



Zemědělská
fakulta
Faculty
of Agriculture

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra aplikované ekologie

Diplomová práce

Vliv způsobu využití krajiny na místní klima

Autor práce: Bc. Vít Růžička

Vedoucí práce: doc. Ing. Jakub Brom, Ph.D.

České Budějovice
2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Podpis

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je analýza vlivu způsobu hospodaření v CHKO Třeboňsko na místní klima a hledání vzájemných souvislostí. Pro samotnou práci a následnou prezentaci výsledků pomocí grafů byla použita současná a historická data dálkového průzkumu Země z družic Landsat. K vyhodnocení bylo nezbytné praktické zvládnutí metodického postupu zpracování satelitních dat získaných z programu Landsat, včetně analýzy dynamických veličin. Hodnotícími ukazateli byly zejména teplota povrchu a spektrální indexy NDVI a NDMI. Zatímco množství vegetace a vlhkosti za sledovaný časový úsek v krajině mírně vzrostly, teplota zůstala stejná, nebo mírně klesla. Na základě zjištěných údajů je možné předpokládat, že na místní klima na Třeboňsku má vliv vegetace pomocí evapotranspirace a regionální klimatické změny.

Klíčová slova: krajina, využívání krajiny, místní klima, dálkový průzkum Země, spektrální indexy, vegetace

Abstract

The aim of this diploma thesis is to analyze the influence of farming in the protected landscape area Třeboňsko on the local climate, and to search for mutual connections. Current and historical data from Earth remote sensing from Landsat satellites were used for the work itself and the subsequent presentation of the results using graphs. For the evaluation, it was necessary to master the practical procedure of processing satellite data obtained from the Landsat program, including the analysis of dynamic quantities. The evaluation indicators were mainly surface temperature and spectral indices NDVI and NDMI. While the amount of vegetation and humidity in the landscape increased slightly over the observed period, the temperature remained the same or decreased slightly. Based on the obtained data, it is possible to assume that the local climate in the Třeboň region is influenced by vegetation through evapotranspiration and regional climate change.

Keywords: landscape, land use, local climate, remote sensing, spectral indices, vegetation

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Jakubu Bromovi, Ph.D. za odborné vedení, profesionální přístup a zároveň za trpělivost a ochotu. Neméně bych chtěl poděkovat svojí přítelkyni Dáše Beníškové za vytvoření vynikajících podmínek k vypracování diplomové práce a podporu nejen v posledních měsících, ale během celého studia.

Obsah

Úvod.....	7
1 Literární rešerše.....	8
1.1 Dálkový průzkum krajinného pokryvu.....	8
1.2 Základní principy DPZ – optické a termální vlastnosti povrchů.....	9
1.3 Spektrální indexy.....	10
1.4 Termální data.....	11
1.5 Klima.....	11
1.6 Mikroklima.....	11
1.7 Místní počasí.....	12
1.8 Místní klima.....	12
1.9 Rozdíl mezi klimatem a počasím.....	13
1.10 Vzájemný vztah krajinného pokryvu a teploty.....	13
1.11 Význam vegetace při utváření klimatu.....	14
1.12 Evapotranspirace a její vztah k teplotě a okolním podmínkám.....	15
1.13 Evapotranspirace a další procesy v rostlinách ovlivňující klima.....	17
1.14 Vliv mokřadů na klima.....	18
1.15 Malý a velký vodní cyklus v souvislosti s klimatem.....	19
1.16 Dopady hospodaření na krajinu.....	20
1.17 Výsledky předchozích studií mikroklimatu na Třeboňsku.....	22
2 Cíle práce.....	23
3 Metodika.....	24
3.1 Zájmové území.....	24
3.1.1 Vytvoření zájmových oblastí.....	26
3.1.2 Zájmová oblast 1 – Třeboň.....	27
3.1.3 Zájmová oblast 2 – Nadějská rybníční soustava.....	28
3.1.4 Zájmová oblast 3 – pastviny u Nových Hradů.....	30

3.2	Získání snímků	31
3.3	Použitý software	32
3.4	Pracovní postup	32
4	Výsledky	34
4.1	NDMI	34
4.2	NDVI	35
4.3	Teplota	36
5	Diskuse	38
	Závěr	41
	Seznam použité literatury	42
	Seznam obrázků	47
	Seznam grafů	48
	Seznam tabulek	49
	Seznam použitých zkratk	50

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením způsobu využití krajiny na místní klima na území CHKO Třeboňsko.

Hospodaření v krajině CHKO Třeboňska je poměrně specifické. Charakterizuje ho už samotné zařazení mezi chráněné krajinné oblasti s přírodními rezervacemi a památkami. Mezi další specifika krajiny patří velké množství mokřadů, rybníků a rašelinišť. I přes tyto aspekty, které nepřejí velkým zásahům, se místní krajina v posledních několika desetiletích poměrně dynamicky měnila. Hospodaření v krajině a s ním i časová a prostorová distribuce vegetačního krytu bylo jiné před změnou politického systému v roce 1989, změnilo se po ní a výrazných proměn doznalo i v uplynulých dvou dekáдах. Se změnou způsobu hospodaření mohou souviset změny místního klimatu a lze předpokládat, že existují vzájemné interakce.

Diplomová práce respektuje teorii, že vegetace s dostatečným přísunem vody je schopna ochladit povrch zvýšením latentního tepelného toku pomocí evapotranspirace. Vegetace v krajině má tedy prokazatelný vliv na místní klima (Hesslerová a kol., 2013).

Další z předpokladů, který se týká vztahu krajinného pokryvu a místního klimatu, říká, že existuje silná závislost slunečního záření dopadajícího na povrch země a následně i teploty vzduchu na srážkovém cyklu. Tato teorie tak představuje nový pohled na příčinu změny klimatu, která je přisuzována postupnému úbytku trvale funkční vegetace a probíhající globální desertifikaci kontinentů (Kovářová, 2011).

K vyhodnocení místního klimatu byla použita data týkající se vlhkosti, vegetace a teploty. Výsledky byly prezentovány jako časové řady formou grafů, které následně sloužily k hledání příčin změny místního klimatu.

Práce se skládá z několika hlavních částí. Literární rešerše se věnuje problematice místního klimatu, evapotranspiraci a změnám ve vegetačním krytu. V cílech práce a metodice jsou popsány konkrétní cíle, zájmové oblasti a postup zpracování dat. Ve výsledcích jsou pomocí grafů zpracována satelitní data do časových řad. Na konci práce se nachází diskuse výsledků dat a hledání souvislostí se změnou krajiny.

Tato práce tedy sleduje vývoj klimatu CHKO Třeboňsko pomocí dat z družicových snímků satelitů Landsat v časové řadě přibližně 40 let a hledá souvislosti změn v krajině se změnami klimatu.

1 Literární rešerše

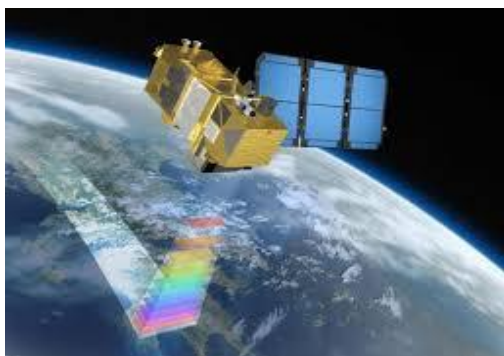
1.1 Dálkový průzkum krajinného pokryvu

Ke zkoumání krajiny lze využít dálkového průzkumu Země. Za několik posledních desetiletí prošel tento obor dynamickým vývojem a dnes slouží k velice přesnému určení rozmanitých druhů dat.

Za počátek vzniku krajinné ekologie se považuje doba, kdy ekologům „narostla křídla“. V průběhu světových válek v 1. polovině 20. století byly zdokonaleny techniky leteckého průzkumu natolik, že se brzy začalo letecké snímkování používat i pro výzkum krajiny. Otevřely se nové možnosti pochopení vztahů v krajině, které vyplývají z prostorového uspořádání ekosystémů, z tvaru jejich ploch a dalších vlastností. V druhé polovině 20. století pak došlo k dalšímu dramatickému rozvoji dálkového průzkumu krajiny s využitím satelitního snímkování. Dnes můžeme podrobně analyzovat vlastnosti krajiny na základě multispektrálních družicových snímků až neuvěřitelné přesnosti, aniž bychom vstoupili do krajiny (Bárta et al., 2007).

Velkou výhodou družicových snímků je jejich ukládání do centrálních databází a tedy možnost zpětně zobrazit minulá období. Tím se otevírají možnosti vytvořit časové řady a porovnávat změny v krajině.

Mapy krajinného pokryvu nabízí nejen přehled o aktuálním využití krajiny, ale díky opakovanému zpracování družicových snímků umožňují přehledně sledovat a hodnotit změny probíhající v naší krajině. S pomocí databází lze zajistit podporu ochraně ekosystémů, sledovat důsledky klimatických změn nebo lesních kalamit, vyhodnocovat rozvoj zemědělství nebo například analyzovat změny příměstské krajiny (Bárta et al., 2007).



Obrázek 1.1: Družice Sentinel 2 mapující povrch planety
(<https://www.mechanizaceweb.cz/dalkovy-pruzkum-zeme>, 2013)

1.2 Základní principy DPZ – optické a termální vlastnosti povrchů

Každý povrch má svým způsobem unikátní spektrální charakteristiku, něco jako otisk lidského prstu. Pomocí spektrální křivky (ať už odraženého, či vyzářeného záření) lze od sebe odlišit povrchy, které jsou pouhým okem nerozlišitelné. Lze klasifikovat povrchy s podobnou spektrální odezvou do tematických skupin a podrobnou analýzou spektrální křivky lze odvodit některé (bio-)chemické, strukturální či fyzikální vlastnosti zkoumaných povrchů (Zemek et al., 2013).

Pro tuto práci jsou významné tři povrchy: vegetace, půda a voda.

VEGETACE

Spektrální křivka odrazivosti vegetace má v oblasti 400 až 3000 nm velmi charakteristický tvar. Ve viditelné oblasti je odrazivost ovlivněna především silnou absorpcí rostlinných fotosynteticky aktivních pigmentů, jako jsou karotenoidy, xantofyly a hlavně chlorofyly (ty absorbují hlavně kolem 450 až 660 nm). Pro blízkou infračervenou část spektra je typický plochý tvar křivky s vysokými hodnotami odrazivosti, která je zejména ovlivňována vnitřní strukturou listu a celkovým uspořádáním porostu (Zemek et al., 2013).

PŮDA

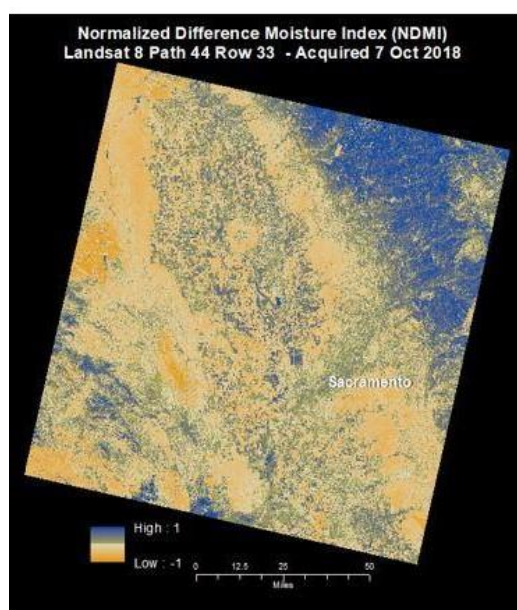
Spektrální projev půdy je ovlivněn čtyřmi hlavními faktory: minerálním složením, půdní vlhkostí, obsahem organické hmoty a zrnitostí. V odrazivé části spektra hraje významnou roli právě obsah organické hmoty, která přesáhne-li 2 % v obsahu, sníží celkovou odrazivost, a její spektrální odezva tak zamaskuje absorpční pásma obsažených minerálů (Zemek et al., 2013).

VODA

Velmi čistá voda pohltí (případně propustí) převážnou část dopadajícího EM záření a odráží je pouze mírně v modrém pásmu (400–500 nm), proto je křivka odrazivosti téměř plochá a dosahuje minimálních hodnot. Nicméně přítomnost rozpuštěných sedimentů, planktonu a vodních rostlin může výrazně změnit odrazivost jak ve viditelných, tak i v infračervených vlnových délkách (Zemek et al., 2013).

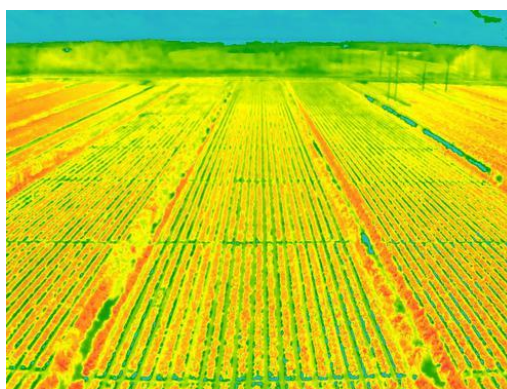
1.3 Spektrální indexy

NDMI – Normalized Difference Moisture Index – je normalizovaný rozdílový vlhkostní index. NDMI se používá ke stanovení obsahu vegetační vody. Vypočítává se jako poměr mezi hodnotami NIR a SWIR (Jin a Sader, 2005).



Obrázek 1.2: Satelitní snímek NDMI (sgs.gov/media/images/landsat-surface-reflectance-and-normalized-difference-moisture-index, 2020)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index – je normalizovaný rozdílový vegetační index. NDVI se používá ke kvantifikaci vegetační zeleně a je užitečný pro pochopení hustoty vegetace a hodnocení změn ve zdraví rostlin. NDVI se vypočítá jako poměr mezi červenými (R) a blízkými infračervenými hodnotami (NIR) (Tucker a Compton, 1979).



Obrázek 1.3: Zobrazení indexu NDVI (skyopsys.com/agriculture, 2020)

1.4 Termální data

Termální data jsou obrazová data, která zachycují rozložení teploty zemského povrchu a nabízejí hodnotnou informaci využitelnou v řadě aplikací různých oborů, jako jsou hodnocení energetické bilance a evapotranspirace, hodnocení teploty vodních těles, hodnocení vegetace, mineralogické mapování, urbánní studie, teplotní projevy vulkánů, analýza minových polí, detekce odvodnění, archeologické studie a podobně (Zemek et al., 2013).

K získání termálních lze využít například teplotní vrstvy band6 u Landsatu 5, respektive band10 u Landsatu 8.

1.5 Klima

Klima se definuje jako střední fyzikální stav klimatického systému, který se skládá z atmosféry, hydrosféry (moře a oceány), kryosféry (ledovce a ledovcová pole), litosféry (zemské kůry) a biosféry (rostliny a živočichové), které jsou těsně provázány. Proto je klima určeno souborem časově zprůměrovaných veličin, které popisují strukturu a chování různých částí klimatického systému a jejich vzájemných korelací.

Samotné klima ještě dále dělíme na několik dalších složek, mimo jiné na mikroklima, místní počasí a místní klima (Natura plus online, 2021).

1.6 Mikroklima

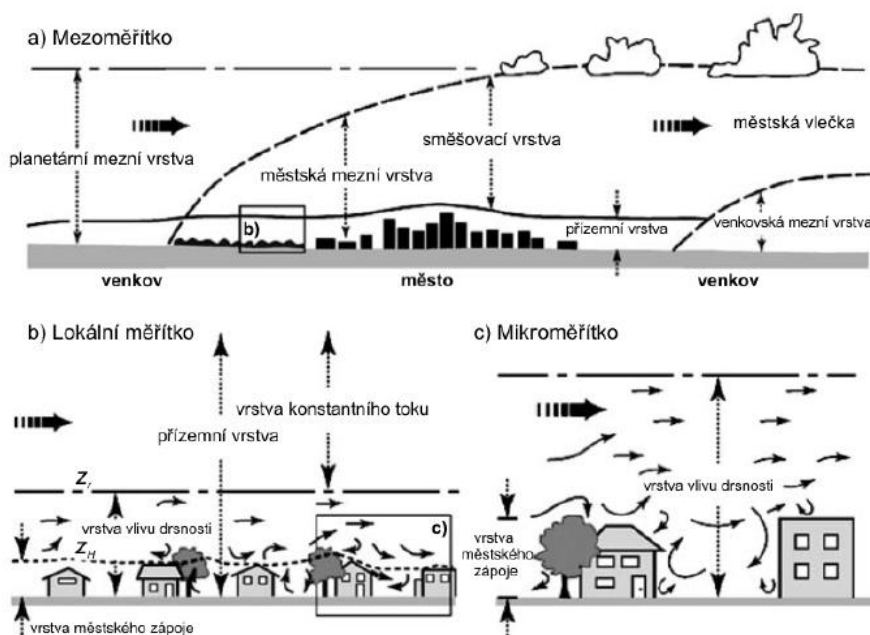
Mikroklima je klima nejmenších prostorů obvykle o horizontálních rozměrech do 1 km², v němž se uplatňují vlivy cirkulačních prvků s jakoukoliv polohou osy vřív. Praktičtěji pojaté definice spojují mikroklima s homogenním aktivním povrchem, nad nímž se podmínky utváření mikroklimatu liší od okolí (např. mikroklima pole, lesa, terénních tvarů, ulic). Mikroklima je vertikálně omezeno na vrstvu vzduchu přiléhající k zemskému povrchu, v níž se projevují odlišnosti od klimatu širšího okolí (Elektronický meteorologický slovník online, 2017).

1.7 Místní počasí

Místní počasí je počasí v určité oblasti (řádově od několika km² do několika tisíc km²), které je odlišné od počasí v sousedních oblastech, a to za téže povětrnostní situace. Je podmíněno především vlastnostmi aktivního povrchu a orografickými podmínkami blízkého a vzdálenějšího okolí. V hodnotách některých meteorologických prvků se též uplatňuje denní a roční doba. Zvláštnosti místního počasí se projevují ve směru a rychlosti větru, v dohlednosti, v množství a výšce oblaků, v intenzitě a trvání srážek, v teplotě vzduchu apod. (Elektronický meteorologický slovník online, 2017).

1.8 Místní klima

Místní klima je klima, které je těsně vázáno na morfologii zemského povrchu, jeho geologické složení a rostlinnou pokrývku. Vyvíjí se také působením mikroklimatu, které je v jeho dosahu. Vertikálně je vymezeno výškou mezní vrstvy atmosféry. V rozsahu místního klimatu mohou vznikat místní cirkulace, např. horský a údolní vítr, vytvářet se jezera studeného vzduchu apod. (Elektronický meteorologický slovník online, 2017).



Obrázek 1.4: Schéma místního městského klimatu podle měřítka (is.muni.cz, 2012)

1.9 Rozdíl mezi klimatem a počasím

Počasí je definováno jako okamžitý stav atmosféry nad daným místem. Mění se z hodiny na hodinu, ze dne na den, sezónu od sezóny, rok od roku. Z pohledu několika desítek let však vytváří režim, který je pro dané území charakteristický. Klima je dlouhodobý charakteristický režim počasí, podmíněný bilancí energie, atmosférickou a oceánskou cirkulací, vlastnostmi zemského povrchu a činností člověka. Na vytváření zemského klimatu se tedy nepodílí pouze atmosféra, ale i procesy v ostatních složkách klimatického systému. Zjednodušeně lze říct, že klima (nebo podnebí) je „průměrné počasí“ za několik desetiletí. K jeho popisu používáme parametry jako např. průměrná teplota vzduchu, průměrné srážky, délka a intenzita slunečního svitu, rychlost větru, vlhkost vzduchu a dalších klimatických veličin za delší období alespoň 30 let (v současné době se většinou používá období let 1961 až 1990). Nelze však hovořit pouze o průměrných hodnotách, ale při popisu klimatu je třeba uvést i veličiny, které vyjadřují jeho kolísání (např. meziroční proměnlivost, extrémní hodnoty apod.) (Český hydro-meteorologický ústav on-line, 2007).

1.10 Vzájemný vztah krajinného pokryvu a teploty

Teplota ovlivňuje rostliny v krajině a rostliny mohou ovlivňovat okolní teplotu a místní klima.

Rostliny mohou přežít celou škálu atmosférických teplot (-89 až 58 °C: McFarlan), které se vyskytují na povrchu Země, a někdy dokonce ještě vyšší teploty (až 70 °C), které se vyskytují v pouštních půdách, kde rostou masivní pouštní rostliny, jako jsou kaktusy (Nobel, 1988). Obzvláště odolná jsou semena, i když jiné tkáně a části rostlin některých druhů mohou také přežít extrémně široký teplotní rozsah. Většina rostlin však může růst pouze v mnohem omezenějším rozsahu teplot od bodu mrazu do přibližně 40 °C, zatímco ideální růst se blíží maximu v ještě omezenějším rozsahu teplot, který závisí na druhu, fázi růstu a předchozím prostředí (Jones, 1992).

Teplota jednoznačně ovlivňuje rostliny. Existuje ale proces, kterým rostliny zpětně ovlivňují okolní mikroklima a tedy i teplotu. Nazývá se evapotranspirace.

Snad nejdůležitější vlastností rostlin pro klima krajiny i celé planety je schopnost získávat pro své biochemické pochody vodu z půdy či okolí, rozvádět ji po celém organismu a průduchy v listech či jehlicích ji uvolňovat do ovzduší. Je-li vzrostlý strom dostatečně zásoben vodou, odpaří takto až stovky litrů vody za den. Jak je z fyziky známo, na výpar jednoho litru vody je potřeba asi 0,7 kWh energie. Pokud odpaří strom uvedených 100 litrů vody, spotřebuje na to 70 kWh sluneční energie, která je v tomto případě vázána ve vodní páře. Toto teplo se uvolňuje zpět až při kondenzaci vodní páry na vodu, zpravidla během noci. To umožňuje snižování vysokých teplot během horkých letních dnů a zase naopak nižší pokles teplot během noci. Rozdíl teplot korun lesních porostů a např. zastavěných ploch ve městě může v letních měsících dosahovat 20–25 stupňů Celsia. Povrch korun stromů má v horkém letním dnu 25 °C, ale beton chodníku nebo střešní krytina na domě jsou ve stejný den rozpáleny až na 50 °C a více (Kouzlo lesa online, 2019).

1.11 Význam vegetace při utváření klimatu

Rostliny mohou procesem fotosyntézy a transpirace ovlivnit teplotu atmosféry. Při fotosyntéze je využívána energie ze Slunce a spotřebováván oxid uhličitý k výrobě sacharidů potřebných k růstu. Spotřebováváním oxidu uhličitého, který je jedním ze skleníkových plynů, tak rostliny zpomalují oteplování planety. Procesem transpirace dochází k výparu vody z listů do okolí. Při výparu vody dochází ke spotřebě latentního tepla výparného, přibližně 2 500 J na 1 ml vody (Geiger et al., 2003). Vlivem vysoké spotřeby tepelné energie na výpar nedochází k významnému ohřevu prostředí a teplotní režim se stabilizuje (Hesslerová et al., 2013). Vysoký výpar může v důsledku vést ke zvýšení tvorby oblačnosti, která snižuje množství záření dopadajícího na zemský povrch (Rabin et al., 1990), a zároveň může zvyšovat úhrn srážek. Rostliny tedy mohou mít značný vliv na globální klima. Nastalo-li by rozsáhlé sucho, ztrátou vegetace by mohly být povrchové teploty ještě vyšší (Pielke, 2001).

Vedlejší klimatické účinky lidské činnosti mají na krajinu zásadní dopad. Jsou výsledkem zásahu do přírodního systému. Negativně ovlivňují přirozenou energii a vodní cykly, čímž je ovlivněn a narušen celý klimatický systém (Oke, 2002).

Odstranění vegetace výrazně mění vlastnosti povrchu, a tím i tepelné, vlhkostní a aerodynamické charakteristiky, čímž je ovlivněna energetická bilance území. Je-li území

s odstraněnou vegetací rozsáhlé, změněná tepelná a vodní rovnováha může vést ke změnám klimatu a hydrologie území. Půda bez vegetace má menší schopnost vsaku, snižuje se evapotranspirace a odtokové poměry. Odstraněním vegetace vzniká nová geometrie povrchu a nová hodnota albeda (Oke, 2002).

Výrazný vliv na místní klima má vegetační kryt a jeho změny. Kovářová uvádí ve své disertační práci patrný rozdíl při měření teploty vzduchu a půdy na dvou blízkých stanovištích lišících se pouze vegetačním krytem (vrbový porost a ostřicová louka) (Kovářová, 2011).

Mírnější lokální klima ve vrbině lze vysvětlit ochranným vlivem vegetačního krytu, který v průběhu dne snižuje teplotu na stanovišti v důsledku větší evapotranspirace a většího vedení dopadajícího tepla do půdy a zároveň v nočních hodinách brání úniku tepla v lučném porostu a ve vrbině (Kovářová, 2011).

Dopad funkčního vegetačního krytu na místní klima je vlastně dvojitý. Pomocí zmíněné evapotranspirace přeměňuje vegetace dopadající sluneční energii na vodní páru, která se v noci mění částečně zpět na vodu a uvolňuje teplo. Tím vegetační kryt zmenšuje teplotní výkyvy v krajině.

Druhý dopad, který stabilizuje teplotu, spočívá v už zmíněném ochranném vlivu vegetačního krytu, který způsobuje jen postupné změny teploty vzduchu a půdy.

Uvedené závěry Kovářové jsou v souladu s teorií, že porost aktivně ovlivňuje okolní prostředí, zmírňuje lokální klima, udržuje větší relativní vlhkost vzduchu, snižuje denní teplotní amplitudu, a vytváří si tak podmínky vhodné pro svoji existenci.

1.12 Evapotranspirace a její vztah k teplotě a okolním podmínkám

Velký význam v krajinném klimatu má proces zvaný evapotranspirace.

Evapotranspirace je fyzikální proces, kterým se voda z kapalného či tuhého stavu přeměňuje na vodní páru. Termín evapotranspirace vznikl spojením slov evaporace (výpar z půdního nebo vodního povrchu nezakrytého vegetací) a transpirace (výdej vody z vegetace). Vyjadřuje se jako vrstva vody v milimetrech, která se za určitý čas uvolní do atmosféry. Hodnotu evapotranspirace ovlivňují především klimatické podmínky a půdní poměry (Naše voda online, 2018).

Ondok a Přibáň uvádí, že evapotranspirace měřená v průměrných letních dnech za několik sezón z vlhké louky v pásu mírné střední Evropy se pohybovala mezi 2 a 5 mm (Ondok a Přibáň, 1985).

Konkrétně je významná půdní vlhkost, intenzita vzlínání vody v půdě, reliéf (sklon, expozice, nadmořská výška), hloubka hladiny spodní vody, teplota vzduchu a teplota půdy, vítr, vlhkost vzduchu a atmosférický tlak. Na vodou nasycených půdách závisí výpar na pohybu vzduchu, většinou dosahuje hodnoty 10 až 15 mm denně. V podmínkách lesních porostů je výše výparu z povrchu půdy silně ovlivněna vegetační vrstvou.

Mezi nejvýznamnější meteorologické parametry ovlivňující evapotranspiraci patří sluneční záření jako největší energetický zdroj schopný přeměňovat vodu z kapalné fáze na páru. Množství slunečního záření závisí také na hustotě vzduchu a na oblačnosti, protože ji oblaka pohlcují a odráží (Naše voda online, 2018).

Hlavním činitelem pro přenos páry je vlhkost vzduchu. V posledních době se na našem území v nočních hodinách vlhkost vzduchu pohybuje v intervalu 80 až 90 % a ani přes den na mnohém území neklesá pod 60 % (Naše voda online, 2018).

Průběh přenesení vodní páry do okolního vzduchu je závislý na rychlosti větru a vzdušné turbulenci. Rychlejší výměna vzduchu nad odpařovací plochou zvyšuje evapotranspiraci. S rostoucí nadmořskou výškou, která má za následek snížení atmosférického tlaku, se vypařování zvyšuje. Přímé měření evapotranspirace je velmi obtížné, metody jsou velmi drahé a vyžadují odbornou obsluhu. Proto využíváme k měření evapotranspirace nepřímé metody, které ji dokážou vyčíslit díky znalosti hydro-meteorologických dat běžně měřených na klimatických stanicích. Relativně snadno lze měřit aktuální výpar pomocí výparoměrů, které měří výpar z volné vodní hladiny (Naše voda online, 2018).

Fázová změna vody z kapalného na plynné skupenství je spojena se spotřebou velkého množství energie. Entalpie (veličina vyjadřující tepelnou energii uloženou v jednotkovém množství látky) kapalné vody je $2,5 \text{ kJ.g}^{-1}$. Evapotranspirace či latentní tok tepla výparu představují značné toky energie a vody v krajině, v řádu několika stovek W.m^{-2} . Např. při spotřebě 250 W.m^{-2} se vypaří $100 \text{ mg H}_2\text{O m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Pokorný et al., 2017).

To představuje výpar 100 litrů za sekundu z km^2 , což je o řád více, než je běžný povrchový odtok z tohoto území. Spotřebovaná energie je 250 MW.km^{-2} . Jinými slovy, je to množství energie, o které byl díky výparu vody ochlazen km^2 krajiny. Sluneční energie byla přeměněna na latentní teplo výparu. Pokud by v krajině nebyla přítomna voda, energie by nebyla vázána do vodní páry a 250 MW.km^{-2} by se uvolnilo ve formě zjevného tepla, které by krajinu naopak oteplilo (Pokorný et al., 2017).

Evapotranspirace je mocným nástrojem, který má v krajině dvojitý klimatizační efekt:

- a) evapotranspirace ochlazuje krajinu procesem přeměny vody do vodní páry; energie ze slunečního záření se spotřebuje na tuto fázovou změnu;
- b) v místech, kde dojde k následné kondenzaci vodní páry, se uvolní latentní teplo, které ohřeje okolí (Pokorný et al., 2017).

Evapotranspirace navíc velmi dobře odstraňuje a snižuje gradienty a vyrovnává rozdíly v teplotě; je spojena s růstem rostlin (primární produkce), příjmem látek, živin a oběhem (Pokorný et al., 2017).

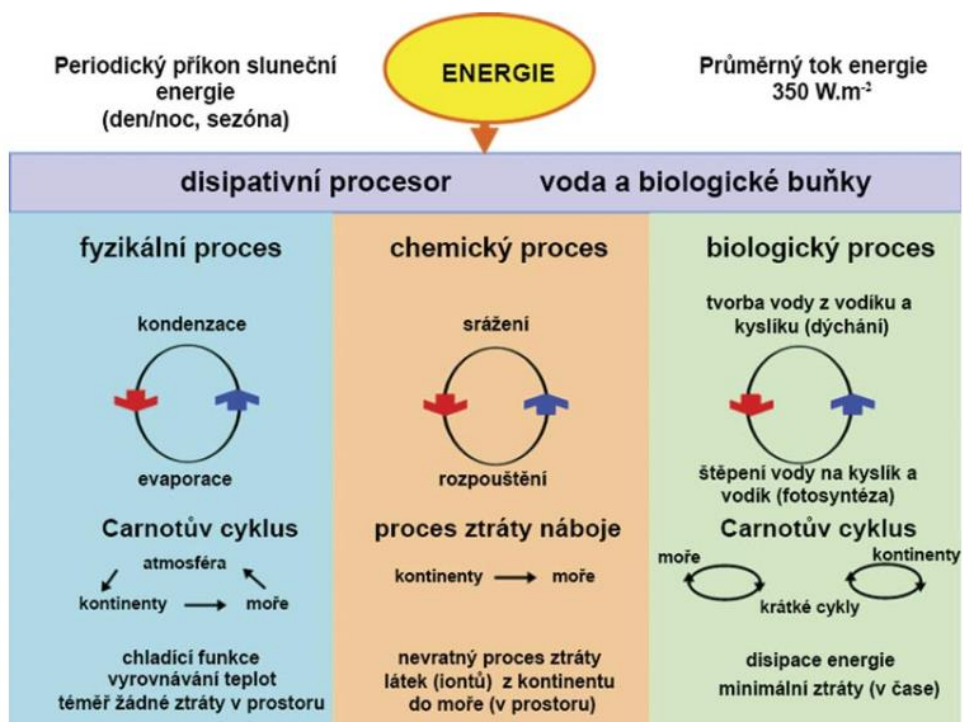
Krajina s nedostatkem vody je intenzivněji vysušována. Odvodnění mokřadů a odlesnění jsou příčinou změn energetických toků na zemském povrchu. Dochází ke snižování latentního toku tepla (tzn. snížení schopnosti vyrovnávat gradienty evapotranspirací) a současnému zvýšení toku zjevného tepla (s důsledky, jako je růst teploty a turbulentního proudění vzduchu, vznik silného větrného proudění, cyklón). Vzduch, který se ohřívá nad odvodněnými a sluncem vyhřátými plochami, stoupá vzhůru a vysušuje též svoje okolí, zvyšuje výpar vody z okolních vodních ploch a okolní vegetace (Pokorný et al., 2017).

1.13 Evapotranspirace a další procesy v rostlinách ovlivňující klima

Evapotranspirace není jediným procesem, kterým se živé systémy podílí na ovlivňování klimatu. Kromě fyzikálních procesů, mezi které evaporace a na ni navázaná kondenzace patří, mají na místní klima nezanedbatelný vliv i procesy chemické a biologické.

Voda jako energetický procesor a dynamická součást krajiny se podílí na disipaci (ve smyslu nerovnovážné termodynamiky) sluneční energie na úrovních:

- fyzikálních procesů – evapotranspirace a kondenzace,
- chemických procesů – rozpouštění a srážení,
- biologických procesů – fotosyntéza a dýchání (Pokorný et al., 2017).



Obrázek 1.5: Schéma disipačních schopností vody (vodnihospodarstvi.cz, 2021)

1.14 Vliv mokřadů na klima

Mokřady, které tvoří významnou část krajiny Třeboňska, jsou důležitým faktorem v utváření klimatu.

Mokřady působí přímo na lokální klima tak, že během dne své okolí chladí výparem vody (evapotranspirací). A v noci se skupenské teplo uvolňuje při kondenzaci vodní páry zpět na vodu. Mokřady tak přispívají k vyrovnávání tepelných rozdílů v čase i mezi místy.

Mokřady jsou významnými krajinnými prvky, které mají nezastupitelnou úlohu v hydrologickém cyklu. Jsou schopny zadržovat vodu a zmírňovat povodňové vlny v dolních částech povodí.

Studiem mokřadů se zabývala Rejšková, která dokázala, že více než polovina dostupné energie byla spotřebována vegetací v evapotranspiračních procesech (Rejšková, 2012).



Obrázek 1.6: Třeboňský mokřad
(www.kct-tabor.cz/gymta/ChranenaUzemiCR/Trebonsko, 2021)

Mokřady působí na lokální klima přímo: sluneční energie se váže v mokřadech a ve vegetaci zásobené vodou prostřednictvím rostlin a vody do vodní páry. Evapotranspirací se přeměňuje mnohonásobně více energie než při fotosyntéze.

Uvádí se, že mokřadní rostliny vypaří z m^2 cca 500–1 000 litrů vody za rok, což představuje 350 kWh. Mokřadní rostliny tedy fungují jako jednoduchý a velmi účinný klimatizační systém. Transpirace vegetace a její chladicí efekt je často považován za jakýsi vedlejší efekt než za mechanismus kontroly teploty vegetace a okolní teploty. Často se setkáváme s termínem „ztráta vody evapotranspirací“ (Pokorný et al., 2017).

1.15 Malý a velký vodní cyklus v souvislosti s klimatem

S místním klimatem souvisí vodní cyklus. Podle Kravčíka dělíme cyklus na malý a velký. Změny v cyklech mohou způsobit i změny celkového klimatu.

Velký vodní cyklus je výměna vody mezi oceánem a pevninou. Do atmosféry se každoročně vypaří okolo 550 tisíc km^3 vody. Z moří a oceánů se vypaří okolo 86 % a z pevniny 14 % z celkového výparu z povrchu Země. Z celkového úhrnu atmosférických srážek, které z výparu vzniknou, spadne 74 % nad moři a oceány a 26 % nad pevninami (Kravčík et al., 2007).

Z hlediska klimatu a místního klimatu je v souvislosti s velkým vodním cyklem důležité Gorshkovo tvrzení o aktivní biotické pumpě. Gorshkov se zabývá distribucí srážek nad pevninou v souvislosti s geofyzikálními a ekologickými principy vegetačního pokryvu v krajině. Zjednodušeně to znamená, že v krajině bez lesů a vegetace se atmosférická vlhkost z oceánu nedostane dostatečně daleko do vnitrozemí (Gorshkov a Makarieva, 2007).

Naproti tomu srážky nad rozsáhlými přírodními lesy nezávisí na vzdálenosti od oceánu, jak je ilustrováno pro povodí Amazonky, povodí Jeniseje a rovníkovou Afriku. To poukazuje na existenci aktivní biotické pumpy přepravující atmosférickou vlhkost z oceánu do vnitrozemí. Podle nově formulovaného fyzikálního principu se nízko položený vzduch pohybuje z oblastí se slabým odpařováním do oblastí s intenzivnějším odpařováním. Díky vysokému indexu plochy listů udržují přírodní lesy vysoké odpařovací toky, které podporují vzestupný pohyb vzduchu nad lesem a „nasávají“ vlhký vzduch z oceánu, což je podstata biotického čerpadla atmosférické vlhkosti. Dlouhodobá stabilita intenzivního suchozemského vodního cyklu je tedy nedosažitelná bez obnovy přírodních, soběstačných lesů v oblastech na celém kontinentu (Gorshkov a Makarieva, 2007).

Malý vodní cyklus je uzavřený koloběh vody, při kterém voda vypařená na pevnině spadne v podobě srážek nad stejným pevninským prostředím. Stejně jako nad pevninou existuje malý vodní cyklus nad oceánem. Pevnina si větší část svých srážek dotuje ze svého vlastního pevninského výparu (Kravčík et al., 2007).

Výpadek vody v malém vodním cyklu přímo souvisí s růstem extrémů počasí a klimatickými změnami.

Snížení nasycenosti povrchu půdy vlivem nedostatku vody snižuje schopnost krajiny odpařovat vodu a zvyšuje se podíl sluneční energie, která se mění v teplo (Kravčík et al., 2007).

1.16 Dopady hospodaření na krajinu

Podle Evropské agentury pro životní prostředí se zvyšuje podíl území a krajinného pokryvu naší planety ovlivněné lidskou činností. Zhruba 80 % rozlohy Evropy dnes utváří města, zemědělská krajina a hospodářské lesy.

Městské oblasti rostou, často na úkor úrodné zemědělské půdy. Betonové a asfaltové povrchy zakrývají půdu, čímž jí zabraňují v plnění jejích funkcí, jako je zadržování vody, výroba potravin a biomasy, regulace klimatu, tlumení účinků škodlivých chemických látek a poskytování stanovišť. Déšť dopadající na zastavěnou půdu a zpevněné povrchy odtéká a nevsakuje se do půdy, kde by mohl být filtrován, a zároveň tak doplňoval zásoby podzemní vody. Silnice, železnice, plavební kanály a města fragmentují krajinu, a tak uzavírají biologické druhy ve stále menších oblastech, a poškozují tak jejich rozmanitost. Způsob, jakým v Evropě využíváme půdu, je jedním z důvodů, proč EU nesměruje ke splnění svého cíle zastavit ubývání biologické rozmanitosti (Europa.eu online, 2021).

Mezi velké problémy v krajině patří například absence vegetace, snižování vody v krajině a snižování biodiverzity.

Absence vegetace – nejde jen o zástavbu, nové komunikace a jiné zpevněné plochy, ale také fakt, že velkou část krajiny pokrývají obrovská pole bez jakéhokoliv stromořadí nebo remízku. Chybějící vegetace způsobuje ohřívání na obrovských plochách. Srovnání klima pod korunami stromů v lese a vedle toho na poli po sklizni dává zcela názorný příklad o významu vegetačního pokryvu země.

Snižování výskytu vody v krajině – zatímco v krajině s dostatkem vody v půdě může vegetace plnit svou úlohu přírodní klimatizace (této roli přispívá také odpar z vodních hladin a mokřadů), v krajině bez vody je nejen vyšší teplota, ale i vyšší sucho, a tím pádem omezená fotosyntéza. Více vody krajinu ochlazuje a voda může obíhat v tzv. malém koloběhu vody.

Snižování biodiverzity – v posledních desetiletích jsme svědky negativních změn v krajině, ztráty některých druhů rostlin a živočichů a snížení abundance řady dalších. Na tomto snížení se do značné míry podílí i intenzifikace zemědělství. Zvyšování intenzity produkce se podepsalo na biodiverzitě v krajině, ale problémy se dotýkají i samotného zemědělského systému s vlivem na genetickou rozmanitost pěstovaných plodin a chovaných hospodářských zvířat (Šarapatka a Hejcman, 2004).

1.17 Výsledky předchozích studií mikroklimatu na Třeboňsku

Změnami klimatu v okolí Třeboně se v minulosti zabývala celá řada studií.

Dušek a kol. prováděl měření pomocí meteorologických stanic umístěných na Mokřích lukách u Třeboně (výtopa rybníku Rožmberk) a sledoval průměrnou, minimální a maximální teplotu v období 1977 až 2017. Došel k závěru, že teplota za sledované období postupně vzrostla a že vzestup teplot vzduchu pro jednotlivé měsíce roku byl různý. Podle Duška se změnil také charakter srážek. V měsíci dubnu, kdy došlo k nejvyššímu vzrůstu teplot, došlo zároveň k poklesu srážek. Podrobnou znalost, která se týká mikroklimatických změn v ostřicové louce, pokládá Dušek za důležitou z hlediska ekosystémových funkcí mokřadu v krajině (Dušek a kol., 2018).

K podobným výsledkům došla i Kovářová, která se zabývala změnou denních maxim a minim teploty vzduchu také na území Mokřích luk ve výtopě rybníka Rožmberk. Z výzkumu vyplynulo, že v 90. letech maximální teplota stoupla více než na jiných stanicích v České republice. Kovářová si to vysvětluje částečně změnou klimatu a částečně změnami místních podmínek, a to vysycháním krajiny a změnou vodního režimu (Kovářová, 2018).

Podrobněji se Kovářová věnovala stejnému tématu v disertační práci, kde potvrzuje silnou závislost slunečního záření dopadajícího na povrch země a následně i teploty vzduchu na srážkovém cyklu. Představuje tak nový pohled na příčinu změny klimatu, kde změna klimatu je přisuzována postupnému úbytku trvale funkční vegetace a probíhající globální desertifikaci kontinentů (Kovářová, 2011).

V souvislosti s měřením dat spojených s klimatem a mikroklimatem ve zmíněné oblasti Třeboňska je vhodné zmínit práci Hesslerové a kol., která se zabývala měřením denní dynamiky povrchové teploty záření různých typů krajinného pokryvu v kulturní krajině a jejích důsledků pro místní klima. Hesslerová a kol. si ve své práci ověřila předpoklad, že vegetace s dostatečným přísunem vody je schopna ochladit povrch zvýšením latentního tepelného toku pomocí evapotranspirace. Vegetace v krajině má tedy prokazatelný vliv na místní klima (Hesslerová a kol., 2013).

Další práce, která přímo nesouvisí s Třeboňskem, ale týká se mikroklimatu a vegetace, je studie Heldense a kol., kteří se zabývali mikroklimatem v zastavěné oblasti a zohledňovali při modelování městské zástavby výšku budov i výšku vegetace (Heldens a kol., 2017).

2 Cíle práce

Náplní této práce je analýza vlivu způsobu hospodaření vybraného území na místní klima s využitím metod dálkového průzkumu Země. Pro výzkum byla použita současná a historická data dálkového průzkumu Země z družic Landsat. Hodnotícími ukazateli byly zejména teplota povrchu a vegetační spektrální indexy NDVI a NDMI.

Mezi dílčí cíle jmenovitě patří:

1/ Stanovení tří konkrétních lokalit (Třeboň, Nadějská rybníční soustava, Novohradské pastviny) a seznámení se se studovanými lokalitami a praktické zvládnutí metodického postupu zpracování satelitních dat získaných z programu Landsat, včetně analýzy veličin (teplota povrchu, normalizovaný vegetační index a normalizovaný vlhkostní index).

2/ Zpracování zmíněných hodnot ze všech stanovených lokalit a jejich adekvátní statistické vyhodnocení v rozsahu uplynulých 40 let.

3/ Diskuse výsledků v širších souvislostech vlivu hospodaření na vegetační kryt, jeho časovou a prostorovou distribuci v krajině a jeho význam pro utváření místního klimatu. Mezi cíle patří také posouzení vlivu způsobu hospodaření na místní klima, hydrologii, biodiverzitu a další dopady v krajině. Součástí práce bude kritické zhodnocení daného stavu.

3 Metodika

3.1 Zájmové území

Zájmové území se nachází v jižních Čechách, přesněji uprostřed CHKO Třeboňsko, které leží v Třeboňské pánvi. Jedná se o tři body v krajině, kolem nichž byly opsány kružnice s poloměrem 5 km, a tím vznikly tři zkoumané oblasti s rozlohou 78,5 km². Záměrně byly vybrány tři odlišné biotopy: městská zástavba, rybniční soustava a pastvina.

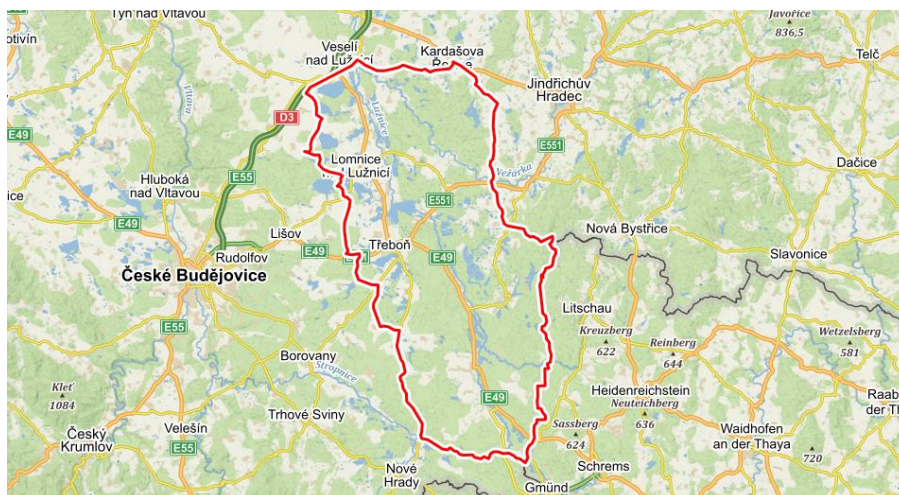
První bod se nachází v centru města Třeboně. Druhý bod se nachází v lokalitě Nadějské rybniční soustavy u obce Klec, která leží přibližně 10 km severně od Třeboně. Konečně bod třetí se nachází v pastvinách 5 km severně od Nových Hradů a přibližně 20 km jižně od Třeboně.

Necelou polovinu území CHKO Třeboňsko tvoří lesy jehličnatých monokultur, které postupně vytlačily původní pralesy, tvořené dubovými porosty s jedlemi, ve vyšších polohách pak původně převažoval buk.

Významný podíl v krajině tvoří mokřady, rybníky a jejich výtopy, rákosiny, mokré louky, ostřicové louky, rašeliniště a na ně navazující biotopy. Od roku 1991 je CHKO Třeboňsko uvedeno na seznamu mokřadů chráněných Ramsarskou úmluvou.

CHKO Třeboňsko je chráněné území o rozloze 700 km² založené v roce 1979 za účelem ochrany kulturní krajiny významně poznamenané člověkem, která má i přes to výraznou ochrannářskou hodnotu. Jedná se o plochou rovinatou krajinu, kde jsou lidské aktivity v určité rovnováze s přírodou. Výsledkem lidské činnosti je především důmyslná rybniční soustava, díky níž je Třeboňsko považováno za centrum rybníkářství. Oblast také patří mezi významná ptačí hnízdiště. Je zařazeno mezi biosférické rezervace UNESCO (Mapy online, 2021).

Hranice regionu přibližně vymezují obce České Velenice – Jakule – Trhové Sviny – Borovany – Lišov – Dolní Slověnice – Bošilec – Veselí nad Lužnicí – Zlukov – Doňov – Kardašova Řečice – Ratiboř – Plavsko – Stráž nad Nežárkou – Libořezy – státní hranice s Rakouskem – České Velenice.



Obrázek 3.1: mapa CHKO Třeboňsko (mapy.cz, 2021)

CHKO Třeboňsko se nachází uprostřed Třeboňské pánve, což je celek ve východní části Jihočeských pánví; 1 342,70 km², střední výška 457,0 m, střední sklon 1°17'; tektonicky podmíněná pánev převážně v povodí Lužnice, na JZ a Z Vltavy na svrchnokřídých (coniackých až santonských) a neogenních sedimentech, moldanubických horninách (na Z a V) a permských sedimentech (na Z); rovinný povrch uprostřed, plochý pahorkatinný reliéf na V a asymetrická hrát' s členitým pahorkatinným reliéfem na Z; nejvyšší bod *Baba* 583,2 m v Dobrovodské pahorkatině; CHKO Třeboňsko, biosférická rezervace UNESCO (Demek a Mackovčín, 2006).

Z hlediska zavedené klimatické rajonizace patří většina území Třeboňska do oblasti mírně teplé a mírně vlhké, s mírnou zimou. Průměrná roční teplota ve střední části území (Třeboň) je 7,8 °C, s nejméně chladným lednem -2,8 °C a nejteplejším červencem 18 °C, průměrná teplota vegetačního období (duben až září) je 14 °C. Průměrné roční srážky dosahují 570 mm. Nejvíce srážek spadne v červenci, v období letních bouřek. Průměrné trvání slunečního svitu je okolo 1 750 hodin ročně, s maximem 240 hodin v červnu. Relativní vlhkost vzduchu je v celé pánvi vlivem velkého množství otevřených vodních ploch značně vysoká a jen v letních měsících hodnoty denních průměrů klesají pod 75 % (AOPK ČR online, 2021).

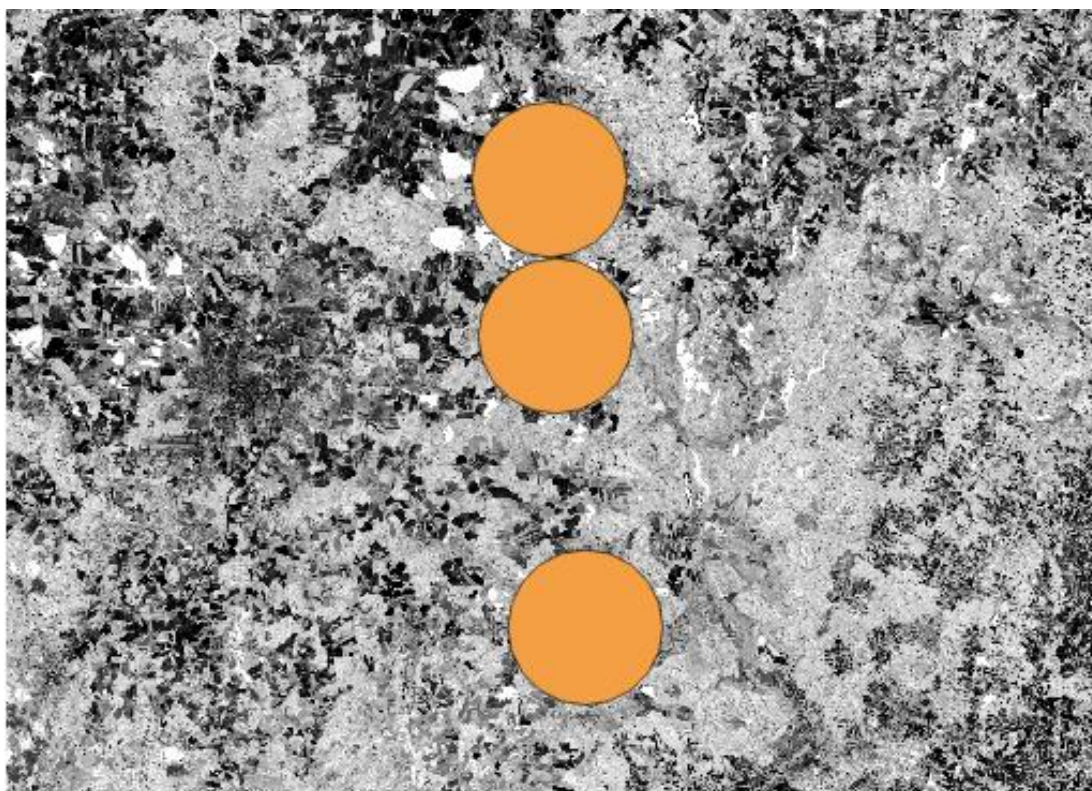
Pro vegetaci má největší význam celkový úhrn srážek ve vegetačním období. Podle Novákové (Nováková, 1971) je pro Třeboň charakteristický kontinentální charakter ročního chodu srážek, tj. většina srážek spadne v teplejší polovině roku (v období IV–IX 68 % ročního úhrnu, z toho 42 % v letních měsících). Nejvlhčí vegetační období (IV–IX) bylo v r. 1960 (587 mm), nejsušší pak v r. 1983 (307 mm) (Pokorný et al., 2018).

Zemědělská činnost ovlivňuje krajinu a její místní klima. Na místech, kde se nachází naše zájmové oblasti, je hospodaření v krajině poměrně specifické. Už samotné zařazení krajiny do CHKO s sebou nese charakteristické prvky a omezení. Dalším významným faktorem je rovinatý terén s výskytem rašelinišť a mokřadů.

Zemědělství nepatřilo na území Třeboňska dlouho k preferovaným způsobům využívání krajiny. Krajina byla přetvářena hlavně díky výstavbě rybníků a umělých vodotečí. Plocha zemědělské půdy se rozšiřovala jen pomalu v okolí osad a i dnes dosahuje pouze cca 28 % rozlohy CHKO, což je hluboko pod průměrem celých Čech i Moravy. Ve složení zemědělských kultur převládaly dlouho louky a pastviny. Díky pravidelnému kosení a pasení i drobných enkláv se na mnoha místech vytvořila cenná společenstva květnatých luk (AOPK ČR online, 2021).

3.1.1 Vytvoření zájmových oblastí

K vytyčení zájmového území byly využity vektorové vrstvy, tzv. buffery. Důvody stanovení a konkrétní charakteristiky jednotlivých zájmových oblastí jsou popsány v následujících kapitolách.



Obrázek 3.8: Vytvoření vektorové vrstvy s buffery (vlastní tvorba, 2021)

3.1.2 Zájmová oblast 1 – Třeboň

První bod byl vytyčen v centru města Třeboně. Kolem něj byl opsán kruh s poloměrem 5 km, a tím se vytvořila první posuzovaná zájmová oblast (dále zájmová oblast 1).

Městská zástavba byla vybrána záměrně pro pestrost zájmových oblastí a posouzení změn klimatu v čase nejen na zemědělské půdě a v prostředí rybníčních soustav, ale také v intravilánu obce a jejího přímého okolí.



Obrázek 3.2: Letecký snímek Třeboně (cbs-cesko.cz/trebon-a-okoli-z-nebe, 2021)

Město tvoří historické centrum se zámeckým parkem a okolní novější zástavba, která vznikla a dále vzniká především na východním a západním okraji města. Největším zásahem do okolní krajiny v posledních desetiletích bylo vybudování silničního obchvatu E551 ve směru od Jindřichova Hradce do Českých Budějovic, který byl vybudován na přelomu 80. a 90. let minulého století. Město je charakteristické lázeňstvím a turistickým ruchem. Továren a výrobních hal je tedy na jeho katastru minimum. V prostoru zájmové oblasti 1 se dále nachází intravilány dalších obcí, smíšené lesy, několik rybníků a pole s konvenční zemědělskou výrobou.



Obrázek 3.3: Mapka okolí Třeboně a vyznačená zájmová oblast 1 (vlastní tvorba, zpracováno pomocí mapy.cz, 2021)

3.1.3 Zájmová oblast 2 – Nadějská rybníční soustava

Nadějská rybníční soustava se nachází přibližně 10 km severně od Třeboně. Sestává z 16 rybníků, které jsou napájeny důmyslnou soustavou stok a náhonů.



Obrázek 3.4: Letecký snímek Nadějské rybníční soustavy (cbs-cesko.cz/trebon-a-okoli-z-nebe, 2021)

Při soustavě teče řeka Lužnice, která částečně napájí i odvádí vodu z rybníků. V prostoru zájmové oblasti 2 jsou dále intravilány obcí, převážně jehličnaté lesy (přibližně polovina zájmového území) a drobná pole s konvenční zemědělskou výrobou. Převládají zde hnědozemě a rašeliniště.

Co se týče půdy, celé Třeboňsko je v rámci Čech nejrozsáhlejší území, kde se jako půdotvorný substrát uplatňují především nezpevněné předkvartérní sedimenty na úkor obvyklých zvětralin pevných hornin. Rozšířené jsou pseudogleje a gleje. Organogenní (zejména rašelinné) půdy jsou zde z celých Čech nejpočetnější a vytvářejí plošně největší souvislé celky. Charakteristické je zde zastoupení hnědých půd (kambizem) v relativně nízké nadmořské výšce (AOPK ČR online, 2021).

Oblast Nadějské rybníční soustavy za posledních několik století nedoznala výrazných změn, za zmínku stojí snad jen regulace toku řeky Lužnice. Reliéf je rovinný s mírným sklonem od jihu k severu.



Obrázek 3.4: Mapka okolí Nadějské rybníční soustavy a vyznačená zájmová oblast 2 (vlastní tvorba, zpracováno pomocí mapy.cz, 2021)

3.1.4 Zájmová oblast 3 – pastviny u Nových Hradů

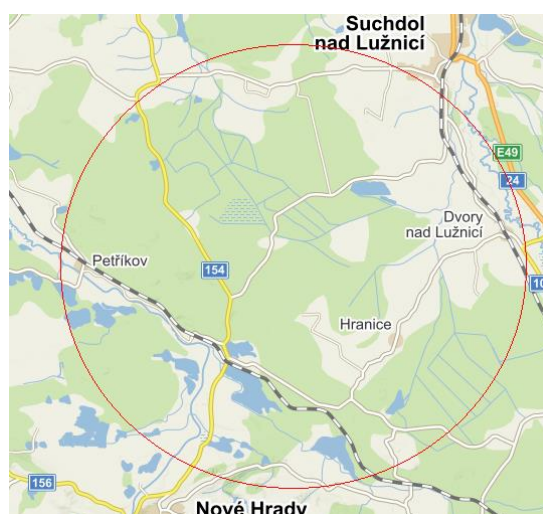


Obrázek 3.4: Novohradské pastviny (turistika.cz, 2021)

Louky a pastviny na Novohradsku byly vybrány pro celkovou pestrost zkoumaných oblastí. Poslední zájmovou oblastí k zastavěné ploše Třeboně a vodním plochám Nadějské soustavy jsou tedy pastviny 5 km severně od Nových Hradů.

Zdejší zemědělská činnost je definována charakteristickými přírodními podmínkami, a to především vyšší nadmořskou výškou oproti ostatním částem Třeboňska a členitým terénem. Pro zemědělskou výrobu z toho jasně plyne jako nejefektivnější řešení chov masného dobytka na pastvinách.

Místní krajina se v minulosti až na ojedinělé stavby rodinných domů příliš neměnila a ani do budoucna není předpoklad, že by k výrazným změnám mělo docházet.



Obrázek 3.4: Mapa okolí Nových Hradů a vyznačená zájmová oblast 2 (vlastní tvorba, zpracováno pomocí mapy.cz, 2021)

3.2 Získání snímků

Pro zajištění dat byly použity satelitní snímky programu Landsat, které nejlépe odpovídají zadání této práce.

Snímky a následně data z družic Landsat za období 1984 až 2020 bylo možné snadno získat po bezplatné registraci na <https://espa.cr.usgs.gov>. Předzpracování dat bylo provedeno v rámci služby ESPA USGS. Pro radiometrické a atmosférické korekce byl použit algoritmus LSRD.

Tabulka 3.1: Seznam datumů stažených snímků s roky původu (vlastní tvorba, 2021)

rok_měsíc_den	Označení satelitu
1984_08_28	Landsat 5
1985_07_14	Landsat 5
1986_08_02	Landsat 5
1988_08_07	Landsat 5
1990_09_30	Landsat 5
1991_09_01	Landsat 5
1992_09_19	Landsat 5
1993_09_22	Landsat 5
1995_08_11	Landsat 5
1996_30_09	Landsat 5
1997_17_09	Landsat 5
1999_05_07	Landsat 5
2000_09_09	Landsat 5
2001_23_05	Landsat 5
2003_18_09	Landsat 5
2005_23_09	Landsat 5
2006_10_09	Landsat 5
2007_25_06	Landsat 5
2008_29_07	Landsat 5
2010_21_09	Landsat 5
2011_24_09	Landsat 5
2013_27_07	Landsat 8
2015_17_07	Landsat 8
2018_06_05	Landsat 8
2019_26_06	Landsat 8
2020_16_09	Landsat 8

3.3 Použitý software

Po získání třech požadovaných druhů dat (NDVI, NDMI, teplotní vrstvy) ke každému snímku byla data dále zpracována v programu QGIS. QGIS je multiplatformní geografický informační systém pro využití rastrových i vektorových dat. Program je postaven na principu zásuvných modulů, kterých je opravdu nepřeberné množství. QGIS má minimální požadavky na hardware. Pro tuto práci byla použita verze 3.10.2 'A Coruña', během používání pak byla aktualizována na novější verzi 3.16 'Hannover'.

3.4 Pracovní postup

Pro teplotní data byly využity vrstvy band6 pro Landsat 5 a band10 pro Landsat 8. V rámci služby ESPA USGS byly vypočítány spektrální indexy NDMI a NDVI.

Lokality byly sledovány v rámci širšího území o velikosti přibližně 50 000 km². Bylo tedy nutné všechny snímky ořezat na menší velikost, protože původně stažený čtverec souřadnic 191/26 byl pro účely práce příliš velký. Upravené snímky měly následně rozměr přibližně 35 x 70 km, tedy 2 450 km².

Zatímco u spektrálních indexů NDVI a NDMI bylo možné rovnou použít získaná data, teplotní vrstvy už převedené na °C bylo nutno dále standardizovat.

Dalším krokem byla tedy standardizace (normalizace) teploty u každé teplotní vrstvy. Tato operace se provádí pro relativizaci hodnot. Absolutní hodnoty prvotně získané z teplotních rastrových vrstev nejsou vhodné pro vytvoření a hodnocení časové řady. Primární data z rastrů pouze vypovídají o tom, jaká byla teplota povrchu v čase přeletu satelitu nad krajinou. Tuto operaci bylo nutné provést skutečně jen u teplotních vrstev z důvodu relativizace údajů. Proces standardizace spočívá v převodu původních hodnot se specifickým průměrem/mediánem a směrodatnou odchylkou na data nová se specifickým průměrem (zpravidla 0) a směrodatnou odchylkou (1). Základní myšlenka tedy spočívá v převodu reálných hodnot těchto statistických souborů na nová, bezrozměrná data, tzv. standardizovaná, která bude možné porovnávat, „nasčítávat“ atd. Standardizace byla provedena v rastrovém kalkulátoru odečtením průměrné hodnoty od původní rastrové vrstvy a vydělením statistickou odchylkou.

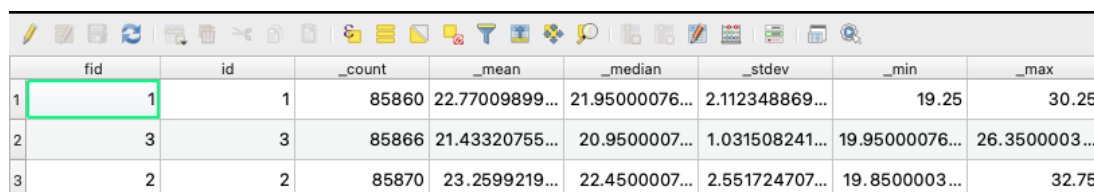
Po standardizaci teplotních vrstev byly k dispozici zpracované vrstvy:

- NDMI – vlhkostní index,
- NDVI – vegetační index,
- teplotní vrstva v °C nestandardizovaná,
- teplotní vrstva v °C standardizovaná,

ze kterých byly pomocí nástroje Zonální statistiky v programu QGIS extrahovány základní statistiky, které byly následně využity pro další analýzu. Analýza dat byla dále prezentována prostřednictvím grafů a tabulek. Mezi základní statistiky, které byly z vrstev extrahovány, patřily:

- součet,
- průměr,
- medián,
- statistická odchylka,
- minimální hodnota,
- maximální hodnota.

Pro představu je přiložen obrázek s výslednými údaji nestandardizované teploty z roku 2020. V řádcích pod sebou jsou uvedeny zájmové oblasti 1, 2, 3. V jednotlivých sloupcích jsou údaje o počtu pixelů (hlavně pro kontrolu), průměrné teplotě, mediánu, směrodatné odchylce, minimální a maximální teplotě. Údaje do grafů a tabulek jsou zpracovány v kapitole Výsledky.



fid	id	_count	_mean	_median	_stdev	_min	_max
1	1	85860	22.77009899...	21.95000076...	2.112348869...	19.25	30.25
2	3	85866	21.43320755...	20.9500007...	1.031508241...	19.95000076...	26.3500003...
3	2	85870	23.2599219...	22.4500007...	2.551724707...	19.8500003...	32.75

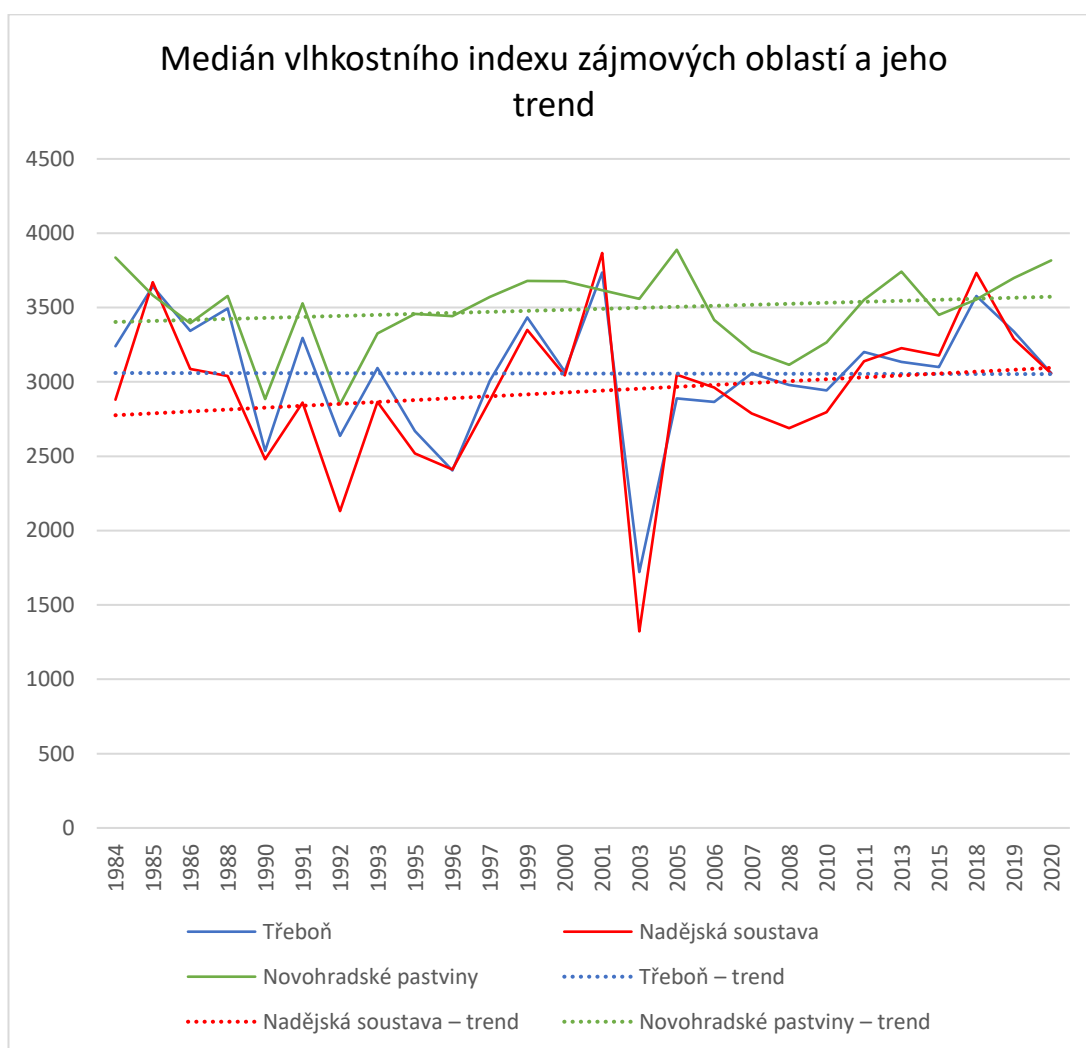
Obrázek 3.9: Výsledné hodnoty nestandardizované teplotní vrstvy v °C (vlastní tvorba, 2021)

4 Výsledky

4.1 NDMI

V této kapitole jsou pomocí grafů prezentována výsledná data indexu NDMI. Spektrální index NDMI je normalizovaný rozdílový vlhkostní index a používá se k stanovení obsahu vegetační vody. Vypočítává se jako poměr mezi hodnotami NIR a SWIR. Jeho hodnoty se mohou pohybovat v rozmezí od -10,000 do 10,000.

Graf 4.1: Medián vlhkostního indexu zájmových oblastí a jeho trend (vlastní tvorba, 2021)



Zájmová oblast č. 1 – Třeboň – Podle výsledků je z grafu zřejmé, že z hlediska vlhkostního indexu nedošlo v této zájmové oblasti k výrazným změnám.

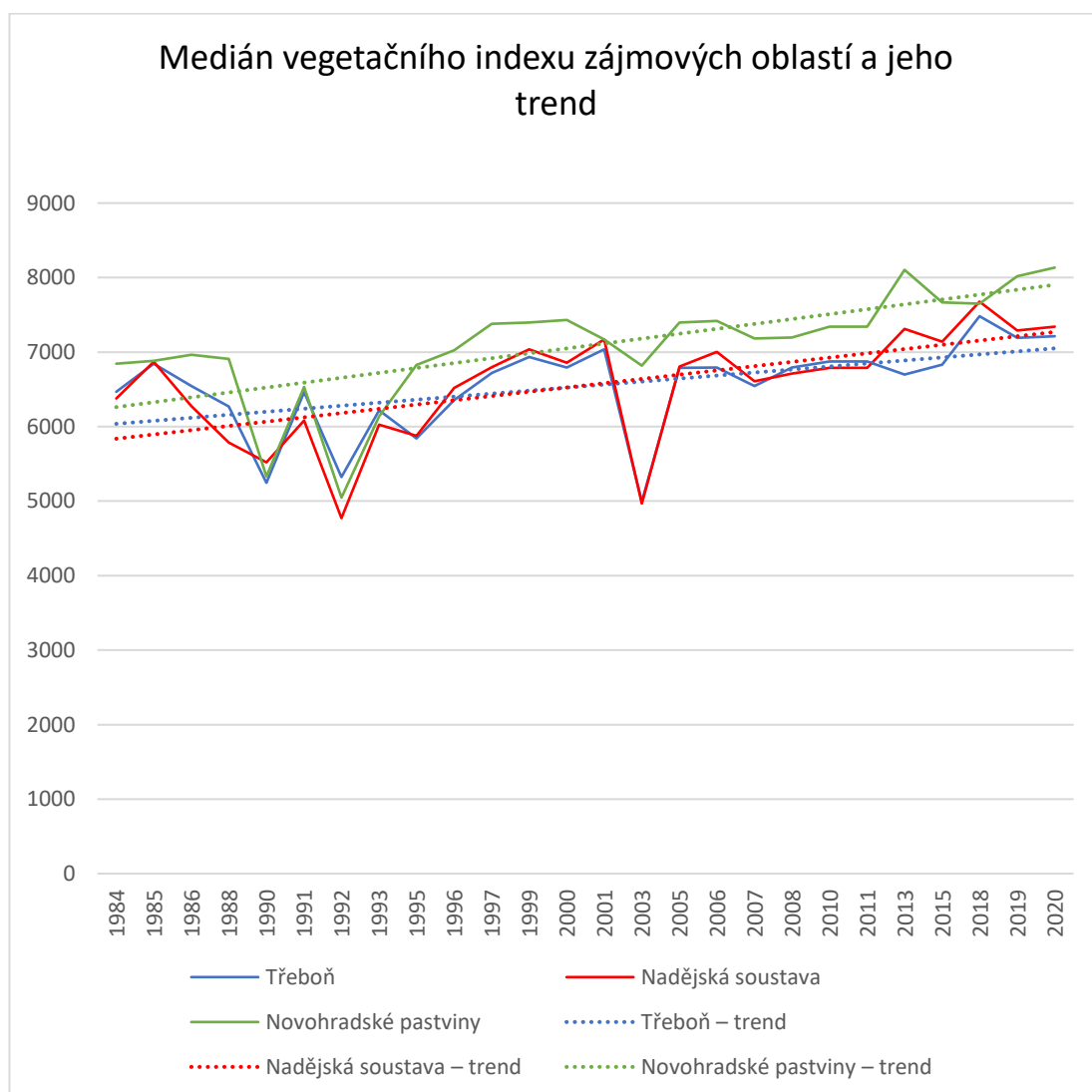
Zájmová oblast č. 2 – Nadějská soustava – Podle grafu a trendu křivky je jasné, že z hlediska vlhkostního indexu došlo v této zájmové oblasti ke zvýšení hodnot.

Zájmová oblast č. 3 – Novohradské pastviny – Vlhkostní index Novohradských pastvin je ze všech tří zkoumaných zájmových oblastí nejvyšší a stejně jako u předchozí Nadějské soustavy má také stoupající trend.

4.2 NDVI

V této kapitole jsou pomocí grafů prezentována výsledná data indexu NDVI. Spektrální index NDVI je normalizovaný rozdílový vegetační index, používá ke kvantifikaci vegetační zeleně a je užitečný pro pochopení hustoty vegetace a hodnocení změn ve zdraví rostlin. NDVI se vypočítá jako poměr mezi červenými (R) a blízkými infračervenými hodnotami (NIR). Jeho hodnoty se mohou pohybovat v rozmezí od -10,000 do 10,000.

Graf 4.2: Medián vegetačního indexu zájmových oblastí a jeho trend (vlastní tvorba, 2021)



Zájmová oblast č. 1 – Třeboň – Z hlediska vegetačního indexu došlo podle výsledků grafu a jeho trendu v této zájmové oblasti k nárůstu hodnot.

Zájmová oblast č. 2 – Nadějská soustava – I zde je patrný výrazně rostoucí trend vegetačního indexu.

Zájmová oblast č. 3 – Novohradské pastviny – Analogická situace se zájmovou oblastí č. 2. Trend zvýšení vegetačního indexu je nejvýraznější. Je nutné podotknout, že v této zájmové oblasti je vyšší nadmořská výška, méně úrodná půda a krajina je členitější.

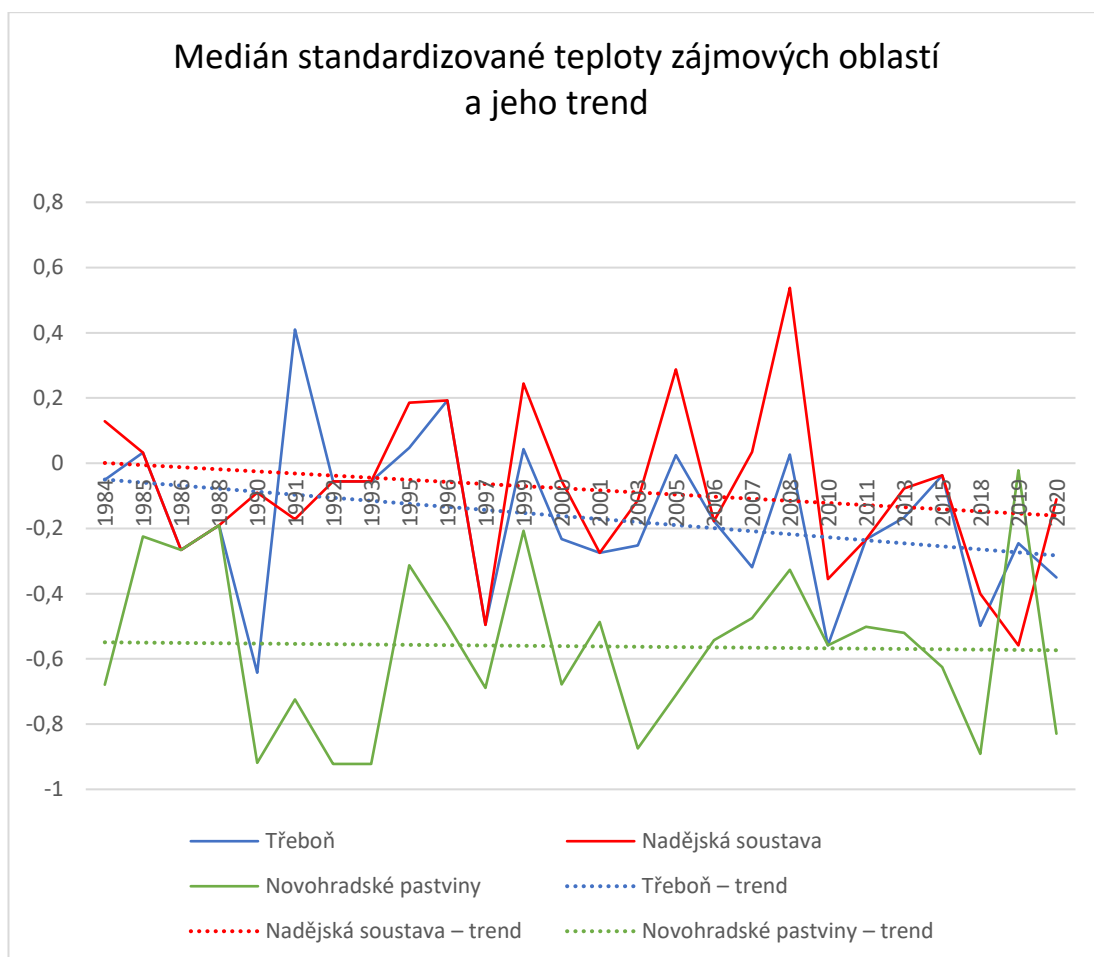
4.3 Teplota

Tabulka 4.1: Data nestandardizované teploty (vlastní tvorba, 2021)

rok	Třeboň					Nadějské rybníky					Novohradské pastviny				
	průměr	medián	st. odchylka	minimum	maximum	průměr	medián	st. odchylka	minimum	maximum	průměr	medián	st. odchylka	minimum	maximum
1984	18,2	18	1,92	14,3	26,3	18,7	18,4	2,21	15,1	26,6	17	16,5	1,47	14,8	23,3
1985	22,2	22	1,64	18	40,3	22,4	22	1,51	19,3	29,5	21,9	21,5	1,51	18,9	33,3
1986	20,9	20,6	1,37	17,5	26,6	20,8	20,6	1,18	13,8	25,9	20,9	20,6	1,23	17,5	29,1
1988	19,6	18,9	2,26	11,4	30,5	19,5	18,9	2,56	10,4	31,6	19,2	18,9	1,72	11,9	28,4
1990	12,2	12,4	1,61	7,05	18,9	13,5	13,4	1,61	7,05	21	11,7	11,9	1,93	0,85	19,3
1991	17,6	17	2,16	13,8	26,6	18,8	18	2,75	14,8	29,1	16,6	15,6	2,04	14,3	27
1992	10,8	10,4	2,8	4,45	19,8	8,8	8,45	2,56	3,95	16,5	6,59	6,55	2,49	-0,25	15,6
1993	16,4	16,5	1,38	10,9	21,5	16,8	16,5	1,43	13,4	23,3	15,4	15,1	1,18	13,4	20,1
1995	19,2	18,4	3,12	13,8	29,1	19,4	18,9	3,08	13,8	29,5	17,7	17	1,67	14,3	27,5
1996	14,9	15,1	1,77	8,95	21	15,2	15,1	1,6	9,45	20,6	14,5	14,3	1	9,45	18
1997	15,6	14,8	2,65	9,95	27,5	15,7	14,8	3,09	11,4	25,5	15,2	14,3	2	12,4	25,5
1999	25,5	25,5	2,39	19,3	34	25,7	25,9	2,03	20,1	34,8	25,2	25	1,92	19,3	37,7
2000	16,6	16,1	2,12	11,4	23,3	16,7	16,5	2,02	12,4	26,6	15,8	15,1	1,54	12,4	23,3
2001	17,3	16,1	2,69	12,4	30,9	17,1	16,1	2,43	13,8	31,3	16,4	15,6	1,67	13,4	27
2003	20,6	19,8	3,29	14,3	30,5	21,1	20,1	3,65	15,1	31,6	18,7	18	1,98	14,8	29,1
2005	15,8	15,6	1,67	10,9	22,4	16,4	16,1	1,8	12,9	24,1	14,9	14,3	1,31	11,9	21,5
2006	18,1	17,5	2,17	14,3	25,9	18,3	17,5	2,36	15,1	28,4	17,2	16,5	1,77	15,1	27,5
2007	22,7	22,4	2,08	18,9	31,3	23,6	23,3	2,32	19,3	33,3	22,5	22	1,75	15,6	32,8
2008	24,9	24,5	2,32	19,8	34	26,1	25,9	2,66	20,1	37,3	23,6	23,6	1,77	10,4	30,5
2010	16,6	15,6	2,12	12,9	26,6	17,1	16,1	2,92	13,4	26,6	16,2	15,6	1,73	13,8	24,5
2011	14,9	14,3	1,65	11,9	22,4	15	14,3	2,11	4,45	22,9	14,1	13,8	1,26	12,4	21,5
2013	28,2	27,5	2,31	24,3	37,8	28,2	27,8	2,28	24,6	39,3	27,6	26,8	2,06	24,5	35,8
2015	28,6	28,4	2,47	23,4	38,3	28,8	28,4	2,53	23	41,2	27,5	26,6	2,12	20,5	37,3
2018	19,2	18,6	1,84	15,6	28	19,7	19	2,01	16	29,6	18,3	17,5	1,87	15,9	26,5
2019	28,4	27,9	2,28	24	37,3	27,5	27,1	1,99	20,5	35,5	29,2	28,4	2,16	25,9	41,3
2020	22,8	22	2,11	19,3	30,3	23,3	22,5	2,55	19,9	32,8	21,4	21	1,03	20	26,4

Protože je teplota dynamická veličina a prvotní data uvedená v tabulce 4.1 vypovídají pouze o tom, jaká byla teplota povrchu v čase přeletu satelitu nad krajinou, bylo nutné provést standardizaci z důvodu relativizace údajů. Přesný popis operace je uveden v kapitole Metodika. Standardizované údaje byly dále zpracovány do časové řady a prezentovány formou grafů stejně jako u předchozích veličin.

Graf 4.3: Medián standardizované teploty zájmových oblastí a jeho trend (vlastní tvorba, 2021)



Zájmová oblast č. 1 – Třeboň – Graf standardizované teploty a trend křivky vykazuje pokles teploty za dané období o 0,25 °C.

Zájmová oblast č. 2 – Nadějská soustava – Graf standardizované teploty a trend křivky vykazuje pokles teploty za dané období o 0,18 °C.

Zájmová oblast č. 3 – Novohradské pastviny – Graf standardizované teploty a trend křivky vykazuje pokles teploty za dané období o 0,2 °C.

5 Diskuse

NDVI – Na základě výsledných dat a z nich zpracovaných grafů je patrné, že vegetační index má v každé zájmové oblasti jinou hodnotu, ale ve všech třech lokalitách má stoupající trend. Vysvětlení pravděpodobně spočívá ve změně způsobu hospodaření v krajině. V první polovině 90. let došlo k vlastnickým změnám v zemědělství ve všech třech zájmových oblastech na Třeboňsku. Zemědělskou půdu začali mimo zavedené velkochovy obhospodařovat i menší farmáři, kteří dali přednost venkovnímu chovu masného skotu před konvenční mléčnou výrobou. Tím došlo i ke změnám na orné půdě, která se stala trvalým travním porostem. Tento proces postupem času ještě umocnila dotační politika státu a EU, která motivovala k pastevnímu chovu hovězího dobytka.

V zájmové oblasti Třeboň došlo z hlediska vegetačního indexu podle výsledků grafu k nárůstu hodnot. Ve městě se prokazatelně zvýšil výskyt zeleně a v blízkém okolí se změnil poměr orné půdy a kosených luk ve prospěch pastvin.

V oblasti Nadějské soustavy je také patrný rostoucí trend vegetačního indexu. I zde došlo ke změně způsobu hospodaření ve smyslu zvýšení výměry trvalých travních porostů na úkor orné půdy.

Analogická situace se zájmovou oblastí Nadějské soustavy je i v oblasti Novohradských pastvin. Trend zvýšení vegetačního indexu je zde nejvýraznější. Je nutné podotknout, že v této zájmové oblasti je vyšší nadmořská výška, méně úrodná půda a krajina je členitější. Proto k přeměně na trvalé travní porosty došlo v drtivé většině zájmového území a orné půdy je v této zájmové oblasti nejméně.

NDMI – S rostoucím trendem vegetačního indexu analogicky roste podle grafů až na jednu výjimku (zájmová oblast č. 1 – Třeboň) i trend indexu vlhkostního. Vysvětlení je zřejmé, oba indexy spolu souvisí. Tam, kde je k dispozici půdní voda, tedy vlhkost, tam je vegetace a v důsledku vyšší intenzity evapotranspirace. Zároveň v místech, kde se nachází vegetace, je i větší vlhkost půdy.

V zájmové oblasti Třeboň nedošlo z hlediska vlhkostního indexu k výrazným změnám. Vzrůstající trend vlhkostního indexu v oblasti Nadějské rybníční soustavy lze přisoudit změně způsobu hospodaření. Během posledních 30 let se v této lokalitě prokazatelně změnil poměr mezi ornou půdou a pastvinami ve prospěch pastvin. Důvod

je nasnadě – místní farmáři přistoupili k zatravnění orné půdy a chovu masného dobytka z důvodu dotační politiky. Protože byla data získávána ze snímků z letního období, je důvod zvýšení vlhkosti zřejmý. V minulosti byla pole v tuto dobu už často sklizená a tedy vysušená, zatímco zatravněné pozemky na novějších snímcích vykazují díky evapotranspiraci vzrůst vlhkosti. S mírou zatravnění roste i vlhkost a pochopitelně bude analogicky stoupat i vegetační index.

Vlhkostní index Novohradských pastvin je ze všech tří zkoumaných zájmových oblastí nejvyšší a stejně jako u předchozí Nadějské soustavy má také stoupající trend. I v tomto případě lze změnu vlhkosti s největší pravděpodobností přisoudit změně systému hospodaření ve smyslu zatravnění orné půdy a proměny kosených luk na pastviny.

Teplota – Teplota podle trendů v grafech ve všech oblastech klesla. Nejvyšší pokles o 0,25 °C byl zaznamenán v Třeboni. V zájmové oblasti Nadějská soustava činil pokles 0,18 °C a v zájmové oblasti Novohradské hory činil pokles teploty 0,2 °C.

Při hledání souvislostí mezi vzrůstem hodnot vegetačního a vlhkostního indexu a poklesem teploty lze zmínit práci Kovářové, která se věnovala podobnému tématu v disertační práci, kde potvrzuje závislost slunečního záření dopadajícího na povrch země a teplotu vzduchu. Představuje tak nový pohled na příčinu změny klimatu, kde změna klimatu je přisuzována postupnému úbytku trvale funkční vegetace a probíhající globální desertifikaci kontinentů (Kovářová, 2011).

Výsledky této diplomové práce jsou v souladu s výsledky Kovářové: přibývající vegetace v krajině způsobuje především pomocí evapotranspirace pokles teploty. Potvrzují i výsledky Hesslerové a kol., která se zabývala měřením denní dynamiky povrchové teploty záření různých typů krajinného pokryvu v kulturní krajině a jejich důsledků pro místní klima. Hesslerová a kol. si ve své práci ověřila předpoklad, že vegetace s dostatečným přísunem vody je schopna ochladit povrch zvýšením latentního tepelného toku pomocí evapotranspirace. Vegetace v krajině má tedy prokazatelný vliv na místní klima (Hesslerová a kol., 2013).

Práce Přibáně a Ondoka uvádí, že vegetace je pomocí evapotranspirace schopna ochladit krajinu. Výkon evapotranspirace činil podle jejich měření 2–5 mm (Přibáně a Ondok, 1985). To odpovídá základnímu předpokladu této práce. S přibývající vegetací a dostatkem vlhkosti dochází k ochlazení krajiny a poklesu teploty.

Stejně tak lze najít shodu s prací Rejškové (2012), která prováděla měření v ostřicové louce a také došla k závěru, že více než polovina dostupné energie byla spotřebována v evapotranspiračních procesech, a tím tedy vegetace působila na teplotu (Rejšková, 2012).

V zájmové oblasti č. 1 – Třeboň prováděla v minulosti měření i Kovářová, která se zabývala změnou denních maxim a minim teplot vzduchu na území Mokřých luk ve výtopě rybníka Rožmberk. Z výzkumu vyplynulo, že v 90. letech maximální teplota stoupla více než na jiných stanicích v České republice. Kovářová si to vysvětluje částečně změnou klimatu a částečně změnami místních podmínek, a to vysycháním krajiny a změnou vodního režimu (Kovářová, 2018). Výsledky grafu teploty této diplomové práce odpovídají měřením Kovářové. V 90. letech došlo ke zvýšení teploty. Jedná se však skutečně jen o zvýšení v uvedeném desetiletí. V celé časové řadě 36 let, kterou tato diplomová práce obsahuje, má teplota klesající trend, jak je uvedeno v kapitole Výsledky.

Pokles teplot, který je prezentovaný grafy v kapitole Výsledky, je v rozporu s Duškovým měření (Dušek a kol., 2018).

Dušek a kol. prováděl měření pomocí meteorologických stanic umístěných na Mokřých lukách u Třeboně (výtopa rybníku Rožmberk) a sledoval průměrnou, minimální a maximální teplotu v období 1977 až 2017. Došel k závěru, že teplota za sledované období postupně vzrostla a že vzestup teplot vzduchu pro jednotlivé měsíce roku byl různý. Podle Duška se změnil také charakter srážek. V měsíci dubnu, kdy došlo k nejvyššímu vzrůstu teplot, došlo zároveň k poklesu srážek. Frekvence extrémních srážek a s nimi související kolísání vodní hladiny je podstatně vyšší v posledních letech, než tomu bylo před rokem 2000. Podrobnou znalost, která se týká mikroklimatických změn v ostřicové louce, pokládá Dušek za důležitou z hlediska ekosystémových funkcí mokřadu v krajině (Dušek a kol., 2018).

Nesoulad výsledků lze vysvětlit rozdílem v měřených oblastech. Zatímco Dušek prováděl měření na území Mokřých luk, měření této diplomové práce proběhlo v rámci většího území.

Na základě uvedených informací a citovaných prací, se kterými bylo měření této diplomové práce porovnáváno, lze konstatovat, že vzrůstající vlhkost a množství aktivní vegetace může souviset s poklesem teplot v zájmových oblastech CHKO Třeboňsko.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit vliv způsobu hospodaření v krajině na místní klima ve třech oblastech, které se nachází na území CHKO Třeboňsko. K analýze byla použita data dálkového průzkumu Země z družicového programu Landsat. Stěžejními hodnotícími ukazateli byly zejména teplota povrchu, normalizovaný rozdílový vegetační index a normalizovaný rozdílový vlhkostní index. Data byla zpracována ze všech stanovených lokalit a adekvátně vyhodnocena v rozsahu uplynulých 40 let. Výsledky byly pro lepší představu prezentovány pomocí grafů a jejich následným srovnáním. Klíčovým úkolem bylo hledání souvislostí mezi změnami množství vegetace, vody v krajině a povrchovou teplotou.

Podle výsledků hodnot je patrné, že zatímco vegetační a vlhkostní indexy za sledované časové období poměrně výrazně vzrostly, trend teploty vykazoval mírný pokles. Výsledky byly diskutovány v širších souvislostech vlivu hospodaření na vegetační kryt, jeho časovou a prostorovou distribuci v krajině a jeho význam pro utváření místního klimatu; a následně porovnávány s výzkumy jiných autorů ze stejné oblasti. Lze předpokládat, že pokles teploty je způsoben změnami hospodaření v krajině. Postupné změny orné půdy na trvalý travní porost na sledovaném území (které jsou v souladu s výsledky vegetačního a vlhkostního indexu) mohou být příčinou poklesu teploty. Vegetace pomocí procesu evapotranspirace přeměňuje dopadající sluneční energii na vodní páru, která se v noci mění částečně zpět na vodu a uvolňuje teplo. Tím vegetační kryt zmenšuje teplotní výkyvy v krajině.

Cíle práce byly naplněny a byla také ověřena hypotéza, že funkční vegetace působí na místní klima v krajině.

Pro další výzkum a ověření vyslovené hypotézy autor navrhuje najít v rámci CHKO Třeboňsko území, kde nedošlo ke změnám v hospodaření v krajině (zejména v poměru orné půdy a trvalých travních porostů), a zopakovat měření v této nové oblasti, a tím potvrdit, nebo vyvrátit výše zmíněné.

Seznam použité literatury

Citace tištěné literatury

- Bárta, F. et al. (2007). *Krajina v České republice*. Consult, Praha. ISBN 978-80-903482-3-3.
 - Bičík, I. et al. (2010). *Vývoj využití ploch v Česku*. Česká geografická společnost, Praha. ISBN 978-80-904521-3-8.
 - Demek, J. a Mackovčín, P. (2006). *Zeměpisný lexikon ČR*. 2. vydání. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno. ISBN 80-86064-99-9.
 - Dobrovolný, P. (1998). *Dálkový průzkum Země; Digitální zpracování obrazu*. Masarykova univerzita, Brno. ISBN 80-210-1812-7 (brož.).
 - Dušek, et al. (2018). *Hospodaření s vodou v krajině. Změny mikroklimatu ostřícové louky během posledních 40 let*. ISBN 978-80-87361-83-2.
 - Dykyjová, D. et al. (1989). *Metody studia ekosystémů*. Academia, Praha.
 - Geiger, R. et al. (2003). *The climate near the ground*. 6. vydání. Rowman & Littlefield Publishers, Inc., Lanham, Maryland.
 - Horning, N. et al. (2010). *Remote sensing for ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press, China. ISBN 978-0-19-921995-7.
 - Jones, H. G. (1992). *Plants and microclimate*. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-42524-0.
 - Kolář, J. (1990). *Dálkový průzkum Země*. SNTL – NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, Praha. ISBN 80-03-00517-5.
 - Kolář, L. et al. (1997). *Dálkový průzkum Země 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha. ISBN 80-01-01567-X.
 - Kravčík, M. et al. (2007). *Voda pre ozdravenie klímy – Nová vodná paradigma*. Municipalia, Žilina. ISBN 978-80-969766-5-2.
 - Lillesand, T. M. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5. vydání. John Wiley & Sons, New York. ISBN 0-471-15227-7.
 - Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. 2. vydání. London: Routledge, 2002.
 - Sádlo, J. et al. (2005). *Krajina a revoluce: významné přelomy ve vývoji kulturní krajiny Českých zemí*. Malá Skála, Praha. ISBN 978-80-86776-02-6.
 - Šarapatka, B. a Hejčman, M. (2004). *Diverzita a ekologické zemědělství*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
-

-
- Zemek, F. et al. (2014). *Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů*. Centrum výzkumu globální změny AV ČR v. v. i., Brno. ISBN 978-80-87902-07-3.
 - Žížala, D. a Novák, P. (2011). *Metodika hodnocení historického vývoje land use s využitím DPZ*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 978-80-87361-13-9.

Citace vědeckých publikací

- Artis, D. A. a Carnahan, W. H. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, č. 12, s. 313–329.
 - Dash, P. (2002). Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data – theory and practice, current trends. *International Journal of Remote Sensing*, č. 23, s. 1–55.
 - Giannini, M. et al. (2015). Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images – comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, č. 3, s. 83–90.
 - Gorshkov, V. a Makarieva, A. (2007). Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences*, č. 11, s. 1013–1033.
 - Heldens, W. et al. (2017). Integration of remote sensing based surface information into a three-dimensional microclimate model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, č. 125, s. 106–124.
 - Hesslerová, P. (2013). Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: consequences for the local climate. *Ecological Engineering* [online], č. 54, s. 145–154.
 - Jin, S. a Sader, S. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment* [online], č. 94 (3), s. 364–372. ISSN 00344257. Dostupné z: doi: 10.1016/j.rse.2004.10.012.
 - Kovářová, M. (2004). Projev globálních změn v biosférické rezervaci Třeboňsko. *Robust*.
 - Kovářová, M. (2006). Změny denních maxim a minim teploty vzduchu. *Robust*.
-

-
- Igun, E. a Williams, M. (2018). Impact of urban land cover change on land surface temperature. *Global Journal of Environmental Science and Management*, č. 4, s. 47–58.
 - Mcpherson, R. A. (2007). A review of vegetation-atmosphere interactions and their influences on mesoscale phenomena. *Progress in Physical Geography* [online], č. 31(3), s. 261–285.
 - Ondok, J. P. a Přibáň, K. (1985). Heat balance components and evapotranspiration from a sedge-grass marsh. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica*, Praha, vol. 20, s. 41–56.
 - Pielke, R. A. (2001). Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics*, vol. 39, s. 151–177.
 - Pokorný, J. et al. (2017). Nepřímý a přímý termodynamický vliv mokřadů na klima – část 1. *Vodní hospodářství*, č. 6/2017, s. 67. ISSN 1211-0760.
 - Pokorný, J. et al. (2018). Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. *Urbanismus a územní rozvoj*, č. 1, s. 1–12.
 - Rabin et al. (1990). Observed Effects of Landscape Variability on Convective Clouds. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 71, s. 272–280.
 - Rejšková, A. et al. (2012). Transpiration, evapotranspiration and energy fluxes in a temperate wetland dominated by *Phalaris arundinacea* under hot summer conditions. *Ecohydrology*, vol. 5, s. 19–27.
 - Schroeder, W. (2016). Active fire detection using Landsat-8/OLI data. *Remote Sensing of Environment*, č. 185, s. 210–220.
 - Sobrino, J. (2002). Surface emissivity retrieval from digital airborne imaging spectrometer data. *Journal of Geophysical Research*, č. 107, s. 1–13.
 - Tucker, C. J. a Compton, J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* [online], č. 8 (2), s. 127–150. ISSN 00344257. Dostupné z: doi: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.
 - Valor, E. a Caseless, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI – Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, č. 57, s. 167–184.
-

-
- Van de Griend, A. a Owe, M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, č. 11, s. 1119–1131.

Citace webových zdrojů

- AOPK ČR (2021). Ochrana přírody a krajiny v České republice. [online] [cit. 20. 3. 2021]. Dostupné z: <https://trebonsko.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/zemedelstvi/>.
 - Český hydrometeorologický ústav (2007). ČHMÚ. [online] [cit. 21. 3. 2021] Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap02.pdf.
 - Earthexplorer.usgs.gov (2021). USGS science for a changing world [online] [cit. 5. 2. 2021]. Dostupné z: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
 - Elektronický meteorologický slovník online (2017). ČMeS. [online] [cit. 21. 3. 2021] Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>.
 - Evropská komise (2021). Oficiální stránka Evropské unie. [online] [cit. 3. 4. 2021] Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_cs.
 - Katedra fyziky atmosféry (2012). Mat-fyz fakulta UK [online] [cit. 21. 3. 2021]. Dostupné z: <https://kfa.mff.cuni.cz/?p=57>.
 - Mapy.cz (2021). Mapový portál. [online] [cit. 20. 3. 2021]. Dostupné z: [https://mapy.cz/ za-kladni?x=14.8176310&y=49.0147439&z=9&source=area&id=18](https://mapy.cz/za-kladni?x=14.8176310&y=49.0147439&z=9&source=area&id=18).
 - USGS.gov (2011). Science for a changing world. [online] [cit. 20. 3. 2021]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20120422045956/http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php.
 - Zákony pro lidi (2021). Sbírnka zákonů ČR. [online] [cit. 22. 3. 2021] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-114?text=krajina>.
 - Naše voda (2018). Informační portál o vodě. [online] [cit. 14. 4. 2021] Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/je-evapotranspirace-ji-ovlivnuje/>.
 - Kouzlo lesa (2019). Pro příští generace. [online] [cit. 16. 4. 2021] Dostupné z: <https://www.kouzlolesa.cz/l/vyznam-lesu-stromy-a-klima-jak-les-funguje/>.
-

-
- Europa.eu (2021). Evropská agentura pro životní prostředí. [online] [cit. 17. 4. 2021] Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2019/clanky/uvodnik-2013-krajina-a-puda>.
 - Natura plus (2021). [online] [cit. 17. 4. 2021] Dostupné z: <http://natura.baf.cz/natura/2004/10/20041006.html>.

Citace závěrečných prací

- Barátová, M. (2012). *Vliv JE Temelín na klima blízkého okolí*. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra geografie.
 - Honková, M. (2008). *Mapování vegetace s využitím spektrálních indexů*. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav.
 - Komrska, V. (2004): *Problematika ortorektifikace družicových dat*. Ročníková práce. UK v Praze, Přírodovědecká fakulta UK v Praze.
 - Kovářová, M. (2011). *Hodnocení dlouhodobých klimatologických pozorování z Mokrých luk u Třeboně a jiných meteorologických stanic v souvislosti se změnou hydrologického režimu*. Doktorská disertační práce. Jihočeská univerzita, Ústav fyzikální biologie.
 - Pavlíčková, L. (2018). *Vegetace ve městě – hodnocení časových změn vlivu vegetačního krytu na místní klima pomocí metod dálkového průzkumu Země*. Diplomová práce. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu.
-

Seznam obrázků

- Obrázek 1.1: Družice Sentinel 2 mapující povrch planety (<https://www.mechanizaceweb.cz/dalkovy-pruzkum-zeme>, 2013) **8**
 - Obrázek 1.2: Satelitní snímek NDMI (sgs.gov/media/images/landsat-surface-reflectance-and-normalized-difference-moisture-index, 2020) **10**
 - Obrázek 1.3: Snímek NDVI (skyopsys.com/agriculture, 2020) **10**
 - Obrázek 1.4: Schéma místního městského klimatu podle měřítka (is.muni.cz, 2012) **12**
 - Obrázek 1.5: Schéma disipačních schopností vody (vodnihospodarstvi.cz, 2021) **18**
 - Obrázek 1.6: Třeboňský mokřad (www.kct-tabor.cz/gymta/ChranenaUzemiCR/Trebonsko, 2021) **19**
 - Obrázek 3.1: Mapa CHKO Třeboňsko (mapy.cz, 2021) **25**
 - Obrázek 3.2: Vytvoření vektorové vrstvy s buffery (vlastní tvorba, 2021) **26**
 - Obrázek 3.3: Letecký snímek Třeboně (cbs-cesko.cz/trebon-a-okoli-z-nebe, 2021) **27**
 - Obrázek 3.4: Mapka okolí Třeboně a vyznačená zájmová oblast 1 (vlastní tvorba, zpracováno pomocí mapy.cz, 2021) **28**
 - Obrázek 3.5: Letecký snímek Nadějské rybníční soustavy (cbs-cesko.cz/trebon-a-okoli-z-nebe, 2021) **28**
 - Obrázek 3.6: Mapka okolí Nadějské rybníční soustavy a vyznačená zájmová oblast 2 (vlastní tvorba, zpracováno pomocí mapy.cz, 2021) **29**
 - Obrázek 3.7: Novohradské pastviny (turistika.cz, 2021) **30**
 - Obrázek 3.8: Mapka okolí Nových Hradů a vyznačená zájmová oblast 2 (vlastní tvorba, zpracováno pomocí mapy.cz, 2021) **30**
 - Obrázek 3.9: Výsledné hodnoty nestandardizované teplotní vrstvy v °C (vlastní tvorba, 2021) **33**
-

Seznam grafů

- Graf 4.1: Medián vlhkostního indexu zájmových oblastí a jeho trend (vlastní tvorba, 2021) **34**
 - Graf 4.2: Medián vegetačního indexu zájmových oblastí a jeho trend (vlastní tvorba, 2021) **35**
 - Graf 4.3: Medián vlhkostního indexu zájmových oblastí a jeho trend (vlastní tvorba, 2021) **37**
-

Seznam tabulek

- Tabulka 3.1: Seznam datumů stažených snímků s roky původu (vlastní tvorba, 2021) **31**
- Tabulka 4.1: Data nestandardizované teploty (vlastní tvorba, 2021) **36**

Seznam použitých zkratk

- AOPK – agentura ochrany přírody a krajiny
 - DPZ – dálkový průzkum Země
 - EM spektrum – elektromagnetické spektrum
 - EU – Evropská Unie
 - CHKO – chráněná krajinná oblast
 - MIR – střední infračervené záření
 - NASA – Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
 - NDMI – normalizovaný vlhkostní index
 - NDVI – normalizovaný vegetační index
 - NIR – blízké infračervené záření
 - NOAA – označení družic National Oceanic and Atmospheric
 - QGIS – multiplatformní geografický informační systém
 - SWIR – krátké vlnové délky
 - TOA – top of the atmosphere (druh družicových dat)
 - TIMS – vícekanálový termální skener
 - TIR – termální infračervené záření
 - TIROS – americký vesmírný program meteorologických satelitů
 - UNESCO – Organizace usilující o mezinárodní spolupráci v oblasti výchovy, vědy a kultury
 - USGS – Úřad pro geologický výzkum ve Spojených státech
 - VIS – viditelná část elektromagnetického spektra
 - WRS – celosvětový referenční systém snímků
-