedeny v příloze. Příloha 1 ukazuje hodnoty pro rok 2007. Příloha 2 pak ukazuje hodnoty pro rok 2009. Sloupec PLOCHA značí jednotlivé plochy lesů. Další sloupce pak značí hodnoty počítaných statistik. Pro účely této práce byla nejdůležitější statistika průměrných teplot ve stupních Celsia, v tomto případě sloupec MEAN.

4.9 Výpočet úbytku lesa a tvorba regresní křivky

V sedmém kroku se počítalo, kolik procent lesa v každé ploše zmizelo a zjišťovala se korelace mezi procenty vykáčeného lesa a nárůstem teploty. Byla spočítána regresní křivka, ze které byl odvozen vztah mezi úbytkem lesní plochy a následném oteplení zemského povrchu.

Pro zjištění, kolik procent lesa v každé ploše zmizelo, byl využit nástroj Minus v aplikaci ArcMap. Rastr v pravých barvách z roku 2009 byl odečten od rastru v pravých barvách z roku 2007. Výsledkem byl rastr, kde byly zvýrazněné plochy, které prošly změnami. Nástrojem Reclassify a vhodně zvoleným rozmezím hodnot, byl původní rastr reklasifikován na dvě hodnoty. Jedna hodnota představovala plochy, kde došlo ke kácení, druhá představovala místa beze změn. Nakonec s pomocí nástroje Tabulate Area, a s využitím reklasifikovaného rastru a vektorové vrstvy lesů, která byla vytvořena v předchozím kroku, byl proveden výpočet úbytku lesa v metrech čtverečních na jednotlivých plochách. Dále stačilo už jen pomocí Calculate Geometry vypočítat celkové rozměry jednotlivých ploch, a vhodným výpočtem zjistit, kolik procent lesa ubylo na jednotlivých plochách.

Pro výpočet regresní křivky byl použit tabulkový procesor Microsoft Excel 2019. Byla vytvořena tabulka, do které byla vložena zdrojová data. Ke každé ploše byl přidán odpovídající údaj o úbytku lesa v procentech a nárůstu teploty ve stupních Celsia. Byl sestaven bodový graf, byla přidána lineární spojnice trendu a zvolena možnost zobrazení hodnoty spolehlivosti. Byly vypočítány parametry regresní přímky b_1 a b_2 a hodnoty predikce.

4.10 Porovnání povrchových teplot v jednotlivých kategoriích zájmového území

V tomto kroku byly určeny tři kategorie pro zkoumání povrchové teploty. Jednalo se o kategorii celého zájmového území, dále o kategorii reprezentující plochy lesů, na kterých došlo ke změnám mezi lety 2007 a 2009 (dále v této práci bude pro

zjednodušení použít název jen „plochy lesů“). Nakonec i o kategorii, která reprezentuje veškeré plochy, vyjma ploch lesů. Nejprve byly přes nástroj Extract by Mask a vektorové vrstvy zájmového území a vektorové vrstvy lesů vyříznuty z rastru celého zájmového území pouze plochy, na kterých se nacházely poškozené lesy. Výsledkem byl rastr povrchové teploty reprezentující jen plochy lesů. Dále byl postup opakován, avšak opačně, a tedy výsledkem byl rastr povrchových teplot celého zájmového území, vyjma ploch lesů. Takto bylo učiněno pro rok 2007 i pro rok 2009. Následně byla vypočítána pomocí nástroje Zonal Statistics průměrná teplota všech výše zmíněných rastrů. Tedy průměrná povrchová teplota zájmového území, dále pak průměrná povrchová teplota zájmového území, vyjma lesů, a nakonec i průměrná povrchová teplota ploch lesů v zájmovém území. Tabulka 4 ukazuje průměry povrchových teplot pro jednotlivé kategorie plochy povrchů. Kategorie plochy povrchů byly rozřazeny na tři kategorie, a to na kategorii plochy celého zájmového území, dále pak kategorie plochy jen lesů, a nakonec kategorie plochy celého zájmového území, avšak bez lesů.

Pro vizuální posouzení vlivu poškozených lesů na teplotu povrchu slouží obrázek 11 a obrázek 12.

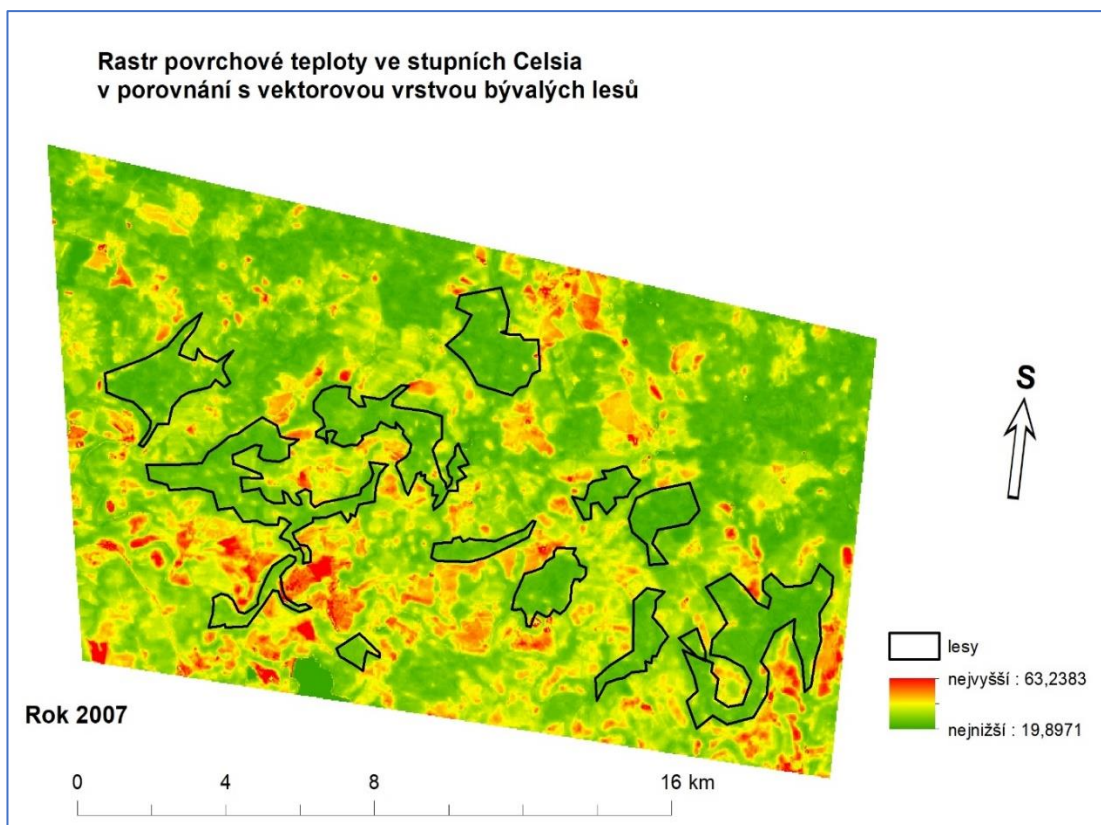
4.11 Stažení dat z meteostanice Zruč nad Sázavou

Pro zjištění teplot vzduchu a možnost posouzení teplotních podmínek v období, kdy byly pořízeny zkoumané družicové snímky, byla stažena data (uvedena v tabulce v příloze 6 a příloze 7) o teplotě vzduchu z meteostanice Zruč nad Sázavou. Tedy z meteostanice, která se nachází v bezprostřední blízkosti poškozených lesů. Teploty byly pro zjednodušení zprůměrovány vždy 14 dnů před pořízením satelitního snímku, a to jak pro rok 2007, tak pro rok 2009.

5 Výsledky

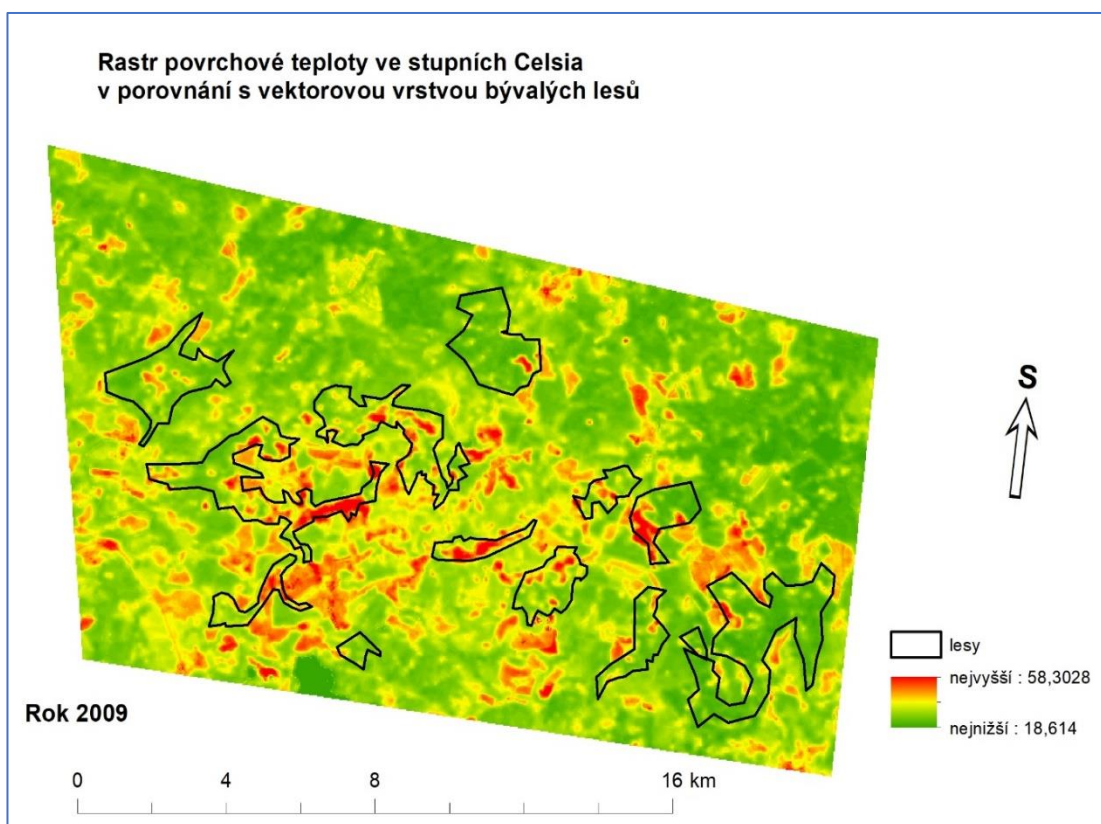
5.1 Vizualní posouzení povrchových teplot v zájmovém území

Na obrázku 11 je zobrazeno zájmové území a jeho povrchová teplota s nepoškozenými lesy z roku 2007. Stejně tak na obrázku 12, který zobrazuje rok 2009 a již poškozené plochy lesů. Dále jsou zobrazeny hranice lesů. Na obrázku 11, který reprezentuje rok 2007, je vidět, že povrchová teplota na území lesů je povětšinou nižší a že stabilně kopíruje hranice ploch lesů. Hranice lesů jsou poměrně dobře zřejmé jen z povrchové teploty. Naopak na obrázku 12, který reprezentuje rok 2009, je vidět, že povrchová teplota na území lesů je vyšší a nejsou zřejmé žádné hranice lesů.



Obrázek 11 – rok 2007 a ještě nepoškozené lesy.

(zdroj: autor)



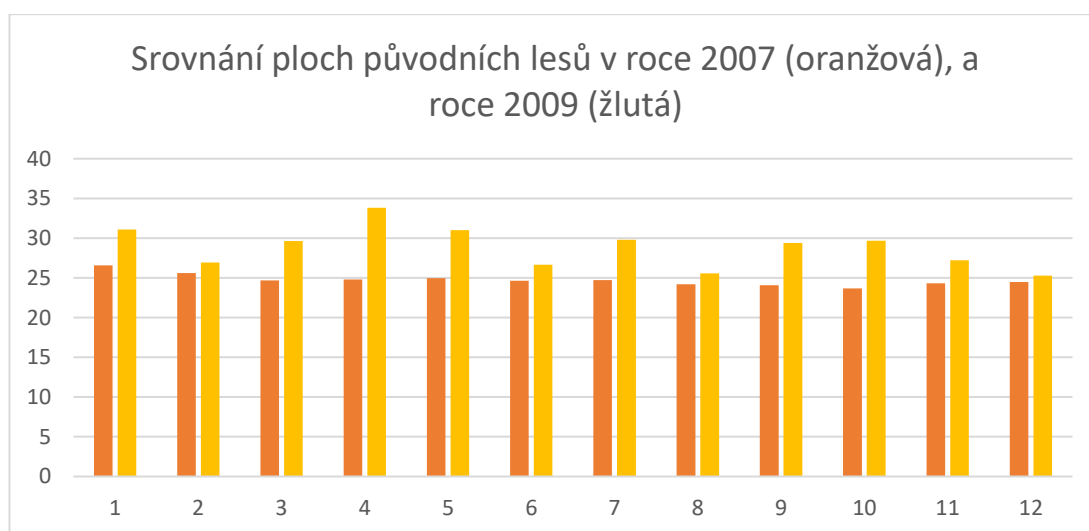
Obrázek 12 – rok 2009 a již poškozené lesy.

(zdroj: autor)

5.2 Posouzení povrchových teplot jednotlivých ploch lesů v zájmovém území

Z dat zobrazených v tabulkách v příloze 1 a příloze 2 vyplývá, že ve statistice MEAN, tedy v průměrných povrchových teplotách na jednotlivých plochách lesa, došlo v červnu 2009 k nárůstům průměrné povrchové teploty oproti červnu 2007, a to na všech zkoumaných lesních plochách. Z uvedených dat byl připraven graf na obrázku 13. Tabulka 3 ukazuje, k jakému nárůstu povrchových teplot došlo na jednotlivých lesních plochách.

Obrázek 13 srovnává průměr povrchových teplot jednotlivých, dvanácti vytvořených lesních ploch. Oranžová reprezentuje rok 2007, žlutá reprezentuje rok 2009.



Obrázek 13 - srovnání ploch lesů v roce 2007 (oranžová), a roce 2009 (žlutá). (zdroj: autor)

PLOCHA	průměr - nárůst
0	4,52
1	1,34
2	4,96
3	9,04
4	6,07
5	2,02
6	5,09
7	1,40
8	5,31
9	6,00
10	2,88
11	0,81

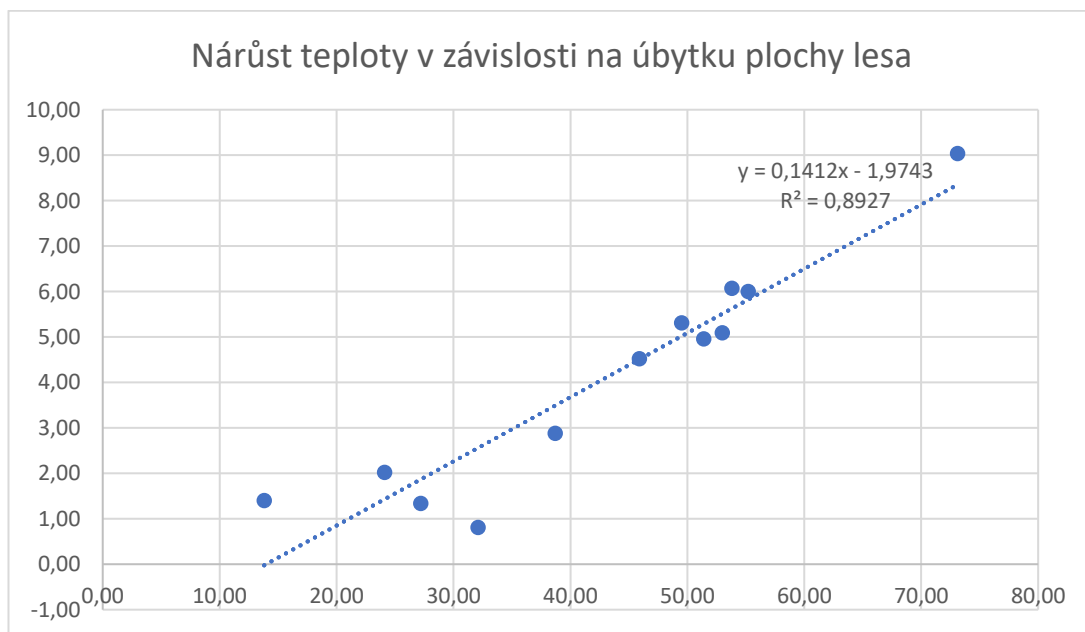
Tabulka 3 – vzrůst teplot na jednotlivých lesních plochách.

5.3 Úbytek lesa v procentech na jednotlivých plochách a regresní křivka

Na obrázcích v příloze 3 a příloze 4 je možné posoudit vizuálně kvalitu reklasifikace úbytku lesa, ze kterého byly následně vypočteny hodnoty úbytku lesa v metrech čtverečních do tabulky v příloze 5. Tabulka 4 zobrazuje procentuální úbytek lesů jednotlivých ploch, nárůst povrchové teploty jednotlivých ploch a predikce. Dále byl sestrojen bodový graf (obrázek 14), byla přidána lineární spojnice trendu a zvolena možnost zobrazení hodnoty spolehlivosti. Byly vypočítány regresní parametry b_1 a b_2 a hodnoty predikce. Hodnota spolehlivosti je 0,8927. Při získání koeficientů b_1 (-1,9743) a b_2 (0,1412) a po dosazení do rovnice přímky je možné z nich vypočítat predikci změny teploty pro libovolnou hodnotu úbytku plochy lesního porostu.

plocha	úbytek lesa na ploše v %	nárůst teploty na ploše ve °C	Predikce
0	45,90	4,52	4,50678
1	27,20	1,34	1,86634
2	51,40	4,96	5,28338
3	73,10	9,04	8,34742
4	53,80	6,07	5,62226
5	24,10	2,02	1,42862
6	53,00	5,09	5,5093
7	13,80	1,40	-0,02574
8	49,50	5,31	5,0151
9	55,20	6,00	5,81994
10	38,70	2,88	3,49014
11	32,10	0,81	2,55822

Tabulka 4 – tabulka zobrazující procentuální úbytek lesů jednotlivých ploch, nárůst povrchové teploty jednotlivých ploch a predikce.



Obrázek 14 – regresní křivka, nárůst teploty v závislosti na úbytku plochy lesa. (zdroj: autor)

Tento model na obrázku 14 naznačuje, že při malém úbytku lesní plochy (cca do 13 %) se povrchová teplota prakticky nemění. Od této třináctiprocentní hranice na každých dalších 10 % úbytku lesa vychází nárůst povrchové teploty asi o 1,4 °C.

Relativně vysoký koeficient determinace R^2 v hodnotě 0,8927 ukazuje na poměrně vysokou přesnost predikce ohřívání povrchu na základě úbytku lesa.

5.4 Průměrné teploty jednotlivých částí zájmového území

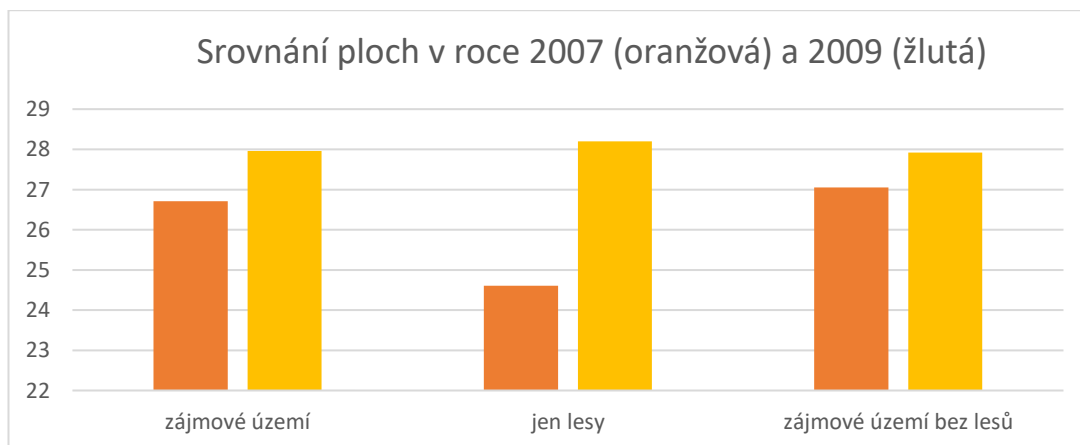
Z analýzy průměrných povrchových teplot jednotlivých kategorií v aplikaci ArcMap vyplývá, že v roce 2009 byly povrchové teploty obecně vyšší. Zkoumané byly tři kategorie, a to kategorie zájmového území, dále kategorie lesů, a pak také kategorie zájmového území, avšak bez lesů.

Dle výsledků narostla průměrná povrchová teplota v kategorii zájmového území v roce 2009 o 1,25 °C oproti roku 2007. Dále v kategorii lesů narostla průměrná povrchová teplota o 3,59 °C. V kategorii zájmového území, vyjma lesů, narostla průměrná povrchová teplota o 0,87 °C. Tabulka 5 zobrazuje průměrné teploty jednotlivých částí zájmového území pro zkoumané roky. Veškeré hodnoty jsou ve stupních Celsia.

Plocha	2007	2009	nárůst
zájmové území	26,71 °C	27,96 °C	+ 1,25 °C
jen lesy	24,61 °C	28,2 °C	+ 3,59 °C
zájmové území bez lesů	27,05 °C	27,92 °C	+ 0,87 °C

Tabulka 5 - průměrné teploty jednotlivých částí zájmového území pro zkoumané roky.

Graf na obrázku 15 vychází z tabulky 5. Porovnáva povrchové teploty ve stupních Celsia ploch v roce 2007 a v roce 2009. Plochy jsou rozdělených do tří kategorií. Konkrétně pro celé zájmové území, dále jen pro povrchy lesů, a dále pro zájmové území, vyjma lesů.



Obrázek 15 – přímé srovnání roků 2007 a 2009. (zdroj: autor)

Z tabulek a grafu vyplývá, že nárůst povrchové teploty proběhl na všech zkoumaných plochách. A to jak v celém zájmovém území, tak jen na plochách lesů, tak i na ploše zájmového území, vyjma lesů. Zatímco na ploše zájmového území, a na ploše zájmového území, vyjma lesů, nebyl nárůst tak vysoký, tak na plochách lesů byl nárůst povrchových teplot významně vyšší.

5.5 Teploty vzduchu z meteostanice Zruč nad Sázavou

Z důvodů otázky, zda nebyl jeden rok výrazně klimaticky chladnější či teplejší, byla stažena data o teplotě z meteostanice Zruč nad Sázavou. Kompletní tabulky teplot jsou uvedeny v příloze. Data byla měřena každý den v 7:00, ve 14:00 a ve 21:00. Z dat o teplotě vzduchu vyplývá, že v roce 2007 byly zprůměrované teploty 14 dnů před pořízením satelitního snímku, který je v této práci zpracováván, zřetelně vyšší, než zprůměrované teploty 14 dnů před pořízením satelitního snímku v roce 2009. Níže jsou zprůměrované hodnoty měření v 7:00, ve 14:00 a ve 21:00. Nakonec pak zprůměrované hodnoty za celé 14denní období před pořízením snímku.

Zprůměrované hodnoty teploty vzduchu v roce 2007, 14 dní před pořízením satelitního snímku, který je v této práci zpracováván. Satelitní snímek byl pořízen 25.6.2007. Kompletní hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze 6.

- Průměr teplot v 7:00 činí 16,79 °C.
- Průměr teplot ve 14:00 činí 26,50 °C.
- Průměr teplot ve 21:00 činí 22,70 °C.

Celkový průměr za dané období v červnu 2007 pak činí **22,00** °C.

Zprůměrované hodnoty teploty vzduchu v roce 2009, a to 14 dní před pořízením satelitního snímku, který je v této práci zpracováván. Satelitní snímek byl pořízen 14.6.2009. Kompletní hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze 7.

- Průměr teplot v 7:00 činí 10,55 °C.
- Průměr teplot ve 14:00 činí 16,70 °C.
- Průměr teplot ve 21:00 činí 14,52 °C.

Celkový průměr za dané období v červnu 2009 pak činí **13,92** °C.

6 Diskuze

V této bakalářské práci bylo zjišťováno, zda měla poškozená lesní krajina vliv na povrchovou teplotu v místě narušení krajiny. Metodami dálkového průzkumu Země, a především metodami termálního dálkové průzkumu, byly zpracovány družicové snímky Landsat 5. Ke zpracování a analýzám byly využity softwary SNAP 8.0 a ArcGis Desktop 10.7.1. Výsledky ukázaly, že změny v krajině měly vliv na povrchovou teplotu v místě poškození.

K bakalářské práci byla vybrána z archivu USGS data levelu 1. Tedy surová, nepředzpracovaná data, která nebyla například již zbavena vlivu atmosféry. Možnost stažení již korigovaných družicových snímků Landsat 5 byla zavedena až v průběhu řešení práce. Navíc osobním malým cílem bylo zpracovávat data od začátku, a to nastudovanými metodami, a tím mít o trochu více celý proces analýzy a zpracování dat pod vlastní kontrolou.

V průběhu řešení práce byla snaha o dosažení co nejpřesnějších výsledků. I tak byly později objeveny možnosti, jak v budoucnu postup zlepšit a výsledky zkvalitnit. Jednou možností je zlepšení výpočtu emisivity. Z důvodu, že se v rovnici k výpočtu emisivity v krajině logaritmuje, a NDVI má také záporné hodnoty, byla rovnice napsána tak, že kde je NDVI záporné, je to vodní hladina, která má emisivitu 0,99. Je nutné zdůraznit, že správný postup by měl být takový, kdy se použije maska na odstranění nežádoucích, například městských, objektů, které mají vysokou emisivitu, a tudíž výsledek zkreslují. Jelikož se primárně zkoumaly lesní plochy, na kterých se žádné takové městské objekty nevyskytují, bylo od použití masky upuštěno. Dalším bodem pro budoucí dosažení kvalitnějších výsledků by mohlo být lepší pracování s hranicemi lesa. Například použitím funkce buffer, neboli obalové zóny a zjistit, zda, případně do jaké míry, měly poškozené lesy vliv na povrchovou teplotu v bezprostředním okolí lesa. Nebo naopak odstranit okraje lesa, tak jako to uvádí ve své publikaci Hais a Kučera (2009), kteří stanovili ve své analýze šírku odstraněných okrajů na asi 90 metrů. Píší, že odstranění vlivu okrajů lesa vedlo v jejich práci k větší statistické významnosti.

Odpověď na otázku, zda nebyl rok 2007 nebo 2009 klimaticky významně odlišný od druhého roku, byla stažena meteorologická data a teplotě vzduchu z meteostanice Zruče nad Sázavou. Tedy z okolí, které je v bezprostřední blízkosti krajinných změn. Cílem bylo zjistit, jaké teploty panovaly dny před pořízením družicových snímků, s nimiž je pracováno v této bakalářské práci. Po prozkoumání stažených dat vyšlo najevo, že průměrná teplota vzduchu ve 14 dnech před pořízením satelitních snímků byla v roce 2009 významně nižší, než v roce 2007. Přesto byly podle výsledků této práce povrchové teploty v roce 2009 vyšší, než v roce 2007. Nabízí se tedy otázka, jak by se změnila povrchová teplota, pokud by teplota vzduchu byla ve sledovaných letech podobná. Můžeme odhadnout, že v takovém případě by byl nárůst teplot v roce 2009 ještě o něco vyšší.

Pro podrobnější analýzu by však bylo potřeba vzít v úvahu, že závislost teploty vzduchu a teploty povrchu je ovlivněna mnoha faktory. Záleží na větrnostních a vlhkostních podmínkách, značný vliv má také tepelně akumuláční schopnost a teplotní setrvačnost zemského povrchu. Povrch je dále citlivý také na vliv rosy během měření,

jak potvrzují ve své studii Good a kol. (2017), kteří dochází k výsledkům, že naměřená povrchová teplota úzce souvisí s tím, zda používali data pořízená při jasné obloze, nebo při analýze dat nebrali v potaz klimatické podmínky. Píší, že se povrchové teploty při jasné obloze a při nebrání v potaz momentálního stavu oblohy lišily $\pm 0,5$ °C.

Problematiku vztahu teploty vzduchu a teploty povrchu řešili také Mildrexler a kol. (2011). Při nižších teplotách pozorovali konzistentní pozitivní korelaci mezi maximálními naměřenými teplotami pro teplotu vzduchu a maximálními naměřenými teplotami pro teplotu povrchu. Píší, že čím je obecně teplota vyšší, tím je větší rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou povrchu, kde teplota povrchu může být až o 20 °C vyšší. Mildrexler a kol. To odpovídá i situaci řešené v této bakalářské práci. V roce 2007 při vyšších teplotách vzduchu byl celkový rozdíl teplot vyšší, zatímco v roce 2009 při nižších teplotách vzduchu byl tento rozdíl nižší.

Podobně jako v této bakalářské práci, také Kayet a kol. (2016), zkoumali vliv změn zemského pokryvu a využívání půdy a jejich dopad na teplotu zemského povrchu. Výsledky studie říkají, že teplota povrchu se výrazně liší podle krajinného pokryvu. Uvádějí, že důsledkem růstu těžebního průmyslu v oblasti ubývá vegetace, a s tím je spojený nárůst povrchových teplot. Také Liu a kol. (2019) publikují, že výsledky jejich práce označují ztráty lesů vinou přírodních katastrof (v jejich případě lesních požárů), jako faktor zvyšující povrchové teploty. Zároveň naznačují, že dle závažnosti změny a poškození lesů mohou mít silný dopad na celkové klima na Zemi, i z důvodu snížené evapotranspiraci v místě zasažení.

Poslední dvě citované publikace by potvrzovaly i výsledky této bakalářské práce, kde bylo rovněž zjištěno, že úbytek vegetace, v tomto případě lesní, mělo za následek nárůst povrchových teplot na poškozených místech.

Výše zmíněné publikace většinou zkoumaly metodami dálkového průzkumu Země míru vlivu lesů na klima a jeho změny. Zmíněné publikace se shodují, že lesní plochy mají významný vliv na zemské klima a na povrchovou teplotu a na teplotu obecně. Upozorňují na příčiny ubývajících lesních porostů a na hrozby s tím spojené. I výsledky této bakalářské práce ukazují, že po narušení lesních porostů a jejich nucenému vykácení povrchová teplota stoupla. Ze závěrů uvedených v těchto publikacích vyplývá, že pro udržení stabilních teplot a potlačení hrozby oteplování klimatu je vhodné v politice územního plánování podporovat ochranu lesů, jejich obnovu a výsadbu.

7 Závěr

Tato bakalářská práce se věnovala zkoumání a analýze změn v krajině. Cílem bakalářské práce bylo metodami dálkového průzkumu Země zjistit, zda po narušení lesní krajiny, které nastalo kvůli vichřicím v roce 2008, došlo k teplotním změnám poškozených ploch. Poškozené plochy se nachází v blízkosti Zruče nad Sázavou, ve Středočeském kraji.

K vyřešení cíle byly staženy z Earth Explorer United States Geological Survey družicové snímky Landsat 5 levelu 1 z června roku 2007, tedy rok před změnou v krajině, a z června roku 2009, tedy rok po změně v krajině. Stažené družicové snímky byly zpracovávány v softwarech SNAP 8.0 a ArcGis Desktop 10.7.1. V softwaru SNAP byly nejprve snímky oříznuty na zkoumanou oblast, následně byla pomocí NDVI odvozena emisivita, byly provedeny atmosférické korekce a výpočet povrchové záře a povrchové teploty. V aplikaci ArcMap 10.7.1 byly pak provedeny prostorové analýzy. Pomocí vektorizace a leteckých snímků byly vytvořeny plochy nejvíce zasažených lesních porostů. Dále byly pro analýzy zkoumání povrchových teplot určeny tři kategorie. A to kategorie zájmového území, dále kategorie lesů, a pak také kategorie zájmového území, avšak bez lesů.

Z výsledků vyplývá, že povrchová teplota v roce 2009 byla vyšší, než v roce 2007, a to ve všech třech kategoriích. Konkrétně o necelý 1 °C na plochách bez lesů, o 1,25 °C na celém zájmovém území, a o 3,59 °C jen na lesních plochách. Jednoduchý model na základě lineární regrese naznačuje, že při malém úbytku lesní plochy (cca do 13 %) se povrchová teplota prakticky nemění. Od této třináctiprocentní hranice by pak na každých dalších 10 % úbytku lesa vycházelo zvýšení povrchové teploty asi o 1,4 °C.

Zároveň byly zpracována data z meteorologické stanice Zruče nad Sázavou. Z těch vyplývá, že v červnu v roce 2007 byla průměrná teplota 14 dnů před pořízením družicového snímku vyšší o 8,08 °C, než tomu bylo v červnu 2009, rovněž 14 dnů před pořízením družicového snímku.

Při porovnání studií, jež se zabývaly změnami v lesní krajině a jejich vlivem na povrchové teploty, vyšlo najevo že výsledky této bakalářské práce se příliš neliší od výsledků jiných studií. I v těchto studiích vychází, že lesy jsou dobrým stabilizátorem a prvkem snižující teplotu, a že po jejich narušení či pokácení se povrchová teplota zvyšuje.

Výsledky této bakalářské práce po aplikování výše popsaných metod a použití výše popsaných dat ukazují, že povrchová teplota v červnu 2009 byla ve sledovaném území obecně vyšší, než v červnu 2007. Dá se tedy konstatovat, že krajinné změny způsobené vichřicí v roce 2008 měly pozorovatelný vliv na povrchovou teplotu v poškozené krajině.

8 Seznam použité literatury

ALKAMA R., CESCATTI A., 2016: Biophysical climate impacts of recent changes in global forest cover. *Science* 351, 600 (2016).

ARCDATA PRAHA, ©2022: GIS začíná zde. (online) [cit.2022.01.23], dostupné z <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>.

AZEVEDO J. C., PINTO M. A., PERERA A. H., 2014: Forest landscape ecology and global change: What are the next steps? In: *Forest Landscapes and Global Change: Challenges for Research and Management*. P 249–260.

BARSI J.A., BARKER J.L., SCHOTT J.R., 2003: An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. IGARSS03, 21-25 July 2003, Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France.

BARSI J.A., SCHOTT J.R., PALLUCONI F.D., HOOK S.J., 2005: Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments. *Earth Observing Systems X, Proc. SPIE Vol. 5882*, August 2005, San Diego, CA.

BONAN G. B., POLLARD D., THOMPSON S. L., 1992: Effect of boreal forest vegetation on global climate. *Letters to Nature*. Vol 359.

ČESKÝ ROZHLAS, © 1997-2022: Kutnohorsko se vzpamatovává z následků červnové vichřice (online) [cit.2021.11.20], dostupné z <https://region.rozhlas.cz/kutnohorsko-se-vzpamatovava-z-nasledku-cervnove-vichrice-7263218>.

DOBROVOLNÝ P., 1998: Dálkový průzkum Země, Digitální zpracování obrazu. Vydáno 1998. Masarykova univerzita Brno.

GOOD E. J., GHENT D. J., BULGIN C. E., REMEDIOS J. J., 2017: A spatiotemporal analysis of the relationship between near-surface air temperature and satellite land surface temperatures using 17 years of data from the ATSR series, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 122, 9185–9210.

HAIS M., KUČERA T., 2009: The influence of topography on the forest surface temperature retrieved from Landsat TM, ETM + and ASTER thermal channels. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64 (2009) 585–591.

HORÁK J. 2014: DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava Hornicko-geologická fakulta, Ostrava.

HUISMAN O., de BY R. A., 2009: Principles of Geographict Information Systems. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.

CHEN J., SAUNDERS S. C., CROW T. R., NAIMAN R. J., BROSOFSKE K. D., MROZ G. D., BROOKSHIRE B. L., FRANKLIN J. F., 1999: Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology. *BioScience* Vol. 49 No. 4.

KAYET N., PATHAK K., CHAKRABARTY A., SAHOO S., 2016: Spatial impact of land use/land cover change on surface temperature distribution in Saranda Forest, Jharkhand. *Model. Earth Syst. Environ.* (2016) 2:127.

KROPÁČEK J., MORAVEC D., KOMÁREK J., 2020: Dálkový průzkum Země I.

LEVIN N, 1999: Fundamentals of Remote Sensing. 1st Hydrographic Data Management course, IMO - International Maritime Academy, Trieste, Italy, Remote Sensing Laboratory, Geography Department, Tel Aviv University, Israel, GIS unit, the Society for the Protection of Nature in Israel.

LIU Z., BALLANTYNE A. P., COOPER L. A., 2019: Biophysical feedback of global forest fires on surface temperature. *NATURE COMMUNICATIONS* | (2019) 10:214.

LIPSKÝ Z., 1998: Krajinná ekologie pro studenty geografických oborů. Praha, 1998.

LILLESAND T. M., KIEFER R. W., CHIPMAN J. W., 2015: Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken.

MILDREXLER D. J., ZHAO M., RUNNING S. W., 2011: A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, G03025.

NASA: Atmospheric Correction Parameter Calculator, dostupné z <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

NASA, ©2021: Electromagnetic Spectrum (online) [cit.2022.01.26], dostupné z https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_electromagnetic_spectrum.html.

NASA SCIENCE, ©2022: Anatomy of an Electromagnetic Wave (online) [cit.2022.01.26], dostupné z https://science.nasa.gov/ems/02_anatomy

NEWTON A. C., TEJEDOR N., 2011: Edited by Principles and Practice of Forest Landscape Restoration Case studies from the drylands of Latin America. Page Bros Ltd, Norfolk, UK.

OFICIÁLNÍ STRÁNKY MĚSTA ZRUČ NAD SÁZAVOU © 2022: Meteostanice (online) [cit.2021.12.12], dostupné z <https://www.mesto-zruc.cz/mesto/meteostanice/>

PLÁNKA L, 2007: Dálkový průzkum Země, modul 01, teoretické základy. Brno 2007.

RANDALL B. S., 2012: Introduction to Remote Sensing of Environment (RSE). MicroImages, Inc., 2001–2012.

REDDY M. A., 2008: Textbook of remote sensing and geographical Information systems. BS Publications.

REES W. G., 2012: Physical Principles of Remote Sensing. Printed in the United Kingdom at the University Press, Cambridge.

REESE H., OLSSON H., 2016: Remote sensing of forests. Umeå, Sweden.

REN Y., DENG L. Y., ZUO S. D., SONG, X. D., LIAO Y. L., XU CH. D., CHEN Q.,

SEZNAM.CZ a.s., ©2022: mapy.cz (online) [cit.2021.11.12], dostupné z <https://mapy.cz/letecka?x=15.1061127&y=49.7474477&z=12&source=muni&id=3855&ds=1>.

SVATOŇOVÁ H., LAUERMANN L., 2010: Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací. Vydáno 2010. Masarykova univerzita Brno.

TURNER M. G., GARDNER R. H., 2015: Landscape Ecology in Theory and Practice. Pattern and Process Second Edition. Springer-Verlag New York 2015.

VAN DE GRIEND A.A., OWE M., 1991: On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. International Journal of Remote Sensing. P 1119-1131.

VRÁBLÍKOVÁ J., VRÁBLÍK P., ZOUBKOVÁ L. a UNIVERZITA J.E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ., 2014: Tvorba a ochrana krajiny. Univerzita J.E.

WANG X., SHAO G., CHEN H., LEWIS B. J., QI G., YU D., ZHOU L., DAI L., 2012: n Application of Remote Sensing Data in Mapping LandscapeLevel Forest Biomass for Monitoring the Effectiveness of Forest Policies in Northeastern China. Springer Science+Business Media New York 2013.

WULDER M. A., LOVELAND T. R., ROY D. P., CRAWFORD CH. J., MASEK J. G., 2019: Remote Sensing of Environment: Current status of Landsat program, science, and applications. Civil and Environmental Engineering Faculty Publications. P 181.

UNIVERSITY OF BENIN: Training Course 2, REMOTE SENSING AND GIS.

USGS: Landsat Collection 1 Level 1 Product (online), dostupné z <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění.

ZEMEK F., 2014: Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.v.

ZHOU W., CAO F., WANG G., 2019: Effects of Spatial Pattern of Forest Vegetation on Urban Cooling in a Compact Megacity. *Forests* 2019, 10, 282.

9 Přílohy

PLOCHA	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
0	1459	1313100	23,95	63,24	39,28	26,58	3,01	38786,71
1	577	519300	23,94	31,59	7,65	25,59	1,52	14767,44
2	2361	2124900	22,13	44,50	22,37	24,68	1,73	58262,20
3	1242	1117800	22,96	29,09	6,13	24,80	1,02	30795,88
4	6591	5931900	22,73	33,75	11,02	24,95	1,48	164432,95
5	4328	3895200	22,51	33,20	10,68	24,63	1,49	106609,17
6	5156	4640400	22,67	33,68	11,01	24,71	1,38	127419,61
7	4463	4016700	22,04	37,67	15,63	24,18	1,37	107928,52
8	1204	1083600	22,62	29,13	6,51	24,09	0,80	29000,01
9	2225	2002500	22,16	31,66	9,49	23,69	1,10	52706,13
10	1991	1791900	22,40	28,21	5,80	24,33	0,92	48450,45
11	8459	7613100	21,99	34,73	12,74	24,46	1,57	206943,39

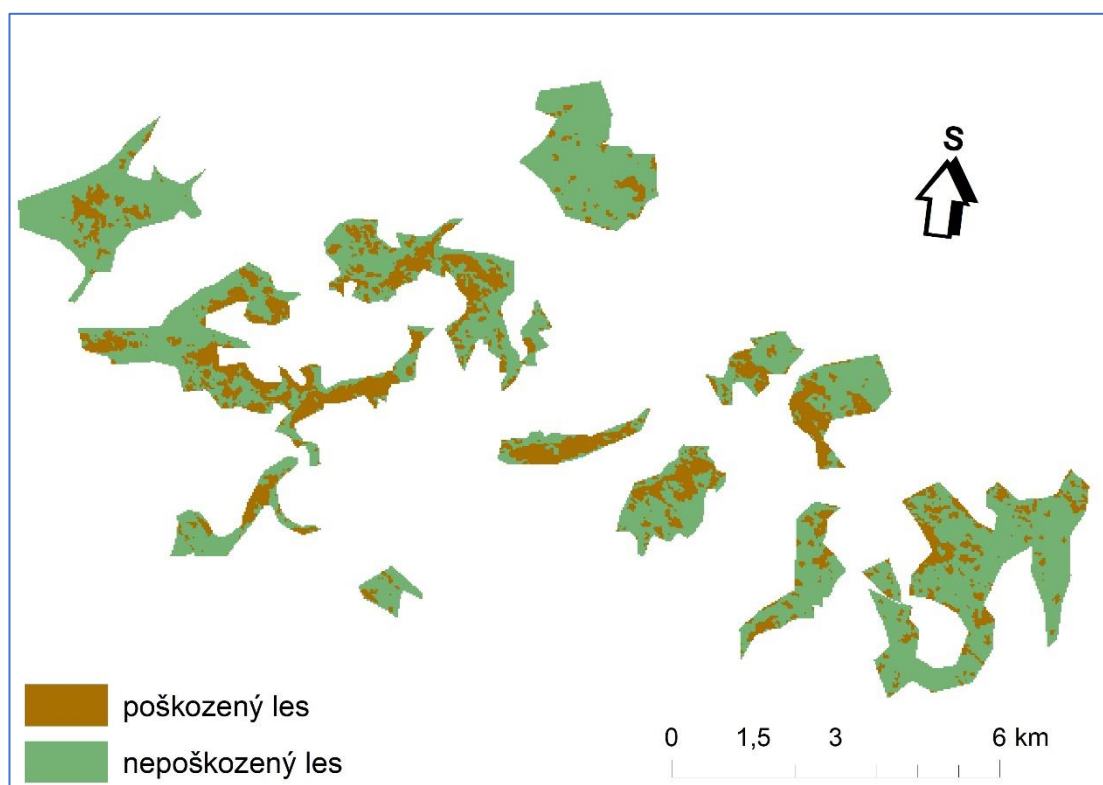
Příloha 1 – tabulka statistik pro červen 2007.

PLOCHA	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
0	1459	1313100	24,75	58,30	33,56	31,10	4,50	45376,67
1	577	519300	23,98	35,35	11,37	26,94	2,21	15541,64
2	2361	2124900	23,33	51,52	28,18	29,64	4,05	69969,15
3	1242	1117800	24,86	47,19	22,34	33,83	5,03	42017,97
4	6591	5931900	22,60	50,26	27,67	31,02	5,57	204428,62
5	4328	3895200	21,92	38,71	16,79	26,66	2,82	115365,74
6	5156	4640400	22,86	44,57	21,70	29,80	4,01	153642,05
7	4463	4016700	21,66	44,29	22,63	25,58	3,10	114159,84
8	1204	1083600	24,13	45,98	21,85	29,40	4,18	35391,58
9	2225	2002500	21,36	48,93	27,57	29,69	7,19	66064,10
10	1991	1791900	22,01	40,53	18,52	27,21	3,25	54178,06
11	8459	7613100	21,04	44,94	23,90	25,27	3,29	213783,06

Příloha 2 - tabulka statistik pro červen 2009.



Příloha 3 - obrázek jednotlivých ploch lesů v roce 2009 v pravých barvách. (zdroj: autor, podkladová data USGS)



Příloha 4 - obrázek reklasifikovaných jednotlivých ploch lesů v roce 2009. Obrázek slouží k vizuálnímu posouzení kvality klasifikace poškozených lesů z přílohy 3. (zdroj: autor)

plocha	metry čtvereční celkem	úbytek lesa v metrech čtverečních	úbytek lesa v %
0	1310020	601200	45,9
1	516449	140400	27,2
2	2125500	1091700	51,4
3	1117570	817200	73,1
4	5912120	3177900	53,8
5	3895640	940500	24,1
6	4634890	2458800	53,0
7	4024440	555300	13,8
8	1089440	539100	49,5
9	2004980	1106100	55,2
10	1790970	693000	38,7
11	7621590	2447900	32,1

Příloha 5 - tabulka hodnot úbytku lesa jednotlivých ploch v metrech čtverečních a procentech.

	Venkovní teploty		Červen
datum	7:00	14:00	21:00
11.	17,70	29,40	24,70
12.	18,10	29,10	23,30
13.	16,30	28,00	24,30
14.	18,90	26,70	22,60
15.	16,70	29,90	25,70
16.	18,40	31,00	23,60
17.	16,40	22,70	20,90
18.	14,40	25,20	23,70
19.	15,10	25,60	24,00
20.	16,50	29,30	24,40
21.	17,30	32,70	28,30
22.	19,40	19,40	19,40
23.	17,60	23,60	17,10
24.	15,50	19,90	16,20
25.	13,60	25,00	22,30

Příloha 6 – tabulka teploty vzduchu ve stupních Celsia pro červen 2007. (meteostanice, Zruč nad Sázavou)

	Venkovní teploty		Červen
datum	7:00	14:00	21:00
1.	7,60	11,40	13,50
2.	11,50	15,40	12,90
3.	11,30	18,90	16,10
4.	11,80	14,70	11,70
5.	8,90	12,10	11,20
6.	6,40	14,50	11,30
7.	7,90	14,60	12,90
8.	11,30	20,60	15,80
9.	13,90	20,50	18,20
10.	14,70	23,80	19,40
11.	14,00	17,30	17,90
12.	11,80	17,30	15,00
13.	10,20	14,40	9,80
14.	6,40	18,30	17,60

Příloha 7 - tabulka teploty vzduchu ve stupních Celsia pro červen 2009. (meteostanice, Zruč nad Sázavou)