

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Bc. Petra BERÁNKOVÁ

**VYUŽITÍ VEGETAČNÍCH INDEXŮ KE STUDIU
ČASOVÝCH ZMĚN VEGETAČNÍ FENOLOGIE**

**THE USE OF VEGETATION INDICES TO STUDY TEMPORAL
VARIATION IN VEGETATION PHENOLOGY**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Praha 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 28. 8. 2012

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za inspiraci k zpracování tématu, věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Ráda bych také poděkovala všem pedagogům, kteří mě obohatili o mnoho cenných vědomostí a zkušeností. Dále pak spolužákům, kteří nikdy neodmítli žádost o pomoc, a v neposlední řadě děkuji rodině za podporu v průběhu celého studia.

Děkuji také za poskytnutí všech níže zmíněných dat, která byla v této práci využita. Data *MCD15A3 - Leaf Area Index – Fraction of Photosynthetically Active Radiation 4-Day L4 Global 1km* a *MOD13A2 - Leaf Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km* byly získány aplikací Data Pool v the NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (https://lpdaac.usgs.gov/get_data). Data *MERIS Terrestrial Chlorophyll Index: UK Multi-Mission Product Archive Facility (UK-MM-PAF)/Infoterra Ltd (MTCI)* byla poskytnuta od NERC Earth Observation Data Centre (<http://www.neodc.rl.ac.uk/>). Data *Global Inventory Modeling and Mapping Studies* byla poskytnuta Global Land Cover Facility (University of Maryland) – (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/>). Pozemní fenologická data byly získána od Českého hydrometeorologického ústavu v Praze.

ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou využití vegetačních indexů ke studiu časových změn vegetační fenologie. První část byla věnována detailnímu rozboru domácí i zahraniční literatury, která se zabývá pracemi zpracovanými v tomto oboru. Hlavními výzkumnými otázkami byly, jestli se změnil začátek, konec, délka a vrchol vegetačního období v průběhu zkoumaného období. Další výzkumnou oblastí bylo srovnání s pozemními fenologickými daty. Dalším cílem práce bylo tedy hledání závislostí vypočtených údajů fenologických proměnných z vegetačních indexů s fenologickými pozemními daty. Jako základní datová sada byla využita sada GIMMS, která distribuuje vegetační index NDVI. Další datové sady byly MERIS MTCI, data MODIS s vegetačními indexy NDVI, EVI a LAI. Výsledky analýzy vývoje vegetační fenologie vykazují trendy v posunech, nejvýrazněji u začátku vegetačního období, kde došlo k posunu do dřívější doby. Výsledky analýzy vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ se odvíjely vždy podle konkrétní lesní fenologické stanice. Zajímavé byly výsledky u fenologické stanice Svobody nad Úpou, kde se shodovaly výsledky trendů směrnic u téměř všech datových sad. Srovnání křivek průběhu vegetačních indexů s pozemními daty odpovídalo nejvíce u vybraných stanic křivkám datových sad MCD LAI a MTCI MERIS. Nejlepší výsledky srovnání fenologických proměnných datových sad s pozemními daty ČHMÚ měly datové sady MCD LAI, MERIS MTCI.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, land cover, vegetační indexy, fenologie

ABSTRACT

The work deals with the use of vegetation indices to study temporal variation in vegetation phenology. The first part was devoted to detailed analysis of domestic and foreign literature, which deals with the work processed in this field. The main research questions were if changed start, end and length of growing period during the analysis period. Other research theme was comparison with ground phenological data. Another objective of this work was search dependencies computed data phenological variables from vegetation indices with phenological ground data. As a basic data set was used GIMMS set, which distributes the vegetation index NDVI. Other data sets were MERIS MTCI, data MODIS with vegetation indices NDVI, EVI a LAI. The results of analyzes of vegetation phenology show trends in most shifts at the beginning of growing season, where was a shift to an earlier time. Results of the analysis of vegetation remote sensing data with ground-based phenological data ČHMÚ were unfolding always according to the specific forest phenological stations. Interesting results were at the phenological station Svoboda nad Úpou, where the results of trends directives were consistent in almost all data sets. Comparison of process curves vegetation indices with ground data corresponded most curves at selected stations MCD LAI and MERIS MTCI data sets. The best validation results phenological variables of data sets with ground-based data ČHMÚ have data sets MCD LAI and MERIS MTCI.

Keywords: remote sensing, land cover, vegetation indices, phenology

OBSAH

Přehled použitých zkratk	7
1. Úvod	8
1.1 Hypotéza	9
1.2 Cíle bakalářské práce	9
1.3 Struktura práce	9
2. Teorie výpočtů vegetačních indexů	11
2.1 Úvod do problematiky	11
2.2 Vegetační indexy	12
2.2.1 NDVI	12
2.2.2 MTCI	13
2.2.3 LAI.....	14
2.2.4 EVI.....	15
3. Využití DPZ ve vegetační fenologii	16
3.1 Fenologie	16
3.2 Základní analýzy z 90. let	16
3.3 Analýzy fenologie zemědělských plodin	18
3.4 Analýzy fenologie přirozené vegetace	21
3.5 Analýzy fenologie propojené s metodikou	29
4. Datové zdroje vegetačních indexů a jejich hodnocení	34
4.1 GIMMS	34
4.2 MERIS MTCI	36
4.3 MODIS.....	37
4.3.1 MOD13 Series	39
4.3.2 MOD15 Series	40
4.4 Shrnutí datových zdrojů	40
5. Pozemní fenologická data ČHMÚ	41
5.1 Fenologické stanice.....	41
5.2 Fenologické údaje	41
5.3 Charakteristika lokalit	43
6. Metodika	45
6.1 Přehled a popis využívaných technik pro redukci šumu a metodik extrakce fenologických proměnných.....	45
6.2 TIMESAT	49
6.2.1 Metodika - Adaptivní Savitzky-Golay filtr, asymetrická Gaussova a	

<i>dvojité logistické funkce</i>	49
6.2.2 <i>Extrakce sezónních parametrů</i>	53
6.2.3 <i>Zpracování dat v programu TIMESAT</i>	55
6.3 <i>Statistické analýzy</i>	61
6.4 <i>Porovnání hodnot vegetačních indexů s pozemními fenologickými daty</i>	63
6.5 <i>Zkoumané území</i>	65
7. Analýza vegetační fenologie v ČR	66
7.1 <i>Prostorová analýza vývoje vegetační fenologie</i>	66
7.1.1 <i>Data GIMMS NDVI – Česká republika</i>	66
7.1.2 <i>Data MODIS NDVI a EVI – Liberecký a Královéhradecký kraj</i>	68
7.1.3 <i>Data MODIS MCD LAI - Liberecký kraj</i>	70
7.1.4 <i>Data MERIS MTCI - Liberecký a Královéhradecký kraj</i>	73
7.1.5 <i>Shrnutí a porovnání výsledků u jednotlivých datových sad</i>	74
7.2 <i>Analýza vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ</i>	76
7.2.1 <i>Harrachov</i>	76
7.2.2 <i>Holenice</i>	79
7.2.3 <i>Frýdlant-Větrov</i>	83
7.2.4 <i>Svoboda nad Úpou</i>	85
7.2.5 <i>Machov</i>	88
7.2.6 <i>Shrnutí výsledků jednotlivých fenologických stanic ČHMÚ</i>	90
8. Srovnání vegetačních dat DPZ	91
8.1 <i>Analýza hodnot vegetačních indexů u datových sad</i>	91
8.2 <i>Srovnání fenologických proměnných datových sad s pozemními daty ČHMÚ</i>	93
8.2.1 <i>Harrachov</i>	93
8.2.2 <i>Holenice</i>	95
8.2.3 <i>Svoboda nad Úpou</i>	96
8.2.4 <i>Machov</i>	98
8.2.5 <i>Shrnutí srovnání výsledků fenologických proměnných s pozemními daty</i>	98
9. Diskuze	100
10. Závěr	103
Použitá literatura	105
Seznam tabulkových a grafických příloh	111
Přílohy	113

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observation System
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BFAST	Breaks For Additive Seasonal and Trend
CPPI	Crop Proportion Phenology Indexu
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DEM	Digital-elevation-model; digitální výškový model
DPZ	dálkový průzkum Země
EDOS	EOS Data and Operations System
EVI	Enhanced Vegetation Index
EOS	Earth Observation System
FPAR	Fraction Of Photosynthetically Active Radiation
GIMMS	Global Inventory Modeling and Mapping Studies
HHH rovina	Huang-Huai-Hai rovina
IČ	Infračervené
LAI	Leaf Area Index; index listové pokryvnosti
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument
MCD	„meaning" Combined product, combined Terra and Aqua MODIS
MOD	MODIS
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index, MERIS pozemní chlorofylový index
NASA	National Aeronautics and Space Administration; Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NAO	North Atlantic Oscillation index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index; normalizovaný diferenční vegetační index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NEODC	NERC Earth Observation Data Centre
NIR	Near infrared; blízká infračervená část spektra
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PL10	první listy 10 %
PL50	první listy 50 %
PL100	první listy 100 %
LX	plné olistění
OL10	opad listí 10 %
OL100	opad listí 100%
RED	Červená viditelná část spektra
SMAC	Simplified Method for Atmospheric Correction
STL	Seasonal-Trend Decomposition
SPOT-VGT	Satellite Pour l'Observation de la Terre – Vegetation
UK-MM-PAF	UK Multi-Mission Product Archive Facility
VI	Vegetační index
WDRVI	Wide Dynamic Range Vegetation Index
VOD	Vegetation Optical Depth

1. ÚVOD

Dálkový průzkum Země představuje důležitý vědní obor pro zkoumání zemského povrchu. Jeho využití se rozšiřuje do stále více oborů lidské činnosti. Důležitou oblastí využití je ochrana životního prostředí. DPZ má velkou výhodu oproti pozemním měřením, protože lze zkoumaný jev monitorovat na velké ploše Země v pravidelném časovém období. Prostorové a časové rozlišení pak zaleží na vybraných družicích a jejich senzorech.

Důležitou oblastí ekologických studií, využívajících prostředků dálkového průzkumu Země, jsou analýzy stavu a změn vegetačního pokryvu. Pomocí DPZ lze zjišťovat dopady globálního oteplování na stav a vývoj vegetace. Důležité jsou v této oblasti ekologické analýzy zabývající se změnami fenologie rostlin v reakci na globální změny. Rostliny jsou citlivé na sezónnost a rychlejší změny klimatu a především posuny v jejich fenologii nám dávají zajímavá vodítka pro další zkoumání.

Hlavními řešenými otázkami této práce jsou: Došlo ve zkoumané periodě k časové změně a posunu vegetační fenologie v oblasti České republiky? Začíná vegetační období dříve nebo později? A co konec vegetačního období a jeho délka, rozšiřují se nebo naopak zkracují? Jsou údaje vegetačních indexů vhodnými údaji pro výzkum změn fenologie vegetace? Mají změny ve fenologii souvislost s globálními změnami klimatu? Které datové sady poskytují vhodnou informaci pro území rozsahu ČR? Jak odlišné parametry senzorů ovlivňují výstupní informaci? Tyto vyslovené otázky mě vedly k sepsání této diplomové práce. Určitou výhodou se jeví, že se podařilo sehnat pozemní fenologická data ČHMÚ a tak data získaná pomocí DPZ mohou být validována pomocí těchto pozemních měření.

1.1 Hypotéza

Pro posouzení změn ve vegetační fenologii, konkrétně v začátku, konci a délce vegetačního období, byla zformulována hypotéza: „*Vegetační období se během posledních desetiletí prodloužilo, fenologické fáze začátku vegetačního období se posunuly do dřívější doby, naopak koncové fenologické fáze vegetačního období nastávají později v průběhu roku.*“ Bude provedeno srovnání pozemních fenologických dat s vegetačními daty DPZ pomocí tří metod vyhlazení časových řad. Srovnání dat bude provedeno v oblastech lesních fenologických stanic Libereckého a Královéhradeckého kraje. Tato hypotéza bude na základě dosažených výsledků v závěru práce potvrzena nebo zamítnuta.

1.2 Cíle práce

- 1 Zhodnocení vývoje vegetační fenologie ve vybraných územích ČR. Hlavními výzkumnými otázkami budou: Jak se změnil začátek, konec a délka vegetačního období v průběhu zkoumaného období.
- 2 Hledání závislostí vypočtených údajů fenologických proměnných z vegetačních indexů s fenologickými pozemními daty.
- 3 Testování metody přesné extrakce fenologických proměnných (počátek, konec a délka vegetačního období) ve zkoumané oblasti a její zhodnocení na podstatě dat in situ. Srovnání dat v oblastech lesních fenologických stanic.
- 4 Dalšími výzkumnými otázkami budou zjištění: Jak jsou rozdílné výsledky ve vegetační fenologii dle jednotlivých druhů vegetačních indexů a datových sad? Které datové sady poskytují vhodnou informaci pro území rozsahu ČR?
- 5 Zhodnocení datových zdrojů vegetačních indexů pomocí vyhlazovacích metod a následné extrakce fenologických proměnných.
- 6 Detailní rozbor domácí i zahraniční literatury zabírající se využitím vegetačních indexů ke studiu časových změn vegetační fenologie.

1.3 Struktura práce

Práce je členěna do deseti kapitol, první je úvod zahrnující hypotézu, cíle a strukturu práce. Devátá a desátá představuje diskuzi a závěr, a po nich následuje použitá literatura a přílohy. Dále lze práci rozčlenit do tří hlavních částí, v první je popis jednotlivých vegetačních indexů a shrnutí dosavadních studií v tématu využití vegetačních indexů ke studiu časových změn vegetační fenologie. V další části jsou popsána data vegetačních indexů DPZ a pozemní

fenologická data a metodická část, kde jsou popsány jednotlivé metody vyhlazení dat a extrakce fenologických proměnných. Poslední částí jsou výsledky, zahrnující analýzu vývoje vegetační fenologie a kalibraci vegetačních dat DPZ pomocí pozemních fenologických dat.

2. TEORIE VÝPOČTŮ VEGETAČNÍCH INDEXŮ

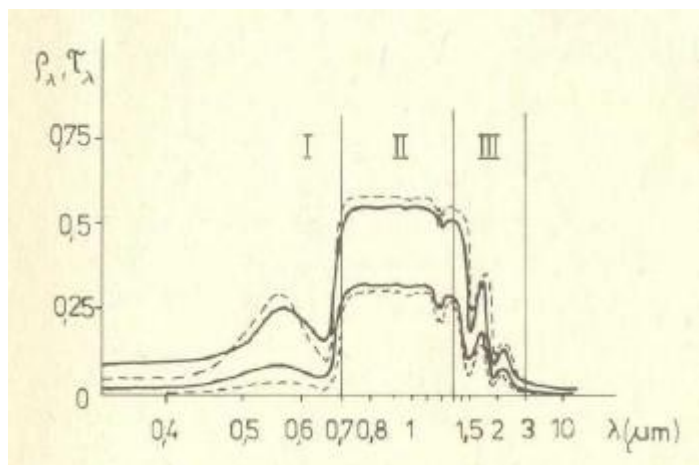
2.1 Úvod do problematiky

Ve zkoumání dálkového průzkumu Země zabírá velkou část mimo mapování, zkoumání oceánů, atmosféry, litosféry a pedosféry také biosféra, a to především vegetační složka Země. Na vegetační činnosti je prakticky závislý život na Zemi, nachází se tudíž kromě pouštních a polárních oblastí téměř po celé planetě v různých formách šířkových vegetačních stupňů. Vegetace má oproti jiným povrchům Země velkou výhodu v určování pomocí dálkového průzkumu Země, využívá totiž prudký vzrůst odrazivosti na hranici mezi viditelným zářením a blízkým IČ zářením, díky němuž je dobře viditelná, a lze při znalosti jednotlivých spektrálních projevů, charakteristik a průběhů křivek odrazivosti jednotlivé druhy vegetace rozlišovat. (KOLÁŘ, 1989)

Vegetace má prudký vzrůst odrazivosti na hranici mezi viditelným zářením a blízkým IČ zářením. Pro jednotlivé druhy se potom tento vzrůst liší. Obecný průběh vegetační spektrální křivky je popsán na spektrálních vlastnostech listu (viz Obr. 1). Jsou tři hlavní oblasti podle KOLÁŘE, HALOUNOVÉ, PAVELKY (2000, s. 41-41) to jsou „oblast pigmentační absorpce v pásmu 0,4 μm až 0,7 μm , oblast vysoké odrazivosti neboli buněčné struktury mezi 0,7 μm až 1,3 μm a oblast vodní absorpce od 1,3 μm do 3,0 μm .“

Chlorofyl (pigmentační látka) formuje průběh spektrální křivky v první oblasti, absorbuje v pásech spektra modré (0,45 μm) a červené (0,65 μm) (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000). V oblasti spektra v okolí vlnové délky 0,54 μm (zelená oblast) pak je větší odrazivost tudíž minimum pohltivosti (KOLÁŘ, 1989).

Obr. 1: Spektrální odrazivost vegetace v oblasti viditelného a IČ záření



Zdroj: (KOLÁŘ, 1989)

Žloutnutí listů způsobují pigmentační látky karoten a xantofyl, a když chlorofyl ubývá, více se projevují a dochází ke žloutnutí. Červeným pigmentem je antokyan a působí stejně jako karoten a xantofyl. Odrazivost v pásmu blízkého infračerveného záření klesá tudíž se stárnutím listů. (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000)

Druhým pásmem je nárůst odrazivosti mezi 0,7 μm a 1,3 μm díky morfologické struktuře listů, kde je nízká pohltivost buněk (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000). Poslední oblastí je pásmo vodní absorpce. Kde se nacházejí absorpční pásy vody (1,4 μm , 1,9 μm a 2,7 μm) (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000). Následuje oblast větších vlnových délek, kde je již pohltivost velmi vysoká (KOLÁŘ, 1989).

2.2 Vegetační indexy

Jak již je zmíněno výše, vegetace má důležitou vlastnost, což je prudký vzrůst odrazivosti na hranici mezi viditelným zářením a blízkým IČ zářením. Tohoto rozdílu je využito u vegetačních indexů, které mohou být nazváni indikátory přítomnosti zelené hmoty. Nejjednodušší rovnicí vegetačního indexu je:

$VI = R_{\text{blč}} - R_{\text{č}}$, kde $R_{\text{blč}}$ je odrazivost v blízké infračervené a $R_{\text{č}}$ v červené části spektra (NDVI) (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000). V současnosti se používají nejčastěji indexy NDVI, EVI a LAI. Dále se využívají i nově MTCI, PVI, NDWI a další.

2.2.1 NDVI

NDVI je normalizačně transformovaný poměr odrazivostí v blízkém infračerveném a červeném spektrálním pásmu ($\rho_{\text{NIR}} / \rho_{\text{red}}$). Je navržený od standardizovaných hodnot VI mezi -1 a +1 (SOLANO ... [et al.], 2010).

$$NDVI = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{red}}}$$

Jelikož je NDVI v poměru, má velkou výhodu. Může minimalizovat určité typy pásmově korelovaného šumu (pozitivně korelované) a vlivy přičítané změnám v přímém/rozptýleném záření, oblačností a stíny oblačností, sluncem a pohledovými úhly, topografií a atmosférickým zeslabením. Poměrem se může také snížit do jisté míry kalibrace a související chyby s jednotlivými přístroji. Míra do jaké mohou poměry snížit šum, závisí na korelaci šumu červeného a blízkého infračerveného záření (SOLANO ... [et al.], 2010).

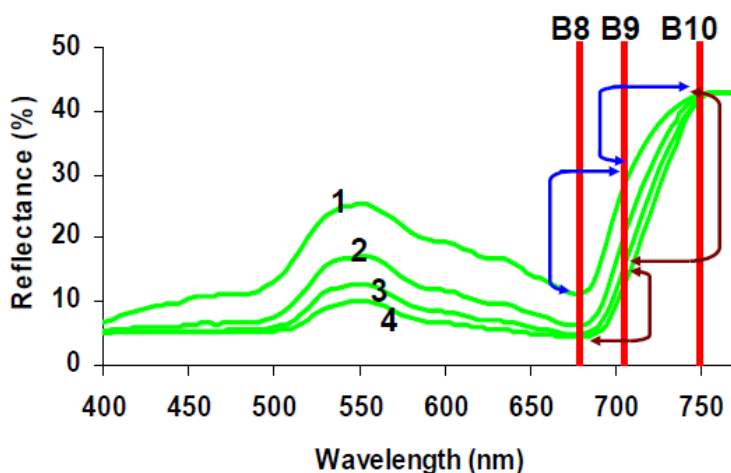
Hlavní nevýhodou poměrových indexů jsou jejich nelineárně vykazující asymptotické chování. Toto následně vede k necitlivosti vegetačních změn během určitých podmínek zemského povrchu. Poměry také nedokážou odpovídat na spektrální závislosti aditivních atmosférických účinků a interakci pozadí klenby stromů (SOLANO ... [et al.], 2010).

2.2.2 MTCI

Jedním z novějších vegetačních indexů je index MTCI – The MERIS Terrestrial Chlorophyll Index neboli MERIS pozemní chlorofylový index.

Základní dvě kritéria pro navržení MTCI z dat MERIS byly jednoduchost výpočtu ze standardně nastavených spektrálních pásem dat MERIS. Druhým kritériem pak je citlivost na široký rozsah chlorofylového obsahu (DASH, CURRAN, 2003). Na Obr. 2 je vidět průběh vegetační křivky rostlin s různým obsahem chlorofylu. Zvýšení absorpce díky zvýšení obsahu chlorofylu je vidět na rozmezí vlnových délek 650 – 700 nm. Odrazivost se dále prudce zvyšuje mezi spektrálními pásy 8 – 10 dat MERIS. Na Obr. X je také vidět rozmístění pásů 8, 9 a 10, která jsou využita při výpočtu MTCI. Ze srovnání čtyř spektrálních odrazivostí se ukazují dva významné rysy. První je, že s růstem obsahu chlorofylu se rozdíly mezi spektrálními pásy MERIS 8 a 9 postupně snižují. Naopak druhý je, s růstem obsahu chlorofylu se rozdíly mezi spektrálními pásy MERIS 9 a 10 zvyšují (DASH, CURRAN, 2003).

Obr. 2: Spektrální odrazivost vegetace s různými obsahy chlorofylu a umístění spektrálních pásem 8, 9 a 10



Zdroj: DASH, CURRAN, 2005b

MTCI je nový index, který se vypočítává jako poměr rozdílu mezi odrazivostí mezi spektrálními pásy MERIS (standardní nastavení) 10 a 9 a rozdílu v odrazivostech mezi spektrálními pásy MERIS 9 a 8.

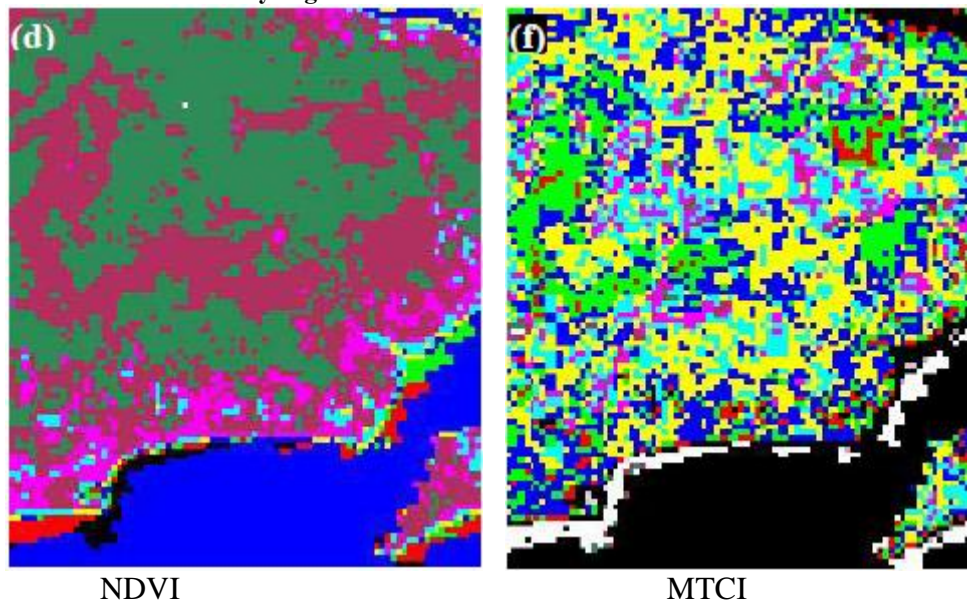
$$MTCI = \frac{R_{Band10} - R_{Band9}}{R_{Band9} - R_{Band8}} = \frac{R_{753.75} - R_{708.75}}{R_{708.75} - R_{681.25}}$$

$R_{753.75}$, $R_{708.75}$ a $R_{681.25}$ jsou odrazivosti ve středu spektrálních pásem 10, 9 a 8 standardního nastavení MERIS (DASH, CURRAN, 2003).

Hodnoty MTCI jsou v rozsahu od 1 do 6, avšak kvůli oblačnosti, výkyvům místního klimatu a šumu senzoru se často vyskytují i chybné hodnoty MTCI ($MTCI=0$) (DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010). MTCI se zdá být nejvhodnějším indexem pro odhad obsahu chlorofylu s daty MERIS (DASH, CURRAN, 2003).

Pro lepší pochopení tohoto ne příliš známého vegetačního indexu je uvedeno srovnání z textu DASH, CURRAN, 2003. Pro porovnání je zde vztah s hodnotami NDVI, který je o mnoho více známý. Srovnání bylo provedeno na území $6,3 \times 6,3$ km v jižní Anglii. Hodnoty MTCI rozdělily pixely mnohem jemněji a s většími rozdíly než hodnoty NDVI. Což můžeme vidět na Obr. 3 a v následné Tab. 1, kde je vidět přibližný vztah hodnot.

Obr. 3: MERIS snímky vegetačních indexů NDVI a MTCI



Zdroj: DASH, CURRAN, 2003

Tab. 1: Hodnoty NDVI a MTCI pro Obr. 3

Colour	NDVI		REP		MTCI	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
	-0.4	-0.2370	705	707.37	1	1.2
	-0.2371	-0.0740	707.38	709.75	1.21	1.4
	-0.0741	0.0890	709.76	712.12	1.41	1.6
	0.0891	0.2520	712.13	714.5	1.61	1.8
	0.2521	0.4149	714.51	716.87	1.81	2.0
	0.4150	0.5779	716.88	719.25	2.01	2.2
	0.5780	0.7409	719.26	721.62	2.21	2.4
	0.7410	0.9039	721.63	724	2.41	2.6

Zdroj: DASH, CURRAN, 2003

Index MTCI byl využit také například ve studii DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010, která se zabývá tématem použití MERIS pozemního chlorofylového indexu (MTCI) ke studiu časoprostorových rozdílů ve vegetační fenologii nad Indii.

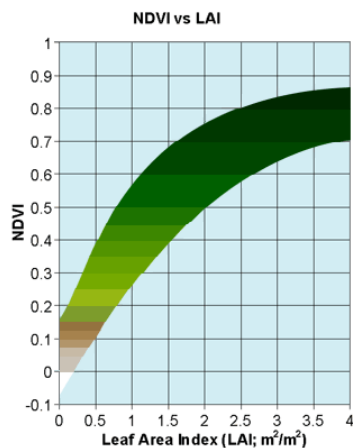
2.2.3 LAI

Poměrové vegetační indexy jako je např. NDVI mohou souviset s dalšími parametry vegetační složky krajiny. LAI – Leaf Area Index – index listové pokrývnosti je jedním z nich. „Je to celková plocha horní strany listů na horizontální jednotku plochy.“ (DANSON, 1995, Cit.

In DOBROVOLNÝ, 1998). Je to kvantitativní ukazatel celkové listové plochy, která může pohlcovat záření nezbytné pro procesy fotosyntézy. (DOBROVOLNÝ, 1998)

Na Obr. 4 je vidět celkový příklad toho jak NDVI souvisí s indexem listové plochy – LAI.

Obr. 4: Vztah LAI a NDVI



Není-li na Zemi vegetace, jsou hodnoty NDVI nejnižších v oblastech pokrytých sněhem a světlých půd. Vyšší jsou pro tmavší půdy s vyšším obsahem organické hmoty. Na Obr. 4 je vidět, že vyšší hodnoty NDVI odpovídají vyšším hodnotám LAI. Vztah ovšem není čistě lineární. (RangeView : Remote Sensing Applications for Range Management, 2005)

Zdroj: RangeView : Remote Sensing Applications for Range Management, 2005, <http://rangeview.arizona.edu/Tutorials/intro.asp>

3.2.4 EVI

Ze senzoru MODIS na družicích Terra a Aqua je k dispozici také vegetační index EVI – Enhanced Vegetation Index. Důležitým závěrem na minimalizaci atmosférických efektů je použití rozdílů v modrém a červeném pásmu odrazivosti jako odhadu úrovně atmosférického vlivu. Když je koncentrace aerosolu vyšší, zvětší se i rozdíl ve dvou pásmech. Tyto informace slouží především ke stabilizaci hodnoty indexu proti kolísání koncentrace aerosolů (SOLANO ... [et al.], 2010).

EVI odděluje půdní a atmosférické vlivy z vegetačního signálu včetně termínu zpětné vazby pro současné korekce. Především lépe odstraňuje vliv atmosféry a zemského povrchu pod vegetací. Je také více citlivý ke změnám vegetačního krytu (SOLANO ... [et al.], 2010).

Vzorec EVI:

$$EVI = G \cdot \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + C_1 \cdot \rho_{red} - C_2 \cdot \rho_{blue} + L}$$

Ve vzorci jsou ρ_x jsou zcela nebo jen z části atmosféricky korigované (Rayleighův rozptyl a absorpce ozónu) plošné odrazivosti (reflektance). L je canopy background adjustment pro korekci nelineárních, diferenčních přenosů NIR a červeného záření skrz vegetaci. C_1 a C_2 jsou koeficienty aerosolového odporu, který používá modré pásmo k odstranění aerosolových vlivů v červeném pásmu. G je ziskový nebo převodní faktor. Pro data MODIS jsou koeficienty přijaté v algoritmu EVI: L = 1; $C_1 = 6$; $C_2 = 7,5$ a G = 2,5 (SOLANO ... [et al.], 2010).

3. VYUŽITÍ DPZ VE VEGETAČNÍ FENOLOGII

3.1 Fenologie

Využití dálkového průzkumu Země ve vegetační fenologii se v posledních letech velmi rozšířilo. Poskytuje nám totiž prostorově i časově zajímavé informace, které pozemním pozorováním nejsme schopni dosáhnout.

Ve shrnujícím studii CLELAND ... [et al.], 2007 zabývající se posunutím fenologie rostlin v reakci na globální změny nalezneme základní informace týkající se této problematiky a problematiky fenologie. Základním kamenem těchto studií je to, že rostliny jsou citlivé na sezónnost jejich prostředí a posuny v načasování činnosti rostlin. Poskytují jedny z nejpřesvědčivějších důkazů, které druhy a ekosystémy jsou nejvíce ovlivněny globální změnou životního prostředí. Vědci všech oborů se zajímají v různých měřítcích o posun fenologie, jako je dřívější nástup zeleně na zemském povrchu odhalený ze satelitních snímků. (CLELAND ... [et al.], 2007).

V této kapitole se zaměříme na jednotlivé poznatky v tomto oboru, které byly odhaleny, nebo na kterých se nadále pracuje a které se diskutují. Ve studii CLELAND ... [et al.], 2007 se diskutují především obecná témata z oblasti fenologie a to propojení fenologie a klimatu, pozorovací místa a druhová úroveň fenologie, DPZ a ekosystémová a globální měřítka fenologie, atmosférické monitorovací sítě a důsledky pro globální uhlíkový cyklus, rozpletení vlivů různých globálních změn, modelování fenologie, integrace více technik pro měření fenologických reakcí na globální změny a možnosti budoucího výzkumu v těchto oblastech.

Stále se v této práci budeme setkávat s pojmy fenologie a fenofáze. Následně budou uvedeny některé definice těchto pojmů:

fenologie: „studium pravidelných událostí v životním cyklu zvířat nebo rostlin pod vlivem životního prostředí (zejména sezónní výkyvy teplot a srážek)“ podle CLELAND ... [et al.], 2007

fenofáze: „zvláštní fáze vývoje, jako je například rašení, kvetení, zralost plodů nebo opad listů“ podle CLELAND ... [et al.], 2007

Více informací o jednotlivých fenofázích naleznete v kapitole popisu pozemních fenologických dat.

3.2 Základní analýzy z 90. let

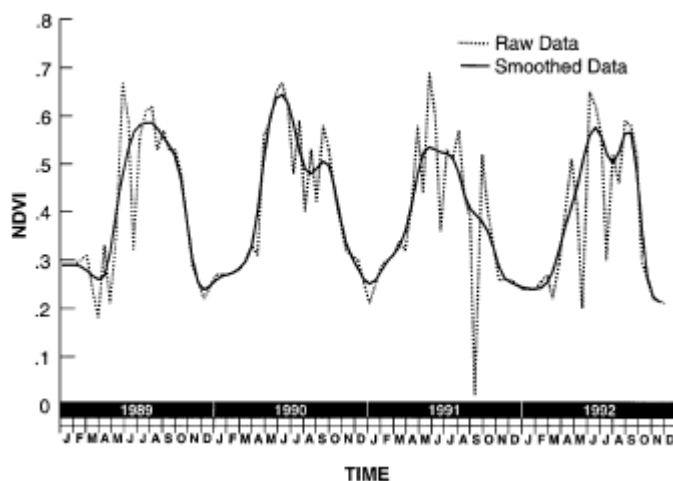
K základním studiím z dřívějších let patří WHITE, THORNTON, RUNNING, 1997 kontinentální fenologický model pro monitorování vegetačních reakcí v meziroční klimatické variabilitě. Tato studie zkoumala regionální fenologii, která je důležitá v simulačních modelech ekosystémů a doplněna biosférickými a atmosférickými modely. V kontinentálních Spojených státech je načasování počátku zeleně na jaře (expanze listů a zazelenění trávy) a stárnutí rostlin na podzim (opad listů, zastavení růstu, hnědnutí trávy) silně ovlivněno meteorologickými a

klimatologickými podmínkami. Byl vyvinut prediktivní fenologický model založený na tradičním fenologickém výzkumu. Průměrná absolutní chyba nástupu vegetace byla 7.2 dne u biomů listnatých opadavých lesů a 6.1 dne u biomu travních porostů. Konečná průměrná absolutní chyba byla 5.3 dne u listnatých opadavých lesů a 6.3 dne u travních porostů. Maximální očekávané chyby na úrovni pravděpodobnosti 95% se pohybovaly od 10 do 14 dnů. Nástup vegetačního období byl silně spojený s teplotními hodnotami v obou biomech, konec vegetačního období listnatých lesů byl nejlépe předpovězen pomocí fotoperiodické funkce, zatímco konec vegetačního období u luk vyžaduje kombinaci srážkových a teplotních kontrol. Kontinentální uplatnění fenologických modelů v letech 1990-1992 odhalilo rozsáhlou meziroční variabilitu nástupu a konce vegetačního období. Střední kontinentální vegetační doba se pohybovala od nejmenších 129 dnů v roce 1991 po nejvyšších 146 dnů v roce 1992. Možnost využití těchto modelů zahrnuje pozorování začátku, konce a délky vegetačního období ve velkoměřítkových biogeochemických modelech a sledování vegetační reakce na meziroční klimatické změny. (WHITE, THORNTON, RUNNING, 1997)

Další studií z devadesátých let je měření fenologické variability ze satelitních snímků od REED ... [et al.], 1994. V této studii byla využívána data NDVI AVHRR (1982-1992), které nabízí prostředky pro efektivní a objektivní hodnocení fenologických charakteristik na velkých plochách. Z těchto dat bylo vypočteno dvanáct veličin souvisejících s klíčovými fenologickými událostmi na území Spojených států. Mezi tyto veličiny patří nástup zeleně, datum vrcholu NDVI, maximální NDVI, rychlost nástupu zeleně, rychlost nástupu zeleně, rychlost stárnutí a integrované NDVI. Srovnání dat s šumem a vyhlazenými je na Obr. 5. Výsledky analýzy ukázaly silnou shodu mezi satelitně odvozenými veličinami a předpovězenými fenologickými charakteristikami. Tyto výsledky mají vliv na mapování a sledování velkých ploch krajinného pokryvu. Přínos dálkově snímaných dat jako vstupu pro mapování vegetace se projevuje tím, že ukazuje zřetelně fenologii několika typů zemského povrchu. V regionálním nebo globálním monitorovacím systému může

sloužit zvýšení variability v regionu jako signál k provedení podrobnější analýzy půdního pokryvu s vyšším rozlišením snímků. Vegetační fenologické jevy jsou úzce související se sezónní dynamikou spodních vrstev atmosféry, a tudíž jsou důležité pro monitorování vegetace a globální modely.

Obr. 5: Data NDVI s šumem a vyhlazená v letech 1989-1992



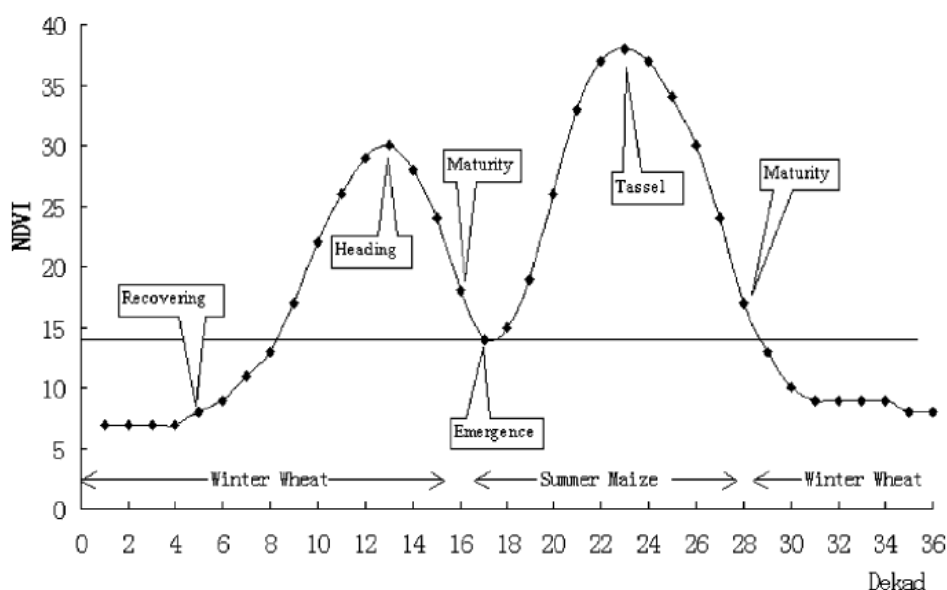
Zdroj: REED ... [et al.], 1994

3.3 Analýzy fenologie zemědělských plodin

Další skupinou studií využívající vegetační fenologii jsou analýzy fenologie zemědělských plodin. Mezi starší studie z této skupiny patří určení vegetačního období pozemní vegetace na základě fenologie rostlin a satelitních dat v severní Číně od autorského kolektivu CHEN ... [et al.], 2000. Cílem této studie bylo prozkoumat vztahy mezi fenologií rostlin a satelitně odvozených měření zeleně a urychlit nový postup pro stanovení vegetačního období půdní vegetace v regionálním měřítku. Průměrná délka vegetačního období se pohybovala mezi 188 dny na severu a 259 dny v jižní části výzkumné oblasti. Výsledky ukazují, že na začátku vegetačního období se nejvyšší průměrná hodnota zeleně vyskytuje v jižní části, pak v severní a nakonec ve střední části zkoumaného regionu. Naproti tomu na konci vegetačního období je největší průměrná hodnota zeleně naměřená v severní části, další ve střední a konečně nejmenší v jižní části výzkumného regionu. V dalších studiích mohou být tyto odvozené prahové hodnoty NDVI použity pro určení vegetačního období podobných rostlinných společenstev na jiných místech, které postrádají povrchové fenologické údaje. (CHEN ... [et al.], 2000)

XIN ... [et al.], 2002 se zabývali mapováním klíčových fenofáze plodin v severní čínské rovině. Na základě časové řady NDVI NOAA/AVHRR bylo definováno šest klíčových fenologických fází v Huang-Huai-Hai rovině v Číně od roku 1990 do 2000. V zimě byla pozorována pšenice a v létě kukuřice. Šest fenofází bylo zaznamenáno pomocí 10 denního kompozitu NDVI s rozlišením 6 km. Obnovení fáze pšenice ozimé, zaznamenané na satelitu, úzce souvisí s naměřenými teplotami v únoru, zatímco výnosy letní kukuřice byly dobře korelovány se satelitně odvozenou délkou cyklu plodin. Bylo provedeno srovnání se synchronními pozemními fenologickými údaji, které potvrdily provázanost se satelitně odvozenými fenologickými daty. Uplatnění zavlažování a relativně krátké 10 ti roční období, za které byla data dostupná, vysvětluje, proč meziroční kolísání rostlinné fenologie bylo relativně malé. V budoucnosti při využití 5 ti denního časového kompozitu a prostorového rozlišení 1 km by se měla přesnost odhadu výrazně zvýšit. Zlepšení metody vyhlazování související se dvěma vrcholy a dvěma údolími v každém ročním cyklu (viz Obr. 6) může dále optimalizovat hodnoty NDVI z časových snímků. I toto by nadále zvýšilo přesnost odhadu. Validace je potřebná pro celou HHH rovinu. Budoucí výzkum se bude zaměřovat na terénní sběr dat, vyhlazovací metody a na definici satelitně odvozené fenologie s různým rozlišením snímků. Závěry této studie tvrdí, že satelitní sledování může poskytnout užitečné informace o krajinném pokryvu HHH roviny, zejména s ohledem na začátek vegetačního období, výskytu maximálního růstu a na konec vegetačního období. Klima, počasí a všechny lidské činnosti mají významný dopad na vegetační fenologii. Změny v rostlinné produkci na regionální úrovni lze předvídat prostřednictvím studií fenologickým změn dálkového průzkumu v kombinaci s meteorologickými modely a modely simulujícími růst plodin. (XIN ... [et al.], 2002)

Obr. 6: Satelitně odvozené roční kolísání průměrné hodnoty NDVI na rovině HHH



Zdroj: XIN ... [et al.], 2002

Další studií z čínské oblasti je WANG ... [et al.], 2008, která se zabývala fenologickými trendy u zimní pšenice a jarní bavlny v reakci na klimatické změny v severozápadní Číně. Tato studie určila trend klimatických změn během období 1981-2004 v severozápadní Číně a posoudila dopady klimatických změn na fenologické fáze a produktivitu zimní pšenice a jarní bavlnu. Ve studii stanovily, že existuje jasný trend oteplování klimatu v průběhu sledovaného období, což vedlo k dřívějšímu stonkovému prodloužení, butonizaci, kvetení a fázi zrání zimní pšenice o 13.2, 9.8, 11 a 10.8 dne během 24 leté periody. Vegetační období od vzniku sazenic po zastavení prodlužování se zkrátilo o 16.1 dne, ale vegetační období od kvetení je prodloužené o 8.2 dne během 24 letého období. U bavlny datum nástupu sazenic, očkování, kvetení a fáze otevírání tobolky přicházejí dříve respektive o 10.9, 9.0, 13.9 a 16.4 dne v období 1983-2004. Vegetační období z pěti listnatých fází jako rašení, rašení na kvetení, a fáze od kvetení k otevírání tobolky byly prodlouženy o 2.4, 12.0, a 9.0 dne. Zvyšování minimálních teplot v průběhu vegetačního období pozitivně ovlivnilo růst zimní pšenice, ale zvyšování maximálních teplot v průběhu reprodukčního období negativně ovlivnilo hmotnost jádra a výnos zrna. V důsledku toho se výnos zrna pšenice zimní snížil, ale výnos z bavlny v průběhu této studie vzrostl. Trend oteplování klimatu se zdá být příznivý pro produkci bavlny, ale nevýhodný pro zimní pšenici v severozápadní Číně. (WANG ... [et al.], 2008)

Další podobnou studií zabývající se klimatickými změnami a trendy ve fenologii a výnosy plodin v Číně v letech 1981 až 2000 je TAO ... [et al.], 2006. V této studii byly kontrolovány plodiny a klimatická data z reprezentativních stanic po celé Číně během let 1981-2000, dále zde bylo zkoumáno, zda existují významné trendy ve změnách klimatických proměnných v různých regionech a zda by tyto změny měly významný dopad na vývoj a produkci plodin (rýže, pšenice, kukuřice). Výsledky ukázaly, že významný trend oteplení byl pozorován ve většině sledovaných stanic a změny teplot posunuly fenologii plodin a postižené výnosy v průběhu dvou desetiletí. Pozorované modely změn klimatu, jakož i jejich dopad na

fenologii plodin a jejich výnosy jsou prostorově rozmanité po celé Číně. Tato studie také zdůrazňuje potřebu dalších výzkumů kombinovaných dopadů teplot a koncentrace CO₂ na fyziologické procesy a mechanismy, jimiž se řídí růst zemědělských plodin a produkce. (TAO ... [et al.], 2006)

Mezi novější studie patří charakteristika prostorových modelů fenologie u orné půdy v Číně na základě distančních dat WU ... [et al.], 2010. I v této práci se autoři zajímali o začátek a konec vegetačního období. Prostorové vzorce systémů obdělávání půdy a fenologie čínské orné půdy velmi souvisí s geofyzikálními faktory životního prostředí. Několik antropogenních faktorů jako je pěstování odrůdy, úroveň kultivace, zavlažování a hnojiva mohou hluboce ovlivnit fenologický stav plodin. Jak rozlišovat dopady biofyzikálních sil a antropogenních na fenologické události pěstování zůstává velkou výzvou pro další studium. (WU ... [et al.], 2010)

Mezi nejnovější studie patří práce PAN ... [et al.], 2012 zabývající se odhady oblastí zimní pšenice z časových řad MODIS-EVI pomocí Crop Proportion Phenology Indexu (CPPI). Tento index vyjadřuje kvantitativní vztah mezi časovými řadami vegetačního indexu VI MODIS a osevní plochou zimní pšenice.

Studie BUYANTUYEV, WU, 2012 zabývající se urbanizací a konkrétně pak jak urbanizace diverzifikuje fenologii povrchu půdy v aridních oblastech a interakcí mezi vegetací, klimatickými změnami a vztahy využití půdy v Phoenixu (metropolitní oblasti USA). Urbanizace mění vegetační vzorce a ekosystémové procesy, které jsou kontrolovány klimatem v pouštních oblastech. Cílem této studie bylo zjistit, jak urbanizace ovlivňuje vegetační fenologii a jak se jeví jako jeho spojka s klimatem v regionu metropolitní USA - Phoenixu. Zemědělství se vyznačuje nejkratší délkou a nejrychlejším růstem vegetačního období. Naopak městská vegetace zůstává fotosynteticky aktivní po delší dobu. (BUYANTUYEV, WU, 2012)

Mezi nejnovější studie patří určitě HORION ... [et al.], 2012 zabývající se studiem interakce mezi variabilitou klimatu a vegetační dynamikou používanou fenologicky založeným přístupem. V této práci bylo zkoumáno, zda a jak mohou být podepsána klimatické kontroly na vegetačním růstu na regionálním měřítku s využitím časových řad SPOT-VEGETATION NDVI a ECMWF meteorologických dat. Dvanáct regionů, charakterizovaných dominantní a stabilní zemědělskou půdou nebo pokrytými pastvinami, bylo vybráno v Evropě a Africe. Výsledky ukazují, že vztah mezi NDVI a meteorologickými parametry je velmi složitý a značně se liší ve fenologických cyklech rostlin. Proto interakce mezi vegetační dynamikou a proměnlivostí klimatu musí být zkoumána v menším časovém rozsahu s cílem určit správně limitující faktory pro růst vegetace. Použitím NDVI veličin byly identifikovány vegetativní fáze (od začátku po maximum NDVI) a reprodukční fáze (od maxima NDVI do dospělosti) pro každý region. Korelační analýza odhalila, že ve většině případů jsou nejlepší výsledky Pearsonova korelačního koeficientu r získány, když byly uvažovány vegetativní fáze a reprodukční fáze odděleně. (HORION ... [et al.], 2012)

3.4 Analýzy fenologie přirozené vegetace

Důležité jsou práce zkoumající fenologii přirozené vegetace. Jednou z nich je studie ročních změn MODIS vegetačních indexů švédských jehličnatých lesů ve vztahu k sněhové dynamice a fenologii stromů od JÖNSSON ... [et al.], 2010. Dálkový průzkum Země poskytuje prostorově i časově kontinuální opatření lesní odrazivosti, vegetační indexy jsou počítány z družicových dat a můžou být užitečné pro monitorování dopadů klimatických změn na fenologii lesních stromů. Sledování stálezelených jehličnatých lesů je obtížnější než sledování listnatého lesa, protože nové pupeny tvoří jen malou část zelené biomasy a tento proces je velmi pomalý. V této studii byla analyzována data ze 186 monitorovacích míst jehličnatých lesů ve Švédsku pokrývajících boreální, jižní boreální a přechodné boreální pásma. Cílem této studie bylo přezkoumat možnost sledovat sezónní změny v jehličnatých lesích pomocí časové řady osmidenních vegetačních indexů MODIS. Bylo provedeno testování mezi satelitně sledovanými vegetačními indexy (VI) a teplotně závislé fenologií. Dále byly analyzovány vztahy mezi dvěma vegetačními indexy (NDVI a WDRVI) a čtyřmi fenologickými indikátory (délka sněhové sezony, modelovaný začátek vegetačního období, úroveň mrazuvzdornosti a rašení pupenů). Roční křivky vytvořené dvěma metodami vyhlazování křivek pro sezónní změny v NDVI a WDRVI byly charakterizovány do značné míry vyskytující se sněhem, a produkovaly stabilní sezónní výkyvy v severní části a nepravidelné křivky s méně výraznou roční amplitudou v jižní části země. Opatření založená na prahových hodnotách křivek vegetačních indexů běžně používaných pro určení načasování jednotlivých fenologických fází nebyly použité pro švédské lesy. Stálezelená vegetace nemá prudký nárůst zeleně na jaře a tání sněhu může ovlivnit vegetační indexy na načasování rašení pupenů v boreálních lesích. Sezónní změny ve vegetačních indexech více souvisely s vegetační dynamikou (přibližně 90%) než se změnami biomasy v jehlách stromů (cca 10%). Prahové hodnoty vegetačních indexů běžně používané pro sledování jarní fenologie nebyly použitelné pro švédské jehličnaté lesy. Hodnoty vegetačních indexů představují směsici mezi krytem zeleného lesa a zasněženou zemí a tání sněhu tedy ovlivňuje načasování rašení v boreálních lesích. Potenciál pro sledování vlivu změn klimatu na fenologii severních jehličnatých lesů byl indikován hodnotami VI pro konkrétní osmidenní období, která jsou korelována s teplotní závislostí jarního pokroku (včetně tání sněhu a zvýšení zelené biomasy). Regionální specifické trendy byly poněkud výraznější u WDRVI než u NDVI, ale bez větších rozdílů mezi oběma vyhlazovacími metodami (double logistic and Savitsky–Golay). Nicméně meziroční změny v hodnotách VI specifických osmidenní periodou souvisí s fenologickými ukazateli. Tento vztah může být použit pro satelitní sledování potenciálních dopadů změn klimatu na severní jarní fenologii jehličnatých lesů. (JÖNSSON ... [et al.], 2010)

Další prací tentokrát pro smíšené lesy je KANG ... [et al.], 2003. Zabývá se regionálním fenologickým modelem pro detekci vzniku zeleně v mírných smíšených lesích v Koree a aplikací MODIS indexu listové plochy. Regionální fenologický model pro detekci nástupu vegetační zeleně byl vyvinut za použití dat 2001 MODIS smíšených lesů mírného pásu v Koreji. Model obsahuje digitální výškový model (DEM), landcover (MODIS), produkt indexu listové plochy (LAI) a klimatická data z monitorovacích meteorologických stanic. Nástup

zeleně (podle dat MODIS) se prostorově měnil a ukázal vysokou korelaci s teplotou vzduchu ($r=-0.7$, $p<0.001$). Nástup zeleně se očekává na hodnotách nad kritickou hodnotou teploty a předpokládá se, že se liší prostorově. Algoritmus pro omezení 8-denního kompozitu MODIS LAI zde byl představen na denní jednotku a jeho předvídatelnost byla ověřena pomocí pozemně měřeného nástupu zeleně. Mezi předpokládaným a na časové řadě založeným (MODIS) začátkem nástupu zeleně byla nalezena střední absolutní chyba (3 dny) a zkreslení (+1,6 dne). Předpovídané začátky nárůstu vegetace ukazují dobrou shodu s pozemním měřeným nástupem zeleně (střední absolutní chyba = 2.5 dne a zkreslení = +2,5 dne). Tato studie ukazuje užitečnost pozemních produktů MODIS jako nástroje pro zjišťování prostorové variability ve fenologii napříč klimatickými ukazateli. (KANG ... [et al.], 2003)

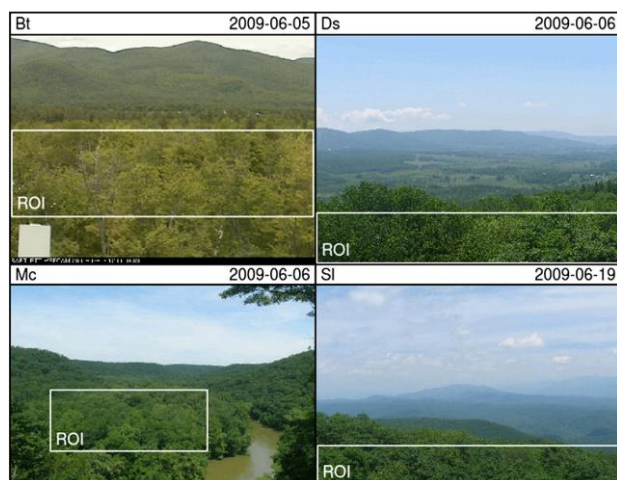
V roce 2006 byla vydána studie detekce fenologie listů sezónně vlhkých tropických pralesů v Jižní Americe s multitemporálními snímky MODIS (XIAO ... [et al.], 2006). Fenologie listů stálezelených tropických lesů má vliv na toky uhlíku a vody. V dřívějších studiích sezónních vlhkých stálezelených tropických lesů v povodí Amazonky ukázaly datové časové řady EVI MODIS neočekávané sezónní vztahy, vyšší EVI v pozdním období sucha než v období dešťů. V této studii byla provedena analýza stálezelených lesů v Jižní Americe na regionálním měřítku na základě dat časových řad EVI MODIS v roce 2002. Výsledky ukazují velký dynamický rozsah a prostorové variace průměrných maxim EVI jehličnatých lesů v regionu. V tropických stálezelených lesích dochází k maximálnímu EVI v roce 2002 obvykle během pozdního období sucha na začátku období dešťů. Tyto výsledky naznačují, že fenologie listu v tropických stále zelených lesích není určena sezónností srážek. Místo toho může být fenologický proces listů řízen dostupností slunečního záření nebo vyvarování se býložravců. (XIAO ... [et al.], 2006)

V roce 2012 vyšla studie hodnocení Landsat a MODIS datové fúze produktů pro analýzu lesní fenologie od WALKER ... [et al.], 2012. Aktuální satelitní senzory poskytují údaje o nedostatečném prostorovém a časovém rozlišení, aby plně charakterizovaly fenologické vzory lesů. Prostorový, časový, adaptivní, odrazivostní fúzový model (STARFM) je algoritmus, který spojuje Landsat 30 m údaje s daty MODIS 500 m na výrobu syntetického snímku s prostorovým rozlišením Landsat 30 m a v časových krocích MODIS. V této studii bylo hodnoceno, zda je možné pomocí STARFM produkovat syntetické snímky pro studium vegetace území za účelem sledování fenologických změn. Tato práce ukazuje, že je možné pomocí STARF sestavit snímkovou časovou řadu na prostorové rozlišení Landsat a časové rozlišení MODIS ve vegetaci suchozemských ekosystémů. (WALKER ... [et al.], 2012)

Práci zabývající se listnatými lesy je HUFKENS ... [et al.], 2012 a to konkrétně propojení povrchových a družicových měření fenologie listnatého opadavého lesa. V tomto článku jsou porovnávány „blízko povrchově“ snímané obrazy a družicové snímky založené na pozorování fenologie vegetace na čtyřech místech listnatých lesů. Konkrétně se řešily tři otázky týkající se pozorování rostlinné fenologie měřené pomocí RGB kamer namontovaných na věžích nad korunami lesních stromů (viz Obr. 7) a jejich vztahu k měření fenologie získané družicovými snímky. Za prvé, jak se odhaduje přechodné datum fenofáze nebo pozorovatelné fáze životního cyklu rostlin ovlivněné volbou VI měřené pomocí dálkového průzkumu? Za

druhé, jsou srovnatelné VI a fenologické veličiny odvozené z povrchu a družicovými snímky a

Obr. 7: Zorné pole digitální kamery regionů zájmů



Zdroj: HUFKENS ... [et al.], 2012

jaký je druh a rozsah kovariance mezi povrchovými snímky a odhady fenologie z dálkového průzkumu na sezónních a meziročních časových škálách? Za třetí, poskytnou povrchová data dálkového průzkumu základ pro ověření satelitních pozemních produktů fenologie a jaké jsou požadavky pro dosažení tohoto cíle? Dále výsledky ukazují, že konkrétní VI používané ke sledování fenologie mají podstatný vliv na satelitně odvozené fenologické veličiny. Výsledky této práce zlepšují pochopení toho, jak se vzájemně doplňují povrchové a družicové snímky.

(HUFKENS ... [et al.], 2012)

Vliv na načasování jarní fenologie má i sníh. Tématem dálkového průzkumu jarní fenologie v boreálních oblastech a metodou bez sněhového efektu s využitím dat NOAA se zabývá DELBART ... [et al.], 2006. Měření jarních fenologických dat v boreálních oblastech s použitím NDVI mohou být ovlivněny táním sněhu. To má vliv na analýzu meziročního kolísání fenologie a odhadů ročních toků uhlíku. U těchto dvou cílů musí být odstraněn efekt jarního tání sněhu z fenologických detekcí. V této práci je navrhována metodika pro stanovení data začátku vegetačního období v období 1982 – 2004 pomocí SPOTVEGETATION (VGT) a NOAA AVHRR dat. Od roku 1998 se datum nástupu vegetačního období bere jako datum, kdy se NDWI vypočtený z SPOT-VGT u blízkých a krátkovlnných infračervených pásem začíná zvyšovat. Tento index se snižuje s táním sněhu, ale zvyšuje se s vegetační zelení. Pro období 1982-2001 datum začátku vegetačního období je den, ve kterém se AVHRR-NDVI rovná pixelově specifickému prahu (PST) určeném pomocí výsledků metody NDWI v letech, která jsou společná pro obě datové sady. Tyto metody jsou ověřeny pomocí dat pozemních měření vzhledu listů. RMSE je 6.7 a 7.8 dní, respektive se to zjistí pomocí metodik NDWI-VGT a PST-NOAA. Rozdíl mezi oběma metodikami ve společných letech je malý. Velmi důležité je, že data nejsou zkreslená. Jsou analyzovány meziroční variace 23 roční datové sady jarní fenologie studované oblasti. V průměru je zpoždění 3.6 dní ve studované oblasti. Tyto výsledky potvrzují a dokončují předchozí studie o trendech začátků vegetačních období, odstraňují chyby kvůli sněhu a může to zlepšit výpočty toků uhlíku. (DELBART ... [et al.], 2006)

Studie LIANG, SCHWARTZ, SONGLIN, 2011 se zabývá ověřením satelitní fenologie intenzivním pozemním pozorováním a krajinným měřením v smíšených sezónních lesích. Fenologie je klíčovou součástí sledování pozemních ekosystémových změn v reakci na globální změny klimatu. Satelitní měření zemského povrchu byly hodně používány k posouzení rozsáhlých fenologických vzorů a procesů. Nicméně přesnost satelitní měření zemského povrchu bylo zřídka ověřeno prostorově kompatibilními terénními daty vzhledem k nesouladu

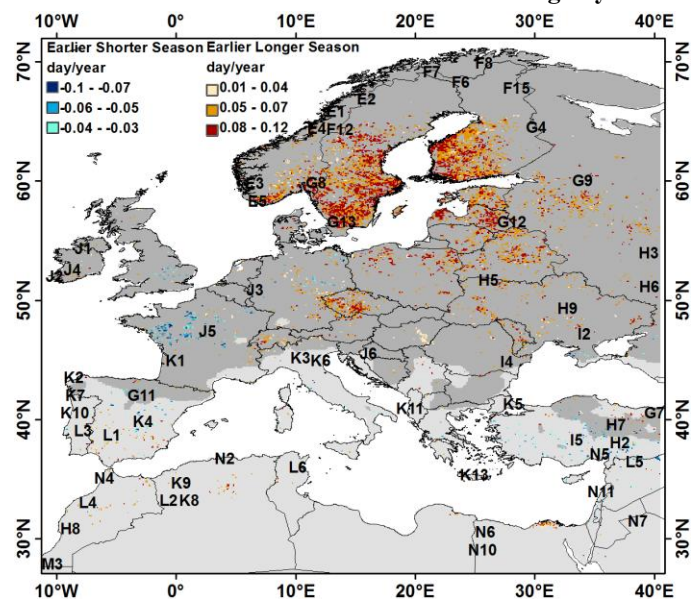
časoprostorového měřítka. Tato studie přispívá k přesnějšímu pochopení vazeb mezi distanční fenologií a tradiční pozemní fenologií. (LIANG, SCHWARTZ, SONGLIN, 2011)

GUYON ... [et al.], 2011 se zaměřili na sledování výškových rozdílů ve fenologii listnatých opadavých lesů z SPOT/VEGETATION časových řad. Snížení délky vegetačního období s výškou, zpoždění při zvýšení PVI na jaře a i před poklesem na podzim bylo jasně pozorovatelné. Průměrné zpoždění začátku vegetačního období je na každých 100 m o 2.3 dny. (GUYON ... [et al.], 2011)

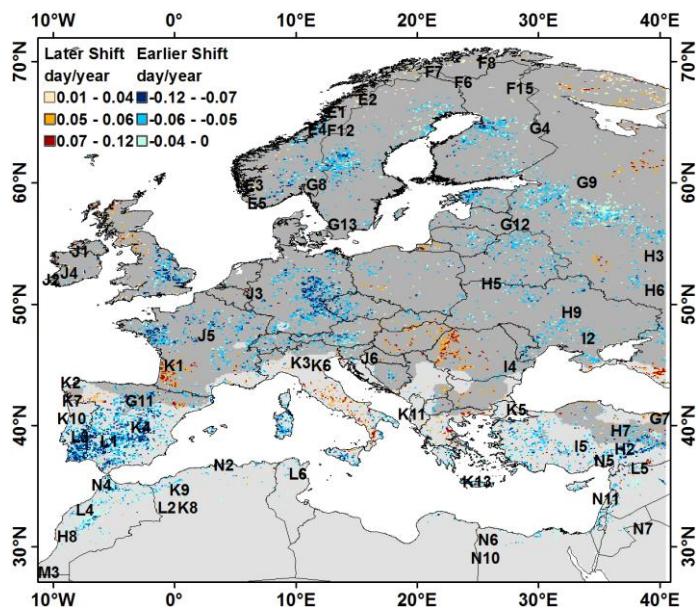
Studie DUNN, DE BEURS, 2011 se také zaměřila na vysokohorské prostředí a to konkrétně na fenologii zemského povrchu životního prostředí severoamerických hor s využitím dat MODIS. Nadmořská výška a šířka vykazovaly nejvýznamnější vlivy na načasování vegetačního období SOS (začátku) v celé zájmové oblasti. (DUNN, DE BEURS, 2011)

Zajímavá studie IVITS ... [et al.], 2012 se zabývá kombinací satelitně odvozené fenologie s klimatickými daty pro posouzení dopadů změn klimatu. Očekává se, že předpokládaný vliv na změnu klimatu, na načasování a objemu produkce fytohmoty ovlivní celou řadu ekosystémových služeb. Dlouhodobé změny vegetačního období v různých oblastech ochrany životního prostředí v Evropě pro 1982-2006 byly odvozeny na základě analýzy časových řad dat GIMMS NDVI. Byly vyhodnoceny skupiny fenologických homogenních prostorových shluků do časových řad teplotních a srážkových dat. Severovýchodní Evropa prokázala trend ke dřívějšímu nástupu a delšímu vegetačnímu období a to zejména v severních baltských oblastech. I přes dřívější nástup zeleně rozlehlé oblasti Evropy vykazovaly poměrně stabilní délku sezóny naznačující posun celého vegetačního období do dřívější doby. Severní Středomoří naznačuje vegetační posun směrem k pozdějším datům, zatímco v některých aglomeracích bylo vidět dřívější a kratší vegetační období. Výsledky ve formě přehledných map jsou na Obr. 8. Obhospodařované ekosystémy však vypadají, že mají heterogenní změny s malou nebo žádnou korelací ke klimatickým trendům. Výsledky podtrhují význam satelitních fenologických pozorování vysvětlujících místní neshody klimatických trendů pro posouzení dopadů změn klimatu. (IVITS ... [et al.], 2012)

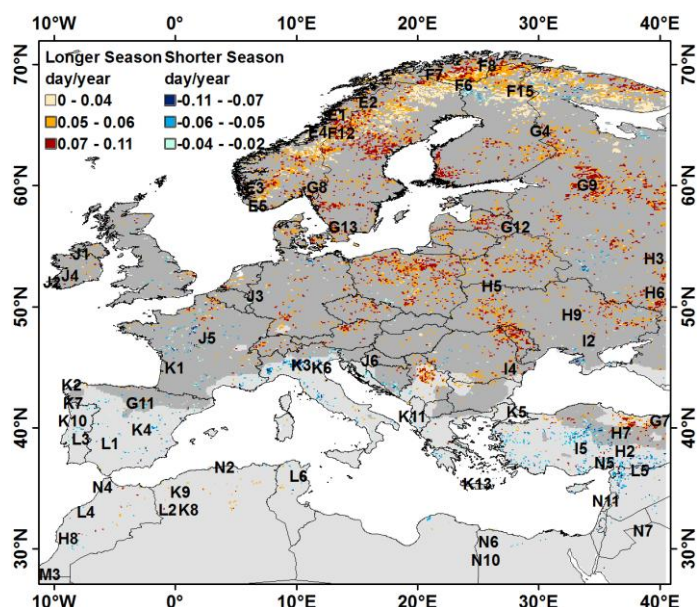
Obr. 8: Prostorová distribuce kombinací fenologických trendů v období 1982-2006



8.A Dřívější kratší období a dřívější delší období, šedě zabarvená pole nevýznamné trendy



8.B Dřívější posun období pozdější posun období, šedě zabarvená pole nevýznamné trendy



8.C Delší období a kratší období, šedě zabarvená pole nevýznamné trendy

Poznámka: V pozadí map jsou srážkami řízené oblasti – Středomoří, světle šedá a teplotně řízené oblasti – střední a severní Evropa, tmavě šedá

Zdroj: (IVITS ... [et al.], 2012)

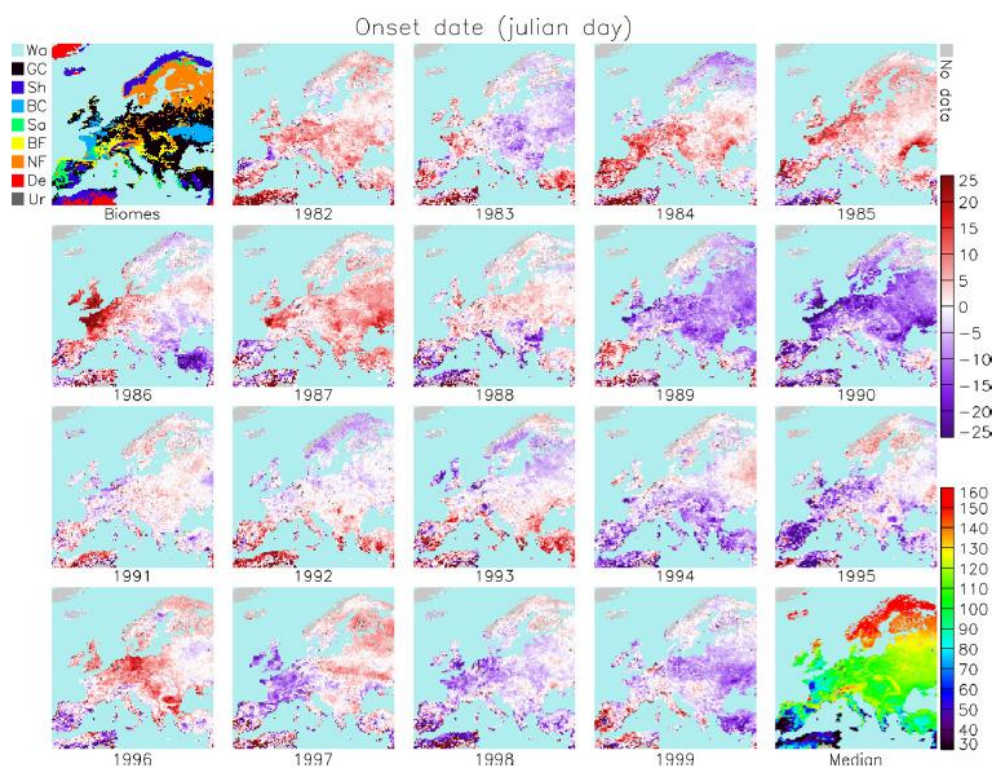
Důležitá studie s ohledem na zkoumání fenologie je DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010. Zaobírá se tématem použití MERIS pozemního chlorofylového indexu (MTCI) ke studiu časoprostorových rozdílů ve vegetační fenologii nad Indii. Indie má rozmanitou strukturu vegetačních typů od tropické stálezelené až po suché opadavé. Fenologie těchto přirozených vegetačních typů je často řízena klimatickými podmínkami. Odhad fenologických proměnných pomůže v pochopení odpovědi tropické a subtropické vegetace na klimatické změny. Studie zkoumala roční a meziroční rozdíly ve vegetační fenologii v Indii pomocí družicových snímků. Používala se data časových řad indexu MTCI od roku 2003 do 2007 v prostorovém rozlišení 4,6 km. Každý pixel byl analyzován časově v letech 2003 až 2007

a fenologické proměnné byly získány pomocí metody inflexního bodu. První čtyři harmonické DFD byly použity k vyhlazení signálu při zachování celkového fenologického vzoru. Hlavní druhy krajinného pokryvu byly získány z map krajinného pokryvu GLC2000. Silná shoda byla pozorována v očekávaném fenologickém vzoru, zejména meziročně a ve variabilitě zeměpisných šířek klíčových fenologických proměnných. Prostorové změny se zeměpisnou šířkou byly pozorovány u fenologických proměnných pro přirozenou vegetaci. Ve všech fenologických proměnných analyzujících nástup zeleně byl vysoce související se zeměpisnou šířkou bez ohledu na typ vegetace. Mezi všemi přírodními vegetačními typy byl počátek zeleně nejvíce ohraničen a nesebněji extrahován pro suchý typ listnatého porostu. U převažujících přírodních vegetačních typů měl nástup zeleně větší zeměpisné rozdíly ve srovnání s koncem vegetačního období. Ve vegetačním období 2003-04 byl zjištěn pozdní začátek nástupu zeleně v nízkých a středních zeměpisných šířkách, což bylo přičítáno extrémně chladnému počasí v první části roku 2003. Délka vegetačního období se pohybovala od východu na západ v oblastech hlavní sklizně v Indo-Gangské rovině. Bylo zjištěno, že délka vegetačního období klesá od východu k západu a to s časným nástupem zeleně na východě pro první sklizně plodin, ale s pozdním nástupem zeleně na východě pro druhé plodiny. Poprvé se tato studie pokusila vytvořit rozsáhlý regionální fenologický vzor z obsahu chlorofylu pro Indii pomocí odhadu z dálkového průzkumu s využitím pětiletých dat. Celkové modely fenologických proměnných zjištěných z této studie se obecně shodují se vzory přirozené vegetační fenologie odhalenými v dřívějších studiích. Extrahované fenologické proměnné z této studie mohou být použity jako důležitý podklad pro zkoumání vlivu změny klimatu na přirozenou vegetaci například prostřednictvím bio-geochemického modelování. Kromě toho prostorové informace o fenologických proměnných jsou důležité pro plánování, řízení a strategie pro zachování suchozemských ekosystémů. Výsledky této studie naznačují, že je potřeba mít organizované sítě spojující pozemní a vesmírné pozorování, které v současné době na území Indie chybí. (DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010)

Odhadem meziroční vegetační fenologie ze srovnání globálních AVHRR datových měření a aplikací se zabývá studie MIGNAN ... [et al.], 2008. Měření opravené o směrové účinky v odrazivosti časových sérií AVHRR ukazují mnohem méně vysokofrekvenční variability než jejich původní protějšky, díky tomu jsou mnohem více vhodnými pro studium vegetační dynamiky. Časové řady jsou v této studii použity pro odhad počátečního a koncevého data vegetačního období po dobu 18 let od roku 1982 do roku 1999. Cílem je zaměřit se na meziroční kolísání těchto fenologických parametrů. Databáze na místě fenologických pozorování se používá ke kvantifikaci přesnosti družicových odhadů. I přes omezené vzorky severních, středních a vyšších zeměpisných šířek, ze srovnání vyplývá, že satelitní fenologický produkt obsahuje smysluplné informace o meziročním nástupu anomálií, vyšší stupeň konzistence je nad oblastmi pokrytými listnatými lesy, trávou a porostem obilovin než nad těmi pokrytými jehličnatými lesy a savanami a satelitní fenologický produkt je nižší kvality v oblastech s hornatým terénem. V příznivých podmínkách se meziroční variace počátku zachycuje s přesností několika dní. Mapováno v kontinentálním měřítku počátky anomálií ukazují soudržné struktury v regionálním (1000 km) měřítku pro střední a vysoké zeměpisné

šířky severní polokoule, což je v souladu s meteorologickými vlivy. V tropech je větší prostorová heterogenita, která naznačuje možnost složitějších kontrol fenologie. Vztah mezi vegetační fenologií a klimatem je dále vyšetřován v celé Evropě tím, že se porovnává variabilita satelitně odvozeného začátku vegetačního období a zimním North Atlantic Oscillation indexem na jemné prostorové škále. Silné pozorované korelace potvrzují, že tento nutný parametr klimatu vysvětluje většinu z nástupu variability nad velkou částí severní Evropy (dřívější začátky pro pozitivní zimní NAO) s nižším dopadem směrem k jihu a s opačnými výsledky po celém Středomoří. NAO má prediktivní charakter jako leden-únor NAO index, je silně korelován s nástupem vegetace, ke kterému dochází v severní Evropě kolem dubna. Výsledky odhadů nástupu vegetačního období v Evropě jsou vidět na Obr. 9. Existuje celá řada hypotéz a nejistot při srovnání na místě fenologických pozorování pro daný druh vegetace s družicovými fenologickými odhady v rozlišení 8 km nebo větším. Zejména satelitní pozorování průměrují příspěvek od několika druhů. Srovnání metod prezentovaných v této studii je omezené, protože je obtížné získat pozemní pravdivá data. Nicméně výsledky ukazují, že existuje reálná míra shody mezi nástupem vegetačního období podle satelitních údajů a podle pozemních pozorování s ohledem na jejich meziroční změny vyjma horských oblastí Švýcarska. Tento výsledek ukazuje, že DVI časové řady obsahují smysluplné informace o meziroční variaci vegetační fenologie. Na druhou stranu soulad mezi satelitními fenologickými produkty a pozemními pozorováními je lepší pro vegetační nástup než pro stárnutí na konci vegetačního období. To může být způsobeno větší obtížností pozorování začátku stárnutí listů ze země než první nárůst listů, nebo větší variabilitou v rámci druhů než na počátku vegetačního období. Také konzistence se zdá lepší v oblastech s převahou vegetačních typů jako jsou listnaté lesy, traviny a obiloviny než savany a jehličnaté lesy. (MAIGNAN ... [et al.], 2008)

Obr. 9: Anomálie odhadů nástupu vegetačního období v celé Evropě v letech 1982-1999



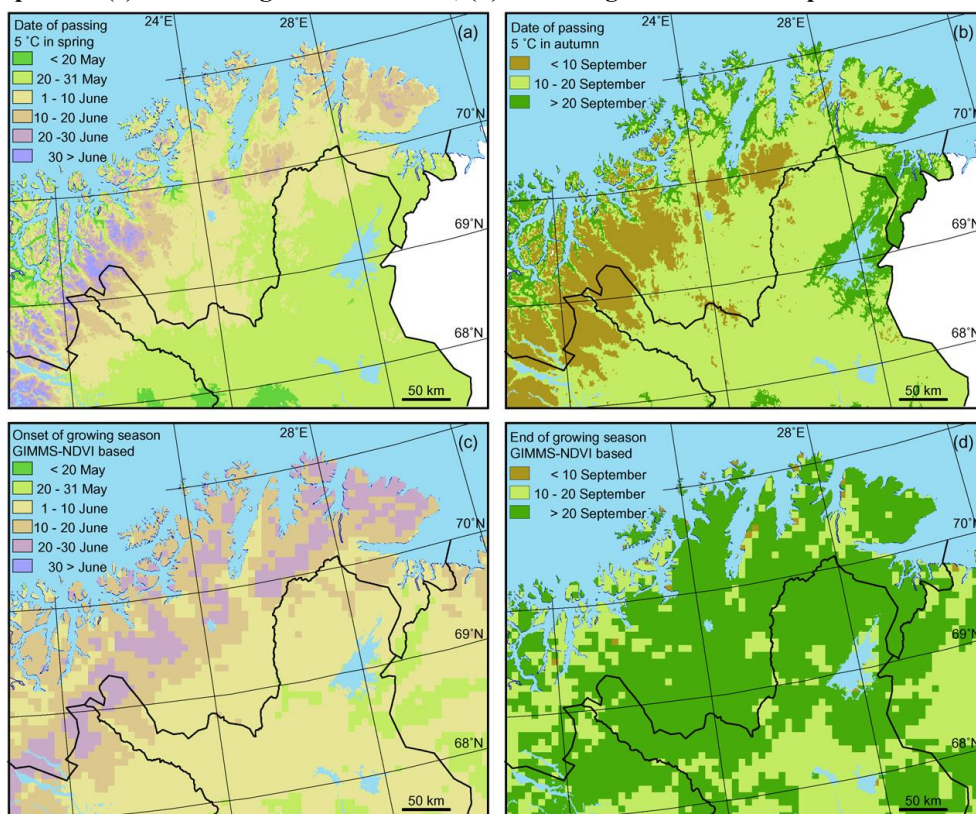
Poznámka: Panel středních dat vpravo dole (juliánské dny), levý horní panel zobrazuje dominantní biomy podle KNYAZIKHIN ... [et al.], 1999 klasifikace: voda (WA), traviny a obiloviny (GC), buš – krajina se suchými křovisky (SH), listnaté rostliny (BC), savany (SA), listnaté lesy (BF), jehličnaté lesy (NF), pouště (De) a městské oblasti (UR)

Zdroj: MAIGNAN ... [et al.], 2008

Studie JONES ... [et al.], 2011 se zajímá o satelitní pasivní mikrovlnný dálkový průzkum Země pro monitorování globální povrchové fenologie. Byla zde analyzována globální fenologii cyklů po dobu šesti let (2003-2008) pomocí satelitu pasivního mikrovlnného dálkového průzkumu vegetace Vegetation Optical Depth (VOD), EOS (AMSR-E). (JONES ... [et al.], 2011)

Mapováním délky vegetačního období, založeném na datech MODIS NDVI v severní Fénoskandinávii, se zabývala studie KARLSEN ... [et al.], 2008. Byly využity fenologické údaje z 13 stanic a satelitní kompozitní data MODIS NDVI s rozlišením 250 m za období 2000 až 2006. Počátek vegetačního období se nacházel v úzkém pruhu nížin mezi horami a mořem podél pobřeží severního Norska. Nástup vegetačního období pak kopíruje přechod do hor, které odpovídá klesajícímu teplotnímu poklesu (viz. Obr. 10). Žloutnutí porostů na podzim pak ukazuje více heterogenní strukturu. Délka vegetačního období se pohybuje mezi 100 až 130 dny v 55% studované oblasti.

Obr. 10: (a) datum, kdy je průměrná teplota (1960-1991) vyšší než 5°C na jaře, (b) byla pod 5°C na podzim (c) začátek vegetačního období, (d) konec vegetačního období průměr hodnot GIMMS



NDVI v období 1982-2002

Poznámka: Mapy teplot mají rozlišení 1 km a jsou přepočtené a překreslené se svolením TVEITO, O.E., (2000): Nordic temperature maps. DNMI Report 09/00. Oslo, Norway, 2000.

Zdroj: KARLSEN ... [et al.], 2008

Další studií z oblasti Fenoskandinávie je KARLSEN ... [et al.], 2007. Zabývá se variabilitou začátku vegetačního období ve Fenoskandinávii v letech 1982 až 2002. Mapování bylo provedeno pomocí metody pixelové specifické prahové hodnoty pro NDVI data. Tyto prahové hodnoty byly stanoveny z dat povrchové fenologie bříz. Následně byly v analýze vyrobeny mapy začátku vegetačního období pro každý rok v zkoumaném období. Posléze byly rozdíly mezi začátky vegetačního období, posledním dnem sněhové pokrývky a různými teplotami analyzovány na 21 meteorologických stanicích. Analýzy ukázaly, že rok 1985 byl nejextrémnější rok, co se týče pozdního začátku vegetačního období. Nejdříve byl začátek vegetačního období v roce 1990. Rozsah začátku vegetačního období byl přibližně 1 měsíc. Výsledky ukázaly, že zvýšení jarních teplot o 1°C odpovídá pokroku o 5-6 dnů v začátku vegetačního období. I když v tomto závisí na stupni oceanity. V oceánských oblastech je to 7-9 dnů a v pevninské části méně než 5 dnů.

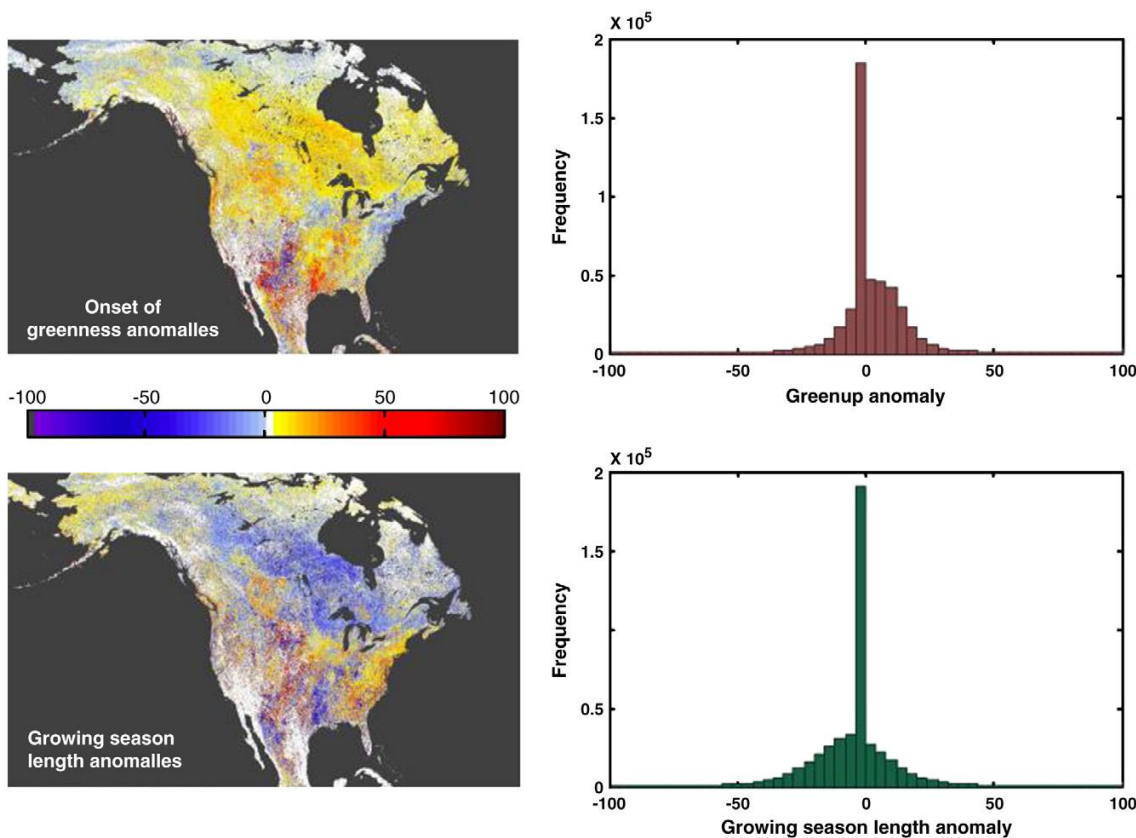
Porovnáním, interpretací a hodnocením jarní fenologie v Severní Americe odhadnuté z dálkového průzkumu Země v letech 1982 až 2006 se zabývala studie WHITE ... [et al.], 2009. Je zde hodnoceno 10 metod na odhady začátků vegetačních období pro Severní Ameriku. Bylo zjištěno, že jednotlivé metody se liší v odhadech ± 60 dní a ve standardní odchylce ± 20 dní.

3.5 Analýzy fenologie propojené s metodikou

V této části práce bude věnována pracím, které se zabývají fenologií ale částečně i metodikou zkoumání fenologie. Metodice budu dále věnována samostatná část této práce.

Prvním článkem v této kapitole je GANGULY ... [et al.], 2010, ten se ještě přímo nezaobírá metodikou, ale studuje fenologii zemského povrchu z MODIS, a charakterizuje verzi 5 sbírek globálních povrchových dynamických produktů. V této studii byla popsána Kolekci 5 verze tohoto produktu, což představuje značné upřesnění vzhledem ke kolekci 4. Tato nová verze obsahuje informace vztahující se k fenologii zemského povrchu ve vyšším prostorovém rozlišení (500 m vs. 1 km) a je založena na 8 denním místo 16 denním časovém rozlišení. Článek představuje stručný přehled algoritmu a následuje posouzení výrobku. Je zde představeno porovnání výsledků z kolekce 5 a 4 na vybraných údajích MODIS, které pokrývají širokou škálu prostředí a ekologickými podmínkami. Charakterizuje meziroční rozdíly v kolekcích 4 a 5 pro Severní Ameriku od roku 2001 do roku 2006, a srovnání výsledků kolekce 5 s pozemními pozorováními ze dvou lesních lokalit v severovýchodních Spojených státech. Výsledky ukazují, že kolekce 5 je kvalitativně podobná kolekci 4. Nicméně kolekce 5 má méně chybějících hodnot mimo regiony s přetrvávající oblačností a atmosférickými aerosoly. Meziroční variabilita ve sbírce 5 je v souladu s očekávanými rozsahy odchylek, což nasvědčuje, že algoritmus je spolehlivý s výjimkou tropů, kde byly zjištěny systematické rozdíly. Závěrečné srovnání s pozemními údaji naznačuje, že algoritmus je správně utvořen, ale konec sezónních veličin spojených s vegetačním stárnutím a obdobími klidu mají vyšší nejistoty než začátek sezónních veličin. (GANGULY ... [et al.], 2010) Výsledky anomálií v načasování nástupu zeleně a délkou vegetačního období jsou vidět na Obr. 11.

Obr. 11: Anomálie v načasování nástupu zeleně a délkou vegetačního období pro rok 2002 vzhledem k průměru mezi lety 2001 až 2006



Zdroj: GANGULY ... [et al.], 2010

Studie BECK ... [et al.], 2006 se zabývá vylepšením sledování vegetační dynamiky ve velmi vysokých zeměpisných šířkách. Současné modely vegetační dynamiky využívají časové řady indexu NDVI, které fungují špatně pro prostředí vyšších zeměpisných šířek. To je částečně způsobeno specifickými atributy tohoto prostředí, jako je krátké vegetační období, dlouhé období tmy v zimě, dlouhá doba pokrytí sněhovou pokrývkou a dominancí stálezelených druhů, ale také konstrukcí modelů. V této studii je představena nová metoda pro sledování vegetační činnosti ve vysokých zeměpisných šířkách s využitím MODIS NDVI. Během zimy se odhaduje index NDVI z vegetace a používá se dvojí logistická funkce, která je jednoznačně definována šesti parametry, které popisují roční NDVI časové řady. Použitím dat NDVI od roku 2000 do roku 2004 jsou ukázány vlastnosti této metody na oblastech severu Skandinávie ($35 \times 162 \text{ km}^2$, $68^\circ \text{ N } 23^\circ \text{ E}$) a porovnány se stávajícími metodami založenými na Fourierových řadách a asymetrických Gaussových funkcích. Dvojitě logistické funkce popisující NDVI data jsou lepší než Fourierovy řady a asymetrické Gaussovy funkce, což je vyčíslené průměrnými kvadratickými chybami. Ve srovnání s metodou založenou na Fourierových řadách nepřeceňuje tato nová metoda trvání vegetačního období. Kromě toho zvládá extrémní hodnoty efektivně a odhaduje parametry, které se vztahují k fenologickým událostem, jako je načasování jara a podzimu. Tato metoda je nejvhodnější pro odhad biofyzikálních parametrů a sledování vegetační fenologie. (BECK ... [et al.], 2006)

Na sezónní extrakce funkcí přiléhající k časovým řadám satelitních sensorových dat se zaměřila studie JÖNSSON, EKLUNDH, 2002. Je zde prezentována jedna z metod pro získávání sezónních informací z časových řad družicových sensorových dat. Metoda je založená na nelineárních nejmenších čtvercích asymetrického Gaussova modelu funkcí časových řad. Hladké modelové funkce jsou pak použity pro definování klíčových sezónních parametrů, jako je např. počet vegetačních období, začátek a konec vegetačního období a míry růstu a klesání. Metoda je implementována v TIMESAT počítačovém programu a testována na AVHRR NDVI datech v Africe. Pomocné údaje o oblačnosti [oblačnost z AVHRR (CLAVR)] jsou používány jako odhady chyb úrovní datových hodnot. (JÖNSSON, EKLUNDH, 2002)

V roce 2009 vyšla studie GEERKEN, 2009 zabývající se algoritmem pro klasifikaci a monitorování sezónních změn ve vegetační fenologii a jejími meziročními změnami. Algoritmus prezentovaný v tomto dokumentu klasifikuje vegetaci z časových řad ročního indexu NDVI podle tvaru časového cyklu. Tvar je popsán pomocí Fourierových komponent magnitudy a fáze. Stupně podobnosti cyklu NDVI k předdefinovanému referenčnímu cyklu se měří podobností v jejich poměrech amplitud a fázových rozdílů. Přípustné odchylky od ideálních poměrů a rozdíly mohou být nastaveny uživatelem v závislosti na individuálních požadavcích na přesnost. Přípustné variační pokrytí uvnitř tvaru třídy je další uživatelem definovaná proměnná. Algoritmus je neměnný ke změnám cyklu včetně časových posunů, vertikálního posunutí a intenzity variant nebo úprav, které mohou být způsobeny rozdíly v klimatu, v půdě (typ, voda, plodnost) nebo v topografii, ale nesouvisí s typem vegetace. Výstup je velmi konzistentní seskupení cyklů NDVI podle jejich tvarů, které mohou být spojeny s různými typy vegetace a postupů využívání půdy. Na stejných principech můžeme sledovat meziroční změny vegetace s možností rozlišovat mezi pokrytím výkyvů a odchylek od fenologických změn. Tyto algoritmy jsou nezávislé a mohou být použity k vytvoření prostorově i časově srovnatelné klasifikace. Jejich potenciál je demonstrován pomocí časové řady MODIS NDVI s prostorovým rozlišením 250 m (verze 4) z Blízkého Východu. (GEERKEN, 2009)

V roce 2009 vyšla také studie HIRD, McDERMID, 2009 řešící redukci šumu časových řad NDVI a srovnání jednotlivých vybraných technik. Satelitně odvozené časové řady NDVI jsou zásadní pro dálkový průzkum vegetační fenologie, ale jejich používání brání převládající šum vyplývající především z různých povětrnostních podmínek a sluneční sensorové povrchové pozorovací geometrie. Model založený na empirickém srovnání šesti technik na snížení šumu na vybraných časových NDVI řadách odhalil obecnou převahu přiléhajících metod dvou logistických a asymetrických gaussových funkcí než u zbývajících čtyř alternativních technik filtrování. Nicméně další analýzy ukázaly silný vliv úrovně šumu, síly zkreslení a extrakce fenologických proměnných na technice provedení. Uživatelé musí být velmi opatrní, aby zvážili jak jejich hlavní cíle a povahu šumu, která se nachází na datové sadě NDVI, když je volen přístup ke snížení šumu, zejména při odvozování fenologických proměnných. (HIRD, McDERMID, 2009)

V roce 2007 se BRADLEY ... [et al.], 2007 zajímali o postup odvození křivek meziroční fenologie ze satelitních časových řad NDVI s šumem. Roční, meziroční i dlouhodobé trendy v časových řadách získané z dálkového průzkumu Země mohou být použity k rozlišení

variability přírodního krajinného pokryvu a změny krajinného pokryvu. Nicméně nástroj využití NDVI odvozené fenologie k detekci změn je často omezen nekvalitními údaji vyplývající z atmosférických a dalších efektů. V této práci jsou uváděny metodiky aproximace křivek užitečné pro časové řady dálkově snímaných dat, která jsou minimálně postižena atmosférickými a sensorovými efekty a nepotřebují ani prostorové ani časové průměrování. Používá se dvoufázový postup: zaprvé harmonický přístup modelů průměrné roční fenologie, zadruhé křivkově založené modely meziroční fenologie. Hlavní vlastnosti časových řad (např. amplituda, doba nástupu zeleně, vnitřní hladkost nebo hrubost) jsou zachyceny, zatímco efekty dat skokových poklesů a mezer jsou minimalizovány. Metoda je testována na několik typů krajinného pokryvu v západní USA a bylo zjištěno, že nástup zeleně v průměrném roce se lišil o více než 8 dní v krajinných pokryvech. V letech 1990 a 2002 byla časová proměnnost v nástupu zeleně mezi 17 a 35 dny v závislosti na typu krajinného pokryvu, což naznačuje, že meziroční křivka zachycuje podstatnou meziroční variabilitu. Využitím postupu aproximace křivek se zvyšuje naše schopnost měřit meziroční fenologii a mohla by vést k lepšímu pochopení místních a regionálních trendů zemského povrchu. (BRADLEY ... [et al.], 2007)

ZHANG ... [et al.], 2003 se zabývali monitorováním vegetační fenologie podle MODIS. Přesná měření vegetační dynamiky (fenologie) od regionální na globální úrovni jsou povinná pro zlepšení modelů a porozumění meziroční variability v pozemní ekosystémové uhlíkové výměně a klimaticko-biosférických interakcí. Od poloviny 80. let byly využity satelitní údaje ke studiu těchto procesů. V tomto článku je prezentována metodika pro sledování globální vegetační fenologie z časových řad družicových údajů. Tato metoda využívá řadu po částech logistických funkcí, které jsou schopné dálkově snímat data vegetačního indexu (VI), který bude zastupovat v rámci roku vegetační dynamiku. Pomocí tohoto přístupu lze přechodové termíny pro vegetační aktivity v rámci roční časové řady údajů VI určit z družicových dat. Metoda umožňuje vegetační dynamiku kontrolovat ve velkém měřítku, tak že je to ekologicky smysluplné a nevyžaduje předvyhlazení dat nebo nastavení definovaných hodnot uživatelem. Předběžné výsledky založené na každoročních časových řadách dat MODISU pro severovýchod Spojených států ukazují, že metoda je schopna sledovat vegetační fenologii s dobrým úspěchem. (ZHANG ... [et al.], 2003)

Fenologickou detekci změn při utvoření náhlých a postupných trendů v časových řadách satelitních snímků řeší studie VERBESSELT ... [et al.], 2010. Výzvou ve fenologických studiích je pochopení toho, co představují fenologické změny uprostřed variací na pozadí. Většina fenologických studií se zaměřila na získávání kritických bodů v sezónním růstovém cyklu bez využití všech časových detailů. Vysoká míra fenologické variability mezi lety ukazuje nutnost rozlišovat fenologické změny z časové variability. V této studii byly demonstrovány metody detekčních schopností fenologických změn v rámci časových řad. BFAST, Breaks For Additive Seasonal and Trend integruje rozklad časové řady na trend, sezónnost a zbývající komponenty s metodami pro detekce změn. BFAST bylo testováno na 16 denních časových řadách NDVI s různým množstvím sezónní amplitudy a hluku, obsahující náhlé poruchy (např. požáry) a dlouhodobé fenologické změny. To ukázalo, že metoda je schopna detekovat načasování fenologických změn v rámci časových řad i při vytvoření náhlých poruch a hluku.

Výsledky ukázaly, že fenologická detekce změn je ovlivněna šumem signálu časových řad. Mezi různými typy krajinného pokryvu se sezónní amplituda mění a určuje šum signálu. Použití metody na 16 denní data NDVI MODIS od roku 2000 do 2009 pro studované zalesněné oblasti v jihovýchodní Austrálii potvrdily tyto výsledky. Ukázalo se, že minimálně sezónní amplituda 0.1 NDVI je nutná k zjištění fenologických změn v rámci vyčištěné časové řady MODIS NDVI. BFAST identifikuje fenologické změny nezávisle na fenologických veličinách, tím že využívá celou časovou řadu. Metoda je celosvětově platná, protože analyzuje každý pixel samostatně bez stanovení mezních hodnot pro detekci změn v časové řadě. Dlouhodobé fenologické změny mohou být detekovány v rámci časových řad NDVI velkého rozsahu typů zemských povrchů (např. louky, lesy a opadavé lesy), které mají sezónní amplitudu větší než úroveň šumu. Metoda může být použita pro všechna data v časových řadách a není nutně omezená na index NDVI. (VERBESSELT ... [et al.], 2010)

Použitím Bayesovské analýzy pro detekci posledních změn ve fenologii v průběhu celého roku se zabývali ve studii SCHLEIP ... [et al.], 2006. Fenologie je jedním z hlavních biologických ukazatelů dopadů klimatických změn na ekosystémy. Za účelem přesných pozorování fenologických změn byl využit Bayesovský přístup pro analýzu fenologických časových řad (DOSE, MENZEL, 2004) včetně modelu srovnávání možností. Tato možnost nabízí nové příležitosti pro analýzu a kvantifikaci změn ve fenologických časových řadách. (SCHLEIP ... [et al.], 2006)

Studie RYBSKI, HOLSTEN, KROPP ... [et al.], 2003 analyzuje záznamy o botanické fenologii a studuje jejich fluktuace, ve kterých se mohou najít závislosti na ročním období. Na rozdíl od předchozích studií, kde se obvykle trendy ve fenologii jednotlivých druhů odhadovaly, je vzat v úvahu soubor všech dostupných fází a navrhován fenologický index, který charakterizuje vliv klimatu na mnoho botanických druhů. RYBSKI, HOLSTEN, KROPP ... [et al.], 2003

Detekční metodou fenologie plodin s využitím časových řad MODIS se zabývá studie SAKAMOTO ... [et al.], 2005. Informace o fenologii plodin má zásadní význam pro hodnocení produktivity plodin. Proto byla v této studii vyvinuta metoda pro stanovení fenofází neloupané rýže pomocí dálkového průzkumu. Metoda se skládá ze tří postupů: předpis multitemporálních dat MODIS/Terra, filtrování časových řad EVI podle časově – frekvenční analýzy a uvedení fenofází, zachycením maximálního bodu, minimálního bodu a inflexního bodu z vyhlazené časového profilu indexu EVI. Použitím této metody na data MODIS byl zjištěn datum výsadby, hlavní datum, datum sklizně a rostoucí období v roce 2002. Metoda byla ověřena provedením kontrolou proti statistickým údajům 30 rýžových polí. Střední kvadratické chyby odhadovaných fenologických údajů oproti statistickým údajům byli: 12,1 dní pro výsevní den, 9 dnů pro hlavní datum a 10,6 dnů pro datum sklizně a 11 dní pro vegetační období. (SAKAMOTO ... [et al.], 2005)

4. DATOVÉ ZDROJE VEGETAČNÍCH INDEXŮ A JEJICH HODNOCENÍ

4.1 GIMMS

GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) je datový soubor hodnot NDVI, který je dostupný na webových stránkách archívu NASA <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/>. Tato datová sada obsahuje nejširší dostupné období 1982 - 2006.

Časové rozlišení

Časové rozlišení hodnot NDVI je 15-denní. Za měsíc jsou tak k dispozici dva údaje. První rastr je složen z maximálních hodnot v prvních 15 dnech v měsíci a druhý pak ze zbývajících dnů do konce měsíce. Maximální hodnotou je zde myšleno, že pixel nese nejvyšší spočítanou hodnotu NDVI během 15 dnů. Toto je především kvůli eliminaci oblačnosti. Data jsou k dispozici od července 1981 až do prosince 2006, ale k analýze byla využita data až od roku 1982, protože je potřeba mít data kompletně za celý rok. (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007)

Prostorové rozlišení

Data jsou k dispozici v rozlišení 8 km. Údaje jsou k dispozici buď za jednotlivé kontinenty a to v prostorovém rozlišení 8x8 km (Albers Equal prostorové konické projekci, Clarkův elipsoid 1866), nebo za celou planetu, které jsou v geografickém souřadnicovém systému WGS84 s prostorovým rozlišením 0,07272727 ° (8x8 km). Prostorové pokrytí je celkové pro všechny oblasti Země kromě Grónska a Antarktidy. (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007)

Formát dat

Data jsou 16-ti bitová a ve formátu GeoTIFF. Hodnoty NDVI byly rozšířeny na rozmezí od -1 000 do 1 000. Pixely zahrnující vodu mají přiřazeny hodnotu -10 000 a pixely masky - 5 000. Pokud má být obnoven rozsah -1 až 1, musí být použit vzorec: $NDVI = 10 * (hodnota / 10\ 000)$. Tato globální data mají počet sloupců 4 950 a počet řádků 2091. Centra rohových bodů jsou následující (ve stupních) (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007):

Lower left lat -62.813

Lower left lon -179.959

Upper left lat 89.187

Upper left lon -179.959

Lower right lat -62.813

Lower right lon 179.968

Upper right lat 89.187

Upper right lon 179.968

V GIMMS datové sadě byla použita data ze sedmi AVHRR zařízení druhé generace družic NOAA (viz Tab. 2). AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer získává údaje v pěti spektrálních pásech, jeden pás se nachází ve viditelném a blízkém infračerveném a tři v tepelném. První pásmo pokrývá oblast spektrální odrazivosti mezi 0,5 a 0,7 μm , druhé pásmo se nachází mezi 0,7 a 1,1 μm . Dále jsou tři termální pásy – první je střední infračervený kolem 3 μm a následují dva tepelné infračervené pásy kolem 10 a 11 μm . Produkt GIMMS NDVI však používá pouze první dva pásy (první 0,5 - 0,7 μm a druhé 0,7 - 1,1 μm). (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007)

Tab. 2: Časové změny zařízení pro datovou sadu GIMMS

AVHRR nástroj	Počáteční datum	Datum ukončení
NOAA-7	1. červenec 1981	8. únor 1985
NOAA-9	11. únor 1985	7. listopad 1988
NOAA-11	11. listopad 1988	19. září 1994
NOAA-9	20. září 1994	18. leden 1995
NOAA-14	19. leden 1995	31. říjen 2000
NOAA-16	1. listopad 2000	31. prosinec 2003
NOAA-17	1. leden 2004	pokračování

Zdroj: Upraveno podle PINZON, BROWN, TUCKER, 2007

Korekce

GIMMS datová sada je známa pro svoji vysokou kvalitu. NDVI v této datové sadě bylo korigováno v:

- senzorové degradační trvalé chyby a senzorových interkalibračních rozdílů
- zkreslení způsobené přetrvávající oblačností v celosvětovém měřítku
- slunečním zenitním úhlu a sledování úhlových účinků způsobených satelitní odchylkou
- vulkanických aerosolech
- chybějících údajích na severní polokouli v zimě pomocí interpolace způsobené vysokými slunečními zenitními úhly
- nízkém signálu šumných poměrů způsobených mrakovým znečištěním a vodní párou. (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007)

Erupcí Pinatuba a následným ochlazením byl způsoben pokles hodnot NDVI ve středu roku 1991. Dalším známým problémem jsou data ve vyšších severních zeměpisných šířkách (severněji od 65 ° s.š.), kde byly opraveny hodnoty kvůli extrémním slunečním zenitním úhlům během zimních měsíců. Problém byl ještě s údaji během druhé poloviny roku 1994 a během většiny roku 2000, která měla buď neobvykle brzké nebo pozdní přechodné doby. I zde si se závěry musí dělat opatrně. (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007)

Využití a přesnost

K hodnocení meziročních změn v biosféře např. sezónní analýza, meziroční analýza a analýza trendů se stále častěji využívají data NDVI. K těmto datům PINZON, BROWN,

TUCKER (2007) dodávají, že na sezónní rozbor by data měla mít více než dostatečnou korektnost. Tato data se využívají pro výzkum vegetace spojené se změnou klimatu. Analýzy trendů jsou vesměs nejméně přesné. Chyby v NDVI údajích jsou při těchto rozbozech často příliš velké, než aby mohla být dokázána správnost vyšších trendů (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007).

4.2 MERIS MTCI

8-denní časový kompozit MERIS MTCI je k dispozici na globální i regionální úrovni. Na globální úrovni jsou data k dispozici v prostorovém rozlišení 4,63 km, na regionální úrovni jsou pak data v prostorovém rozlišení 1 km, pro Evropu, Austrálie, severní Amerika a severní a jižní Afrika (pouze od roku 2005). Data jsou k dispozici od roku 2002 do 2007, ale za rok 2002 nejsou kompletní. K dispozici jsou jak měsíční hodnoty tak i týdenní (8-denní). Tato data mohou využít registrovaní uživatelé NEODC pro vědecké a výzkumné účely. Jsou přístupná z webových stránek NERC Earth Observation Data Centre (NEODC) <http://www.neodc.rl.ac.uk>. Globální a regionální kompozitní produkty MERIS Level 2 geofyzikálních dat jsou generovány UK Multi-Mission Product Archive Facility (UK-MM-PAF)/Infoterra Ltd. MTCI je produkována z NEODC a data jsou k dispozici ve formátu GEOTIFF, v souřadné síti lat-lon, souřadnicový systém je WGS84, metadata jsou ve formátu XML a k dispozici je ještě náhled na data ve formátu obrázku JPEG (NERC Earth Observation Data Centre, 2011).

R753.75, R708.75 a R681.25 jsou centrální odrazivosti ve středu spektrálních pásů 10, 9 a 8 standardního nastavení MERIS, které jsou pro výpočet hodnot MTCI použity. Pás 8 má centrální odrazivost 681,25 nm a šířku pásu 7,5 nm, pás 9 má centrální odrazivost 708,75 nm a šířku 10 nm a pás 10 centrální odrazivost 753,75 nm a šířku 7,5 nm (DASH, CURRAN, 2003).

Prostorové rozlišení

Jak již je zmíněno výše, na globální úrovni jsou data k dispozici v prostorovém rozlišení 4,63 km, na regionální úrovni jsou pak data v prostorovém rozlišení 1 km. Během vzniku byly hodnoceny změny MTCI s nepřevzorkovaným prostorovým rozlišením plného rozlišení MERIS dat. Konkrétně pak osm prostorových rozlišení od 300 m po 2400 m se zvýšením vždy o 300 m v každém kroku. Prostorové rozlišení bylo hodnoceno pomocí standardní odchylky MTCI v celé scéně a kumulativním procentem maxima MTCI. (DASH, CURRAN, 2005a).

Atmosférické korekce

Byl zjišťován i vliv atmosférických korekcí na hodnotu MTCI a také určován minimální a maximální rozsah hodnot MTCI, které následně mohou být rozloženy na rozsah 1 až 255 DN. Tyto vlivy byly zkoumány v oblastech Vietnamu, Velké Británie a západní Afriky. Byla využita data L1, u kterých byla provedena atmosférická korekce pomocí metody Simplified Method for Atmospheric Correction (SMAC) s cílem získat odrazivosti z vrchu klenby vegetace. Pro data L2 pak byla data MTCI odhadnuta přímo z normalizovaných povrchových odrazů. Atmosférické korekce měly velmi malý vliv na hodnotu MTCI. Nicméně použití normalizované

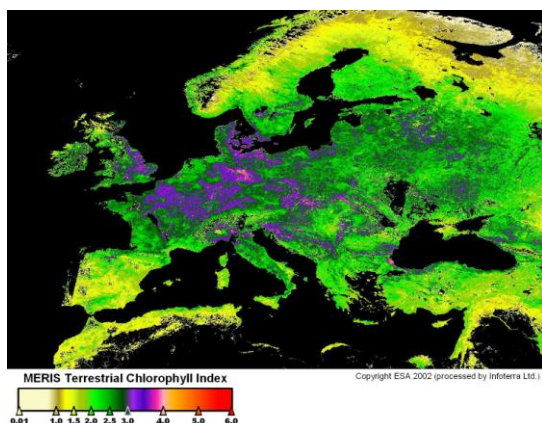
povrchové odrazivosti může vyvolat v některých případech vyšší hodnoty MTCI. Větší vliv je pak vidět nad oceánem, kde některé z oceánských pixelů měly pozitivní hodnoty MTCI, kdy byly odhadnuty pomocí normalizované povrchové odrazivosti z dat L2. Vliv oceánu lze pak vyřešit pomocí oceánské masky těchto pixelů. (DASH, CURRAN, 2005a)

Úhel pohledu

Odrazivost v pásmech 8, 9 a 10 se různě mění se změnou sensorového úhlu pohledu. Proto se hodnoty MTCI mění se změnou úhlu pohledu senzoru. Díky tomu byla využita Leprieurova metoda pro hodnocení citlivosti MTCI na změnu úhlu pohledu. (DASH, CURRAN, 2005a).

Tento produkt MTCI vytváří především obraz obsahu chlorofylu (množství na jednotku plochy země). Obsah chlorofylu hraje důležitou roli při určování fyziologického stavu rostlin, což se týká také rychlosti fotosyntézy a změn v čase i v prostoru. MTCI kompozity lze tedy využít k odhadu relativního pokryvu Země obsahem chlorofylu v prostoru a čase (*NERC Earth Observation Data Centre, 2011*). Ukázka dat v Evropě v období 2.6 – 9.6.2002 je vidět na Obr. 12.

Obr. 12: MTCI v Evropě v období 2.6. – 9.6. 2002



Zdroj: REESE ... [et al.], 2007

4.3 MODIS

Další datovou sadou vegetačních indexů je MODIS Vegetation Index (MOD13 Series) a MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction Of Photosynthetically Active Radiation Absorbed By Vegetation (FPAR) Product (MOD15 Series).

Přístroj MODIS se nachází jak na kosmické lodi Terra tak i Aqua. Šířka záběru je 2330 km a pokrývá celý povrch Země jednou za jeden až dva dny. Detektory měří 36 spektrálních pásem a prostorové rozlišení mají data: 250 m, 500 m a 1000 m. (MODIS Overview, 2008)

Časové rozlišení MODIS

Data jsou distribuována v různých časových rozlišeních především na základě nástrojových orbitálních cyklů. Existují data denní, 8-denní, 16-ti denní, měsíční, kvartální a roční.

Prostorové rozlišení MODIS

Přístroje MODIS získávají data ve třech původních prostorových rozlišeních:

Pásma 1-2: 250 m

Pásma 3-7: 500 m

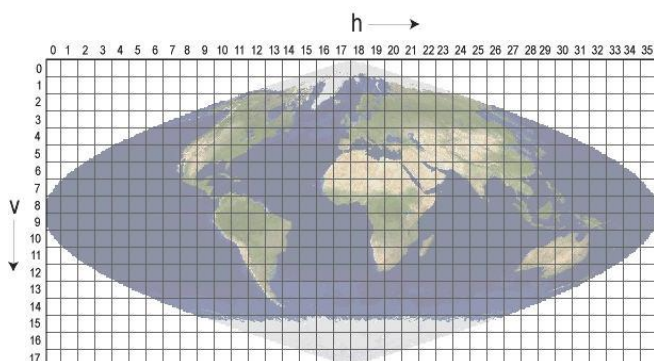
Pásma 8-36: 1000 m

Data jsou distribuovány od LD DAAC v prostorových rozlišeních: 250 m, 500 m, 1000 m a 5600 m (0,05°).

MODIS sinusový systém

Většina standardních produktů MODIS používá tento sinusový mřížkový systém. Dlaždice mají rozměr $10^\circ \times 10^\circ$ na rovníku. Mřížkový souřadnicový systém začíná v levém horním rohu (0, 0) (horizontální mřížkové číslo, vertikální dlažební číslo) a pokračuje vpravo (horizontální) a dolů (vertikální). Dlaždice v pravém dolním rohu je (35, 17). Vše je dobře vidět na Obr. 13.

Obr. 13: MODIS sinusový mřížkový systém



Zdroj: MODIS Overview, 2008; https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_overview

Data MODIS jsou s všemi údaji z jiných přístrojů na palubě kosmické lodi Terra a Aqua přeneseny na pozemní stanici v White Sands v Novém Mexiku. Data jsou následně zaslána do EOS Data and Operations System (EDOS). Hodně datových produktů odvozených z pozorování MODIS popisuje vlastnosti půdy, oceánů a atmosféry a můžou být použity pro studium procesů a trendů na lokálním až globálním měřítku. (MODIS Overview, 2008)

Mezi základní spektrální pásy patří pás 1-7 (1 - 620-670 nm), (2 - 841-876 nm), (3 - 459 - 479 nm), (4 - 545-565 nm), (5 - 1230- 1250 nm), (6 - 1628 - 1652 nm) a (7 - 2105 - 2155 nm). (MODIS Overview, 2008)

4.3.1 MOD13 Series

Produkty MODIS VI jsou celosvětově stabilní a současně vylepšené se zvýšenou vegetační citlivostí a minimálními výkyvy spojenými s vnějšími vlivy (atmosféra, pohledové a sluneční úhly, oblačnost). (HUETE, JUSTICE, VAN LEEUWEN, 1999) V Tab. 3 jsou všechna data zahrnutá v sérii MOD13.

Tab. 3: Data v datové sadě MOD13 Series

<i>Datová sada</i>	<i>Družice</i>	<i>Indexy</i>	<i>Rastrový typ</i>	<i>Prostorové rozlišení</i>	<i>Časové rozlišení</i>
MOD13A1	Terra	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	500m	16 Day
MYD13A1	Aqua	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	500m	16 Day
MOD13A2	Terra	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	1000m	16 Day
MYD13A2	Aqua	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	1000m	16 Day
MOD13Q1	Terra	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	250m	16 Day
MYD13Q1	Aqua	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	250m	16 Day
MOD13A3	Terra	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	1000m	Monthly
MYD13A3	Aqua	Vegetation Indices- EVI, NDVI	Tile	1000m	Monthly
MOD13C1	Terra	Vegetation Indices- EVI, NDVI	CMG	5600m	16 Day
MYD13C1	Aqua	Vegetation Indices- EVI, NDVI	CMG	5600m	16 Day
MOD13C2	Terra	Vegetation Indices- EVI, NDVI	CMG	5600m	Monthly
MYD13C2	Aqua	Vegetation Indices- EVI, NDVI	CMG	5600m	Monthly

Zdroj: upraveno podle MODIS Products Table, 2009;

https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table

Algoritmus VI funguje na úrovni jednotlivých pixelů na základě vícenásobného pozorování a generuje kompozitní VI. Kvůli překrývání oběžných drah může být k dispozici v jednom dni více pozorování maximálně však čtyři pozorování. Za období 16 dní může být teoreticky počet pozorování maximálně 64. Kvůli přítomnosti mraků a skutečnému snímanému prostorovému pokrytí je toto číslo menší a v rozmezí 0-64. (SOLANO ... [et al.], 2010)

Po nashromáždění dat za 16 denní období využívá MODIS VI algoritmus filtrovaná data založená na kvalitě, oblačnosti a zobrazovací geometrii. Za nejméně kvalitní pixely jsou považovány kontaminované oblačností a s extrémním úhlem pohledu od nadiru. Naopak nejkvalitnější pixely představují ty bez oblačnosti, v úhlu pohledu nadiru a bez zbytkového znečištění atmosféry. Jen pixely s nejvyšší kvalitou jsou zachovány pro kompozici. V reálu to znamená, že počet pixelů, které jsou přijatelné pro kompozici je obvykle méně než 10, nejčastěji v rozmezí 1 až 5. Cílem kompoziční metodologie je získat jednu hodnotu na pixel ze všech uložených filtrovaných dat, která je reprezentativní pro každý pixel během 16 denního období. (SOLANO ... [et al.], 2010)

Všechny výsledky kompozičních metod v prostorových nespojitostech vycházejí z toho, že mohou být vybrány hodnoty pixelů pro různorodé dny v 16 denním období. Tak dochází k tomu, že sousední pixely pocházejí z různých dnů, s různou pohledovou geometrií a s různými atmosférickými podmínkami a kontaminací oblačností. Podrobnosti jsou rozepsány v SOLANO ... [et al.], 2010.

4.3.2 MOD15 Series

MOD15 Leaf Area Index (LAI) a Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR) – podíl fotosynteticky aktivního záření pohlcené vegetací – jsou poskytovány v prostorovém rozlišení 1 km a časovém rozlišení 8 dnů (4 dnů – kombinace družic Terra a Aqua). (MYNENI ... [et al.], 2003) Vše je shrnuto v Tab. 4.

LAI definuje významnou strukturální vlastnost rostlinného pokrytí jako listovou plochu na jednotku plochy země. FPAR udává podíl dostupné radiance ve fotosynteticky aktivních vlnových délkách (0,4 až 0,7 μm), které absorbuje vrchní vrstva vegetace. Oba indexy LAI i FPAR byly odvozeny přímo z reflektance MODIS a doplňkových údajů o povrchových vlastnostech, jako je typ krajiny atd. Bylo využito 7 spektrálních pásů (648 nm, 858 nm, 470 nm, 555 nm, 1240 nm, and 2130 nm). (MYNENI ... [et al.], 2003)

Další důležitou složkou je také ověření produktů LAI a FPAR a probíhá podle validačního plánu EOS. Je však komplikováno několika faktory, jako jsou různé validační techniky. KNYAZIKHIN ... [et al.], 1999)

Tab. 4: Data v datové sadě MOD15 Series

<i>Datová sada</i>	<i>Družice</i>	<i>Indexy</i>	<i>Rastrový typ</i>	<i>Prostorové rozlišení</i>	<i>Časové rozlišení</i>
MCD15A2	Combined	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 Day
MOD15A2	Terra	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 Day
MYD15A2	Aqua	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	8 Day
MCD15A3	Combined	Leaf Area Index - FPAR	Tile	1000m	4 Day

Zdroj: upraveno podle MODIS Products Table, 2009;

https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table

4.4 Shrnutí datových zdrojů

V této kapitole jsou podrobně popsány dostupné datové sady vegetačních indexů. Pro tuto práci byla využita data NDVI GIMMS (8 km – 15 dní), MTCI MERIS (1 km – 8 dní) a MODIS LAI (1 km – 4 dni), NDVI a EVI (1 km – 16 dní). Jednotlivá data byla stažena z dostupných internetových zdrojů.

GIMMS - <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/>

MODIS - https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table

MERIS - <http://www.neodc.rl.ac.uk>

Pro účely této práce v datové sadě GIMMS bylo stáhnuto 600 rastrů v období 25 let (24 rastrů za rok). Data MERIS MTCI obsahují za 5 let 230 rastrů (46 rastrů ročně). Data MODIS NDVI obsahují 253 rastrů za 11 let (23 rastrů ročně) a data MODIS LAI mají 828 rastrů v období 9 let (92 rastrů ročně).

5. POZEMNÍ FENOLOGICKÁ DATA ČHMÚ

5.1 Fenologické stanice

Fenologické stanice pro pozorování lesních rostlin mají za cíl pozorovat každoročně průběh vegetace předem zvolených rostlin. Jde především o původní druhy České republiky, které nemají vyhraněné požadavky na stanovištní podmínky a vertikální rozsah jejich výskytu je celkem široký, takže se nacházejí s výjimkami v nížinách, pahorkatinách, v podhorském i horském vegetačním stupni. Úkolem jednotlivých stanic je co nejpřesněji zjistit pro každý druh datum nástupu jednotlivých fenofází (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009).

Kvalita a využitelnost údajů fenologických stanic hodně závisí na pravidelnosti a přesnosti pozorování, na délce a přesnosti pozorování a i na úplnosti časových řad jednotlivých druhů. Základ činnosti fenologické stanice patří časově do období březen až říjen, ve kterém se nachází naprostá většina fenofází. V tomto období se zvolené rostliny sledují v dvoudenních intervalech formou obchůzky po trase, na které se nacházejí sledované lokality. Mimo toto období jsou vycházky prováděny jednou až dvakrát týdně. Jednotliví pozorovatelé jsou vybaveni určitými botanickými znalostmi kvůli určování druhů, ale i kvůli určování fenofází. Územní rozsah činnosti stanice je určen situačním plánkem, kde jsou zaneseny všechny sledované lokality. Toto území není většinou větší než katastrální území příslušné obce (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009).

Stanice jsou obvykle zřizovány v oblastech botanicky bohatých, aby se mohl dodržovat pozorovací program příslušný danému vegetačnímu stupni. Při výběru konkrétních pozorovaných jedinců musí rostlina splňovat následující požadavky: musí být správně určena, musí být v dobrém zdravotním stavu (vyloučit rostliny poškozené či odumírající), rostlinný druh musí být zastoupen zpravidla pěti ale minimálně třemi jedinci daného druhu v jedné lokalitě – označeno jako fenologický pokus, u dřevin je pro pozorování potřeba zvolit mladé exempláře. Následně jsou stromy vybrané do fenologických pokusů označeny trvanlivou barvou a to konkrétně velkým „F“ (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009).

5.2 Fenologické údaje

Obecná charakteristika

„Fenologické údaje jsou informace získávané pozorováním tempa sezónního vývinu vybraných, k tomuto účelu vhodných rostlin, které konkrétně zastupují sledované druhy. Rychlost vývinu je do jisté míry určována dědičnými vlastnostmi rostlin, současně se však na ní výrazně podílí i kolísání podmínek prostředí. Prakticky vzato, rychlost vývinu se mění nejen s postupem vegetační sezóny, kdy se uplatňují hlavně změny charakteru počasí, ale i v průběhu řady let v závislosti na kolísání klimatických podmínek. Z obdobných příčin se tempo vývinu mění rovněž v prostoru a poskytuje tak obraz o rozdílnosti klimatu jednotlivých oblastí či výškových vegetačních stupňů. Rychlost vývinu rostlin se zpravidla posuzuje na základě

znalostí o době nástupu fenologických fází (fenofází).“ (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009)

„**Fenofáze** je určitý zevně dobře rozpoznatelný, zpravidla každoročně se opakující projev vývinu nadzemních orgánů (zejména pupenů, listů, květenství) sledovaných druhů rostlin. Výjimečně se za fenofázi považuje technologická operace (senoseš, otavoseč).“

„**Popis fenofáze** je výčet znaků, jejichž současný výskyt charakterizuje fenofázi a umožňuje ji rozpoznat jako určitý moment nebo úsek v procesu vývinu rostliny.“

„**Nástup fenofáze** je časový údaj určující, kdy vývin dospěl právě do úrovně dané popisem fenofáze. Obvykle se vyjadřuje kalendářním datem určeným podle pravidel fenologických pozorování. Obecně se rozlišují 1 až 3 úrovně nástupu fenofáze (10, 50, 100 %).“ (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009)

Pravidla fenologických pozorování

V jednotlivých pozorováních jsou kontrolovány jen rostliny v rámci jedné lokality (fenologického pokusu). Vždy je nutné, aby jednotlivá pozorování měla kompletní řady fenofází. Nástupy jednotlivých fenofází na rostlinách jsou určeny podle popisu (viz níže). Konečný údaj o nástupu fenofáze se vztahuje na celý fenologický pokus. Nejprve se zjišťuje datum nástupu u každé rostliny, z těchto dat se pak odečte výsledná modální hodnota. Za modální hodnotu je považovaný den, ve kterém sledovaná fenofáze nastoupila u největšího počtu ze sledovaných rostlin. Pokud fenofáze nastoupila ve dvou dnech u stejného počtu sledovaných rostlin, bere se za nástup fenofáze den odpovídající druhé (pozdější) modální hodnotě. Pokud modální hodnota nelze určit (denní počty jsou stejné), považuje se za nástup fenofáze datum, při němž je fenofáze dosaženo alespoň u poloviny z celkového počtu sledovaných rostlin (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009).

Popisy fenofází

Rašení – Pozoruje se u většiny druhů dřevin. U bylin se vůbec nesleduje. „Ve spojitosti s růstem orgánů (stonek, listy, popř. i květenství) skrytých uvnitř pupenu došlo k částečnému rozevření obalných šupin, takže jsou vidět špičky listů a jehlic. Za datum nástupu fenofáze na jednotlivé rostlině se považuje den, kdy počet terminálních pupenů, které již dospěly do popsání stavu, právě překročil 10 % z celkového počtu těchto pupenů.“

První listy – U většiny dřevin a bylin je pozorován. „Při pohledu na líc listu je právě vidět celé listové žebro. Čepel listu je již částečně rozvinuta (u složených listů jsou vidět všechny jednotlivé lístky), avšak způsob složení listu v pupenu (řasnaté složení, svinutí) je stále náznakově patrný. List ještě nedosáhl konečné velikosti. U dřevin se zaznamenávají 3 úrovně nástupu fenofáze:

- 10 % listů na rostlině odpovídá popisu fenofáze
- 50 % listů na rostlině odpovídá popisu fenofáze
- 100 % listů na rostlině odpovídá popisu fenofáze.“

Plné olistění – „Čepel listu je již plně rozvinutá, u složených listů jsou již rozvinuty všechny lístky. Způsob, jakým list dosedá na větevku, je zřetelný (je vidět celý řapík, popř. báze přisedlého listu). List má charakteristický, dospělosti odpovídající tvar a velikost.“

Butonizace – „V úžlabích listů, uprostřed listové růžice nebo ihned po rozevření pupenu jsou právě zřetelně vidět dosud nedorostlá květenství.“

Počátek kvetení – „Květy jsou rozevřené, prašníky jsou viditelné, alespoň některé z nich se právě otevírají a uvolňují pyl.“

Zaznamenávají se tři fáze – 10, 50 a 100 %.

Konec kvetení – „Prašníky v květech jsou již prázdné, tmavnou a zasychají, podobně jako nitky tyčinek. Rovněž korunní plátky nebo okvěti začínají zasychat a opadávají.“

Dalšími fenofázemi jsou *tvorba pupenů* (v úžlabích listů se objeví malé pupeny), *senoseč* pro trvalé louky, *počátek fruktifikace* (po odkvětu se začínají tvořit plody), janské výhony (modřín, olše, bříza a dub – druhý růst výhonů, délka cca 3-5 cm) a *dřevnatění výhonů* (výhon ve spodní části dřevnatí, tj. ztrácí bylinný charakter).

Žloutnutí listů – Zaznamenávají se dvě úrovně nástupu fenofáze. 10 % listů na stromě zežloutlo či jinak probarvilo a 100 % listů na stromě zežloutlo či jinak probarvilo.

Opad listů – Zaznamenávají se dvě úrovně nástupu fenofáze, která je definovaná opadem listů, a to 10 a 100 %.

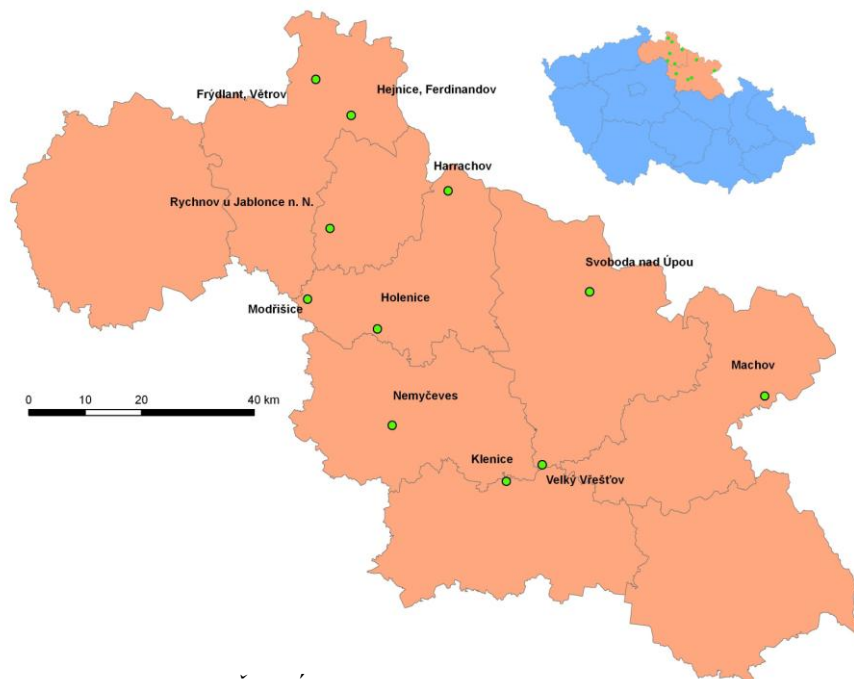
Následují další fenofáze jako *zralost plodů* (plody či šištice mají charakteristický tvar a zabarvení, jsou dorostlé a podle druhu začínají měknout či naopak tvrdnout), *velikost úrody* a *otavošeč* (pro trvalé louky). (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009)

Pro účely této práce nám byly poskytnuty fenofáze první listy 10, 50 a 100 %, plné olistění a opad listů 10 a 100 % (PL10, PL50, PL100, LX, OL10 a OL100).

5. 3 Charakteristika lokalit

Na Obr 14. je vidět rozmístění lesních fenologických stanic, jejichž data byla pro tuto práci poskytnuta ČHMÚ. Jsou to stanice Frýdlant – Větrov, Hejnice – Ferdinandov, Harrachov, Rychnov u Jablonce n. N., Modřišice, Holenice, Svoboda nad Úpou, Nemyčevy, Machov, Klenice a Velký Vřešťov.

Obr. 14: Lesní fenologické stanice ČHMÚ v Liber. a Královéhrad. kraji



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

1982-1991, kdy není k dispozici všech šest fenofází (většinou jsou k dispozici první listy 10 a 50 % a opad listů 10 a 50 %, a na období 1992-2011. U některých rostlin v první období ovšem jsou třeba jen první listy 10 a 50 %. V tomto období pak není k dispozici všech 11 stanic, ale jen Harrachov, Klenice, Modřišice, Nemyčeves a Svoboda nad Úpou. Stanice Velký Vřeštov má data pouze do roku 2001 a stanice Hejnice – Ferdinandov jen do roku 1996. Přehled dat poskytnutých od ČHMÚ je v Příloze č. 5.

Mezi vybrané rostliny sledované ve fenologických stanicích patří bez černý, bříza bělokorá, buk lesní, dub letní, habr obecný, hloh obecný, javor klen, javor mléč, jeřáb ptačí, lípa srdčitá, líska obecná, modřín opadavý, olše lepkavá, vrba jíva. Data jsou rozdělena na období mezi lety

6. METODIKA

V předcházejících částech předkládané práce byly představeny zpracovávané indexy, výsledky jednotlivých zpracovávaných studií, datové zdroje vegetačních indexů a datové zdroje pozemní fenologie. V této části práce jsou informace zaměřeny již na zpracovávanou tematiku. Nejprve jsou zde představeny různé možnosti metodiky extrakce fenologických proměnných. Budou následovat již detailněji rozebrané využívané metody a zpracování v programu TIMESAT. Na závěr pak bude představeno zkoumané území a statistické metody zpracování fenologických proměnných.

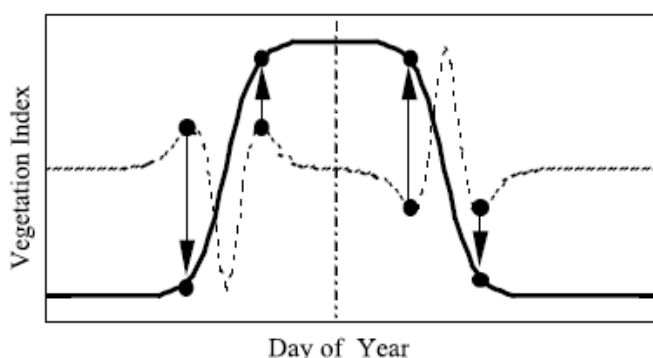
6.1 Přehled a popis využívaných technik pro redukci šumu a metodik extrakce fenologických proměnných

Tato část práce se zaměřuje na shrnutí dostupných metod extrakce fenologických proměnných a vyhlazení průběhu křivek vegetačního období. Extrakce fenologických proměnných lze provést pomocí několika kvantitativních metod. Tyto metody lze rozdělit do tří skupin. První je metodika na bázi prahové hodnoty, další je skupina metod derivací trendů a třetí je pak metoda inflexního bodu (REED ... [et al.], 1994).

Prahovou hodnotu využívá např. studie KANG ... [et al.], 2003. Tato metoda využívá stanovenou předdefinovanou hodnotu vegetačního indexu ke stanovení fenologických proměnných. V tomto případě byly vyzkoušeny tři prahové hodnoty LAI ($LAI_{In,C} = 0.1, 0.2, \text{ a } 0.3$). Hodnotové prahy 0.2 a 0.3 vykazovaly méně prediktivní výsledky než prahová hodnota 0.1, protože vyšší prahové hodnoty spadají již do rozsahu vysoké míry zvýšené normalizovaného indexu LAI. (KANG ... [et al.], 2003)

Ve studii ZHANG ... [et al.], 2003 je využívána metoda znázorněná na Obr. 15, kde je zobrazeno, jak jsou vypočítávány maximální a minimální hodnoty ve změnách rychlosti zakřivení. Je zde definován nástup vegetace jako datum, kdy druhá derivace se dostane z kladných hodnot do záporných. Je to tedy příklad metody derivací trendů. Nepřerušovaná čára je idealizovaný průběh časové řady údajů vegetačních indexů a přerušovaná čára ukazuje změny v rychlosti zakřivení dat VI. Tečky pak označují přechodová data, kdy došlo k změně zakřivení např. začátek vegetačního růstu a konec. Tato metodika má několik žádoucích vlastností. Vzhledem k tomu, že se přistupuje ke

Obr. 15: Extrakce začátku a konce vegetačního období

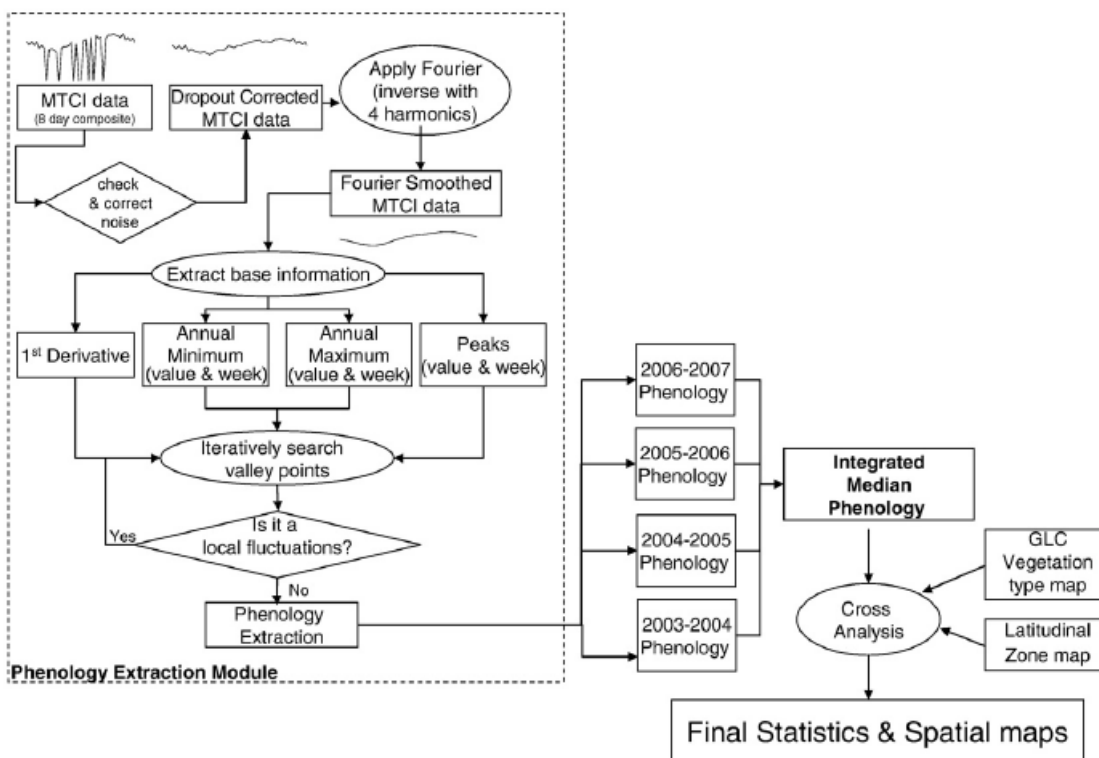


Zdroj: ZHANG ... [et al.], 2003

každému pixelu individuálně bez stanovení prahových hodnot nebo empirické konstanty, patří tedy k celosvětově použitelným.

Metoda inflexního bodu je založena na nalezení místa, kde dochází k maximálnímu zakřivení ve vykreslené časové řadě vegetačních indexů. Tato metoda byla využita např. u studie DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010. Jednotlivé fenologické proměnné jsou extrahovány a definovány: počátek nárůstu zeleně – údolní bod na začátku vegetačního cyklu, konec stárnutí – údolní bod vyskytující se na konci fenologie cyklu.

Obr. 16: Vývojový diagram procesu fenologické extrakce



Zdroj: DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010

Metodika v této studii se skládá z několika kroků (viz podrobně na Obr. 16). Nejprve bylo provedeno čištění dat, pomocí algoritmů založeném na kontrole dat. Pokud je hodnota MTCI nulová, což značí oblačnost, je tato hodnota nahrazena průměrem předcházející a následující hodnoty. Když jsou nulové i následující pixely, je tento algoritmus omezen jen na dva časové sousedy, aby byl zachován trend hodnot MTCI. Dalším krokem je vyhlazení dat. Základní metodou zde použitou byla diskrétní Fourierova transformace (DFT) (GEERKEN ... [et al.], 2005, Cit. In DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010). Posledními kroky pak byly už výsledné extrakce fenologických proměnných. (DASH, JEGANATHAN, ATKINSON, 2010)

Ve studii XIN ... [et al.], 2002 byla definována fenologie dvou plodin. U zimní pšenice byly definovány tři rozmezí a to *obnovení* jako první dva po sobě jdoucí přírůstky NDVI, *vrchol* jako maximum NDVI a *zralost* jako poslední po sobě jdoucí zmenšující se hodnoty NDVI. Tyto

samé fáze byly definovány i u letní kukuřice akorát byly zvoleny jiné názvy – *vzestup*, *vrchol* a *zralost*.

Ve studii VERBESSELT ... [et al.], 2010 byla představena metoda detekčních schopností fenologických změn pro detekci změn v rámci časových řad. BFAST, Breaks For Additive Seasonal and Trend integruje rozklad časové řady na trend, sezónnost a zbývající komponenty s metodami pro detekce změn.

Studie HIRD, McDERMID, 2009 se zabývá empirickým srovnáním vybraných technik redukce šumu časových řad NDVI (viz. Tab. 5).

Tab. 5: Techniky pro redukci šumu vybraných pro empirické srovnání podle HIRD, McDERMID, 2009

Asymetricky přiléhající Gaussova funkce	Vhodná pro místní, nelineární funkce v pravidelných intervalech lokálních maxim a minim, pak je sloučí do globálních funkcí popisujících celé časové řady NDVI (JÖNSSON, EKLUNDH, 2002)
Dvojitě přiléhající logistická funkce	Používá řadu parametrů (např. maximální NDVI) k modelu časové řady NDVI s dvojitou logistickou funkcí (BECK ... [et al.], 2006)
Savitzky–Golay filtr	Využívá iterační klouzavý průměrový filtr na časové řady NDVI, s váhou k tomu jaký stupeň polynomu bude využit (CHEN ... [et al.], 2004)
4253H, dvojitý filtr	Využívá řadu spuštěných mediánů různé velikosti okna a váženého průměrového filtru na časové řady NDVI (VELLEMAN, 1980, Cit. In HIRD, McDERMID, 2009)
Průměrový iterační filtr	Iterativně porovnává jednotlivá data s průměrem dat před a po tom, nahrazení dat tímto průměrem pokud je rozdíl vyšší než určitá prahová hodnota (MA, VEROUSTRATE, 2006)
ARMD3-ARMA5 filtr	Využívá autoregresivní spuštění mediánového filtru s velikostí okna tři, po němž následuje autoregresivní spuštění průměrového filtru s velikostí okna pět (FILLIPOVA-RACHEVA, HALL-BEYER, 2000, Cit. In HIRD, McDERMID, 2009)

Zdroj: upraveno podle HIRD, McDERMID, 2009

V této studii bylo po provedení empiricky založeného srovnání výše uvedených metod prokázáno dosažení lepších výsledků pomocí asymetricky přiléhající Gaussovy funkce a dvojitě přiléhající logistické funkce před dalšími alternativními filtry. Obě techniky ukázaly přibližně vyrovnanou schopnost snížení šumu při zachování příslušné integrity signálu NDVI. Záleží i na jednotlivých fenologických veličinách, které budou extrahovány, a i na oblasti zkoumání. To znamená, že by měla být zvážena síla a typ šumu přítomný v jednotlivých datových sadách při výběru jednotlivé metody pro redukci šumu. Dále je v této studii apelováno na ověření současných výsledků v rámci analýz reálného světa. To by se mělo stát velmi cennou analýzou, byť náklady a obtíže k získání požadovaných pozemních pravdivých dat by mohly být minimalizovány snad pomocí zástupných dat (viz následující kapitoly srovnání s pozemními fenologickými daty). Další zásadní cestou k dalšímu šetření pro lepší pochopení dopadů na

redukcí šumu v časových řadách NDVI je následná extrakce fenologicky založené metriky. V této studii byly využity i veličiny časových řad NDVI, jak byly definovány je popsáno v Tab. 6. (HIRD, McDERMID, 2009)

Tab. 6: Veličiny časových řad NDVI

NDVI veličina	Význam	Metoda výpočtu
Načasování začátku vegetačního období (SOS)	Období, kdy začíná fotosyntetická aktivita	Kompozitní období, ve které je dosaženo 10% rozsahu hodnoty NDVI mezi jarním minimem a sezónním maximem
Načasování konce vegetačního období (EOS)	Období, kdy končí fotosyntetická aktivita	Kompozitní období, ve které je dosaženo 90% rozsahu hodnoty NDVI mezi podzimním minimem a sezónním maximem
Délka vegetačního období (LGS)	Období sezónní fotosyntetické aktivity	Počet kompozitních období mezi a včetně SOS a EOS kompozitními obdobími
Maximum NDVI	Maximální úroveň sezónní fotosyntetické aktivity	Maximální NDVI, které je dosaženo v průběhu vegetačního období
Načasování maxima NDVI	Období, kdy fotosyntetická aktivita dosáhne svého maxima	Kompozitní období, ve které je dosaženo maximální NDVI
Amplituda NDVI	Amplituda sezónní fotosyntetické aktivity	Rozsah mezi maximem NDVI a průměrem minimálních hodnot na jaře a na podzim
Maximum vzestupu zeleně	Maximální rychlost s jakou se úroveň fotosyntetické aktivity zvýší na jaře	Maximální míra zvýšení NDVI mezi po sobě jdoucích kompozitních období
Načasování maxima vzestupu zeleně	Období, kdy tempo růstu fotosyntetické aktivity dosáhne maxima	Kompozitní období, mezi nimiž dochází k maximálnímu zvýšení NDVI
Průměr NDVI	Střední úroveň sezónní fotosyntetické aktivity	Průměr NDVI v průběhu vegetačního období
Integrovaná NDVI	Součet nebo akumulace sezónní fotosyntetické aktivity, vztahující se na biomasu	Součet hodnot NDVI pro každé složené období (vynásobí se počtem dnů za období) za vegetační období

Zdroj: upraveno podle HIRD, McDERMID, 2009

Ve studii MAIGNAN ... [et al.], 2008 byla taktéž využita metodika odhadu nástupu a stárnutí dat. Zde byla zkoumána data NDVI mezi lety 1982 až 1999 a po vyhlazení je vykazována hladká křivka. Následně byla tudíž použita extrakce začátku a konce vegetačního období. Tyto parametry zde byly definovány jako datum, kdy hladké křivky protínají křivky trendu stoupajícího a klesajícího. Tento postup je podobný hranici 0.5 pro poměr NDVI (WHITE, THORNTON, RUNNING, 1997). Byly zde testovány i další metody. Podle MOULIN ... [et al.], 1997 je začátek vegetačního období definován jako datum, kdy derivát časových řad jde od nuly na kladnou hodnotu. DUCHEMIN ... [et al.], 1999, Cit. In MAIGNAN ... [et al.], 2008 vyhledává nejlepší časové posuny k přizpůsobení předdefinovanému profilu rašení pozorovaných časových řad NDVI. REED ... [et al.], 1994 definuje nástup vegetačního období jako den, kdy časové série NDVI získají větší hodnotu, než je průměr za několik posledních měsíců. Tyto další možnosti přinesly horší výsledky než ve studii MAIGNAN ... [et al.], 2008 využité.

Ve studii REED ... [et al.], 1994 bylo vypočteno dvanáct veličin souvisejících s klíčovými fenologickými událostmi na základě časových řad NDVI shromážděných v letech

1989 až 1992 v USA. Mezi tyto veličiny patří do skupiny časových NDVI veličin – období nástupu a konce vegetačního období, období trvání vegetačního období a období maxima NDVI. Do skupiny veličin hodnot NDVI patří hodnoty NDVI začátku, konce a maxima vegetačního období a rozsah hodnot NDVI a konečně do skupiny odvozených veličin patří doba integrované NDVI (čistá míra produkce), míry nástupu zeleně a míry stárnutí a modalita (periodicita fotosyntetické aktivity).

Studie IVITS ... [et al.], 2012 využívá podobnou metodiku jako REED ... [et al.], 1994. Začátek a délka vegetačního období je zde však určena jako průsečíky referenčních časových řad a opožděných nebo předcházejících křivek klouzavého průměru. (IVITS ... [et al.], 2012)

Záměrně byla v tomto přehledu metodik vynechána metodika EKLUNDH, JÖNSSON, 2009, které je věnována podrobnější pozornost v následující kapitole.

6.2 TIMESAT

6.2.1 Metodika - Adaptivní Savitzky-Golay filtr, asymetrická Gaussova a dvojité logistické funkce

TIMESAT využívá tři zpracovatelské metody založené na přiléhání nejmenších čtverců dat vegetačních indexů. První využívá v montáži místní polynomiální funkci a metoda může být klasifikována jako adaptivní Savitzky-Golay filtr. Další jsou metody nejmenších čtverců, kde jsou vytvářeny nelineárními modelem funkcí různých složitostí. Všechny tři metody využívají předběžné definice sezónnosti a přibližné načasování jednotlivých vegetačních období. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Metoda nejmenších čtverců

Existuje časová řada (t_i, I_i) , $i = 1, 2, \dots, N$ a model funkce $f(t)$ ve tvaru:

$$f(t) = c_1\varphi_1(t) + c_2\varphi_2(t) + \dots + c_M\varphi_M(t),$$

kde $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_M(t)$ jsou uvedeny základní funkce. Pomocí následující rovnice nejmenších čtverců jsou získány nejlepší hodnoty parametrů c_1, c_2, \dots, c_M .

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{c} = \mathbf{A}^T \mathbf{b}$$

$$A_{ij} = \frac{\varphi_j(t_i)}{\sigma_i}, \quad b_i = \frac{I_i}{\sigma_i}$$

Zde σ_i je váha i -té datové hodnoty, kde se předpokládá, že je známá. Pokud nejsou váhy známy, mohou být nastaveny na hodnotu $\sigma = 1$. (JÖNSSON, EKLUNDH, 2004)

V TIMESATu může být využita doplňková kvalitativní data např. oblačnosti, pomocí nichž můžeme přiřadit datům jednotlivé váhy. Záleží, jaká dat jsou k dispozici, ale může být využito např. vah $w = 1; 0,5$ a 0 , které můžou být přiřazeny hodnotám čistým, smíšeným a s oblačností. V programu TIMESAT lze tyto jednotlivé váhy zobrazit a zohlednit. Zobrazují se

pomocí kruhů, kdy nejmenší představují nejmenší váhy. Přiřazením nulových vah datům s oblačností, nebudou mít tato data vliv na výpočet funkce. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)
Váhy w jsou transformovány do měření nejistot σ vztahem:

$$\sigma = \frac{1}{w + 0,0001}$$

Obecně neexistují žádná obecná pravidla, jak by měly být voleny klasifikační schémata a k nim voleny jednotlivé váhy. Záleží to na rozumném nastavení uživatelem a jednotlivými daty. (JÖNSSON, EKLUNDH, 2002)

Předzpracování a odstranění odlehlých hodnot a špiček

Některé odlehlé hodnoty mohou být vyloučeny pomocí kvalitativních dat a přiřazením jednotlivých vah. Ovšem v hodně časových řadách zůstanou ještě další odlehlé hodnoty, které mohou funkci hodně narušit. V TIMESATu jsou tři metody pro jejich odstranění. V první metodě je datům odlišným od pravého i levého souseda a mediánu v okně přiřazena nulová váhová hodnota ($w = 0$) a jsou klasifikovány jako odlehlé hodnoty (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009). V druhé metodě, která má více globální charakter a není závislá na pomocných datech, jsou hodnotám přiřazeny váhy na základě STL-dekompozice (CLEVELAND ... [et al.], 1990). Třetí metoda má k hodnotám časových řad přiřazeny váhy, které jsou produktem vah z STL-dekompozice a vah přidělených na základě pomocných údajů. Těmto nastavením je důležité věnovat před zpracováním velkou pozornost, protože i zbylé odlehlé hodnoty mohou výrazně zhoršit, jak bude výsledná funkce na datech sedět (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009).

Adaptace na horní úroveň

Většina šumu vegetačních indexů je generováno právě DPZ a negativně ovlivňuje stanovení parametrů c_1, c_2, \dots, c_M . Modelové funkce jsou tudíž prováděny ve dvou a více krocích. První krok jsou získány parametry při řešení normálních rovnic s váhami w_1, w_2, \dots, w_N . V dalším kroku jsou pak váhy nízkých hodnot sníženy. Vznikne tak funkce z několika kroků, která je posunuta na horní úroveň dat. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Stanovení počtu ročních období

U některých dat je kvůli velkému šumu určit počet období. Zjistit to lze, když překročí poměr amplitudy mezi sekundárním a primárním maximem zadanou hodnotu – sezónní parametr – jsou v datech dvě sezónní období. Je-li poměr amplitudy pod zadanou hranici, je v datech jen jedno sezónní období. V TIMESATu nastavujeme sezónní parametr na 1, když je jedno vegetační období, a 0, když jsou dvě. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Adaptivní Savitzky-Golay filtr

První metodou vyhlazení datového šumu a chyb v datech je adaptivní Savitzky-Golay filtr. Nahrazuje jednotlivé datové hodnoty $y_i, i = 1, \dots, N$ lineární kombinací blízkých hodnot v okně:

$$\sum_{j=-n}^n c_j y_{i+j}$$

V nejjednodušším případě, označovaném jako klouzavý průměr, jsou váhy $c_j = 1/(2n + 1)$, a hodnota y_i se nahrazuje tímto průměrem hodnot v okně. Metoda klouzavého průměru zachovává oblast a střední pozici sezónního vrcholu, ale mění jak šířku, tak i výšku. Tyto vlastnosti mohou být zachovány aproximací podkladových datových hodnot, nejenom průměrem okna ale i s hodnotou získanou z nejmenších čtverců přiléhajících k polynomu. Pro každou datovou hodnotu y_i , $i = 1, \dots, N$ je přikládán kvadratický polynom $f(t) = c_1 + c_2t + c_3t^2$ ke všem $2n + 1$ bodům v pohybujícím se okně, a je nahrazena hodnotou polynomu na pozici t_i (PRESS ... [et al.], 1994, Cit. In, EKLUNDH, JÖNSSON, 2009) Výsledkem jsou vyhlazené křivky přizpůsobené na horní rámce hodnot v časových řadách. Šířka n pohybujícího se okna určuje stupeň vyhlazení, ale omezuje také schopnost sledovat rychlé změny. V programu TIMESAT nastavuje uživatel. Pro zachycení odpovídajícímu náhlému zvýšení hodnot je využíváno malé okno – nízká hodnota. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Metody asymetrická Gaussians a dvojité logistické funkce

V těchto dvou metodách jsou lokální modelové funkce dávány k datům v intervalech okolo maxima a minima v časových řadách. Lokální modelové funkce mají obecný tvar:

$$f(t) = f(t; \mathbf{c}, \mathbf{x}) = c_1 + c_2 g(t; \mathbf{x})$$

$\mathbf{c} = (c_1, c_2)$ lineární parametry – stanoví základní úroveň a amplitudu

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ nelineární parametry – určují tvar základní funkce $g(t, \mathbf{x})$ (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

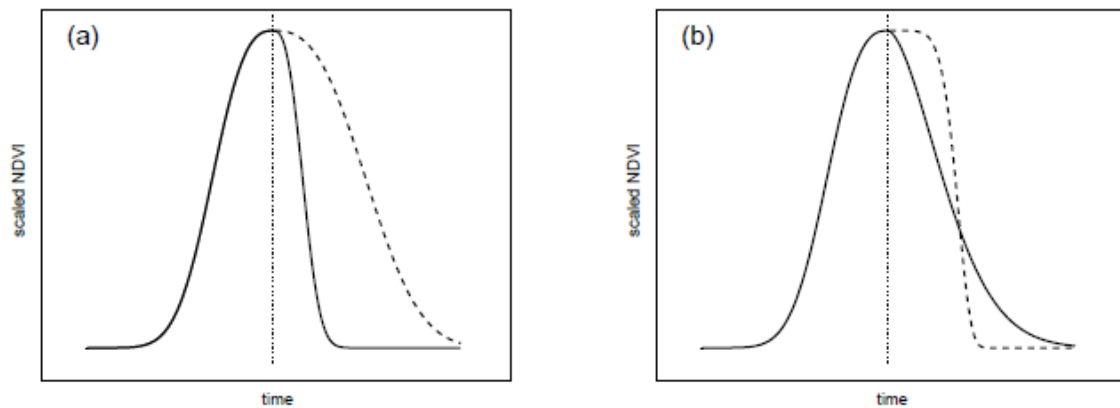
Asymetrická Gaussova funkce (Asymmetric Gaussians)

Základem funkce je

$$g(t; x_1, x_2, \dots, x_5) = \begin{cases} \exp \left[- \left(\frac{t - x_1}{x_2} \right)^{x_3} \right] & \text{if } t > x_1 \\ \exp \left[- \left(\frac{x_1 - t}{x_4} \right)^{x_5} \right] & \text{if } t < x_1 \end{cases}$$

Pro tuto funkci x_1 určuje polohu maxima nebo minima vztahující se na nezávislou časovou proměnnou t , zatímco x_2 a x_3 určují šířku a plochost (špičatost) pravé funkční poloviny. Následně x_4 a x_5 určují šířku a plochost levé poloviny. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009) Na Obr. 17 je vidět vliv změn parametrů na lokální funkci. V části (a) byl parametr x_2 , který určuje šířku pravé poloviny funkce snížen (plná čára) a zvýšen (přerušovaná čára) v porovnání s hodnotou v levé polovině. V části Obr. 17 (b) je zobrazen parametr x_3 , který určuje plochost pravé poloviny funkce. Plnou čarou je zobrazeno, když byl snížen, a přerušovanou čarou, když byl zvýšen v porovnání s hodnotou v levé polovině.

Obr. 17: Vliv změn parametrů na lokální funkci



Zdroj: EKLUNDH, JÖNSSON, 2009

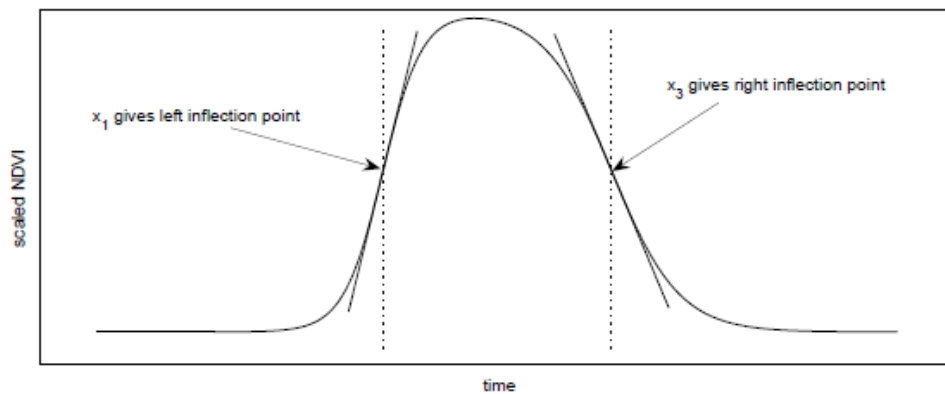
Dvojitá logistická funkce (Double logistic functions)

Základem je vzorec:

$$g(t; x_1, \dots, x_4) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_1 - t}{x_2}\right)} - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_3 - t}{x_4}\right)}$$

x_1 určuje pozici levého inflexního bodu zatímco x_2 poskytuje rychlost změn. Podobně x_3 určuje polohu pravého inflexního bodu a x_4 poskytuje rychlost změn v tomto bodě (viz Obr. 18). Také pro tuto funkci jsou parametry omezeny v rozsahu, aby byl zajištěn hladký tvar. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

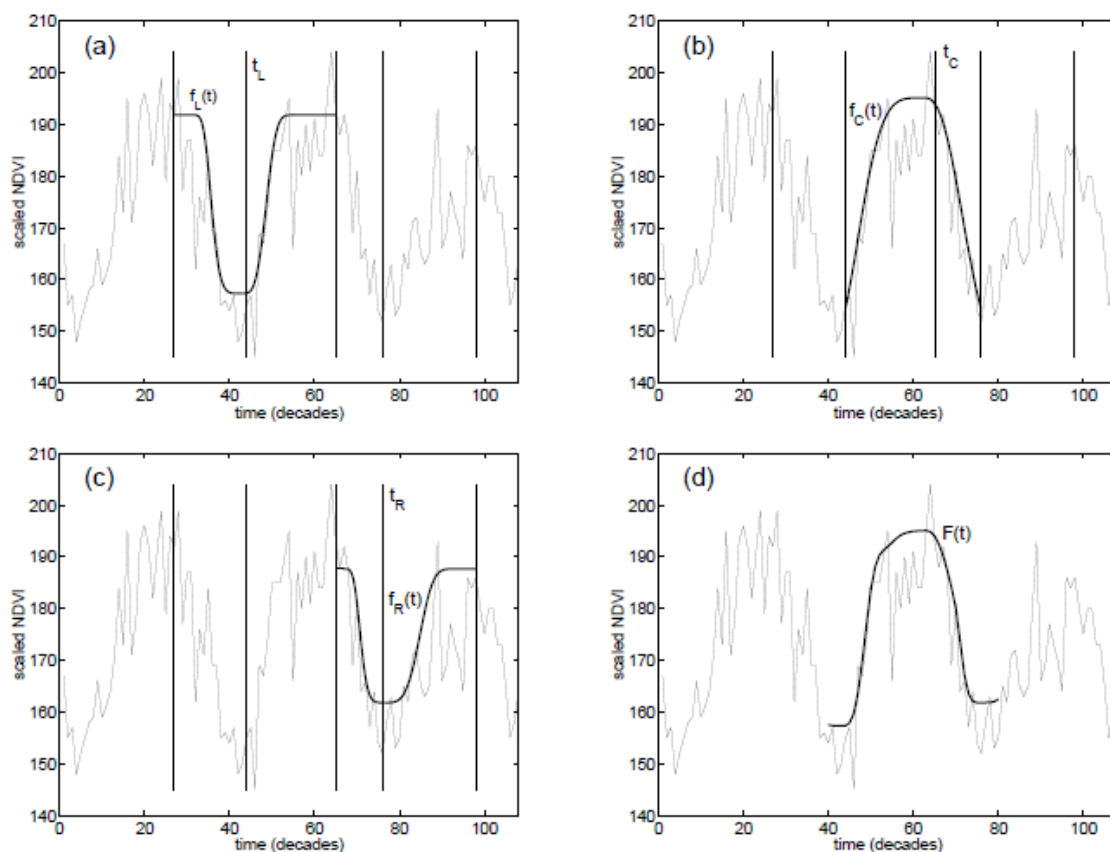
Obr. 18: Parametry dvojitě logistické funkce



Zdroj: EKLUNDH, JÖNSSON, 2009

Lokální modelové funkce popisují sensorová data velice dobře v širokých intervalech kolem maxim a minim. Na Obr. 19 můžeme dobře sledovat, jak jsou popsány lokální funkce v intervalech pro levé minimum (a), centrální maximum (b) a pravé minimum (c). Tyto lokální funkce jsou pak implementovány do globální modelové funkce nacházející se v Obr. 19 (d). (JÖNSSON, EKLUNDH, 2002)

Obr. 19: Sloučení lokálních funkcí do globální modelové funkce



Zdroj: EKLUNDH, JÖNSSON, 2009

Charakteristika metod zpracování

V programu TIMESAT jsou k dispozici tři metody vyhlazení časových řad. Na rozdíl od funkcí, které jsou odvozeny z Fourierových metod, výsledné funkce v TIMESATu jsou lokální v tom smyslu, že jsou schopné zachytit meziroční změny (změny v sezónním načasování během jednotlivých let). Metody využívané v TIMESATu mají různé silné a slabé stránky. Pro poměrně hladké časové řady mají tři různé metody zpracování velmi podobné výsledky. Tudíž výběru výsledné metody by mělo předcházet testování v grafickém rozhraní programu TIMESAT. Pro časové řady s větším šumem přináší metoda Savitzky-Golay nežádoucí výsledky. V těchto případech se více hodí jedna ze zbývajících metod. Konečný výběr metod závisí především na charakteru vstupních dat, a musí být rozhodnuto, která matematická funkce vystihne nejlépe původní data. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

6.2.2 Extrakce sezónních parametrů

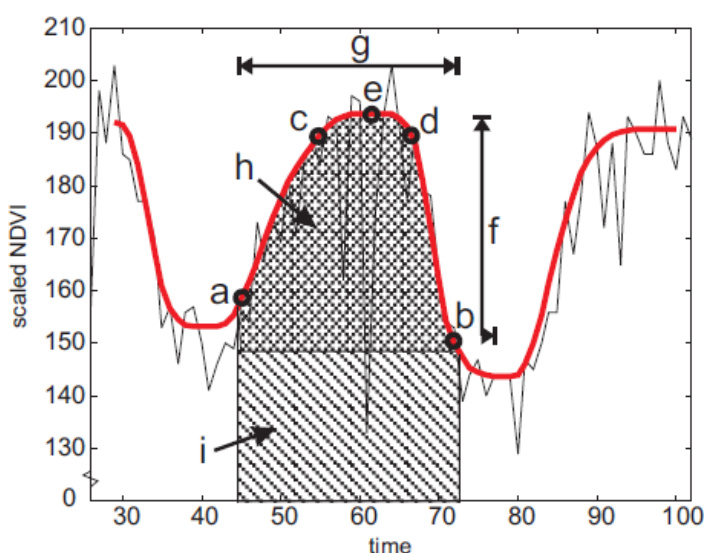
Fenologie je odezva vegetace na sezónní klimatické cykly v ozáření, teplotě a dešťových srážkách. Proto patří fenologie mezi základní povrchové parametry atmosférických a klimatologických modelů. Ale sezónní vztahy pozorované v satelitních časových řadách mohou být ovlivněny dalšími cyklickými i necyklickými efekty. Těmito efekty mohou být i ve vysoké míře zastoupený šum v datech. Kvůli tomu jsou používány přiléhající funkce, které snižují chyby v datech a vedou k stabilnějším datům. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Sezónní parametry jsou odvozené s časové řady trvající n let, ale údaje jsou k dispozici za n-1 let. To ovšem může být změněno a je možné dostat data i za poslední sezónu a to přidáním fiktivních údajů na začátek a konec zkoumaného období. Pokud je vrchol vegetační sezóny přibližně v polovině, jde získat sezónní parametry i z jednoho období, a to přidáním tohoto období před a za zkoumanou sezónu. Sezónní parametry získané ze středního období takto uměle vytvořené časové řady jsou ty požadované. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Extrahované sezónní parametry

Program TIMESAT extrahuje několik klíčových sezónních parametrů, jako jsou dále využitý začátek, konec a délka vegetační sezóny, největší hodnotu a amplitudu vypočítanou pro každou z celých sezón v časových řadách. Tyto parametry jsou vidět na Obr. 20 a podrobněji popsány níže. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Obr. 20: Extrahované sezónní parametry



Poznámka: Písmena (a) a (b) označení začátku a konce vegetační sezóny, body (c) a (d) poskytují 80 % úroveň, (e) zobrazuje místo s největší hodnotou, (f) zobrazuje sezónní amplitudu a (g) délku sezóny, (h) a (i) jsou integrály znázorňující kumulativní účinek růstu vegetace v průběhu sezóny.

Zdroj: EKLUNDH, JÖNSSON, 2009

Zde jsou uvedeny definice extrahovaných sezónních parametrů programu TIMESAT podle EKLUNDH, JÖNSSON, 2009:

období začátku vegetační sezóny – „doba, po kterou se levý okraj zvýšil na uživatelem definovanou úroveň (často některé ze sezónních amplitud), měřeno od levé minimální úrovně“

období konce vegetační sezóny – „doba, po kterou se pravý okraj snížil na uživatelem definovanou úroveň, měřeno od pravé minimální úrovně“

délka vegetační sezóny – „doba od začátku až do konce sezóny“

základní úroveň – „uvádí jako průměr z levé a pravé minimální hodnoty“

období pro střed sezóny – „počítá se jako střední hodnota období, pro které se levý okraj zvýšil na 80 % úroveň a pravý okraj snížil na také na 80 % úroveň“

největší datová hodnota pro shlazenou funkci během sezóny – „uvádí jako průměr z levé a pravé minimální hodnoty“

sezónní amplituda – „rozdíl mezi maximální hodnotou a základní úrovní“

tempo růstu na začátku sezóny – „vypočítá se jako poměr rozdílu mezi levými 20 % a 80 % úrovněmi a odpovídajícímu časovému rozdílu“

tempo poklesu na konci sezóny – „vypočítá se jako absolutní hodnota poměru rozdílu mezi pravými 20 % a 80 % úrovněmi a odpovídajícímu časovému rozdílu, míra poklesu je tak dána jako pozitivní kvantita“

velký sezónní interval – „integrální funkce popisující období od začátku do konce sezóny“

malý sezónní interval – „integrál rozdílu mezi funkcí popisující sezónu a základní úrovní z období začátku a konce sezóny“

6.2.3 Zpracování dat v programu TIMESAT

V předchozích částech byla popsána metodika jak jednotlivých vyhlazovacích metod časových řad, tak extrakce sezónních parametrů. Zde bude představeno základní zpracování dat časových řad v programu TIMESAT, které bylo aplikováno na jednotlivé datové soubory vegetačních indexů. Program TIMESAT pracuje jak pod operačním systémem Windows tak i Linuxem. Mohou být zpracovávány i velké datové soubory, jelikož programy alokují paměť dynamicky. Program běží pod programem Matlab, ale je ho možné spustit i bez něj. Graficky orientované programy jsou kódovány v Matlabu a programy pro zpracování velkých datových souborů jsou kódovány ve Fortranu kvůli dosažení co nejrychlejšího provedení. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Přehled zpracování dat

Na Obr. 21 je uveden stručný popis obecného zpracování dat v TIMESATu, následně budou tyto body upřesněny.

1. Příprava vstupních dat a zobrazení náhledu binárních obrazů (ASCII data nebo posloupnost obrazových dat). TSM_imageview

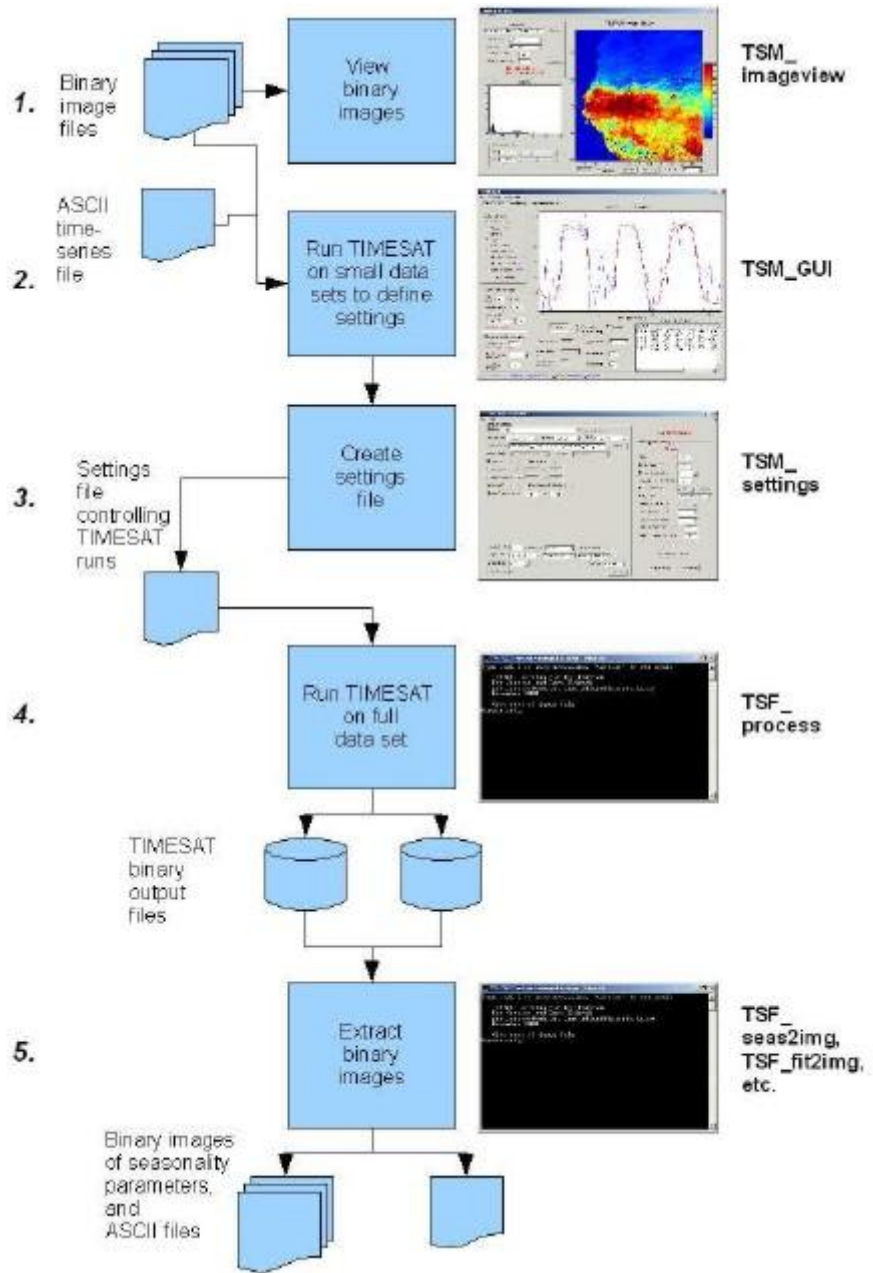
2. Spuštění TIMESATu pro vybrané obrazové body nebo časové řady – TSM_GUI. Kontrola vstupních dat a nastavení algoritmů.

3. Vytvoření ASCII souboru nastavení. Pomocí TSM_settings nebo z TSM_GUI. Nastavení určí, jak budou data zpracována.

4. Spuštění TIMESATu pro všechna data pomocí souboru nastavení. Provádí se to z příkazového okna pomocí TSF_PROCESS.

5. Generování výstupních obrázků z TIMESAT výstupních souborů. To je především sledování sezónnosti dat nebo vyhlazená data pro jednotlivé pixely, vytváření obrazových dat sezónnosti a vyhlazená data pro určité časové období. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Obr. 21: Přehled zpracování dat v TIMESAT

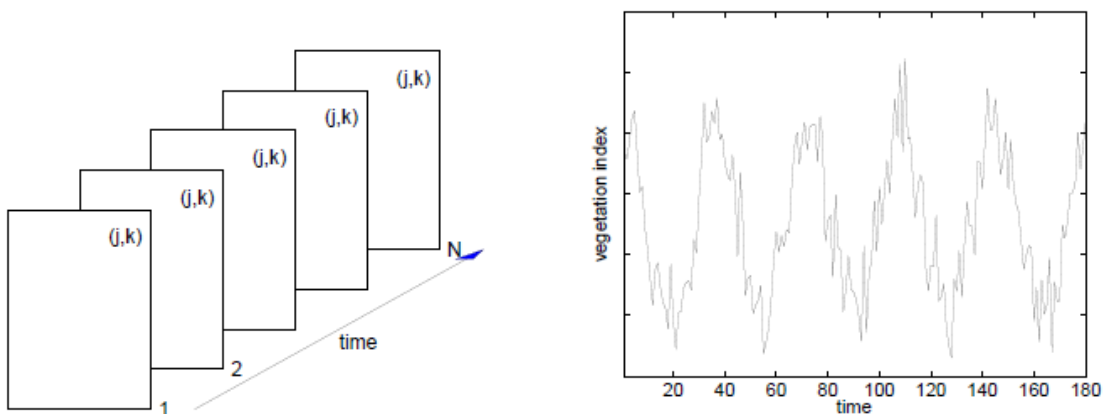


Zdroj: EKLUNDH, JÖNSSON, 2009

Příprava dat

Ještě před analýzou dat, která jsou v této práci zpracovávána (GIMMS – NDVI, MERIS – MTCI, MODIS – LAI, NDVI, EVI) je nutné si jednotlivá data připravit, aby mohla být zpracována. Data vegetačních indexů jsou často organizovány do dvourozměrného prostorového pole. Každý obraz se pak skládá z jednotlivých pixelů. Obraz i představuje hodnoty indexu v čase t_i . Jednotlivý pixel (j, k) získá hodnoty z po sobě následujících obrazů y_1, y_2, \dots, y_N (viz Obr. 22). Je nutné mít data stejné zeměpisné oblasti, protože budou zpracovávány jednotlivé pixely pomocí jejich pozice (j, k) . Data je nutné mít v binárním formátu, typ souboru by měl být jeden z následujících: *8-bit unsigned integer* (0 – 255), *16-bit signed integer* (-32767 až 32768) a *32-bit real* (desetinné hodnoty mezi $1,2 \times 10^{-38}$ a $3,4 \times 10^{38}$). (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Obr. 22: Údaje vegetační indexů v obrazech a časová řada



Zdroj: EKLUNDH, JÖNSSON, 2009

Pokud data obsahují více vrstev je nutno to změnit. Některá data vegetačních indexů bylo nutno oříznout, to bylo v této práci provedeno v programu BEAM VISAT pomocí funkce *Spatial Subset from View*, kde bylo vyříznuto potřebné území *Spatial Subset* a vybrány jenom potřebná pásma *Band Subset*. Výsledek byl uložen ve formátu BEAM-DIMAP, kde jsou jednotlivé vrstvy uloženy jako soubory *.img*, které lze následně importovat do programu BEAM.

Všechny používané rastry bylo nutno upravit, aby mohly být použity v programu TIMESAT. Pouze data GIMMS nebylo potřeba pozměnit. Data MODIS byla ve formátu **.hdf* a data MERIS v **.tif*. Tato data obsahovala více vrstev, a tudíž musela být upravena. Pokud data obsahují více vrstev je nutno to změnit.

Následně je potřeba připravit vstupní textový soubor (*List of input files*), který obrazová data načte do programu TIMESAT. Na první řádce se nachází číslo počtu obrazových souborů a na následujících řádcích jsou již cesty k jednotlivým souborům v pořadí, v jakém budou jednotlivá obrazová data načítána. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

600

```
..\TIMESAT_data_GIMMS\82jan15a.n07-VIg_data.tif
```

```

..\TIMESAT_data_GIMMS\82jan15b.n07-VIg_data.tif
..\TIMESAT_data_GIMMS\82feb15a.n07-VIg_data.tif
..\TIMESAT_data_GIMMS\82feb15b.n07-VIg_data.tif
..\TIMESAT_data_GIMMS\
82mar15a.n07-
VIg_data.tif

```

Program TIMESAT se spustí přes program Matlab, kde se do pracovního souboru nastaví složka *run* v extrahované složce po stažení souboru, a následně se v příkazovém řádku potvrdí příkaz TIMESAT. Ukáže se základní okno programu TIMESAT (viz Obr. 23).

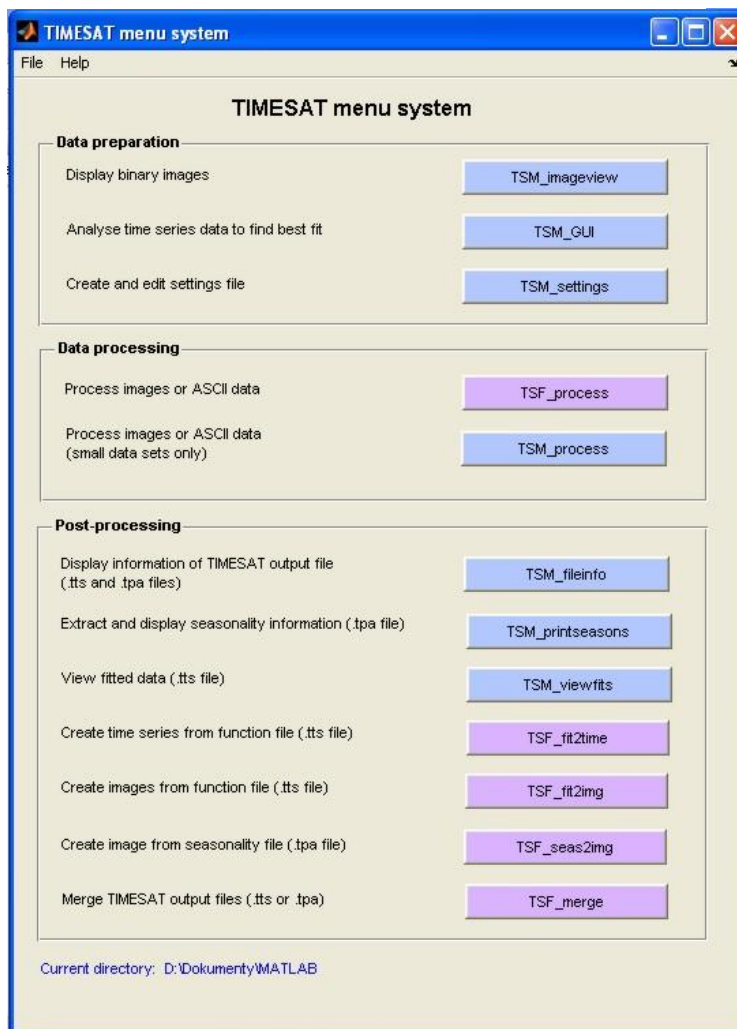
Prvním důležitým krokem v přípravě dat je zobrazení souboru – TSM_IMAGEVIEW, kde se lze přesvědčit, že data jsou připravena k načtení do programu (viz Obr. 24).

Dalším krokem je vytvoření nastavení pro vstupní data TSM_GUI (viz Obr. 25). Lze zde jednotlivé metody vyzkoušet a

rozhodnout se pro ty, které poskytují nejlepší výsledky. V sekci vykreslení grafu *Data plotting* lze nastavit jednotlivé metody funkčního vyhlazení: *Gaussian*, *Logistic* a *Savitsky-Golay*, lze zobrazit začátky a konce vegetačního období *Season start / stop*, dále také jednotlivé body a pokud jsou k nim přiřazeny váhy tak i ty. V sekci společných nastavení *Common settings* je rozsah dat – *Data range*, hodnota amplitudy - *Amplitude value* a metoda Spike – *Spike method*, která je popsána v kapitole 6.2.1 a konkrétně v Předzpracování a odstranění odlehlých hodnot a špiček. Zbytek nastavení se nachází v sekci *Class-specific settings*.

Sezónní parametr – *Seasonal par.* – určuje, jak se bude pracovat s daty ohledně toho, zda je v datech jedno nebo dvě vegetační období. Hodnota 1 přinutí program, aby s daty zacházel, jako když mají jedno období. Naopak čím bude hodnota menší, tím se budou prosazovat dvě období. Dalším parametr, který lze nastavit, je *No. of envelope iterations* – počet

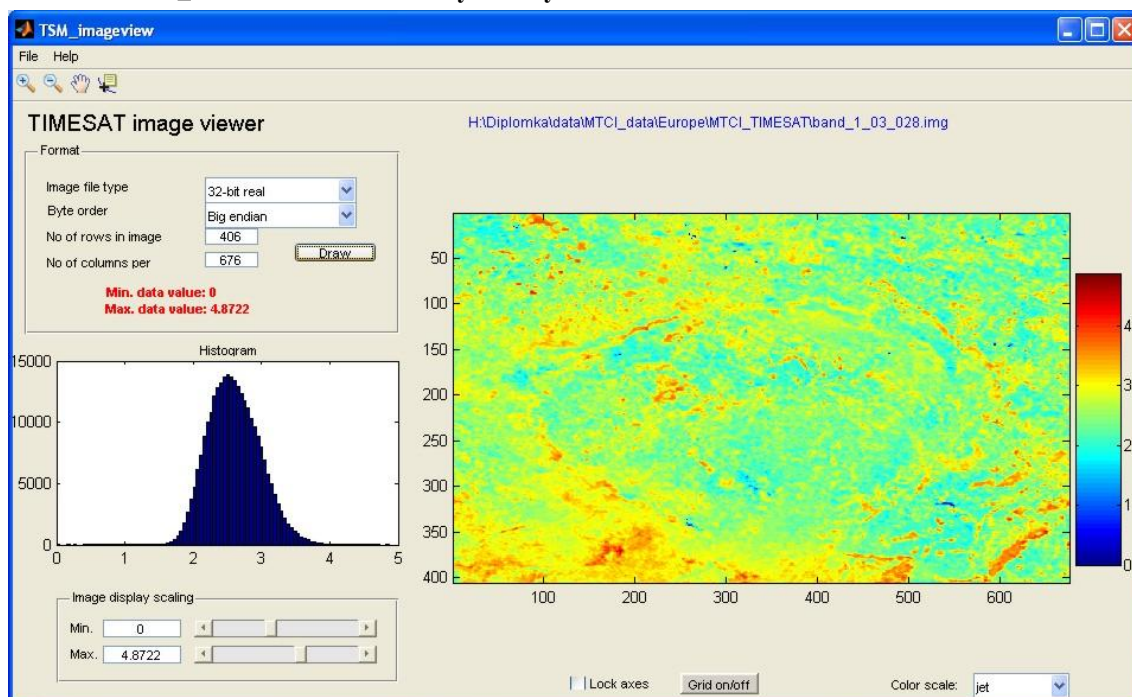
Obr. 23: TIMESAT menu



Zdroj: Screenshot z programu TIMESAT

iterací. Montáž funkce může být vytvořena pomocí iterativního postupu. Hodnota 1 znamená jedno iterativní opakování, naopak u dvou a tří se iterace už opakují a funkce je nucena přimykát se k horním hodnotám. Parametr *Adaptation strenght* – síla adaptace – upravuje, jak silně jsou data přimykána k horní hranici. Je v rozmezí 1 až 10, 10 je nejsilnější adaptace a 1 neposkytuje žádnou úpravu. Silná adaptace s předchozím parametrem 3 může dávat špatné výsledky. Normální hodnota adaptace se pohybuje kolem 2 nebo 3.

Obr. 24: TSM_IMAGEVIEW s načtenými daty MTCI MERIS



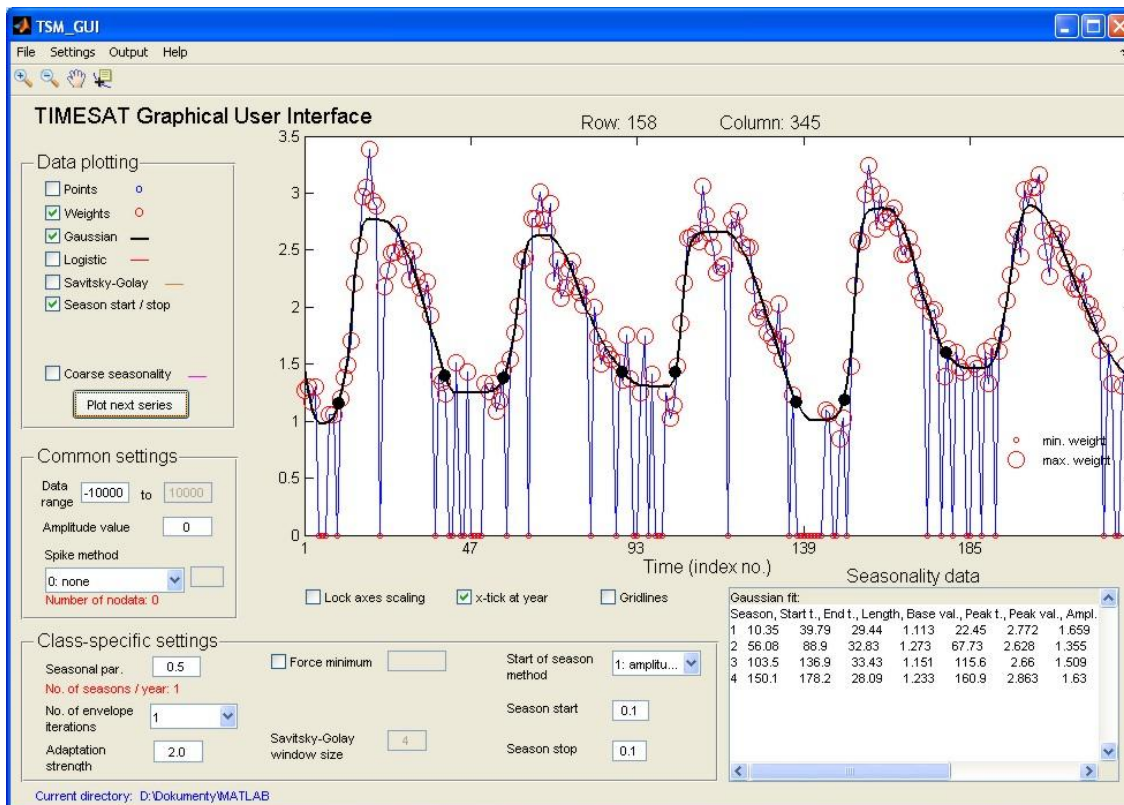
Zdroj: Screenshot z programu TIMESAT

Force to minimum a value of minimum – některé hodnoty v severních a jižních zeměpisných šířkách mohou být ovlivněny vysokými zenitními úhly Slunce nebo mraky. V těchto případech může být nastavena minimální (zimní) hodnota. *Window for Savitzky-Golay* se udává, pokud je využita metoda Savitzky-Golay. Tato celočíselná hodnota by se měla udávat ve vztahu k celkovému počtu dat v průběhu roku (orientačně kolem $nptsperyear / 4$). Velké hodnoty okna způsobují vysokou míru vyhlazení, ale mohou ovlivnit změny údajů. Metoda začátku sezóny – *Season start method* – je stanovena tak, že po zvolení hodnoty 2 je začátek a konec vegetačního období pro shlazenou křivku volen pomocí prahové hodnoty. Tyto hodnoty mohou být voleny různě jak na začátku, tak na konci období. Jsou zapsány v *Season start* a *Season stop*. Pokud je zvolena hodnota 1, začátek a konec období je tam, kde shlazená křivka dosahuje podíl sezónní amplitudy měřené od levého a pravého minima hodnot. V tomto případě se musí hodnoty v *Season start* a *Season stop* pohybovat v rozmezí 0 a 1. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

V Příloze č. 7 byla vytvořena tabulka hodnot jednotlivých nastavení u datových sad a konkrétních vyhlazovacích metod. U Spike method byly vybrána na základě vizuálního hodnocení jednotlivých křivek metoda 3.STL*originál. Tato metoda má k hodnotám časových řad přiřazeny váhy, které jsou produktem vah z STL-dekompozice a vah přidělených na

základě pomocných údajů (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009). Pro sezónní parametr – *Seasonal par.* – byla zvolena hodnota 1, která přinutí program, aby s daty zacházel, jako když mají jedno období.

Obr. 25: TSM_GUI ukazující časovou řadu dat MTCI MERIS, řádek 158, sloupec 345



Zdroj: Screenshot z programu TIMESAT

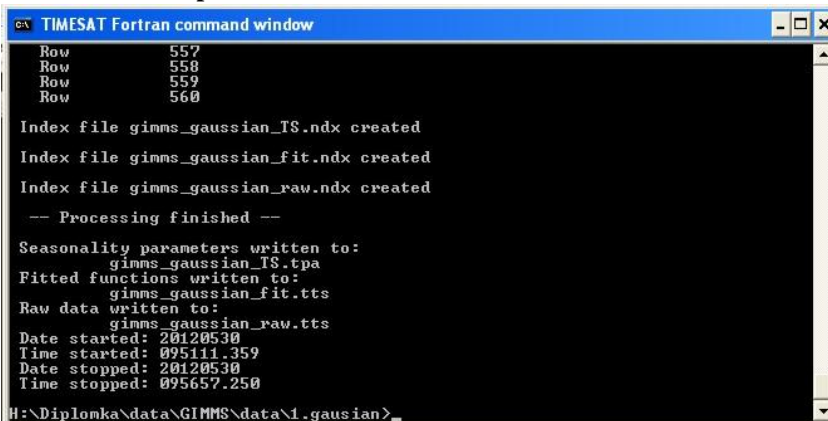
No. of envelope iterations – počet iterací bylo nastaveno u všech dat (kromě Gaussian a Logistic MTCI hodnota 1) na hodnotu 2, kdy montáž funkce byla vytvořena pomocí iterativního postupu. Iterace se dvakrát opakuje a funkce je nucena přimykát se k horním hodnotám. Parametr *Adaptation strength* – síla adaptace – byl nastaven na hodnotu 3. Upravuje, jak silně jsou data přimykána k horní hranici v rozmezí 1-10. Tyto parametry byly nastaveny po vizuálním hodnocení jednotlivých nastavení. Některá extrémní nastavení vykazovala extrémní výsledky. *Window for Savitzky-Golay* byl nastaven u metody Savitzky-Golay. Využit byl přednastavený vzorec (viz výše), následně pak byly řešeno jen zaokrouhlení opět podle vizuálního pohledu. Metoda začátku sezóny – *Season start method* – byla stanovena hodnota 1, začátek a konec období byla tam, kde shlazená křivka dosahovala podíl sezónní amplitudy měřené od levého a pravého minima hodnot. Hodnoty v *Season start* a *Season stop* se musí pohybovat v rozmezí 0 a 1, zde byla stanovena hodnota 0.1.

Obr. 26: TSF_process

Zpracování dat

V části

zpracování dat jsou jednotlivá data zpracována buď pomocí funkce TSM_process, která je výrazně pomalejší a probíhá v programu Matlab, nebo funkce



```
Row      557
Row      558
Row      559
Row      560

Index file ginms_gaussian_TS.ndx created
Index file ginms_gaussian_fit.ndx created
Index file ginms_gaussian_raw.ndx created
-- Processing finished --
Seasonality parameters written to:
  ginms_gaussian_TS.tpa
Fitted functions written to:
  ginms_gaussian_fit.tts
Raw data written to:
  ginms_gaussian_raw.tts
Date started: 20120530
Time started: 095111.359
Date stopped: 20120530
Time stopped: 095657.250
H:\Diplomka\data\GIMMS\data\1.gaussian>
```

Zdroj: Screenshot z programu TIMESAT

TSF_process (viz Obr. 26), která se naopak hodí na zpracování plných obrazů, je výrazně rychlejší a pracuje na bázi Fortran. Jednotlivá data jsou zpracovávána po řádcích. Výsledkem jsou tři soubory (..._fit.tts, ..._raw.tts, ..._TS.tpa).

Úpravy dat po zpracování

Tato část už upravuje jednotlivé výsledky a záleží na tom, jaké požadavky byly vzneseny na výsledky. Zahrnuje tyto možnosti: zobrazení informací o jednotlivých vytvořených souborech z TSF_process, zobrazí a extrahuje sezónní data, zobrazí vyhlazenou a původní časovou řadu, extrahuje data shlazených a původních časových řad, vytvoří obrazy z vyhlazených dat a zobrazení sezónních parametrů v obrazových datech pro jednotlivé sezóny. (EKLUNDH, JÖNSSON, 2009)

Shrnutí

Pro zpracování této práce tak byla využita sezónní data, ze kterých to byl **začátek, konec a délka vegetačního období** jako základní fenologické proměnné. Tyto fenologické proměnné byly určeny přesně pomocí programu TIMESAT, kde byly využity vyhlazovací metody časových řad Gaussian, Logistic a Savitzky-Golay. Hodnota začátku a konce vegetačního období byla tam, kde shlazená křivka dosahovala podílu 0.1 sezónní amplitudy měřené od levého a pravého minima hodnot. (U začátku vegetačního období 10 % amplitudy levé části křivky a u konce 10 % od spodní části shlazené křivky pravé části.)

6.3 Statistické analýzy

Jedním z ukazatelů posunu a rozšíření vegetačního období bude vypočítaný **průměrný rozdíl od mediánu časové řady**, který by měl ukázat, jak se začátek, délka a konec vegetačního období posunula v průměru jednoho roku (jednotky této hodnoty byly v jednotlivých dnech). Dalšími použitými statistickými ukazateli budou korelační koeficient a ve větší míře směrnice regresní přímky závislosti fenologické proměnné v průběhu jednotlivých zkoumaných let.

Regresní přímka je prokládána grafem, pokud jde o lineárně regresní model, je zde lineární vztah mezi proměnnými. Regresní přímka je přímka, jež má k experimentálním bodům co možná nejlépe. Přímka je určována tak, aby co nejlépe předvídala y-hodnoty pomocí x-hodnot. Rovnice přímky je (HENDL, 2006):

$$y = a + bx,$$

a parametry a, b se vypočtou pomocí vztahů

$$b = r \frac{s_y}{s_x}, a = \bar{y} - b\bar{x}$$

kde r je korelace proměnných a s_x a s_y jsou směrodatné odchylky naměřených hodnot X a Y. Hodnoty parametrů přímky se získají pomocí metody nejmenších čtverců, aby byl minimální součet druhých mocnin reziduálních hodnot (HENDL, 2006).

Hodnoty m regresní přímky lze získat pomocí přidání spojnice trendu –lineární- a zobrazení rovnice regrese, nebo výpočtem pomocí funkce SLOPE. Směrnice je vertikální vzdálenost dělená horizontální vzdáleností mezi dvěma body na přímce a vyjadřuje rychlost změny podél regresní přímky.

y je matice nebo oblast buněk s číselnými závislými hodnotami y.

x je množina nezávislých hodnot x.

Rovnice pro výpočet směrnice regresní křivky je:

$$b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

kde x a y jsou střední hodnoty výběru průměru hodnot x a průměru hodnot y. (HENDL, 2006)

Pearsonův korelační koeficient je nejdůležitější míra síly vztahu dvou náhodných spojitéch proměnných X a Y. Vyjadřuje pouze sílu lineárního vztahu. Nabývá hodnot od -1 až k 1. Hodnota 1 znamená největší míru závislosti a všechny prvky leží na přímce, naopak při hodnotě 0 nazýváme proměnné nekorelované. Hodnota -1 pak znamená zcela nepřímou závislost, u jedné proměnné se hodnoty zvětšují a u druhé zmenšují. Kladné hodnoty znamenají pozitivní závislost a záporné negativní. Koeficient r se počítá pomocí tzv. kovariance s_{xy} a směrodatných odchylek s_x a s_y obou proměnných. Počítá se pomocí vzorce (HENDL, 2006):

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

Data zpracovaná z programu TIMESAT byla importována do programu Microsoft Office Excel, kde byly provedeny příslušné výpočty jednotlivých ukazatelů. Data začátku a konce vegetačního období jsou zobrazena od začátku zkoumaných období. U jednotlivých roků se musel odečíst příslušný počet, aby byla data vztažena vždy k začátku roku. U jednotlivých datových sad byla provedena kontrola extrahovaných fenologických proměnných a evidentně špatně extrahované údaje byly vyřazeny. U datové sady MCD LAI, kde bylo 92 období za rok, to byly hodnoty u začátku vegetačního období menší než 10 a větší než 50, u konce hodnoty menší jak 30 a větší jak 92 a u délky menší jak 30 a větší jak 82. U dat MODIS NDVI a EVI to následně byly hodnoty u konce vegetačního období menší jak 10 a větší jak 23 u délky pak ty samé hodnoty.

Následně byl vypočítán medián jednotlivých časových řad (vždy pro jednotlivé pixely) a od jednotlivých roků bude tento medián odečten. Jednotlivé hodnoty tak ukazují, jak se liší od mediánu časové řady. U začátku vegetačního období ukazují záporné hodnoty dřívější začátek vegetačního období a kladné pozdější začátek. Následně bude vypočten průměr jednotlivých hodnot pro každý pixel. Dále byla vynásobena tato hodnota počtem dnů v jednom kompozitivním období. Výsledná hodnota ukazuje, o kolik dnů se průměrně ročně pohyboval začátek, konec a délka vegetačního období během zkoumaného období.

Dalším vypočteným ukazatelem jsou hodnoty parametru **regresní přímky m**. Výpočet tohoto statistického ukazatele byl popsán výše. Do regrese vstupovaly hodnoty začátků jednotlivé fenologické proměnné v celém zkoumaném období ve formě pořadí dne od začátku roku u začátku a konce vegetačního období a počet dnů u délky vegetačního období a roky, ve kterých tyto jednotlivé fenologické proměnné byly určeny. Kladné hodnoty směrnice pak znamenají posun fenologických proměnných do pozdější části roku a prodloužení délky vegetačního období. Záporné hodnoty znamenají naopak posun do dřívější části roku a zkrácení délky vegetačního období. Hodnota nula znamená, že nedošlo k žádnému posunu a trend je tak konstantní. Čím více se hodnoty vzdalují od nuly, ať do záporných nebo kladných hodnot, tím větší posun začátku a konce nebo prodloužení či zkrácení vegetačního období by mělo být.

6.4. Porovnání hodnot vegetačních indexů s pozemními fenologickými daty

Analýza vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ

U srovnání vegetačních dat DPZ pomocí pozemních fenologických dat byla zpracována pozemní data, vypočteny byly stejné ukazatele jako u dat z dálkového průzkumu. Pozemní data byla přepočtena z dat kalendářních dní na pořadí dne od začátku roku, bylo přihlédnuto i k přestupným rokům. Přepočteny byly i hodnoty DPZ dat na pořadí dní od začátku roku. Následně byly porovnány hodnoty pozemních fenologických dat a dat DPZ. Porovnání bylo provedeno v konkrétní pixelu obsahující lesní krajinný pokryv a matici okolních pixelů. Kvůli prostorovému rozlišení dat, ale bylo toto upraveno u dat GIMMS na jeden pixel (8 km) a u dat MERIS a MODIS na matici 3x3 pixely (1 km). Tyto pixely byly vizuálně zkontrolovány, jak u nich byla provedena extrakce fenologických proměnných a jaký krajinný pokryv obsahovaly, a

následně byly porovnány s hodnotami z pozemního měření. Porovnání bylo provedeno u obou vypočtených ukazatelů (směrnice regrasní přímky a průměrný rozdíl od mediánu časové řady). Kvůli různému dostupnému období datových sad nebylo možno porovnávat stejná časová období, jelikož se překrývala pouze data v období 2001-2006, což je příliš malé časové období k určení dlouhodobějších trendů. U dat MERIS a MODIS byl porovnán pixel, kde se nacházel lesní krajinný pokryv a následně pak průměr okolních pixelů na matici 3x3 (1 km). Díky tomu, že byly využity lesní stanice fenologického pozorování, může tento fakt ovlivnit výsledek srovnání, jelikož do dat DPZ zasahovala i ostatní vegetace jako trávy a keře. Porovnání bylo provedeno u celkového průměru dostupných stromů ale i u jednotlivých druhů. Byl vypočítán průměr jednotlivých směrnic u dostupných stromů, ale zobrazeny byly i směrnice u jednotlivých druhů. Kompletní fenologická data nebyla u všech stanic, tudíž analýza proběhla pouze u vybraných stanic.

Určení krajinného pokryvu jednotlivých fenologických stanic

U jednotlivých fenologických stanic došlo taktéž k určení krajinného pokryvu a jeho změn ve zkoumaných pixelech. Toto určení krajinného pokryvu proběhlo pomocí dat CORINE Land Cover z *Národního geoportálu INSPIRE, 2010-2012*. Byly vyznačeny hranice jednotlivých zkoumaných pixelů a následně k zobrazení vrstev CORINE Land Cover 1990, 2000 a 2006 a změn mezi lety 1990 - 2000 a 2000 – 2006. Následně pak byly vyčteny jednotlivé změny krajinných pokryvů.

Analýza hodnot vegetačních indexů u datových sad

Následně bylo provedeno srovnání křivek průběhu vegetačních indexů v letech 2001 až 2006. Data byla zobrazena v grafech, aby mohlo dojít k porovnání, na ose y jsou hodnoty vegetačního indexu NDVI, který se nachází u dvou datových sad. Index EVI je taktéž v původních hodnotách. Index LAI je přepočítán, aby mohl být zobrazen ve stejném grafu. To samé platí pak o indexu MTCI, který byl zmenšen vydělením hodnotou 4.

Srovnání fenologických proměnných datových sad s pozemními daty ČHMÚ

Srovnání fenologických proměnných datových sad s pozemními daty ČHMÚ bylo provedeno v letech, kde se jednotlivé datové sady překrývají. Díky tomu mohlo dojít k porovnání začátku a konce vegetačního období. Rok 2005 byl znázorněn ještě grafickou formou, kde byly vyneseny začátek, konce a délka do grafu v průběhu roku.

Zpracování v programu ArcGIS – ArcMap

Zde byl převeden výřez jednotlivých rastrů (podle datové sady) pomocí funkce *Raster to Point* do bodové vrstvy, ke které byly připojeny výsledné statistické hodnoty pomocí funkce *Join... - Join attributes from a table*. Následně byla bodová vrstva exportována *Data – Data export* a převedena zpět na rastr *Point to Raster* podle hodnoty *Value Field*, které je potřeba zobrazit. *Cellsize* byla nastavena podle příslušného rastru. Následně byl rastr upraven a zobrazen v mapě.

6.5 Zkoumané území

Území, kde byla analýza vegetační fenologie provedena, se liší podle jednotlivých datových sad. Datová sada GIMMS NDVI byla zpracována díky svému nižšímu prostorovému rozlišení na celém území České republiky. Datové sady MODIS EVI a NDVI byly zpracovány kvůli vyššímu prostorovému rozlišení a kvůli tomu i většímu objemu dat v Libereckém a Královéhradeckém kraji. To samé pak platí i o datové sadě MERIS MTCI. Datová sada MCD LAI byla zpracována kvůli vysokému časovému rozlišení 4 dní, kdy za rok bylo k dispozici 92 rastrů s údaji o indexu listové plochy, a kvůli rozdělení oblasti severních Čech do dvou dlaždicových rastrů zpracována jen v oblasti Libereckého kraje. Liberecký a Královéhradecký kraj byl vybrán díky výskytu Krkonošského národního parku, se kterým probíhá spolupráce v oboru výzkumu DPZ. Pro tyto kraje byly následně od ČHMÚ zakoupeny pozemní fenologická data lesní stanic.

Byly to stanice Frýdlant – Větrov, Hejnice – Ferdinandov, Harrachov, Rychnov u Jablonce n. N., Modřišice, Holenice, Svoboda nad Úpou, Nemyčeves, Machov, Klenice a Velký Vřešťov. Zobrazení jejich umístění v mapě se nachází v kapitole 5.3 Charakteristika lokalit. Pro analýzu vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ byly vybrány stanice s výskytem lesního krajinného pokryvu u jednotlivého pixelu MODIS a hlavně stanice, kde byly k dispozici data v letech 2001-2006, kdy se překrývala data jednotlivých vegetačních sad. To byly stanice Harrachov, Holenice, Frýdlant Větrov, Svoboda nad Úpou a Machov. Podrobnější popis, zahrnující krajinný pokryv byl přidán k jednotlivým kapitolám výsledků 7.2, kde se úzce pojil s popisovanou tematikou.

U části kalibrace vegetačních dat DPZ pak byly vybrány stanice 4, což znamená, nebyla přidána stanice Frýdlant Větrov z důvodu podobných výsledků. Mapy biosférické rezervace a srážkové oblasti, klimatické oblasti, klimatické regiony a typy krajiny podle využití Libereckého a Královéhradeckého kraje jsou v Příloze 1 – 4. V Příloze č. 6 jsou pak k vidění ortofotomapy zbylých pozemních fenologických stanic. Stanice Harrachov, Holenice, Frýdlant Větrov, Svoboda nad Úpou a Machov mají ortofotomapy umístěny v textu u svého hodnocení.

7. ANALÝZA VEGETAČNÍ FENOLOGIE V ČR

V analytické části této práce bylo cílem snažit se zodpovědět na otázky položené v úvodu práce. V této kapitole byl zhodnocen vývoj vegetační fenologie ve vybraných územích České republiky. Konkrétně pak v této kapitole byl hodnocen posun začátku, konce a délky vegetačního období v prostoru, což bylo znázorněno pomocí jednotlivých map. Tato část práce slouží především jako možnost seznámení se s daty a výsledky ve zkoumaných regionech. Další částí pak byla analýza vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty na území jednotlivých lesních fenologických stanic.

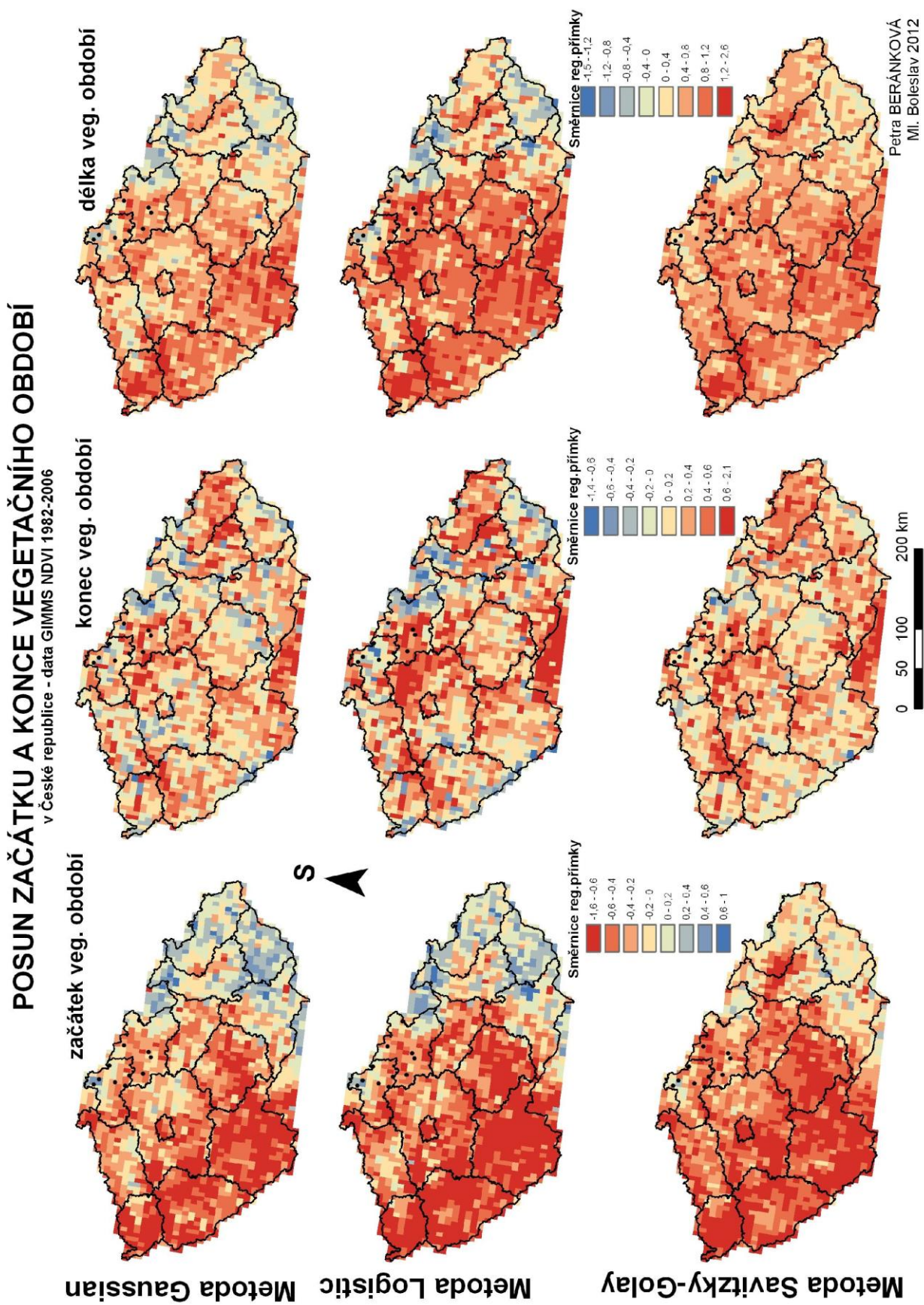
7.1 Prostorová analýza vývoje vegetační fenologie

Prostorová analýza vývoje vegetační fenologie byla provedena u jednotlivých datových sad vegetačních indexů. Datová sada GIMMS NDVI byla zpracována za celé území České republiky, především kvůli svému většímu prostorovému rozlišení - 8 km. Datové sady MODIS NDVI a EVI a MERIS MTCI byly zpracovány v oblasti Libereckého a Královéhradeckého kraje, pro které byly pro tuto práci poskytnuta pozemní fenologická data ze stanic nacházejících se na tomto území. Data MODIS MCD LAI s časovým rozlišením 4 dní pak byla zpracována pro Liberecký kraj. Pro každý jednotlivý pixel byla na jednotlivých mapách znázorněna směrnice regresní přímky. U hodnot začátku vegetačního období pokud vychází hodnoty v záporných číslech, znamená, že se začátek vegetačního období posunul blíže k začátku roku. U konce vegetačního období, pokud vychází směrnice regresní přímky kladná, tak se konec vegetačního období posunul blíže ke konci roku. U délky vegetačního období je to stejné, pokud jsou hodnoty směrnice kladné, došlo k rozšíření vegetačního období. V mapách pokud je pixel v odstínech červené barvy (teplé barvy) tak by měla být potvrzena úvodní hypotéza, že vegetační období začíná dříve, končí později a celkově se tak prodlužuje. U jednotlivých map jsou znázorněny všechny tři vyhlazovací metody, které poskytují jednotlivé začátky a konce vegetačního období. V závěru této analýzy pak je zhodnocení výsledků u jednotlivých datových sad, území a vyhlazovacích metod.

7.1.1 Data GIMMS NDVI – Česká republika

První datovou sadou byla sada GIMMS NDVI. Jak již bylo popsáno v kapitole 4. Datové zdroje vegetačních indexů a jejich hodnocení, tato datová sada je v prostorovém rozlišení 8 km a časovém rozlišení 15 dní. Data jsou k dispozici za období 1982-2006, což je nejdélejší, za které jsou vegetační data DPZ k dispozici. Výsledky za celou Českou republiku jsou vidět na Obr. 27, kde jak již bylo napsáno výše, jsou zobrazeny posuny začátku, konce a délky vegetačního období.

Obr. 27: Data GIMMS – posun začátku a konce vegetačního období



Zdroj: Autor

U začátku vegetačního období je vidět nejvýraznější posun do dřívější doby v oblastech jihozápadních Čech. Naopak v oblastech celé Moravy ukazují hodnoty směrnice regresní přímky kladné hodnoty, tudíž v této oblasti by vegetační období mělo začínat později. V oblasti Libereckého a Královéhradeckého kraje převažuje také dřívější začátek, ale není to tak výrazné jako ve zmíněné oblasti západních Čech. Nacházejí se zde i pixely s kladnou hodnotou směrnice. U konce vegetačního období převažují hodnoty směrnice kladné, ale není to tak výrazné. Hodnoty směrnice jsou v průměru nižší a střídají se zde kladné hodnoty se zápornými. Jedinou výraznější oblastí může být sever středních Čech a západ Královéhradeckého kraje. V oblasti Libereckého a Královéhradeckého kraje jsou hodnoty mírně v kladných hodnotách, ale jako u celé České republiky i zde se střídají se zápornými. Celkově lze říci, že zde není vidět nějaký výraznější trend, nebo jenom mírný posun konce vegetačního období ke konci roku.

Délka vegetačního období odráží obě předcházející proměnné, a jak je vidět z mapy tak by se měla celkově rozšiřovat. Nejvíce pak zase jako u začátku vegetačního období v oblasti jihozápadních Čech. Rozdíly mezi jednotlivými vyhlazovacími metodami jsou viditelné. Např. u metody Logistic je vidět, že vede data do největších extrémů. Jinak podle očekávání metody Gaussian a Logistic jsou velmi podobné. Metoda Savitzky-Golay pak dává mírně odlišné výsledky. Především u začátku vegetačního období i v oblasti Moravy ukazuje posun k začátku roku, i když jen v malých hodnotách směrnice.

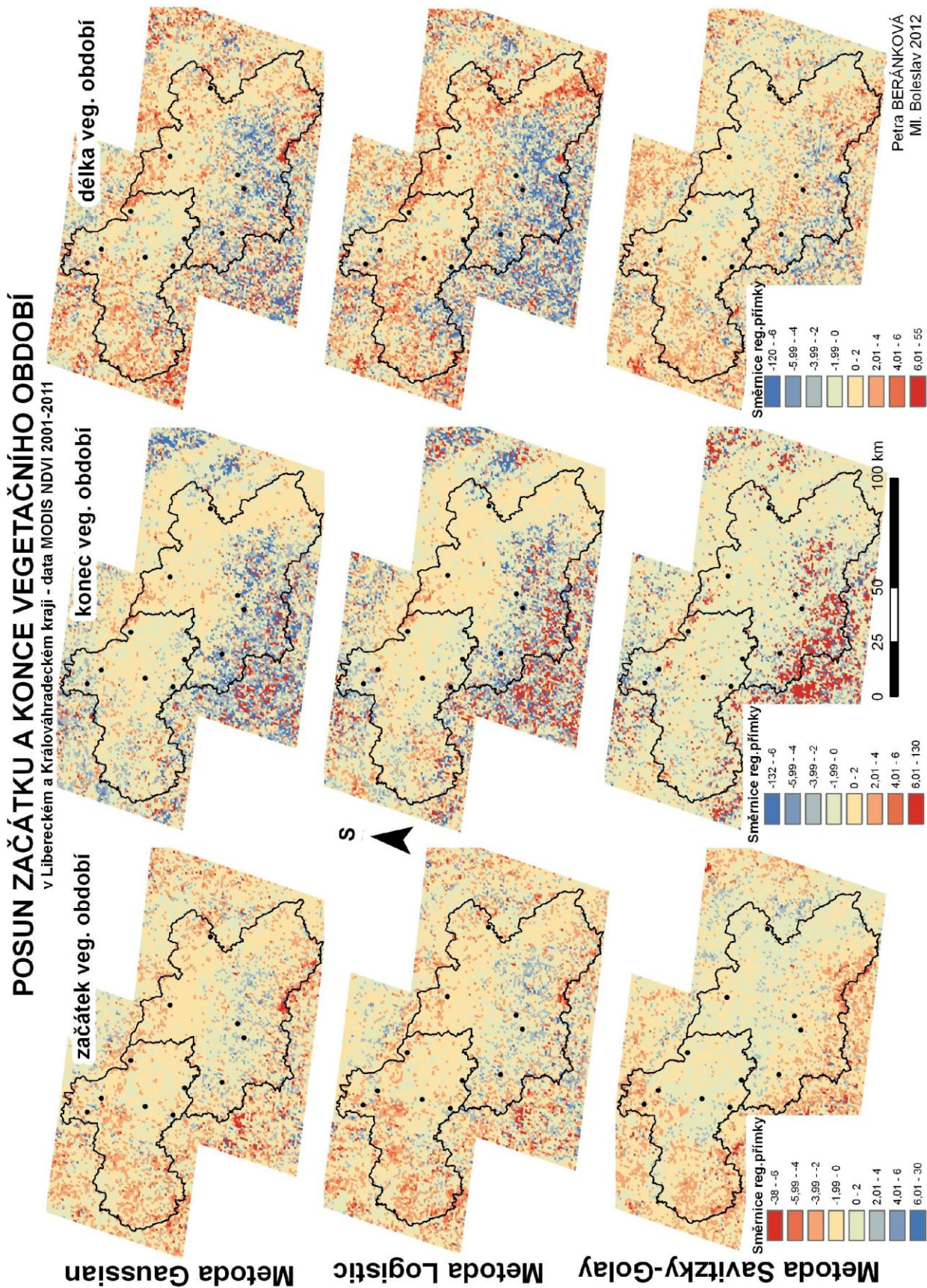
Lze vypořádat i mírné rozdíly v jednotlivých oblastech. V oblasti moravských úvalů, kde se nachází především zemědělská krajina, nedochází k takovému posunu v začátku vegetačního období, naopak převládá zde posun do pozdější doby. V další zemědělské oblasti Polabí to není již tak výrazné, i když to není oblast s nejvýraznějším posunem k začátku, i zde je menší posun do dřívější doby. Jak již bylo popsáno výše, největší posun v začátku byl u oblasti jihozápadních Čech, i zde se nachází oblasti zemědělské, ale jsou zde i oblasti přírodní jako oblast Šumavy. Lehké náznaky rozdílů mezi oblastmi lesními a zemědělskými tu jsou, ale nelze tyto trendy zobecnit.

7.1.2 Data MODIS NDVI a EVI – Liberecký a Královéhradecký kraj

Další datovou sadou, která byla zpracována, byla data MODIS NDVI a EVI. Zde bylo prostorové rozlišení výrazně menší – 1 km, tudíž byla zpracována oblast, kde byly k dispozici pozemní fenologické údaje. Touto oblastí byl Liberecký a Královéhradecký kraj. Časové rozlišení u těchto dat je podobné jako u dat GIMMS 16 dní (23 rastrů ročně). Období, ve kterém data byla zpracována, je 2001 až 2011. Hodnoty směrnice regresní přímky jsou výrazně vyšší na rozdíl od hodnot směrnice u GIMMS, což je zapříčiněno především menším obdobím, ve kterém jsou data k dispozici.

Na Obr. 28 je vidět mapa posunu začátku a konce vegetačního období pro data MODIS NDVI. Zde již je detailněji vidět oblast obou krajů. Na mapě jsou černými tečkami označeny i jednotlivé fenologické stanice. U začátku vegetačního období převažuje dřívější začátek, ale vyskytuje se zde i hodně pixelů s pozdějším začátkem vegetačního období a to především v Královéhradeckém kraji v jeho jižní a střední části.

Obr. 28: Data MODIS NDVI – posun začátku a konce vegetačního období



Zdroj: Autor

U konce vegetačního období dat MODIS NDVI jsou vidět velmi rozdílné hodnoty pixelů. Tyto rozdílné hodnoty spolu často prostorově sousedí, toto je zapříčiněno především horší kvalitou extrakce proměnné konce vegetačního období. Zde docházelo často k velkým chybám, kdy konec období byl určen až do následujícího roku, a jelikož byly tyto fenologické proměnné vztaženy vždy k začátku kalendářního roku, byl to problém při následném statistickém vyhodnocení. Toto je vidět především v jižní zkoumané oblasti, severněji pak vychází posun konce vegetačního období do pozdější doby, ale jak je již zmíněno výše, tady se výsledky musí brát velice opatrně, kvůli častým chybám. Délka vegetačního období se zase odvíjí od předchozích dvou proměnných.

Při porovnání jednotlivých vyhlazovacích metod jsou vidět opět výrazně podobné výsledky u metod Gaussian a Logistic. U metody Savitzky-Golay je v začátku vegetačního období více pixelů zařazeno do kladných hodnot, u konce vegetačního období pak méně extrémních hodnot, kde tato metoda může tuto proměnnou lépe určit.

Na další mapě (Obr. 29) jsou zpracována taktéž data z datové sady MODIS, ale již to není vegetační index NDVI ale index EVI. Prostorové, časové rozlišení a období, ve kterém jsou data k dispozici, je stejné jako u předchozího indexu NDVI. Při pohledu na výslednou mapu je vidět, že výsledky směrnice regresní přímky jsou více konzistentní na rozdíl od předchozího indexu NDVI. Začátek vegetačního období je převážně v teplých barvách (červená) tudíž i zde je posun k začátku roku, ale hodnoty jsou nižší a nejsou zde takové extrémy, tudíž by tato data mohla více odpovídat realitě.

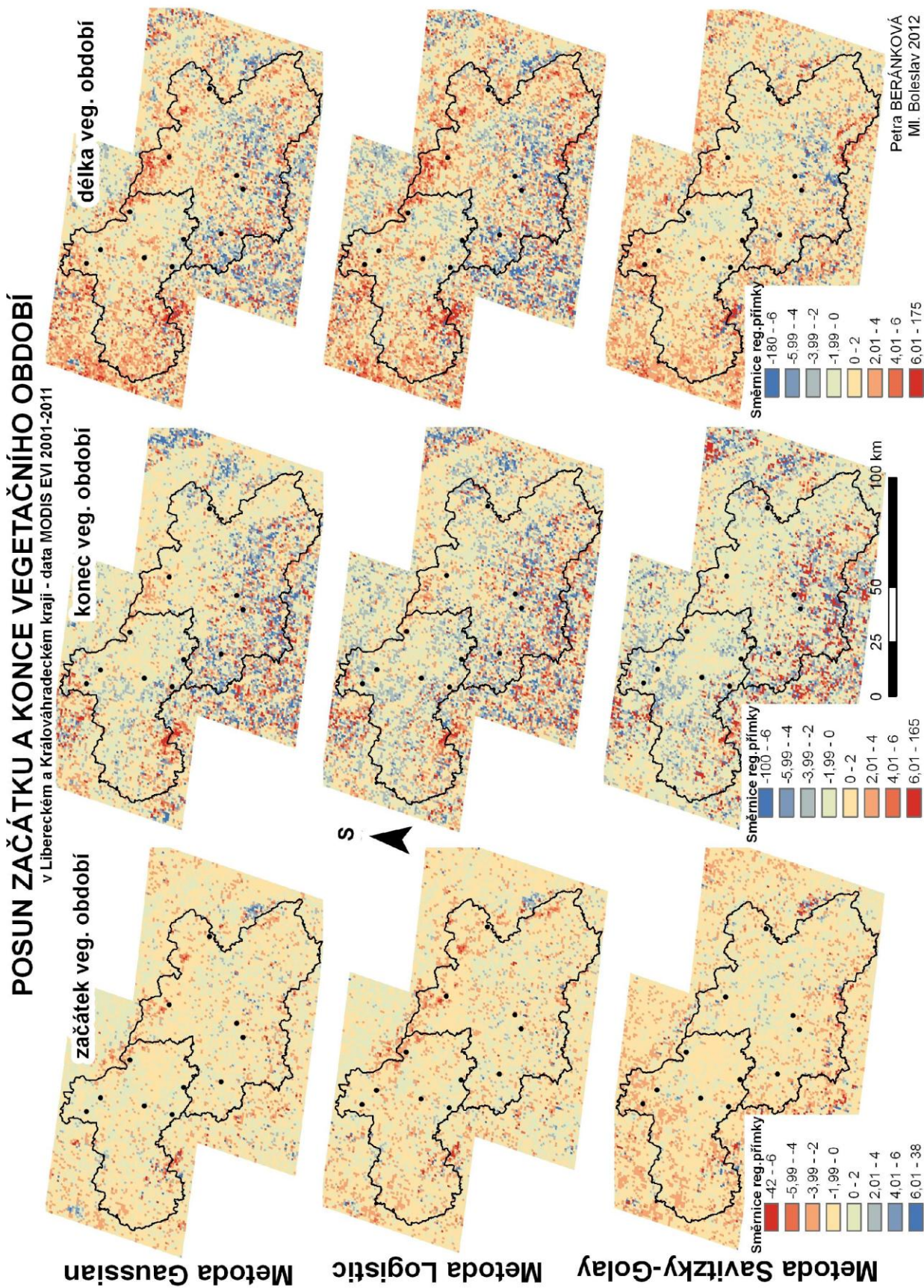
U konce vegetačního období platí to samé jako u indexu NDVI, tudíž výsledky se musí brát velice opatrně, kvůli častým chybám. Převládá však modrá barva, hodnota směrnice regresní přímky častěji má hodnotu zápornou, což by znamenalo posun konce vegetačního období do dřívější doby.

7.1.3 Data MODIS MCD LAI - Liberecký kraj

Datová sada MODIS MCD LAI kombinuje data z družic Terra a Aqua, tudíž časové rozlišení je nejmenší možné a to 4 dny – 92 rastrů ročně. Prostorové rozlišení je 1 km. Data jsou v této datové sadě k dispozici v období 2003-2011. Již u těchto dat je kratší časové období, což již lehce může ovlivnit trend směrnice regresní přímky. U mapy indexu LAI jsou vidět i bílé oblasti, v těchto oblastech se nacházejí urbanizovaná území, tudíž zde nebyly hodnoty LAI zpracovávány.

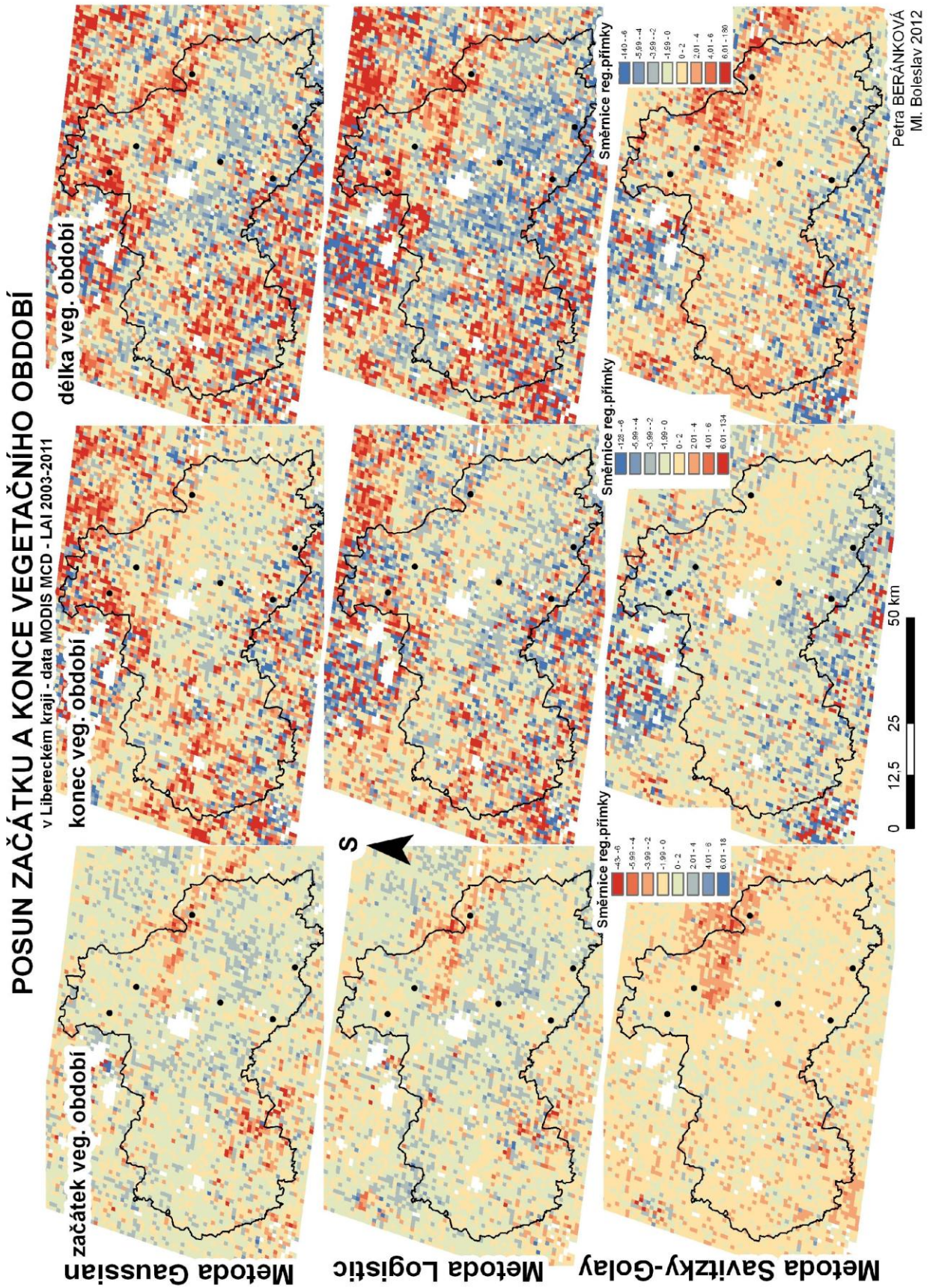
Začátek vegetačního období vykazuje u metod Gaussian a Logistic převážně kladný trend regresní přímky, což by znamenalo posun začátku do pozdější doby, u metody Savitzky-Golay tomu je však naopak (viz Obr. 30). Konec vegetačního období byl u dat vyhodnocen mnohem lépe než u sady MODIS NDVI, ale i přes to není zde vidět nějaký výrazný trend. To samé platí i pro délku vegetačního období.

Obr. 29: Data MODIS EVI – posun začátku a konce vegetačního období



Zdroj: Autor

Obr. 30: Data MODIS MCD LAI – posun začátku a konce vegetačního období

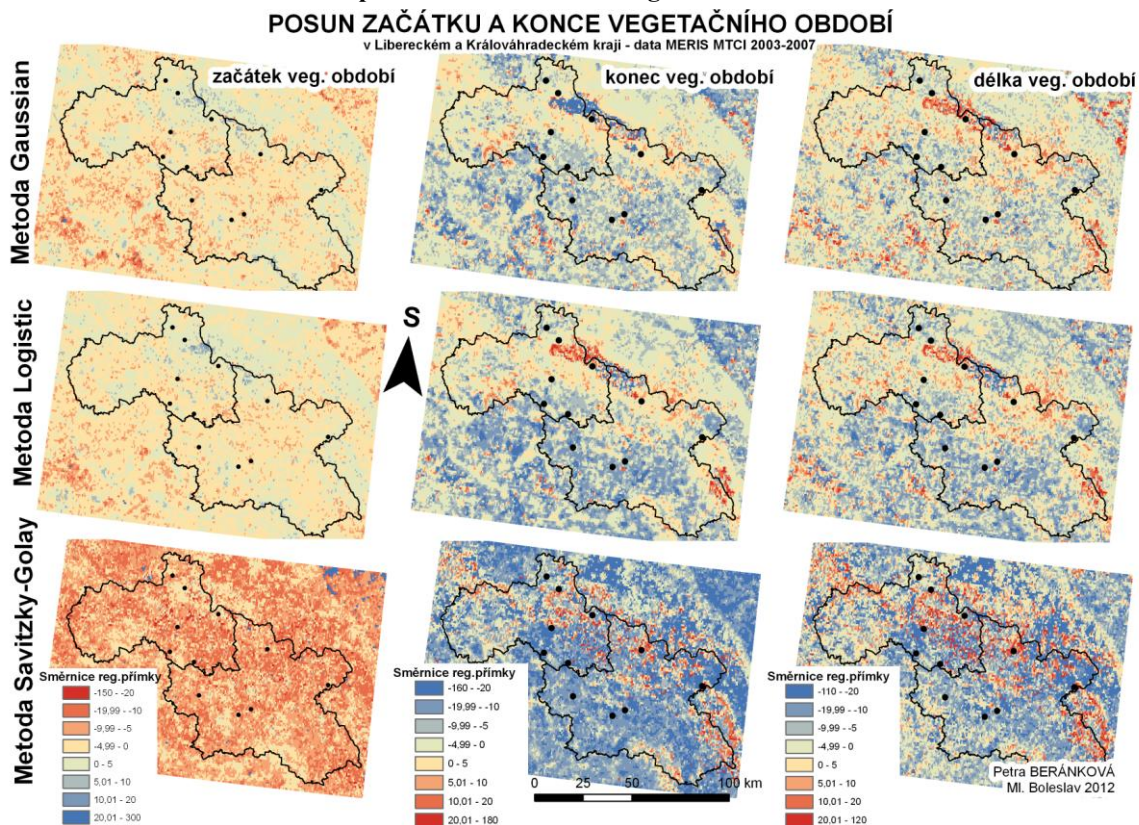


Zdroj: Autor

7.1.4 Data MERIS MTCI - Liberecký a Královéhradecký kraj

Datová sada MERIS MTCI obsahuje data pro období velmi malé 2003-2007. Pro určení nějakých závěrů není vhodná, ale kvůli svému vcelku dobrému časovému rozlišení 8 dnů byla především pro následné srovnání s pozemními daty zpracována. Prostorové rozlišení je taktéž 1 km a data byla zpracována pro oblast Libereckého a Královéhradeckého kraje (Obr. 31). U začátku vegetačního období převažuje záporné hodnoty směrnice znamenající dřívější nástup vegetačního období. U konce vegetačního období vychází podle těchto dat i výrazně dřívější konec vegetačního období. I fenologická proměnná délka vegetačního období vychází oproti předpokládané hypotéze tudíž jako kratší. Ovšem jak již je výše naznačeno, tato data jsou kompletní k dispozici pouze v krátkém časovém období, proto výsledky směrnice nemůžou vystihnout dlouhodobější trend a tedy tyto výsledky nejsou určující, ale budou využity především ke srovnání jednotlivých roků s daty z fenologických stanic. I přesto lze pozorovat výrazné rozdíly v jednotlivých vyhlazovacích metodách. Metody Gaussian a Logistic opět dávají podobné výsledky, ale u těchto dat se výrazně liší výsledky z metody Savitzky-Golay. Toto bude především zapříčiněno tím, že metoda Savitzky-Golay není příliš vhodná pro data časových řad s větším šumem, což popisují již EKLUNDH, JÖNSSON, 2009, a jelikož tato data mají menší časové rozlišení, tak se zvětšuje i množství šumu, obsaženém v datech především kvůli oblačnosti. Ta následně může přinést problémy při vyhodnocení, což je vidět na oblasti Krkonoš, kde se často oblačnost vyskytuje, u konce vegetačního období metod Gaussian a Logistic, kde vychází naprosto opačné výsledky.

Obr. 31: Data MERIS MTCI – posun začátku a konce vegetačního období



7.1.5 Shrnutí a porovnání výsledků u jednotlivých datových sad

V předchozích kapitolách byly zobrazeny výsledky směrnice regresní přímky, zobrazující posun začátku, konce a délky vegetačního období. Následně byly nejdůležitější výsledky shrnuty, srovnány s průměrnými hodnotami v jednotlivých pozemních fenologických lesních stanicích a popsány v této kapitole.

V Tab. 7 jsou zobrazeny statistické ukazatele popisující posun vegetačního období v jednotlivých fenologických stanicích a pak i jejich celkové průměrné hodnoty. Průměrné hodnoty trendu směrnice regresní přímky vyšly u začátku vegetačního období záporné a to -0.618, naopak hodnota konce vegetačního období kladná 0.368 a směrnice délky vegetačního období taktéž kladná 0.915. Tyto hodnoty jsou v souladu s předpokládaným trendem, že začátek se posouvá do dřívější doby, konec do pozdější a celkově se tedy délka vegetačního období rozšiřuje. U začátku vegetačního období byla kladná směrnice pouze u Hejnic-Ferdinandova, u toho však byly k dispozici pouze data za pětileté období a potom u Rychnova, kde se hodnota ovšem blížila hodně k nule. To samé platí i pro konec vegetačního období, kde opět záporná hodnot pouze u Hejnic-Ferdinandova a pak u Klenice. Zkrácení podle směrnice vyšlo pouze opět u Hejnic. Ukazatel průměrný rozdíl hodnot od mediánu vychází za všechny pozemní fenologické stanice u začátku vegetačního období posun o 0.9 dne blíže k začátku roku, konec vegetačního období vycházel přibližně stejně jenom malý posun ke konci roku a délka vegetačního období se průměrně prodloužila 0.4 dne za rok. Jak vychází konkrétní čísla u jednotlivých stanic je v Tab. 7.

Tab. 7: Statistické ukazatele pozemních fenologických stanic

Fenologické stanice	období	směrnice reg. přímky			rozdíl od mediánu (dny)		
		Začátek	Konec	Délka	Začátek	Konec	Délka
Frýdlant-Větrov	1997-2011	-0.158	0.159	0.406	-0.84	-1.13	-0.51
Harrachov	1982-2011	-0.535	0.255	1.055	-1.34	-0.38	-0.12
Hejnice-Ferdinandov	1992-1996	1.646	-0.062	-1.738	0.12	0.00	-0.29
Holenice	1992-2011	-0.251	0.247	0.498	-0.36	2.25	1.71
Rychnov	1992-2001	0.021	0.051	0.030	0.23	0.11	0.51
Modřišice	1982-1990	-2.185	0.898	2.720	-2.28	-1.06	1.39
Machov	1992-2011	-0.221	0.753	1.007	0.07	0.46	-0.08
Svoboda nad Úpou	1982-2011	-0.465	0.097	0.660	-0.29	0.10	0.04
Velký Vřešův	1992-2001	-0.524	0.977	1.501	-0.34	0.67	0.72
Klenice	1982-1990	-2.617	-0.733	1.636	-2.78	0.02	0.42
Nemyčeves	1982-1989	-1.507	1.411	2.286	-1.68	-0.26	0.26
Průměr		-0.618	0.368	0.915	-0.86	0.07	0.37

Zdroj: Autor, vypočteno z dat ČHMÚ

V Tab. 8 jsou zobrazeny hodnoty směrnice regresní přímky za jednotlivé datové sady a u každé datové sady jsou pak ještě zobrazeny hodnoty u jednotlivých vyhlazovacích metod. Modře jsou znázorněny hodnoty, kde odpovídá trend směrnice.

Datová sada GIMMS vyšla ve srovnání s trendu směrnice regresní přímky nejlépe, co se týče trendu, tak ten se shoduje ve všech hodnotách a i u všech vyhlazovacích metod. Korelační koeficient s pozemními daty vychází téměř jedna. Tato shoda se může vysvětlit podobným časovým období, i když pozemní data nejsou kompletně v těchto letech, záleží na jednotlivých stanicích. Zajímavé ovšem je, že tato data mají největší prostorové rozlišení a přesto vychází

nejlepší výsledky ve srovnání s lesními fenologickými stanicemi. Dalším vysvětlení toho, že datová sada i přes velké prostorové rozlišení poskytuje takto dobré výsledky, by mohl být vegetační index NDVI, který by mohl být vhodný pro tyto analýzy.

Následují datové sady MODIS NDVI a EVI, jak v oblasti Libereckého tak Královéhradeckého kraje. U dat MOD NDVI se nejvíce s pozemními daty shodovala metody Savitzky-Golay a pak začátky vegetačního období, kde došlo k posunu do dřívější doby. U dat MOD EVI se shodoval nejvíce začátek vegetačního období a pak u Libereckého kraje i konec. Z vyhlazovacích metod byly nejlepší Gaussian a Savitzky-Golay. I data MOD NDVI a NDVI vykazovala dobré výsledky, tudíž index NDVI opravdu může být pro tyto analýzy vhodný.

U datové sady MODIS MCD LAI pak byla největší shoda u délky vegetačního období a nejlepší metodou byla Gaussian. Podobně na tom byla i sada MERIS MTCI, kde se shodovaly jen trendy směrnice a to pouze u začátku vegetačního indexu.

Tab. 8: Průměrná směrnice regresní přímky za jednotlivé datové sady

Data		Směrnice regresní přímky			
		průměr za období	Začátek	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	<i>Různé u jednotlivých stanic, *1982-*2011</i>	-0.6179	0.3684	0.9147
GIMMS ČR	Gaussian	1982-2006	-0.2933	0.1869	0.4800
	Logistic	1982-2006	-0.3723	0.2458	0.6176
	Savitzky-Golay	1982-2006	-0.4346	0.2326	0.6675
MCD Liberecký	Gaussian	2003-2011	0.4001	0.5739	0.5593
	Logistic	2003-2011	0.4508	-0.0955	0.2043
	Savitzky-Golay	2003-2011	-0.6860	-0.4800	0.1901
MOD NDVI Liberecký	Gaussian	2001-2011	-0.7115	-0.2517	0.6249
	Logistic	2001-2011	-0.7289	-0.0027	0.5684
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.6476	0.0831	0.6654
MOD EVI Liberecký	Gaussian	2001-2011	-0.3845	0.0535	0.9030
	Logistic	2001-2011	-0.5935	-0.2465	0.7447
	Savitzky-Golay	2001-2011	-1.0267	-0.3752	0.9493
MOD NDVI Královéhr ad.	Gaussian	2001-2011	-0.5528	-0.6612	-0.0290
	Logistic	2001-2011	-0.3454	-0.0619	-0.3765
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.5305	1.2259	0.0750
MOD EVI Královéhr ad.	Gaussian	2001-2011	-0.4009	-0.4093	-0.0469
	Logistic	2001-2011	-0.4523	-0.2854	-0.0321
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.6387	0.2245	0.2873
MERIS MTCI	Gaussian	2003-2007	-1.3805	-4.6794	-1.7977
	Logistic	2003-2007	-1.0472	-4.7235	-3.7298
	Savitzky-Golay	2003-2007	-6.9434	-12.7768	-7.2659

Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS, MODIS, MERIS a ČHMÚ

Výsledky trendů průměrné směrnice regresní přímky ukázaly zajímavé hodnoty. Hlavně u začátku vegetačního období se ve většině datových sad i metod vyhlazení časových řad shodují. Následuje délka vegetačního období, kde trend směrnice je převážně kladný. Nejhorší výsledky ve shodě směrnice regresní přímky pak byly u konce vegetačního období. Nejzajímavějším výsledkem byla shoda trendů směrnice ve všech vyhlazovacích metodách v začátku, konci i délce vegetačního období u datové sady GIMMS, přičemž výsledky se

shodovaly skoro na desetiny. Zbylé datové sady sice nemají tak podobné zkoumané období s pozemními údaji, ale i za tato kratší období lze vypočítat trendy podle pozemních údajů.

Výsledky z map a průměrů jednotlivých ukazatelů datových sad se shodují. V Tab. 8 tak byly potvrzeny jednotlivé dlouhodobé trendy, které byly v úvodu vizuálně zhodnoceny pomocí jednotlivých map.

7.2 Analýza vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ

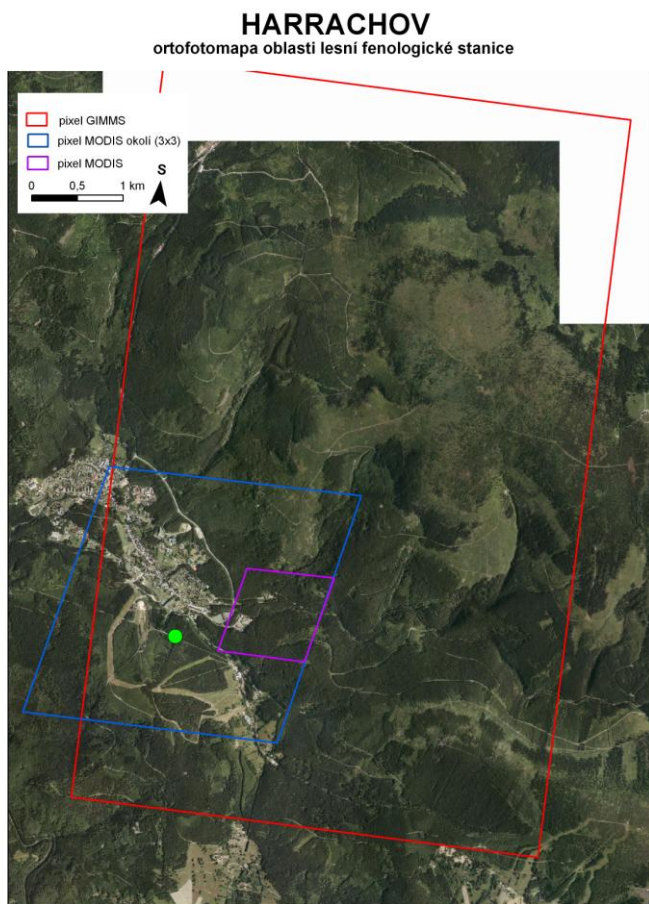
V předchozí části práce byly hodnoceny výsledky souhrnně podle jednotlivých dat, kde byly udělány průměry, a potom také hodnocení pomocí vizualizace výsledků v mapách. Naopak v této části předkládané práci byla data a výsledky zkoumány na úrovni pixelů do jednotlivých detailů a přinesla tak bližší vysvětlení změn a porovnání dat DPZ s daty pozemními. Zkoumání bylo provedeno na území jednotlivých lesních fenologických stanic na území Libereckého a Královéhradeckého kraje. Z celkových 11 stanic bylo k detailní analýze vybráno pět stanic a to konkrétně Harrachov, Holenice, Frýdlant-Větrov, Svoboda nad Úpou a Machov. Tyto fenologické stanice byly vybrány především kvůli sledovanému časovému období, ve kterém byla data z těchto stanic k dispozici. Následně musela obsahovat pixel (u dat MODIS), který z převážné části obsahoval lesní plochy. U každé z analyzovaných fenologických stanic je ukázána plocha zkoumaných pixelů, následně také popsány změny land coveru na těchto územích. Pokud by se udály výrazné změny krajinného pokryvu, muselo by to výrazně ovlivnit hodnoty vegetačních indexů a následně i celkové výsledky. Následuje analýza fenologických dat stanice, obsahující směrnici regresní přímky jednotlivých stromů zastoupených ve stanici a jejich celkový průměr. U fenologie rostlin je graficky znázorněn průběh fenofází u břízy bělokoré za jednotlivé časové horizonty. Následuje již tabulka vypočtených statistických ukazatelů směrnice regresní přímky a průměrný roční rozdíl od mediánu. Obsahuje hodnoty pozemních fenologických dat, datové sady GIMMS a data MODIS EVI a NDVI, která jsou rozdělena na konkrétní pixel lesní oblasti a matici pixelů 3×3.

7.2.1 Harrachov

První fenologickou lesní stanicí je Harrachov, který se nachází v Libereckém kraji v okrese Semily. Nachází se v severní části Krkonošského národního parku. Podle dat *Národního geoportálu INSPIRE, 2010-2012* se nachází v klimatické oblasti velmi chladné a zasahuje i do srážkově bohatého území. Klimatický region oblasti je chladný, vlhký. Typ využití krajiny je na rozhraní lesní a lesozemědělské (vše v Příloze 1-4).

Podle dat CORINE Land Cover z *Národního geoportálu INSPIRE, 2010-2012* se v oblasti pixelu GIMMS nachází jehličnaté lesy, nízký porost v lese, louky a pastviny, nesouvislá městská zástavba a na malém prostoru stepi a křoviny. Největšími změnami krajinného pokryvu mezi lety 1990 a 2000 byly jehličnatých lesy na nízký porost v lese a opačně. Co se týče prostorového pokrytí, byly tyto změny vyrovnané. Mezi lety 2000 a 2006

Obr. 32: Ortofotomapa fenologické stanice Harrachov



Zdroj: autor, z dat Národního geoportálu INSPIRE

pak došlo pouze k změně nízkého porostu v lese na jehličnaté lesy. V oblasti zkoumaného pixelu dat MODIS se nachází pouze jehličnaté lesy a malou částí tam zasahuje i nesouvislá městská zástavba. Ke změnám krajinného pokryvu v tomto území podle dat CORINE Land Cover 1990-2006 nedošlo. Matice pixelů 3×3 MODIS (modré ohraničení Obr. 32) pak obsahuje především již zmíněné krajinné pokryvy u pixelu GIMMS. Ke změnám krajinného pokryvu došlo také především mezi nízkým porostem v lese a jehličnatými lesy.

Pozemní fenologická data této lesní stanice byly poskytnuty od ČHMÚ v období 1982–2011. Do Tab. 9 byly zpracovány směrnice reg. přímky jednotlivých stromů. Trendy se u jednotlivých stromů příliš neliší.

Tab. 9: Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ - Harrachov

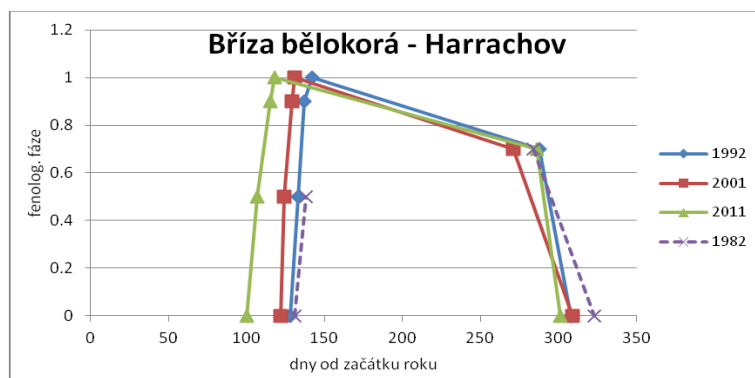
	<i>Začátek</i>	<i>Konec</i>	<i>Délka</i>
<i>Bez černý</i>	-0.0989	-0.9055	-0.8066
<i>bříza bělokorá</i>	-0.7473	-0.0764	0.6781
<i>buk lesní</i>	-0.3917	0.0096	0.4194
<i>dub letní</i>	-	-	-
<i>habr obecný</i>	-	-	-
<i>hloh obecný</i>	-	-	-
<i>javor klen</i>	-0.9465	0.1769	1.1234
<i>javor mléč</i>	-1.0291	0.6404	1.6696
<i>jeřáb ptačí</i>	-0.4846	-0.2271	0.2537
<i>lípa srdčitá</i>	-0.6863	0.2102	0.8965
<i>líška obecná</i>	-0.1379	0.9890	4.0308
<i>modřín opadavý</i>	-0.9414	0.3664	1.3078
<i>olše lepkavá</i>	-0.3340	0.1020	0.4352
<i>vrba jíva</i>	-0.0852	1.5174	1.6026
Průměr	-0.5348	0.2548	1.0555

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

U všech stromů je trend začátku vegetačního období záporný, což znamená posun do dřívější doby. U konce vegetačního období je trend kladný kromě tří stromů, konkrétně bezu

černého, břízy bělokoré a jeřábu ptačího. Délka vegetačního období je následně kratší pouze u bezu černého.

Graf 1: Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Harrachov



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

fázi LX – vegetační vrchol, 0.7 fázi OL10 – 10 % opad listů a 0 fázi OL100 – 100 % opad listů. Ukázka časových horizontů průběhu fenologických fází bude u každé z vybraných stanic. Kvůli tomu byla vybrána právě bříza bělokorá, která je zastoupena u každé ze stanic Libereckého a Královéhradeckého kraje. Na Grafu 1 je vidět, že u začátku vegetačního období je rok 2011 výrazně dříve, naopak v roce 1982 začalo vegetační období mnohem později. U konce vegetačního období není vidět nějaký výraznější trend.

Na Grafu 1 jsou znázorněny časové horizonty roků 1982, 1992, 2001 a 2011 a průběh jednotlivých poskytnutých fenologických fází, které zobrazují nárůst vegetace.

Na grafu jsou zobrazeny na ose y – vegetační fáze. 0 představuje fázi PL10 – 10 % olistění, 0.5 fázi PL50 – 50 % olistění, 0.9 fázi PL100 – 100 % olistění, 1

V Tab. 10 jsou jednotlivé statistické ukazatele pro jednotlivé datové sady a metody vyhlazení. Na začátku jsou vždy hodnoty pozemních fenologických dat. Následují již hodnoty datových sad. Hodnoty jsou vypočítány vždy pro maximální rozsah dat, tak aby vypovídající hodnota byla co největší, i přes to že hodnoty jsou počítány v trochu odlišných časových rozmezích.

Nejprve byla vyhodnocena datová sada GIMMS. Prostorové rozlišení těchto dat je 8 km, tudíž je zde hodnota pouze za pixel, v kterém se příslušná stanice nachází. Nejvíce se u ukazatele směrnice shoduje s pozemními daty metoda Savitzky-Golay. U ukazatele průměrného rozdílu od mediánu se u pozemních fenologických dat neshodují trendy v konci a délce vegetačního období. To může být zapříčiněno nevýrazným trendem, nebo výraznější odchylkou některého z roků.

Datová sada MODIS MCD LAI je v prostorovém rozlišení 1 km a časovém rozlišením 4 dnů. Kvůli menšímu prostorovému rozlišení je zde zkoumán, jak konkrétní pixel, ve kterém se nachází stanice, tak nejbližší okolí (matice 3×3) stanice, kde je vypočítán průměr hodnot. U směrnice regresní přímky se shodovaly trendy v začátku vegetačního období a to u všech metod. Jinak nejvíce se shodovala metoda Gaussian u konkrétního pixelu.

Tab. 10: Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých dat. sad - Harrachov

Data		Směrnice regresní přímky				Rozdíl od mediánu (průměr)		
		průměr za období	Zač.	Konec	Délka	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	1982-2011	-0.5348	0.2548	1.0555	-1.34	-0.38	-0.115
GIMMS	Gaussian	1982-2006	0.0104	0.1373	0.1165	-0.54	0.6	-0.36
	Logistic	1982-2006	0.0981	0.1546	0.0600	1.08	3.36	-2.28
	Savitzky-Golay	1982-2006	-0.1996	0.1604	0.3681	1.08	3.36	-6.12
MCD	Gaussian	2003-2011	-3.7733	2.4333	6.2200	-5.73	2.89	-2.62
	Logistic	2003-2011	-0.4190	2.8600	1.0095	-7.29	2.95	-4.62
	Savitzky-Golay	2003-2011	-1.9714	-1.3571	-3.6714	1.55	-0.40	3.40
MCD okolí	Gaussian	2003-2011	-0.8193	2.5877	1.0674	0.65	-0.76	1.77
	Logistic	2003-2011	-0.1190	-2.4644	-0.3364	0.16	-2.08	-1.81
	Savitzky-Golay	2003-2011	-2.2476	-0.8287	-0.0505	2.12	1.63	-1.32
MOD NDVI	Gaussian	2001-2011	-1.2800	-0.1143	1.4255	-1.02	-1.60	4.22
	Logistic	2001-2011	-0.7418	0.2095	1.2073	-0.73	3.66	-3.78
	Savitzky-Golay	2001-2011	1.6145	-	0.0658	0.58	-	-0.48
MOD NDVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.5786	-0.6580	0.1891	-1.36	-0.15	-0.16
	Logistic	2001-2011	-0.1891	-0.6187	-0.0016	-0.82	1.91	1.66
	Savitzky-Golay	2001-2011	0.5414	-	-0.7474	-0.79	-	-2.37
MOD EVI	Gaussian	2001-2011	1.0909	-0.4428	-0.5382	1.02	-2.47	0.44
	Logistic	2001-2011	2.5455	0.0853	-1.2509	3.35	-0.53	0.44
	Savitzky-Golay	2001-2011	0.8727	-	0.4655	-1.16	-	-2.18
MOD EVI okolí	Gaussian	2001-2011	-1.2800	0.3570	1.6113	1.44	-3.72	0.23
	Logistic	2001-2011	-0.8970	1.7639	1.9426	1.45	-3.05	-0.03
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.6368	-	-0.5292	-0.92	-	-4.22

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

Dalšími datovými sadami jsou MODIS NDVI a EVI. Časové rozlišení těchto dat je 16 dní. Jako u sady MODIS (MCD) LAI kvůli menšímu prostorovému rozlišení je zde zkoumán, jak konkrétní pixel, ve kterém se nachází stanice, tak nejbližší okolí (matice 3×3) stanice, kde je vypočítán průměr hodnot. U dat MOD NDVI se nejvíce shodují metody Gaussian a Logistic a nejvíce začátky a délky vegetačního období. U konkrétního pixelu metody Logistic se pak hodnoty směrnice shodují téměř na desetiny.

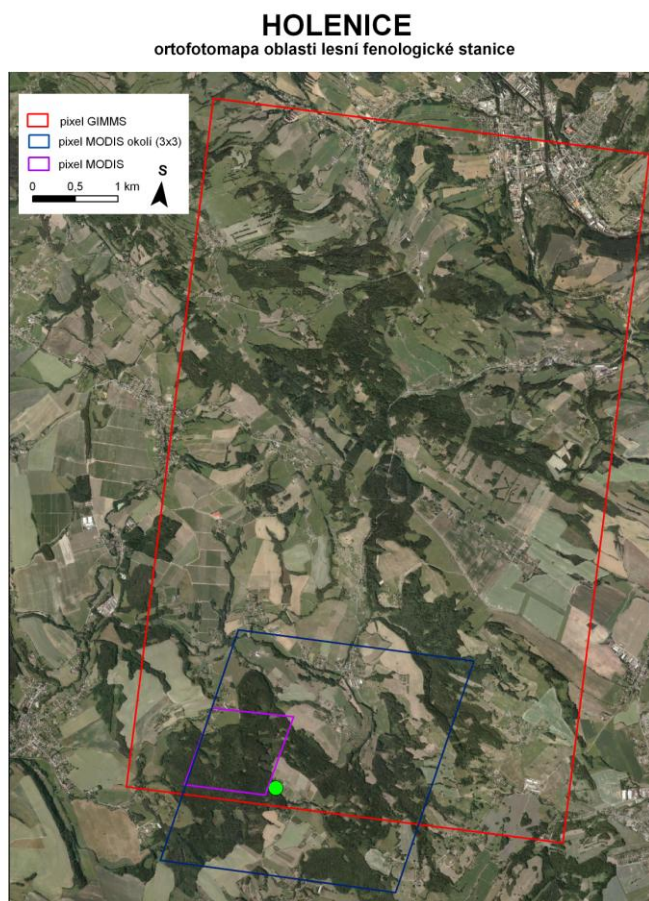
U dat MODIS EVI se hodnoty trendu průměru matice výrazně odlišují od konkrétního pixelu. Problém těchto dat nastal u určení konce vegetačního období, kdy byl konec často posunut až do začátku dalšího roku a nastal tak problém s nedostatkem dat pro ukazatel určení průměrného rozdílu od mediánu.

7.2.2 Holenice

Další fenologickou lesní stanicí jsou Holenice, které se nacházejí taktéž v Libereckém kraji v okrese Semily. Stanice se nachází v mírně teplé klimatické oblasti, regionu taktéž mírně teplém, vlhkém. V okolí převládá typ krajiny podle využití lesozemědělský. Podle dat CORINE Land Cover z Národního geoportálu INSPIRE, 2010-2012 se ve zkoumaném pixel MODIS nachází převážně jehličnaté a smíšené lesy. V tomto pixelu k žádné významné změně land coveru mezi roky 1990 a 2006 nedošlo.

V území pixelů MODIS (3×3) se nachází jehličnaté a smíšené lesy, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, louky a pastviny a částečně i nezavlažovaná orná půda. Mezi lety 1990 a 2000 došlo ke změně land coveru především u nezavlažované orné půdy na louky a pastviny a to v docela velkých plochách. Pixel GIMMS a rozlišením 8 km pak zahrnuje výše zmíněné, ale

Obr. 33: Ortofotomapa fenologické stanice Holenice



Zdroj: autor, z dat Národního geoportálu INSPIRE

zasahují zde již i nesouvislé městské zástavby, i když jen v malé míře a také např. sady a chmelnice. I v tomto větším území došlo ke změnám pouze mezi lety 1990 a 2000 a taktéž u nezavlažované orné půdy na louky a pastviny a sady a chmelnice. Celkově můžeme shrnout, že ke změnám došlo spíše do přírodního charakteru, a úbytku zemědělských ploch. Pohled na zkoumaná území je na Obr. 33, kde je ortofotomapa jednotlivých území.

Pozemní fenologická data této lesní stanice, jsou k dispozici v letech 1992-2011. Nejprve budou uvedeny vypočtené ukazatele pro pozemní data poskytnutá ČHMÚ. V Tab. 11 je vidět směrnice regresní přímky pro jednotlivé stromy a pak v průměru pro všechny. Jak je vidět, tak trend u začátku vegetačního období je

klesající, což znamená, že začátek vegetačního období se posouvá dopředu (začíná dříve). Pouze u hlohu a javoru je trend vegetačního období v zkoumané době kladný, což znamená posun do pozdější doby. U konce vegetačního období je převládající trend kladný, což by znamenalo konec v pozdější době roku. Jsou zde i opačné trendy a to u břízy, hlohu, jeřábu a olše. Celkově je však směrnice trendu 0.251. Délka vegetačního období je také celkově kladná, což znamená rozšiřování vegetačního období v průběhu období 1992-2011.

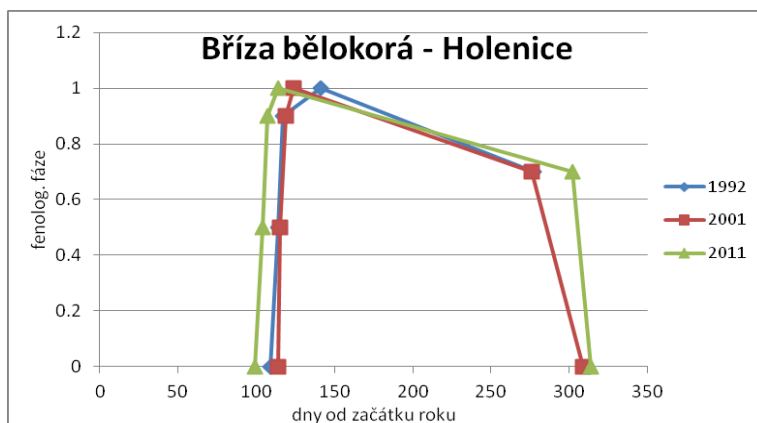
Tab. 11: Směrnice regresní přímký – pozemní fenologická data ČHMÚ - Holenice

	<i>Začátek</i>	<i>Konec</i>	<i>Délka</i>
<i>Bez černý</i>	-0.0146	0.2688	0.2833
<i>bříza bělokorá</i>	-0.4744	-0.2333	0.2772
<i>buk lesní</i>	-0.0804	0.9433	1.0452
<i>dub letní</i>	-0.3060	0.7717	0.8954
<i>habr obecný</i>	-0.6487	0.0511	0.6998
<i>hloh obecný</i>	0.3341	-0.0934	-0.4066
<i>javor klen</i>	0.0439	0.4887	0.4982
<i>javor mlč</i>	-	-	-
<i>jeřáb ptačí</i>	-0.3729	-0.4420	-0.0290
<i>lípa srdčitá</i>	-0.5662	0.1707	0.7368
<i>líška obecná</i>	-0.2702	0.7544	1.0246
<i>modřín opadavý</i>	-	-	-
<i>olše lepkavá</i>	-0.3439	-0.0759	0.2825
<i>vrba jíva</i>	-0.3128	0.3564	0.6692
Průměr	-0.2510	0.2467	0.4981

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

Na Grafu 2 jsou vidět zobrazené tři časové horizonty vegetačního období břízy bělokoré. I zde je graficky zobrazen posun začátku vegetačního období v této stanici. V roce

Graf 2: Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Holenice



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

2011 začalo vegetační období výrazně dříve a končilo přibližně stejně.

V Tab. 12 jsou přehledy trendu směrnice regresní přímký jednotlivých datových sad. První je datová sada GIMMS, kde byla zpracovávána data v období 1982 až 2006. Hodnoty trendů souhlasí s pozemními data. Data jsou

mírně odlišná, ale to je zapříčiněno ne zcela stejným obdobím. Korelační koeficient začátku, konce a délky vegetačního období je mezi pozemními daty a z družic odvozenými daty GIMMS NDVI velmi vysoký. U metody Gaussian je to 0.97, u metody Logistic 0.98 a u filtru Savitzky-Golay je to 0.997. Taktéž ukazatel rozdílu od mediánu se u datové sady GIMMS shoduje s pozemními daty ve vysoké míře. Pozemní data vykazují hodnoty posunu na začátku vegetačního období v průměru o 0.36 dne k začátku roku, na konci vegetačního období prodloužení o 2.25 dne a celkovou délku vegetačního období o 1.71 dne. Konkrétní posuny u datové sady GIMMS jsou vidět v Tab. 12. Jsou však výrazně větší než v případě pozemních dat. Toto bude s největší pravděpodobností zapříčiněno metodikou extrahování jednotlivých fenologických proměnných. I u tohoto ukazatele korelace dat GIMMS s pozemními daty velmi vysoká. U metod Gaussian a Logistic je 0.90 a 0.92 a u filtru Savitzky-Golay 0.93.

Další datovou sadou je MODIS, konkrétně pak sada MCD LAI, v prostorovém rozlišení 1 km a časovém rozlišením 4 dnů. U této sady se hodnoty neshodují v takové míře, jako u dat GIMMS. U ukazatele směrnice regresní přímky se shodují jen v začátku vegetačního období a to pouze u metody Savitzky-Golay. U ukazatele průměrného rozdílu od mediánu se shodují napříč metodami také v začátku vegetačního období a pak v menší míře i u délky. Nejvyšší korelace s pozemními daty byla u těchto družicových hodnot v začátku vegetačního období a metody Gaussian ukazatele průměrného rozdílu od mediánu.

Tab. 12: Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad - Holenice

pře počítáno na dny		Směrnice regresní přímky				Rozdíl od mediánu (průměr)		
Data		průměr za období	Zač.	Konec	Délka	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	1992-2011	-0.5348	0.2548	1.0555	-0.36	2.25	1.71
GIMMS	Gaussian	1982-2006	-0.1338	1.3558	1.4977	-3.78	6.72	10.44
	Logistic	1982-2006	-0.2077	1.0985	1.3096	-1.62	5.28	7.14
	Savitzky-Golay	1982-2006	-0.5100	0.9242	1.4435	-2.70	7.26	9.78
MCD LAI	Gaussian	2003-2011	2.1133	1.1667	-0.8867	-3.11	-0.04	3.07
	Logistic	2003-2011	2.9067	-2.4867	-5.3933	-1.60	2.09	11.20
	Savitzky-Golay	2003-2011	1.0800	-	-2.6867	-2.18	-	-1.33
MCD LAI okolí	Gaussian	2003-2011	1.2304	-0.1956	-1.4044	-1.26	-0.26	-1.60
	Logistic	2003-2011	1.5185	-2.6496	-4.4370	0.28	-2.33	2.24
	Savitzky-Golay	2003-2011	-0.4454	-1.8877	-1.0793	-1.47	-0.63	2.74
MOD NDVI	Gaussian	2001-2011	-0.9309	-0.9641	-0.3636	-10.91	-	10.33
	Logistic	2001-2011	-0.1018	-	3.0199	-18.62	-	13.44
	Savitzky-Golay	2001-2011	0.5673	-	3.2277	-5.96	-	-11.64
MOD NDVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.0792	0.1437	-0.0808	-5.30	-	-0.63
	Logistic	2001-2011	0.3071	0.0095	1.6031	-7.21	-	-0.04
	Savitzky-Golay	2001-2011	1.0667	-	0.2876	-4.12	-	-4.49
MOD EVI	Gaussian	2001-2011	0.0582	-0.2465	0.2036	-1.45	-1.00	6.98
	Logistic	2001-2011	-0.3200	-0.7000	0.4655	4.65	3.20	9.75
	Savitzky-Golay	2001-2011	-1.4109	-	1.6582	-6.98	-	4.65
MOD EVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.1244	-0.9510	-0.5851	-0.76	-1.01	3.09
	Logistic	2001-2011	0.0356	-1.7677	-1.1006	0.99	0.15	1.34
	Savitzky-Golay	2001-2011	-1.1685	-	0.8320	-2.36	-	3.88

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

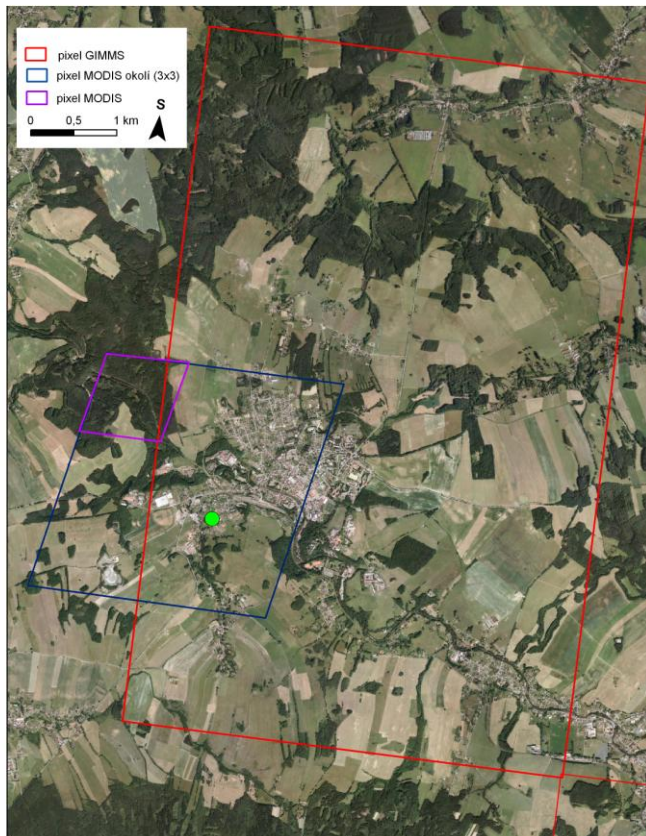
Následují datové sady MODIS (MOD) NDVI a EVI, taktéž v prostorovém rozlišení 1 km a časovém rozlišením 16 dnů. I u těchto dat se nejvíce shodují začátky vegetačního období. Nejvyšší hodnotu korelačního koeficientu ukazatele směrnice reg. přímky měla data MODIS NDVI (hodnota staničního pixelu) s metodou Logistic (průměrná hodnota okolních pixelů) a MODIS NDVI Gaussian stejného ukazatele konkrétního pixelu. U dat MODIS EVI pak nejvíce souhlasily metody Savitzky-Golay. Jak již bylo napsáno výše, problém těchto dat nastal u určení konce vegetačního období, kdy byl konec často posunut až do začátku dalšího roku.

Jednotlivé zkoumané pixely, kde se příslušná stanice nachází, byly zkontrolovány pomocí vizualizace příslušného vyhlazení časové řady.

7.2.3 Frýdlant – Větrov

Stanice Frýdlant Větrov se nachází v okrese Liberec v Libereckém kraji. Tato fenologická stanice se nachází v klimatické oblasti mírně teplé a regionu mírně teplém, vlhkém.

Obr. 34: Ortofotomapa fen. stanice Frýdlant Větrov
FRÝDLANT VĚTROV
ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



Zdroj: autor, z dat Národního geoportálu INSPIRE

pastviny a rozšíření městské zástavby.

Plocha pixelu GIMMS zahrnuje již výše popsané krajinné pokryvy i jejich změny. Na Obr. 34 lze vidět letecký snímek zájmových oblastí jednotlivých zkoumaných pixelů.

Krajina podle využití, nacházející se v okolí stanice, je převážně lesozemědělská.

Krajinný pokryv v konkrétním pixelu MODIS je především smíšený les a pak malou plochou zasahuje nezavlažovaná orná půda a louky a pastviny. Změny krajinného pokryvu v pixelu MODIS došlo především mezi lety 2000 a 2006, kdy se z původně jehličnatého lesa stal smíšený. Na části území pak došlo také ke změně orné půdy na louky a pastviny. Matice pixelů MODIS 3×3 pak obsahuje nesouvislou městskou zástavbu, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, louky a pastviny, nezavlažovanou ornou půdu a smíšené lesy. Ke změnám krajinného pokryvu došlo jako u konkrétního pixelu MODIS, dále ke změně orné půdy na louky a

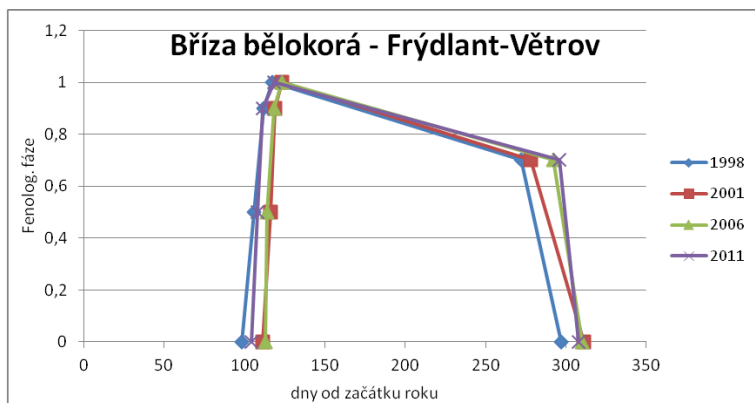
Tab. 13: Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ – Frýdlant Větrov

	Začátek	Konec	Délka
Bez černý	0.7692	-0.1658	-0.9791
bříza bělokorá	0.2176	0.4518	0.3753
buk lesní	-0.2945	0.1213	0.6943
dub letní	-0.7321	-0.6743	0.1469
habr obecný	0.0440	0.0798	0.5108
hloh obecný	0.0923	0.0440	0.2463
javor klen	-0.6747	-0.2036	0.6397
javor mléč	-0.5275	0.0477	0.5324
jeřáb ptačí	0.4571	1.1402	1.0485
lípa srdčitá	-0.3750	0.1192	0.6195
líška obecná	-0.0593	0.4528	0.3394
modřín opadavý	-0.1670	1.4024	1.1938
olše lepkavá	-0.2857	0.0161	0.2922
vrba jíva	-0.6821	-0.6119	0.0238
Průměr	-0.1584	0.1585	0.4060

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

Fenologická data stanice Frýdlant Větrov jsou k dispozici od roku 1997 do 2011. V Tab. 13 směrnice regresní přímky jednotlivých stromů byly vypočteny hodnoty, které ukazují jednotlivé trendy. Směrnice začátku vegetačního období má u většiny stromů záporné hodnoty kromě bezu černého, břízy bělokoré, habru a hlohu obecných a jeřabu ptačího. Konec vegetačního období má naopak trend kladný kromě bezu černého, dubu letního, javoru kleny a vrby jívy. Kratší délka vegetačního období pak byla pouze u keře bezu černého.

Graf 3: Průběh fen. fází – bříza bělokorá – Frýdlant Větrov



Na Grafu 3, kde jsou znázorněny jednotlivé fenologické fáze břízy bělokoré, jsou vidět roky 1998, 2001, 2006 a 2011.

Nejdříve začalo vegetační období v roce 1998, čímž je potvrzena kladná hodnota směrnice regresní přímky u břízy bělokoré v Tab. 13. Nejdéle skončilo vegetační období břízy bělokoré v pozdějších letech, konkrétně pak roky 2011, 2006 a 2001.

Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad jsou zobrazeny v Tab. 14. Data pixelu GIMMS se příliš neshodovaly. Toto mohlo být zapříčiněno především přítomností velké části území městské zástavby. U datové sady MODIS MCD LAI se výrazněji shodovalo území konkrétního pixelu, kde se nacházely smíšené lesy. To samé platí pro datovou sadu MODISEVI konkrétního pixelu, kde kromě začátku vegetačního období metody Gaussian se trendy směrnice regresní přímky shodovaly.

Tab. 14: Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad– Frýdlant

přečítáno na dny		Směrnice regresní přímky				Rozdíl od mediánu (průměr)		
Data		průměr za období	Zač.	Konec	Délka	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	1997-2011	-0.5348	0.2548	1.0555	-0.84	-1.13	-0.51
GIMMS	Gaussian	1982-2006	0.4892	0.0727	-0.4154	2.22	-0.36	1.80
	Logistic	1982-2006	0.3923	-0.0819	-0.4788	1.56	1.68	-2.64
	Savitzky-Golay	1982-2006	0.0935	0.1385	0.0219	-1.02	-1.56	-2.10
MCD	Gaussian	2003-2011	1.0000	7.9800	7.0333	1.16	4.04	8.93
	Logistic	2003-2011	1.3533	1.6049	1.2533	-0.71	7.54	17.07
	Savitzky-Golay	2003-2011	1.9867	-	1.3286	-1.64	-	-9.77
MCD okolí	Gaussian	2003-2011	0.2481	4.2024	6.0481	0.24	0.19	0.79
	Logistic	2003-2011	0.3281	-0.0709	3.2963	0.40	-	3.58
	Savitzky-Golay	2003-2011	0.0593	-	0.3489	0.31	-	-6.17
MOD NDVI	Gaussian	2001-2011	0.6400	-1.8000	-0.1891	0.44	-1.40	-0.15
	Logistic	2001-2011	0.5236	-1.8723	-1.1927	1.16	4.34	0.58
	Savitzky-Golay	2001-2011	-1.6873	-	2.1236	1.16	-	-0.32
MOD NDVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.7030	-1.3073	0.0646	-1.68	-1.51	0.32
	Logistic	2001-2011	-0.6578	-0.9101	-0.5597	-3.54	-	-1.36
	Savitzky-Golay	2001-2011	-1.4400	-	1.4739	-1.81	-	-5.03
MOD EVI	Gaussian	2001-2011	0.2618	2.0222	3.1418	3.35	2.00	3.05
	Logistic	2001-2011	-1.1345	1.2612	4.1309	0.00	-0.27	-6.84
	Savitzky-Golay	2001-2011	-2.2109	-	6.1527	-1.75	-	-6.84
MOD EVI okolí	Gaussian	2001-2011	0.2990	0.1629	1.1733	0.74	-1.85	-3.99
	Logistic	2001-2011	-0.4347	-0.9483	1.7519	0.18	-2.10	-2.93
	Savitzky-Golay	2001-2011	-1.9378	-	2.3853	-3.01	-1.97	-2.29

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

7.2.4 Svoboda nad Úpou

Svoboda nad Úpou je lesní fenologickou stanicí v Královéhradeckém kraji v okrese Trutnov. Nachází se v jihovýchodní části Krkonošského národního parku, ve velmi chladné klimatické oblasti a chladném, vlhkém klimatickém regionu a na rozhraní lesní a lesozemědělské krajiny. Na Obr. 35 je vidět letecký pohled na celou oblast jednotlivých zkoumaných pixelů.

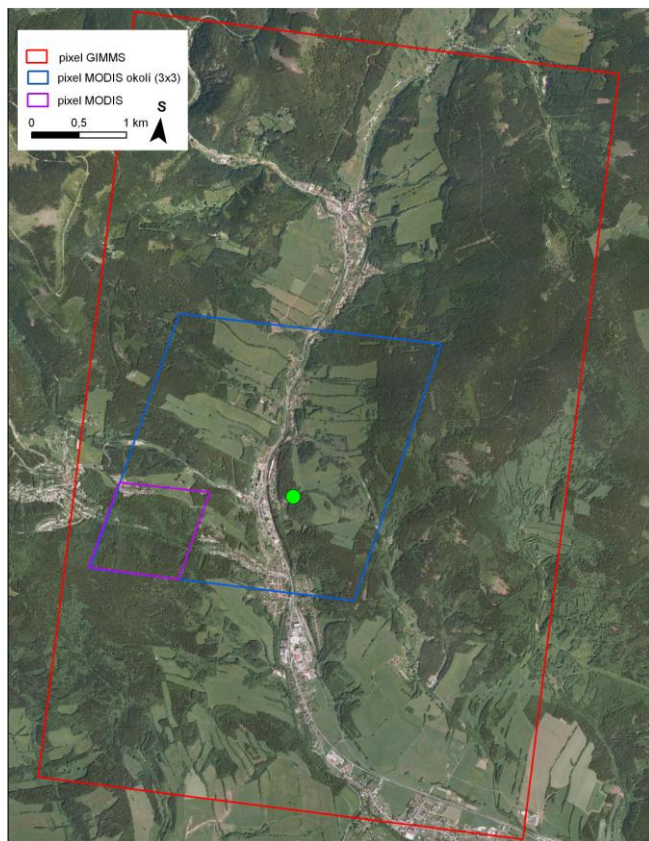
Oblast konkrétního pixelu MODIS zahrnují především smíšené lesy, částečně pak zasahují i lesy jehličnaté a louky a pastviny. V této oblasti nedošlo v letech 1990 až 2006 k žádné výrazné změně krajinného pokryvu. Matice pixelů MODIS 3×3 pak obsahuje smíšené a jehličnaté lesy, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, louky a pastviny a nesouvislou městskou zástavu. Největšími změnami krajinných pokryvů bylo mezi nezavlažovanou ornou půdou a loukami a pastvinami, kdy mezi lety 1990 a 2000 se zvětšilo území orné půdy, aby mezi lety 2000 až 2006 se vrátila na původní louky a pastviny. Pixel GIMMS zahrnuje především smíšené a jehličnaté lesy, zemědělské plochy s přirozenou vegetací a louky a pastviny a nesouvislou městskou zástavbu. Změny krajinného pokryvu byly stejné jako matice pixelů MODIS.

Pozemní fenologická data této stanice jsou k dispozici od roku 1982 do 2011. Výsledky

Obr. 35: Ortofotomapa fen. stanice Svoboda nad Úpou

SVOBODA NAD ÚPOU

ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



Zdroj: autor, z dat Národního geoportálu INSPIRE

směrnic regresních přímek jsou v Tab. 15. Trend u začátku vegetačního období je u všech jednotlivých stromů záporný, znamenající dřívější začátek. Trend konce vegetačního období převažuje u více stromů kladný, ale není to již tak přesvědčivé jako u začátku. Délka vegetačního období je pak u všech stromů kladná směřnice, znamenající rozšíření délky vegetačního období. Průměrná hodnota směřnice začátku je -0.47, konce 0.10 a délky vegetačního období 0.66.

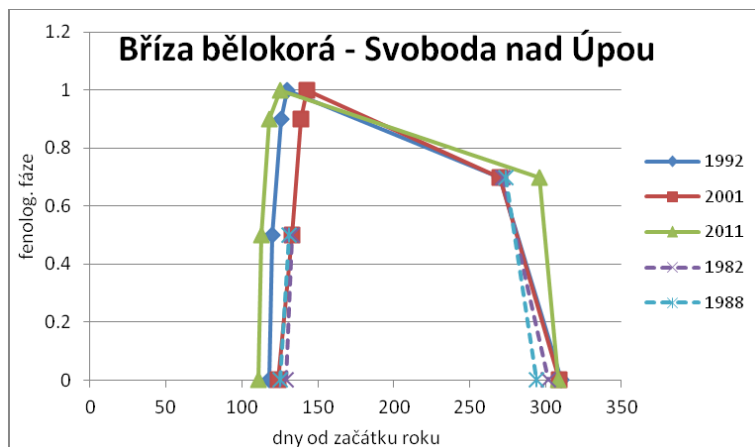
Tab. 15: Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ – Svoboda nad Úpou

	Začátek	Konec	Délka
Bez černý	-0.6693	0.2836	1.2040
bříza bělokorá	-0.3103	0.3429	0.6507
buk lesní	-0.3679	0.3450	0.7213
dub letní	-0.2681	0.2547	0.5153
habr obecný	-0.9273	-0.6722	0.2494
hloh obecný	-0.4261	-0.4530	0.0394
javor klen	-0.3038	0.2981	0.6084
javor mléč	-0.5874	-0.0713	0.5194
jeřáb ptačí	-0.3610	0.0201	0.3832
lípa srdčitá	-0.3641	0.1019	1.1347
líška obecná	-0.5521	0.1561	1.1878
modřín opadavý	-0.4321	0.1003	0.4704
olše lepkavá	-0.4507	-0.0137	0.4232
vrba jíva	-0.4907	0.6621	1.1324
Průměr	-0.4651	0.0968	0.6600

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

Znázornění průběhu fenofází břízy bělokoré je na Grafu 4. Roky 1982 a 1988 nejsou kompletní,

Graf 4: Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Svoboda n. Ú.



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

ale začátek a konec vegetačního období je vidět. Nejdříve začalo vegetační období v roce 2011, nejdéle naopak u let 1982 a 1988. Konec vegetačního období skončilo nejdéle v letech 2001 a 2011 a nejdříve v letech 1988 a 1982. Toto potvrzuje předchozí výsledky směrnice regresní přímky v Tab. 15.

Tab. 16 následně zobrazuje jako u předchozích stanic celkové výsledky datových sad. Výsledky hodnot u této fenologické stanice vyšly velice přesně. Konkrétně trendy směrnice regresní přímky se shodovaly ve všech hodnotách kromě délky vegetačního období metody Savitzky-Golay datové sady MOD EVI konkrétního pixelu. Jak již bylo popsáno výše, změna krajinného pokryvu v této oblasti nastala pouze mezi nezavlažovanou ornou půdou a loukami a pastvinami. To znamená že, se zde nevyskytovala žádná velká změna lesních oblastí, ale jen podobných krajinných pokryvů tvořených většinou travnatými plochami. To mohlo vést k tomuto přesnému vyhodnocení. I jednotlivé hodnoty směrnic přibližně odpovídaly, což vykazoval i korelační koeficient datových sad s pozemními daty, který byl nejmenší u dat MOD NDVI matice pixelů metody Logistic a to 0.67. Nejlepší výsledky přesto poskytla datová sada GIMMS NDVI, kde se hodnoty nelišily skoro na desetiny.

Tab. 16: Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad - Svoboda

přepočítáno na dny		Směrnice regresní přímky				Rozdíl od mediánu (průměr)		
Data		průměr za období	Zač.	Konec	Délka	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	1982-2011	-0.4651	0.0968	0.6600	-0.29	0.10	0.04
GIMMS	Gaussian	1982-2006	-0.3946	0.3231	0.6981	1.08	-1.50	-1.20
	Logistic	1982-2006	-0.3496	0.3623	0.6808	0.00	-0.36	-0.48
	Savitzky-Golay	1982-2006	-0.5931	0.2596	0.8735	1.44	-1.02	-2.58
MOD NDVI	Gaussian	2001-2011	-1.3091	0.9434	0.5964	3.64	2.93	-3.35
	Logistic	2001-2011	-1.3236	0.7111	0.5964	0.87	4.27	-4.07
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.3927	-	0.3491	-0.58	-	4.32
MOD NDVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.6723	0.4205	0.2877	1.73	2.87	-0.06
	Logistic	2001-2011	-0.6158	0.3543	0.0485	1.68	2.36	0.81
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.3798	-	0.2221	-0.66	-	-0.21
MOD EVI	Gaussian	2001-2011	-1.5418	0.7709	2.2545	2.47	-2.08	1.60
	Logistic	2001-2011	-1.7309	0.7418	2.4582	2.18	-2.84	3.35
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.3927	-	-0.2909	-3.78	-2.51	2.91
MOD EVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.6917	0.3212	1.7471	0.68	-1.14	1.83
	Logistic	2001-2011	-0.8048	0.2860	1.9459	0.84	-1.05	2.88
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.8646	-	0.9487	-2.55	-0.92	2.26

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

Horší výsledky poskytl ukazatel průměrného rozdílu od mediánu, ale i zde se např. u metody Savitzky-Golay shodovaly začátky vegetačního období. Tento ukazatel je více ovlivněn většími odchylkami dat než ukazatel směrnice trendu.

7.2.5 Machov

Machov je poslední podrobněji zpracovávanou lesní fenologickou stanicí. Nachází se v Královéhradeckém kraji a okrese Náchod, chladné klimatické oblasti, mírně chladném, vlhkém klimatickém regionu a v lesozemědělské krajině podle využití.

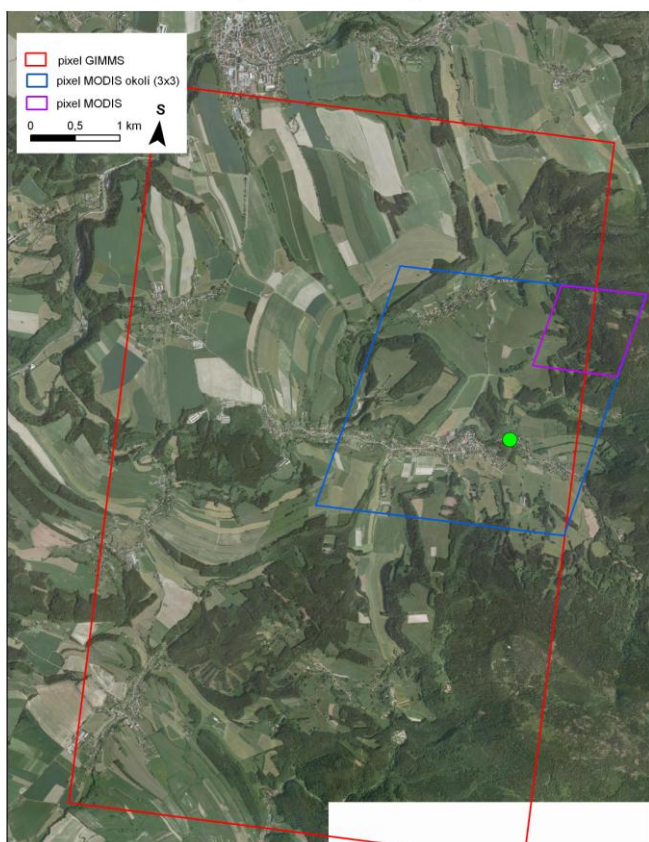
Oblast zabírající plochu pixelu GIMMS obsahuje nezavlažovanou ornou půdu, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, louky a pastviny, nesouvislou městskou zástavbu a smíšené a jehličnaté lesy. Ke změnám krajinného pokryvu došlo především z nezavlažované orné půdy na louky a pastviny mezi lety 1990 a 2000. Na malém území pak došlo i ke změně smíšených lesů na jehličnaté.

Plocha konkrétního pixelu MODIS zahrnuje krajinný pokryv jehličnatých lesů a luk a pastvin. Mezi lety 2000 a 2006 došlo ke změně pokryvu části území z nízkého porostu v lese na

les jehličnatý a mezi lety 1990 a 2000 část území byla změněna z nezavlažované orné půdy na louky a pastviny. Území matice pixelů 3×3 MODIS pak zahrnuje krajinné pokryvy i jejich změny jako pixel dat GIMMS. Jednotlivé krajinné pokryvy jsou vidět i na Obr. 36, kde je ortofotomapa zájmových oblastí jednotlivých pixelů.

Pozemní fenologická data této stanice jsou k dispozici v období 1992 – 2011. V Tab. 17 jsou vidět jednotlivé směrnice regresních přímků stromů nacházejících se ve fenologické stanici. Trend u začátku je záporný u všech stromů kromě modřínu opadavého. Celkově v průměru pak hodnota směrnice je -0.22. U konce vegetačního období pak je trend hodnot kladný, pouze u jeřábu ptačího je hodnota záporná.

Obr. 36: Ortofotomapa fen. stanice Machov
MACHOV
ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



Zdroj: autor, z dat Národního geoportálu INSPIRE

Výsledná průměrná hodnota stromů je 0.75, celkově by se tedy mělo vegetační období rozšiřovat. Celková délka vegetačního období se rozšířila u všech stromů stanice kromě jeřábu ptačího. Celková průměrná hodnota směrnice délky pak je 1.75

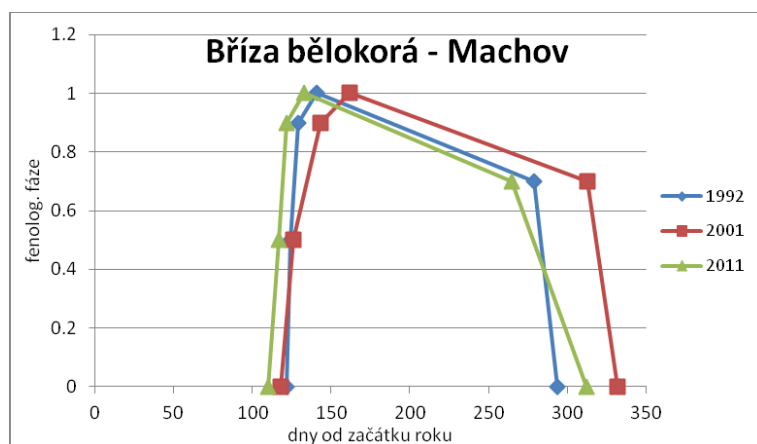
Tab. 17: Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ – Machov

	Začátek	Konec	Délka
Bez černý	-0.5196	0.1737	1.0358
bříza bělokorá	-0.4135	1.4461	1.8397
buk lesní	-0.2744	0.8009	1.1854
dub letní	-	-	-
habr obecný	-0.1461	0.5844	0.7858
hloh obecný	-0.4226	0.7250	1.1353
javor klen	-0.0632	0.3043	0.3936
javor mlč	-	-	-
jeřáb ptačí	-0.1669	-0.7334	-0.6223
lípa srdčitá	-0.1752	0.7648	0.9717
líška obecná	-0.2639	0.9858	1.0396
modřín opadavý	0.0353	1.7257	1.7524
olše lepkavá	-0.2053	1.2114	1.4744
vrba jíva	-0.0308	1.0497	1.0982
Průměr	-0.2205	0.7532	1.0075

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

Na Grafu 5 jsou znázorněny fenologické fáze břízy bělokoré ve stanici Machov v časových

Graf 5: Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Machov



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

horizontech roků 1992, 2001 a 2011. Vegetační období začalo nejdříve v roce 2011, nejdéle pak skončilo v roce 2001. V roce 1992 pak začalo ze znázorněných časových horizontů vegetační období nejdéle a naopak skončilo velmi brzy. Celková délka tak byla v roce 1992 velmi krátká.

Hodnoty směrnice regresních přímek a

průměrného rozdílu od mediánu jednotlivých datových sad a dat pozemních je v Tab. 18. Hodnoty směrnice regresní přímky se neshodují kompletně jako u předchozí fenologické stanice – Svobody nad Úpou, ale i zde je míra shody velmi vysoká. I zde nedošlo k výrazné změně lesních oblastí. Plně se shodují trendy hodnot u konkrétního pixelu datové sady MODIS NDVI, kromě jednoho údaji i u matice pixelu sady MODIS NDVI. Následuje sada MODIS EVI, kde se nejvíce shoduje s pozemními daty metoda Logistic. U této fenologické stanice se pak méně shodují data s datovou sadou GIMMS, která v předchozích případech dávala většinou nejlepší výsledky. Toto může být větším množstvím orné půdy v oblasti pixelu GIMMS ve srovnání

s předchozími stanicemi. Začátky vegetačního období se však shodují u všech vyhlazovacích metod.

Tab. 18: Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad - Machov

přepočítáno na dny		Směrnice regresní přímky				Rozdíl od mediánu (průměr)		
Data		průměr za období	Zač.	Konec	Délka	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	1992-2011	-0.2205	0.7532	1.0075	0.07	0.46	-0.08
GIMMS	Gaussian	1982-2006	-0.1627	-0.2862	-0.1269	-0.84	-0.60	-4.38
	Logistic	1982-2006	-0.2642	-0.2365	0.0358	0.84	1.32	-3.84
	Savitzky-Golay	1982-2006	-0.3035	-0.3242	-0.0150	-0.06	3.06	2.94
MOD NDVI	Gaussian	2001-2011	-2.8364	1.8169	1.6873	-2.18	1.33	6.84
	Logistic	2001-2011	-2.0655	1.3017	2.4238	-2.04	3.20	7.47
	Savitzky-Golay	2001-2011	-0.7564	-	1.9013	-3.78	-	0.53
MOD NDVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.5737	0.7095	0.5705	-0.89	0.94	-4.23
	Logistic	2001-2011	-0.3475	0.3156	0.6152	-0.86	2.75	-1.90
	Savitzky-Golay	2001-2011	0.3459	-	0.4327	-2.08	-	0.49
MOD EVI	Gaussian	2001-2011	-0.5527	-0.5818	-0.1164	3.35	-3.49	-0.58
	Logistic	2001-2011	-1.4255	1.1759	-2.0218	4.36	0.00	-2.76
	Savitzky-Golay	2001-2011	-1.6000	-	0.6400	-3.20	-	-0.29
MOD EVI okolí	Gaussian	2001-2011	-0.5931	0.4067	0.6707	-1.34	-0.35	1.63
	Logistic	2001-2011	-0.7531	0.6176	0.3782	-0.42	1.08	5.01
	Savitzky-Golay	2001-2011	0.0970	-0.9485	-0.1067	-1.41	-1.58	3.49

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ

7.2.6 Shrnutí výsledků jednotlivých fenologických stanic ČHMÚ

V předchozích kapitolách byly zhodnoceny jednotlivé výsledky analýzy vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ u pěti vybraných lesních fenologických stanic. Zde byly nejdůležitější výsledky shrnuty.

K největší shodě trendů směrnic u jednotlivých datových sad došlo u fenologické stanice Svoboda nad Úpou. Shodovaly se zde kompletně všechny trendy u všech zkoumaných datových sad. Jak již bylo zmíněno výše, tato stanice obsahovala minimum změn krajinného pokryvu. U konkrétního pixelu MODIS 1 km pak nedošlo k žádné změně a krajinným pokryvem, pokrývají tento pixel, byl smíšený les. Datová sada GIMMS s nejdelším analyzovaným obdobím se pak shodovala výrazně ještě u stanice Holenic. Naopak vůbec neodpovídaly vypočtené ukazatele této datové sady ve stanici Frýdlant Větrov, kde ovšem velkou část pixelu GIMMS zahrnovala městská oblast. Z ostatních datových sad se ve zkoumaných stanicích nejvíce shodovaly trendy u datové sady MOD NDVI a na některých i sada MOD EVI.

8. SROVNÁNÍ VEGETAČNÍCH DAT DPZ

V části předkládané práce kalibrace vegetačních dat DPZ bylo cílem nejprve se podívat na jednotlivé datové sady. U vybraných fenologických stanic bylo provedeno srovnání průběhů jednotlivých vyhlazených křivek hodnot vegetačních indexů v průběhu let, ve kterých se jednotlivé datové sady shodovaly. Následně bylo provedeno ještě srovnání fenologických proměnných – začátku a konce vegetačního období – jednotlivých datových sad s pozemními fenologickými údaji.

8.1 Analýza hodnot vegetačních indexů u datových sad

Další cílem této práce bylo zjištění, jak se změni jednotlivé výsledky rozdílů ve vegetační fenologii dle jednotlivých druhů vegetačních indexů a datových sad. U vybraných lesních fenologických stanic bylo provedeno srovnání křivek průběhu vegetačních indexů v letech 2001 až 2006. Kvůli porovnání s pozemními daty byla přidána i křivka průběhu fenologických fází stromů, nacházejících se v jednotlivých stanicích. Data jsou zobrazena v grafech, aby mohlo dojít k porovnání, jsou na ose y hodnoty vegetačního indexu NDVI, který se nachází u dvou datových sad. Index EVI je také v původních hodnotách. Index LAI je přepočítán, aby mohl být zobrazen ve stejném grafu. To samé platí pak o indexu MTCI, který byl zmenšen vydělením hodnotou 4. Grafy jsou přiloženy v Příloze 9.

Pozemní data ČHMÚ byla pak znázorněna pomocí fenologických fází, kdy fázi první listy 10 % je přiřazena hodnota 0.1, fázi první listy 50 % hodnota 0.5, fázi první listy 100 % hodnota 0.9, fázi LX hodnota 1, fázi opad listů 10 % 0.7 a fázi opad listů 100 % hodnota 0.1.

Ke srovnání jednotlivých datových sad byla použita vyhlazovací metoda Gaussian, která v předchozích částech práce poskytovala většinou nejspolehlivější výsledky

Na jednotlivých grafech (viz Příloha 9) jsou vidět srovnání jednotlivých vegetačních indexů datových sad. Při prvotním pohledu na jednotlivé křivky jsou vidět přibližně shodně určená vegetační období. Např. u stanice Holenic je vidět větší shoda jednotlivých průběhů křivek než u Harrachova. Konkrétně roky 2005 a 2006 si odpovídají téměř přesně.

Vegetační index NDVI byl zpracován u datových sad GIMMS a datové sady MODIS NDVI. Průběhy křivek si tudíž vzájemně odpovídají nejvíce. Kvůli velmi rozdílnému prostorovému rozlišení si však nemohou odpovídat naprosto přesně. Hodnoty NDVI u datové sady GIMMS mají užší vegetační období a to především u hodnot vrcholu vegetačního období. V zimních měsících pak mají menší hodnoty NDVI než sada MODIS. Toto je zapříčiněno především tím, že pixel MOD NDVI obsahoval především jehličnaté lesy, které mají vysoké hodnoty i v zimním období. Širší období je pak způsobeno také přítomností jehličnatých lesů, neboť v pixelu GIMMS se nachází i opadavé stromy a travní plochy, u kterých dojde k poklesu indexu mnohem rychleji. Jako u Harrachova tak u Holenic a Machova je vegetační období pixelu MOD NDVI výrazně širší než u dat GIMMS NDVI.

U stanice Svoboda nad Úpou zaujímá oblast konkrétního pixelu krajinná pokryv smíšených lesů. I zde data GIMMS NDVI mají užší vegetační období, ovšem není zde již takový rozdíl jako předchozích stanic. To je zapříčiněno tím, že jsou zde převážně smíšené lesy, a jehličnanů zde již není takové množství jako u předchozích stanic. Toto se projevilo i u maximálních hodnot MOD NDVI, které výrazně převyšují hodnoty GIMMS NDVI. Listnaté lesy mají vyšší hodnoty indexu NDVI. U zimního období není tak velký rozdíl a hodnoty MOD NDVI nejsou v tomto období výrazně vyšší, spíše záleží již na konkrétním roce. U dat GIMMS NDVI je pak zajímavé vyhlazení v letech 2005 a 2006, kde není hladký vrchol, ale jsou zde zaznamenány nárůsty a poklesy. I u dat MODIS NDVI jsou tyto poklesy u původních nevyhlazených dat patrné, ale ne v takové míře, aby byly i po vyhlazení zachovány. V určení začátku a konce vegetačního období však toto vyhlazení nemělo vliv.

Datová sada MOD EVI odpovídá svým průběhem stejné datové sadě akorát s jiným vegetačním indexem. Hodnoty EVI, ač jsou ve stejném rozsahu jako index NDVI, mají výrazně nižší hodnoty. U stanice Holenice mají data MOD EVI taktéž širší vegetační období ale pouze u spodní části křivky, vrchol je pak výrazně užší oproti MOD NDVI. U stanice Svobody nad Úpou byla data MOD EVI vyhlazena ve srovnání s daty ČHMÚ taktéž velice dobře, ale délku vegetačního období určila širší.

Hodnoty MCD LAI, jak již bylo popsáno výše, byly upraveny, aby mohly být zobrazeny do grafů. Průběh vegetačního období však odpovídá předchozím datovým sadám. Ve větší míře se pak shoduje i s pozemními fenologickými údaji. U stanice Holenice se nejvíce paradoxně shodují s daty největšího prostorového rozlišení GIMMS. Dále jsou blízké i hodnotám pozemních údajů.

Data MERIS MTCI byla k dispozici stejně jako data MCD LAI od roku 2003. Tato data obsahovala velký šum, který se projevilo na přelomu roků 2003 a 2004 v zimním období, kde bylo vygenerován sekundární vrchol. U dat MERIS a MOD EVI byl u začátku zkoumaného období špatně vygenerován začátek průběhu křivky, kde jsou hodnoty nepřírozně vysoké kvůli šumu dat na začátku. U stanice Holenice byla data MERIS MTCI na rozdíl od předchozí stanice vyhodnocena správně a vytvořila jenom jeden vrchol vegetačního období a odpovídají rozložení především křivek MCD LAI ale i MOD EVI. I u stanice Svobody nad Úpou a Machova byla data MERIS MTCI vyhlazena velmi dobře a opět ve velké míře odpovídaly křivce pozemních dat ČHMÚ.

Pozemní fenologická data stanice Harrachov odpovídala vizuálním hodnocením nejvíce datům GIMMS a MCD LAI. U dat GIMMS je to především kvůli pestré skladbě krajinného pokryvu. Naopak data MODIS zahrnují především jehličnaté lesy, které nebyly u pozemních dat zahrnuty. U ostatních stanic pak odpovídala průběhu pozemních dat dobře data MERIS MTCI.

8.2 Srovnání fenologických proměnných datových sad s pozemními daty ČHMÚ

U vybraných fenologických stanic bylo provedeno ještě srovnání fenologických proměnných (začátku a konce vegetačního období) jednotlivých datových sad s pozemními fenologickými údaji. Jedním z cílů předkládané práce bylo zhodnocení datových zdrojů vegetačních indexů z hlediska extrakce začátku a konce vegetačního období na základě pozemních měření. V letech, kde se jednotlivé datové sady překrývají, tak dojde k porovnání začátku a konce vegetačního období. Rok 2005 byl znázorněn ještě grafickou formou, kde jsou začátky konce a délka vynesena do grafu v průběhu roku. Lze tak vysledovat, které datové sady se blíží nejvíce pozemním údajům. Ke srovnání jednotlivých datových sad byla opět použita vyhlazovací metoda Gaussian, která v předchozích částech práce poskytovala většinou nejspolehlivější výsledky.

8.2.1 Harrachov

První fenologickou stanicí, kde byla validace provedena, je Harrachov. V Tab. 19 byly srovnány fenologické proměnné – začátek a konec vegetačního období – u jednotlivých datových sad. Průměrný začátek vegetačního období mezi lety 2001-2006 byl u pozemních dat 125 den roku, konec vegetačního období připadl na 305 den od začátku roku.

Datová sada GIMMS NDVI měla začátek vegetačního období v průměru 88 den roku, což je o 38 dní dříve než u pozemních dat. Konec vegetačního období pak vyšel u těchto dat na 338 den roku, což oproti datům ČHMÚ je v průměru o 33 dní později. Datová sada MODIS NDVI měla počátek vegetačního období v průměru 67 den a konec 352 den. Rozdíl od pozemních dat tak v průměru činil 58 a 47 dní, což je nejvíce ze všech dat. I hodnoty korelačních koeficientů vyšly nejmenší. I výsledky datové sady MODIS EVI vyšly rozdílné – začátek 58 den a rozdíl od pozemních 68 dní, konec 344 den roku a rozdíl od pozemních dat 39 dní.

Nejlépe vyšly hodnoty datových sad MCD LAI a MERIS MTCI. U sady MCD LAI vyšel korelační koeficient u začátku vegetačního období největší 0.88. Začátek v průměru vyšel na 101 den a rozdíl od pozemních dat tak činil 25 dní. Konec vegetačního období nastal v průměru 323 den a rozdíl tak činil pouze 18 dní. Datová sada MERIS MTCI extrahovala začátek a konec vegetačního období v průměru na 149 a 316 den roku. Rozdíl od pozemních dat pak činil 22 a 10 dní.

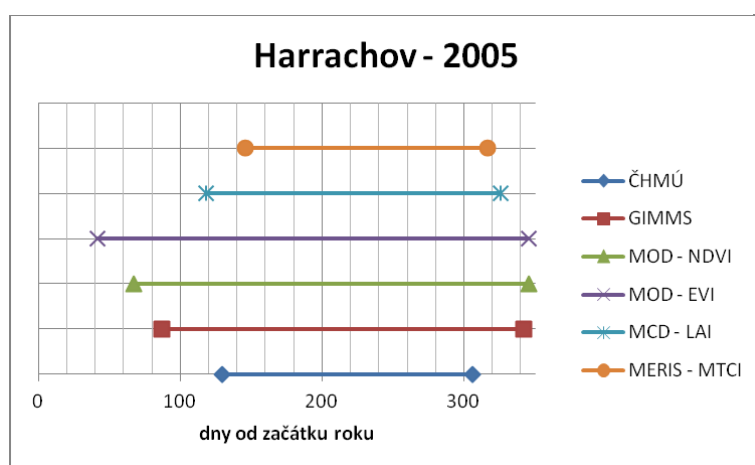
Tab. 19: Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Harrachov

	fen. data - ČHMÚ		GIMMS - NDVI		MOD - NDVI		MOD - EVI		MCD - LAI		MERIS - MTCI	
	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec
2001	123	307	92	336	86	344	70	355	-	-	-	-
2002	123	303	95	329	30	-	77	296	-	-	-	-
2003	123	303	93	344	66	358	58	357	89	310	134	-
2004	127	305	78	323	64	362	64	350	104	315	153	314
2005	130	306	87	342	67	346	42	346	118	326	146	317
2006	127	304	83	354	90	-	35	358	93	340	163	-
R			-0,687	-0,052	0,302	-0,802	-0,744	0,392	0,881	0,323	0,481	-

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

Na Grafu 6 byl vyhodnocen rok 2005 a jednotlivé začátky, konce a délky vegetačního

Graf 6: Znázornění vegetačního období 2005 – Harrachov



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

období byly znázorněny v průběhu roku. Nejvíce se s pozemními daty ČHMÚ shodují data MCD LAI a MERIS MTCI. Více se však přeci jen shoduje s datovou sadou MERIS, hodnoty jsou jen mírně posunuty do pozdější části roku. Naopak nejméně se shodují pozemní údaje s daty MOD EVI, u kterých je vegetační období mnohem širší. Data stejného vegetačního indexu NDVI poskytují taktéž širší vegetační období, ale vzájemně si téměř odpovídají, jak v délce tak umístění v průběhu roku.

Tab. 20: Hodnoty směrnice reg. přímky u datových sad v období 2001-2006 - Harrachov

na stejné období přepočteno na dny		Směrnice regresní přímky			
Data		průměr za období	Zač.	Konec	Délka
GIMMS	Pozem. data ČHMÚ	2001 - 2006	1,1740	-0,1325	-1,3065
	Gaussian	2001 - 2006	-0,1714	1,1786	2,8393
	Logistic	2001 - 2006	-2,0143	3,0429	5,1857
	Savitzky-Golay	2001 - 2006	-1,2429	1,2857	2,6571
MCD	Gaussian	2003 - 2006	2,6000	10,1600	7,7200
	Logistic	2003 - 2006	5,8800	12,4400	6,5200
	Savitzky-Golay	2003 - 2006	12,2000	10,6000	-10,6800
MOD NDVI	Gaussian	2001 - 2006	3,5657	1,4171	-1,0514
	Logistic	2001 - 2006	4,1143	1,3714	-1,4629
	Savitzky-Golay	2001 - 2006	5,1200	-	1,1459
MOD EVI	Gaussian	2001 - 2006	-1,3714	4,5257	12,5257
	Logistic	2001 - 2006	-4,2514	6,4000	12,7543
	Savitzky-Golay	2001 - 2006	0,3657	-	9,0971

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

V Tab. 20 byly spočítány hodnoty směrnic regresní přímky pro společné období dat, to znamená mezi lety 2001 a 2006. Jak je vidět, tak hodnoty ani trendy se neshodují. K tomuto hodnocení je zřejmě časové období šesti let nedostatečné. To samé bylo provedeno na v období 1982 -2006 mezi pozemními daty a hodnotami datové sady GIMMS a výsledky se naopak ve velké míře shodovaly (viz Tab. 21).

Tab. 21: Hodnoty směrnice reg. přímky u dat ČHMÚ a GIMMS v období 1982-2006 - Harrachov

Data		Směrnice regresní přímky			
		průměr za období	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	1982-2006	-0,2101	0,2872	0,3007
GIMMS	Gaussian	1982-2006	0,0104	0,1373	0,1165
	Logistic	1982-2006	0,0981	0,1546	0,0600
	Savitzky-Golay	1982-2006	-0,1996	0,1604	0,3681

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS

8.2.2 Holenice

Druhou stanicí v Libereckém kraji jsou Holenice. Srovnání fenologických proměnných (viz Tab. 22) – začátku a konce vegetačního období – bylo provedeno jako u předchozí stanice. Průměrný den začátku vegetačního období z pozemních fenologických dat byl 114 (22. dubna), konec vegetačního období pak připadl průměrně na 316 den (11. listopad) od začátku roku.

Začátek a konec vegetačního období datové sady GIMMS byl průměrně stanoven na 113 a 313 den od začátku roku. Přesnost dat GIMMS u této stanice byla velice dobrá. Rozdíl od pozemních údajů činil 1 a 3 dny. Mnohem širší vegetační období stanovila data MOD NDVI (začátek – 70 den, konec 346 den). Rozdíl těchto dat byl 44 a 27 dní. Podobné výsledky poskytla data MOD EVI a MCD LAI, kde rozdíl od pozemních dat byl v prvním případě 32 a 31 dní a v druhém pak 29 a 20. Solidní výsledky poskytla sada MERIS MTCI, kde začátek a konec připadl na 97 a 322 den roku s rozdílem od pozemních dat 17 a 3 dny.

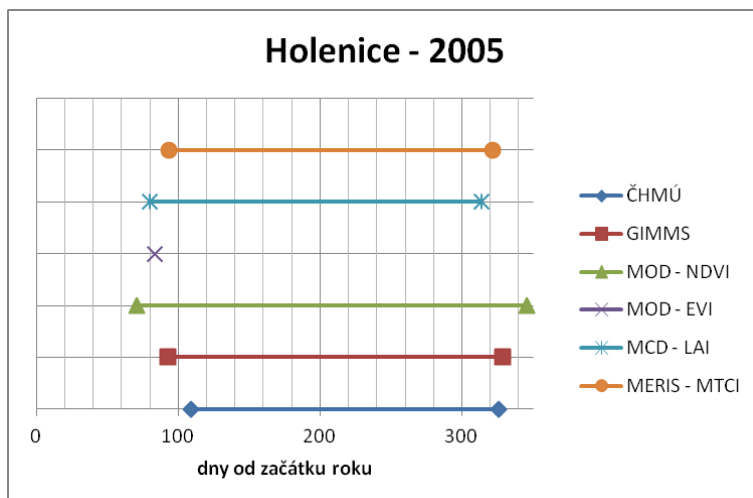
Tab. 22: Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Holenice

	pozemní celkem		GIMMS - NDVI		MOD - NDVI		MOD - EVI		MCD - LAI		MERIS - MTCI	
	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec
2001	118	313	119	285	82	347	88	344	-	-	-	-
2002	110	307	122	291	32	-	77	344	-	-	-	-
2003	115	320	120	291	93	-	101	344	79	286	84	318
2004	113	317	119	329	54	-	53	-	77	300	97	325
2005	109	326	93	329	70	346	83	-	80	314	94	322
2006	118	314	107	353	90	-	90	347	101	297	113	322
R			0,307	0,345	0,679	-	0,343	0,106	0,708	0,543	0,493	-0,346

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

Na Grafu 7 jsou graficky znázorněny začátky, konce a délka vegetačního období v roce

Graf 7: Znázornění vegetačního období 2005 – Holenice



2005 na území Holenic. Pozemním datům se nejvíce přibližují data GIMMS NDVI a také MERIS MTCI. U sady MOD EVI nebyl k dispozici konec vegetačního období, proto je znázorněn pouze začátek. Nejvíce pak byly odlišná data MOD NDVI, kde začátek i konec byl odlišný, díky čemuž i délka byla výrazně větší.

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

8.2.3 Svoboda nad Úpou

První stanicí Královéhradeckého kraje je Svoboda nad Úpou. Hodnoty začátků a konců vegetačních období v letech 2001-2006 u jednotlivých datových sad je v Tab. 23. Začátek a konec u dat ČHMÚ je 122 (1. květen) a 303 den (29. říjen) v roce. Data GIMMS NDVI poskytla začátek a konec 83 a 346 den v roce, MOD NDVI pak 76 a 341 den. Vzájemně si tak tyto datové sady odpovídají. Data MO EVI mají průměrný začátek a konec podobně 93 a 338 den v roce. Nejlepší výsledky pak poskytla data MERIS MTCI, kdy průměrný rozdíl od pozemních dat činil u začátku žádný den a u konce 5 dní. Formou dnů tak byl začátek 122 den a konec 299 den v roce.

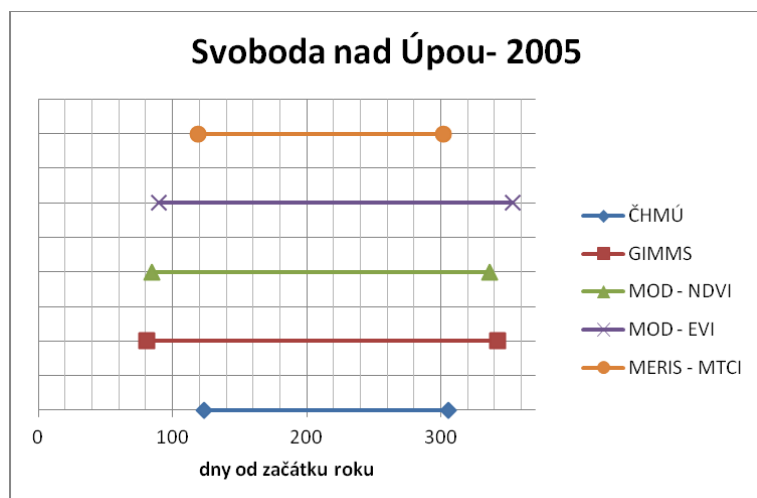
Tab. 23: Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Svoboda nad Úpou

	fen. data - ČHMÚ		GIMMS - NDVI		MOD - NDVI		MOD - EVI		MERIS - MTCI	
	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec
2001	125	304	85	345	70	342	86	349	-	-
2002	119	-	85	341	58	-	88	328	-	-
2003	121	303	84	345	80	344	96	330	110	295
2004	122	303	75	338	61	-	82	318	127	290
2005	124	306	81	342	85	336	90	354	119	302
2006	121	302	84	368	102	-	114	349	132	309
R			-0,129	-0,443	0,087	-0,952	-0,303	0,566	-0,163	0,085

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

Na Grafu 8, kde je opět srovnání vegetačních období roku 2005, lze vidět, že data MERIS

Graf 8: Znázornění vegetačního období 2005 – Svoboda nad Úpou



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

MTCI jsou s pozemními téměř shodná. Nejméně shodné vegetační období, jak délkou, tak umístěním v rámci roku, je zde datová sada MOD EVI.

Stejně jakou stanice Harrachov byly do Tab. 24 spočítány hodnoty směrnic regresní přímky pro společné období dat, to znamená mezi lety 2001 a 2006. Hodnoty trendů za šestileté období se výrazněji neshodují. Např. u začátku

vegetačního období dat GIMMS byl trend směrnice přeci jen shodný s pozemními daty. Výrazně více se shodují data směrnice v období 1982-2006 mezi pozemními daty a hodnotami datové sady GIMMS, což je dáno širokým zkoumaným obdobím (viz Tab. 25).

Tab. 24: Hodnoty směrnice reg. přímky u datových sad v období 2001-2006 – Svoboda nad Úpou

na stejné období přepočteno na dny		Směrnice regresní přímky			
Data		průměr za období	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	2001 - 2006	-0,1684	-0,1336	0,3326
GIMMS	Gaussian	2001 - 2006	-0,8571	2,2500	2,1964
	Logistic	2001 - 2006	-0,2571	1,6286	2,0571
	Savitzky-Golay	2001 - 2006	-0,1286	3,1286	3,0000
MOD NDVI	Gaussian	2001 - 2006	6,3543	-1,6000	-3,3829
	Logistic	2001 - 2006	6,3086	-0,4000	-3,2914
	Savitzky-Golay	2001 - 2006	4,9829	-	-2,4686
MOD EVI	Gaussian	2001 - 2006	3,6114	1,8743	-1,7371
	Logistic	2001 - 2006	3,4286	2,1029	-1,5543
	Savitzky-Golay	2001 - 2006	3,2000	-	4,5991

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

Tab. 25: Hodnoty směrnice reg. přímky u dat ČHMÚ a GIMMS v období 1982-2006 - Svoboda

		Směrnice regresní přímky			
Data		průměr za období	Zač.	Konec	Délka
	Pozem. data ČHMÚ	1982-2006	-0,2963	0,1811	0,4773
GIMMS	Gaussian	1982-2006	-0,3946	0,3231	0,6981
	Logistic	1982-2006	-0,3496	0,3623	0,6808
	Savitzky-Golay	1982-2006	-0,5931	0,2596	0,8735

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS

8.2.4 Machov

Poslední fenologickou lesní stanicí, kde bylo provedeno srovnání začátků a konců vegetačního období u jednotlivých datových sad (viz Tab. 26), byl královéhradecký Machov. V průměru začalo vegetační období podle pozemních dat ČHMÚ 118 den (26. dubna) a skončilo 338 den v roce (2. listopadu). Těmto hodnotám se nejvíce přiblížila jako u předchozích stanic datová sada MERIS MTCI, kde byly průměrné hodnoty 125 a 322. Lišily se tedy od pozemních dat o 6 a 16 dní. Horší výsledky pak poskytly ostatní datové sady, kde se hodnoty lišily od pozemních v rozmezí 58 a 21 dnů.

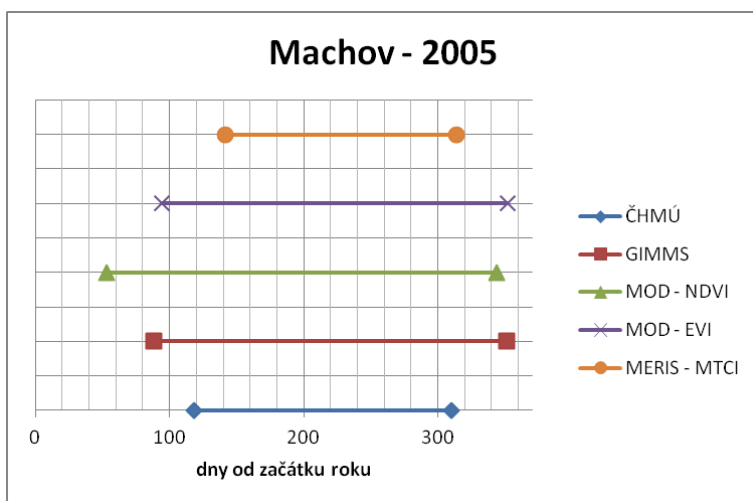
Tab. 26: Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Machov

	fen. data - ČHMÚ		GIMMS - NDVI		MOD - NDVI		MOD - EVI		MERIS - MTCI	
	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec	počátek	konec
2001	118	313	78	332	72	342	85	362	-	-
2002	113	-	80	339	27	-	90	358	-	-
2003	118	304	81	345	66	-	90	325	102	306
2004	117	305	73	323	61	-	117	366	124	330
2005	118	310	88	351	53	344	94	352	142	314
2006	121	305	87	366	82	-	83	338	133	339
R			0,507	-0,211	0,920	-1,000	-0,275	0,518	0,205	-0,241

Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

Jako u předchozích stanic následuje ještě na Graf 9 vyhodnocení roku 2005, kde byly

Graf 9: Znázornění vegetačního období 2005 – Machov



Zdroj: autor, z dat ČHMÚ, GIMMS, MODIS a MERIS

jednotlivé začátky, konce a délky vegetačního období znázorněny v průběhu roku. I v tomto grafu se potvrdil fakt, že se nejvíce pozemními daty shoduje začátek a konec vegetačního období u datové sady MERIS MTCI. Nejvíce se pak liší hodnoty u datové sady MOD NDVI.

8.2.5 Shrnutí srovnání výsledků fenologických proměnných s pozemními daty

V předchozích kapitolách byly srovnány jednotlivé výsledky fenologických proměnných začátku, konce a délky vegetačního období s pozemními fenologickými daty ČHMÚ u vybraných lesních fenologických stanic. Zde byly nejdůležitější výsledky shrnuty.

Při porovnání jednotlivých srovnání s pozemními daty vychází nejlépe datová sada MERIS MTCI, kde se hodnoty od pozemních liší nejvíce u stanice Harrachov a to o 22 a 10 dní. Nejméně se pak liší u stanice Svoboda nad Úpou, kde to bylo o 0 a 5 dní. Nejhorší výsledky, co se týče poskytnutí začátku, konce a délky vegetačního období poskytuje datová sada MOD EVI. Rozměry rozdílu začátku a konce vegetačního období u fenologických stanic Harrachova, Holenic, Svobody nad Úpou a Machova bylo 68 a 39 dní (nejvíce u stanice Harrachov). U stanic Harrachov a Svoboda nad Úpou bylo provedeno srovnání směrnic regresních přímek v společném období datových sad 2001-2006. Hodnoty směrnic si téměř vůbec neodpovídaly, což mohlo být zapříčiněno malým časovým obdobím pouze šesti let. Ani hodnoty pozemních údajů za toto šestileté období neodpovídaly dlouhodobým trendům. Naopak při srovnání pozemních dat ČHMÚ s daty GIMMS ve společném období 1982-2006 u těchto dvou stanic vyšlo velmi dobře. U stanice Svoboda nad Úpou se směrnice shodovaly i v hodnotách téměř na desetiny. I u Harrachova došlo ke shodě, když u začátku vegetačního období vyšla u metod Gaussian a Logistic hodnoty lehce kladné oproti záporné u pozemních dat. U stanice Svobody nad Úpou se tak potvrdila shoda u směrnic regresních přímek vypočítaných už i v kapitole 7.2.4.

9. DISKUZE

Využití vegetačních indexů ke studiu časových změn vegetační fenologie se jeví jako užitečnou výzkumnou metodou v ekologických studiích při zkoumání globálních změn na planetě Zemi. Využití DPZ v této oblasti pak poskytuje prostorově i časově zajímavé informace, které pozemním pozorováním nejsme schopni určit.

Základním předpokladem těchto studií je především to, že rostliny jsou citlivé na změny klimatu a posuny jednotlivých ročních období, což se projevuje především v posunech a načasování jejich fenologických fází. Dávají jedny z nejpřesvědčivějších důkazů, které druhy a ekosystémy jsou nejvíce ovlivněny globální změnou životního prostředí. Vědci všech oborů se zajímají v různých měřítcích o posun fenologie, jako je dřívější nástup zeleně na zemském povrchu odhalený ze satelitních snímků. (CLELAND ... [et al.], 2007).

Oblast Evropy byla zkoumána ve studii IVITS ... [et al.], 2012, která se zabývala kombinací satelitně odvozené fenologie s klimatickými daty pro posouzení dopadů změn klimatu. Stejně jako u této předkládané práce zde byla využita data GIMMS NDVI. Na území Evropy byly vyhodnoceny nejvýraznější trendy. Např. severovýchodní Evropa prokázala trend ke dřívějšímu nástupu a delšímu vegetačnímu období a to zejména v severních baltských oblastech. I přes dřívější nástup zeleně vykazovaly rozlehlé oblasti Evropy poměrně stabilní délku sezóny naznačující posun celého vegetačního období do dřívější doby. Severní Středomoří naznačovalo vegetační posun směrem k pozdějším datům, zatímco v některých aglomeracích bylo vidět dřívější a kratší vegetační období. Výsledky ve formě přehledných map jsou na Obr. 8, kde lze vysledovat i trendy na území ČR. Především v jihozápadní části České republiky nevýraznější trend dříve začínajícího a delšího vegetačního období. Tyto trendy se však nachází i podle této studie i v severních Čechách. To samé platí i o posunu období do dřívější doby.

V této práci byla využita taktéž data GIMMS NDVI. U těchto dat vyšly nejvýraznější trendy především dřívější začátek a delší vegetační období v oblasti jihozápadních Čech. V oblasti severních Čech (Libereckého a Královéhradeckého kraje) převažuje také dřívější začátek, ale není to již tak výrazné jako ve zmíněné oblasti jihozápadních Čech. Trend konce vegetačního období nevyšel tak zjevně jako u začátku. Výsledná délka vegetačního období odráží obě předcházející proměnné, a celkově by se měla rozšiřovat. Nejvíce pak zase jako u začátku vegetačního období v oblasti jihozápadních Čech. V oblasti moravských úvalů, kde se nachází především zemědělská krajina, nedochází k takovému posunu v začátku vegetačního období, naopak převládá zde posun do pozdější doby. Lehké náznaky rozdílů mezi oblastmi lesními a zemědělskými tu jsou, ale nelze tyto trendy zobecnit. Z výsledků by šlo spíše říci, že vliv mohla mít zeměpisná délka, jelikož v západní oblasti došlo k výraznějším změnám než na východě. Celkové trendy datové sady GIMMS NDVI jsou tak potvrzeny výsledkami studie IVITS ... [et al.], 2012.

Odhadem meziroční vegetační fenologie ze srovnání globálních AVHRR datových měření a aplikací se zabírala studie MAIGNAN ... [et al.], 2008. I zde byla využita data

GIMMS. Výsledky odhadů nástupu vegetačního období v Evropě jsou vidět na Obr. 9, kde lze vyčíst, že medián nástupu vegetačního období je kolem 100. dne v roce. Z výsledků v kapitole 8.2 této práce jsou vidět začátky vegetačního období u jednotlivých fenologických stanic a zkoumaných datových sad. Začátek vegetačního období se i zde pohyboval okolo 100 dne, ale záleželo na určité datové sadě. Rozdíly u jednotlivých roků jsou pak řádově v dnech až desítkách dnů. Začátky vegetačního období vypočítané v této práci podle dat GIMMS vycházely v horských oblastech Harrachova, Svobody nad Úpou a Machova mezi lety 2001-2006 průměrně 88., 83. a 81. den od začátku roku a v níže položené oblasti Holenic pak v průměru 113. den v roce. Rozdíly v jednotlivých letech pak byly taktéž v řádech dnů až desítek dnů. Toto potvrzuje výsledky analýzy MAIGNAN ... [et al.], 2008, kde se hodnoty začátků pohybovaly v tomto rozmezí.

U kapitoly analýzy vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ byly velmi podrobně zkoumány problémy týkající se především dat DPZ, kde záleží na konkrétním prostorovém rozlišení a následně pokrytí krajinným pokryvem konkrétního pixelu. Zde byly hodnoceny jednotlivé pixely, kde bylo ke krajinnému pokryvu přihlédnuto. To zmiňuje i studie MAIGNAN ... [et al.], 2008. Podle ní existuje celá řada hypotéz a nejistot při porovnání pozemních fenologických pozorování pro daný druh vegetace s družicovými fenologickými odhady v rozlišení 8 km nebo větším. Zejména satelitní pozorování průměrují příspěvek od několika druhů. Srovnání metod prezentovaných ve studii MAIGNAN ... [et al.], 2008 je omezené, protože je obtížné získat pozemní pravdivá data. Nicméně výsledky ukazují, že existuje reálná míra shody mezi nástupem vegetačního období podle satelitních údajů a podle pozemních pozorování s ohledem na jejich meziroční změny. Tento problém byl v předkládané práci řešen využitím datových sad i s menším prostorovým rozlišením a vybráním pixelů pokrytých lesy, aby mohlo dojít k lepšímu porovnání s pozemními lesními fenologickými stanicemi. Ve studii MAIGNAN ... [et al.], 2008 bylo ještě zmíněno, že soulad mezi satelitními fenologickými produkty a pozemními pozorováními byl lepší pro vegetační nástup než pro stárnutí na konci vegetačního období. Jako příčina byla uváděna větší obtížnost pozorování začátku stárnutí listů než první nárůst listů, nebo větší variabilita v rámci druhů než na počátku vegetačního období. I v předkládané práci byl větší problém s určením konce vegetačního období. Hlavní problém tkví v určení konce vegetačního období u dat DPZ, kde konec byl často posunut až do začátku dalšího roku. U některých dat především pak dat MODIS, zasáhl konec vegetačního období do následujícího roku. Toto mohlo být zapříčiněno širším vegetačním obdobím z dat MODIS, což bylo zapříčiněno především stanovením hodnoty začátku a konce vegetačního období, kde podíl sezónní amplitudy měřené od levého a pravého minima hodnot byl nastaven na hodnotu 0.1.

K největší shodě trendů směrnic u jednotlivých datových sad došlo u fenologické stanice Svoboda nad Úpou. Shodovaly se zde kompletně všechny trendy u všech zkoumaných datových sad. Jak již bylo zmíněno výše, tato stanice obsahovala minimum změn krajinného pokryvu. Hodnoty směrnice regresní přímky byly u pozemních dat -0.47, 0.10 a 0.66 (začátek, konec a délka) a u nejvíce podobné jim byla metoda Savitzky-Golay dat GIMMS, kde hodnoty směrnic byly -0.59, 0.26 a 0.87. Naopak např. u stanice Machov ta samá metoda i data a ke

shodě došlo jen u začátku vegetačního období. Výsledky směrnice pozemních dat byly -0.22, 0.75 a 1.01 a u dat GIMMS metody Savitzky-Golay to bylo -0.30, -0.32 a -0.02.

Následuje zhodnocení předkládané práce z hlediska vytyčených cílů. Zhodnocení vývoje vegetační fenologie ve vybraných územích ČR se nachází v kapitole 7.1. Hledání závislostí vypočtených údajů fenologických proměnných a následných statistických ukazatelů z vegetačních indexů s fenologickými pozemními daty na území fenologických stanic bylo provedeno v kapitole 7.2. Srovnání průběhů jednotlivých vyhlazených křivek hodnot vegetačních indexů v průběhu let u vybraných fenologických stanic bylo provedeno v kapitole 8.1. Srovnání fenologických proměnných – začátku a konce vegetačního období – jednotlivých datových sad s pozemními fenologickými údaji bylo provedeno na závěr práce v kapitole 8.2. Detailní rozbor domácí a zahraniční literatury, zaobírající se využitím vegetačních indexů ke studiu časových změn vegetační fenologie, byl sepsán do kapitoly 3 jako využití DPZ ve vegetační fenologii.

Z pohledu kritického zhodnocení použité metodiky této práce, by bylo dobré získat pozemní údaje fenologických fází nejenom stromů, ale i pro ukázky některých bylin. Dalším problémem se jeví to, že souřadnice fenologických stanic nejsou přesné. Fenologická lesní stanice se totiž nachází na přibližně velikosti katastrálního území a jednotlivé zkoumané druhy jsou rozesety po tomto území. Pro zpřesnění údajů se do budoucna vyskytuje řešení obejít s pracovníkem stanice jednotlivé lokality výskytu jednotlivých druhů, zaměření lokalit pomocí GPS a zaznačení jaký druh v tomto území převládá. Následně by se mohla využít data DPZ s prostorovým rozlišením 250 m, která již jsou k dispozici.

Další aspektem je stanovení hodnoty začátku a konce vegetačního období. U nastavení podílu sezónní amplitudy měřené od levého a pravého minima hodnot by bylo vhodnější stanovit vyšší hodnotu než nastavenou 0.1 ale přibližně 0.2. Přeci jen do jednotlivých pixelů, oproti původním odhadům, vstupují i hodnoty ostatních druhů vegetace než jen stromů. Postup metodiky byl volen, co možná nejlépe z hlediska zkoumaného území. Jak již je zmíněno výše problémem může být hodnota začátku a konce vegetačního období u použité metody.

10. ZÁVĚR

Tato práce se zabývala tematikou vegetační fenologie, konkrétně pak využitím vegetačních indexů ve studiu časových změn vegetační fenologie. Za cíl měla zhodnocení vývoje vegetační fenologie ve vybraných územích ČR. Hlavními výzkumnými otázkami byly: Jak se změnil začátek, konec a délka vegetačního období v průběhu zkoumaného období? Lze porovnat údaje vegetačních indexů s daty pozemního měření fenologie? Dalším cílem práce bylo tedy hledání závislostí vypočtených údajů fenologických proměnných z vegetačních indexů s fenologickými pozemními daty. Práce seznamuje taktéž s literaturou zpracovanou na toto téma a i metodikou vyhlazení křivek vegetačních indexů a extrakcí jednotlivých fenologických proměnných.

V rešeršní části práce byl proveden detailní rozbor domácí i zahraniční literatury zaobírající se využitím vegetačních indexů ke studiu časových změn vegetační fenologie. Dále byla představena metodika přesné extrakce fenologických proměnných (počátek, konec a délka vegetačního období) ve zkoumané oblasti. Tímto byly splněny dva cíle této diplomové práce. Následoval jeden z hlavních cílů práce a to hodnocení vývoje vegetační fenologie ve vybraných územích ČR. Hlavními výzkumnými otázkami byly: Jak se změnil začátek, konec a délka vegetačního období v průběhu zkoumaného období. Výsledky analýzy vývoje vegetační fenologie na základě dat GIMMS NDVI v České republice vykazují trend posunu začátku vegetačního období k začátku roku nejvíce pak v oblasti jihozápadní Čech, ale i v Čechách severních. Naopak v oblasti Moravy je trend spíše opačný k pozdějšímu začátku. Trend u konce vegetačního období není již tak specifický, ale dle některých výsledků se jeví posun konce do pozdějšího období. Délka vegetačního období se odvíjí od předchozích proměnných a díky tomu se u těchto dat rozšířila. Hodnoty směrnice regresních přímků u začátku vegetačního období byly u metod Gaussian, Logistic a Savitzky-Golay -0.29 , -0.37 a -0.43 . Hodnoty směrnice regresních přímků u konce vegetačního období pak byly u stejných metod 0.19 , 0.26 a 0.23 . Délka vegetačního období u dat GIMMS měla směrnice 0.48 , 0.62 a 0.67 . Výsledky u pozemních fenologických dat se s touto datovou sadou shodují, kde směrnice pozemních dat byly -0.62 , 0.37 a 0.91 . U datové sady MCD LAI se shodují s výsledky směrnice z pozemních dat převážně trendy délky vegetačního období. Trendy začátku vegetačního období se v průměru shodují mnohem více (u všech datových sad kromě MCD) než u konce anebo délky.

Výsledky analýzy vegetačních dat DPZ s pozemními fenologickými daty ČHMÚ se odvíjí vždy podle konkrétní lesní fenologické stanice, kde záleží, jaký pixel byl zpracováván, jaký krajinný pokryv obsahoval, a jestli se tento pokryv ve zkoumaném období nezměnil. U stanic Holenice a Svobody nad Úpou poskytla nejvyšší shody datová sada GIMMS NDVI. Srovnatelné výsledky trendů regresní přímky poskytla datová sada MOD EVI. Zajímavé jsou pak výsledky u fenologické stanice Svobody nad Úpou, kde se shodovaly výsledky trendů směrnice u téměř všech datových sad. U stanice Svobody nad Úpou byla shoda trendu směrnice pozemními daty u všech datových sad velmi vysoká, nejvíce se shodovala metoda Savitzky-Golay dat GIMMS s korelačním koeficientem $0,9955$ a nejméně metoda Logistic u dat MOD

NDVI okolních pixelů s korelačním koeficientem 0.67. Hlavní roli ve shodě údajů může hrát krajinný pokryv zkoumaného území, kde se nacházejí smíšené lesy a nenastaly zde významné změny land coveru. Otázkou, jak jsou rozdílné výsledky ve vegetační fenologii dle jednotlivých druhů vegetačních indexů a datových sad, se zabývala kapitola 8.1. U vybraných lesních fenologických stanic bylo provedeno srovnání křivek průběhu vegetačních indexů v letech 2001 až 2006. Opět i zde záleželo na krajinném pokryvu obsahující jednotlivý zkoumaný pixel. Průběhy křivek jednotlivých vegetačních indexů a jejich datových sad jsou znázorněny v grafech. Průběhu pozemních fenologických dat odpovídají nejvíce u vybraných stanic křivky MCD LAI a MTCI MERIS. Při porovnání křivek NDVI sad GIMMS a MODIS lze vysledovat vztahy na základě krajinného pokryvu zkoumaného pixelu. U pixelu MODIS obsahující jehličnaté lesy je výrazně širší vegetační období a vyšší hodnoty v zimních měsících. Hledání závislostí vypočtených údajů fenologických proměnných z vegetačních indexů s fenologickými pozemními daty bylo další důležitou částí práce. Výsledky srovnání fenologických proměnných datových sad s pozemními daty ČHMÚ jsou zaznačeny v grafech, znázorňující jednotlivá vegetační období u různých datových sad. U vybraných fenologických stanic nejpřesnější výsledky vůči pozemním údajům měly datové sady MCD LAI, MERIS MTCI a pak následovaly i sada GIMMS NDVI. Horších výsledků pak dosáhly datové sady MODIS NDVI a EVI. Lze říci, že cíle práce uvedené v úvodu práce byly splněny.

Pro posouzení změn ve vegetační fenologii, konkrétně v začátku, konci a délce vegetačního období, byla na začátku práce zformulována hypotéza: „*Vegetační období se během posledních desetiletí rozšířilo, fenologické fáze začátku vegetačního období se posunuly do dřívější doby, naopak fenologické fáze konce vegetačního období začínají později v průběhu roku.*“ Na základě výsledků pozemních fenologických údajů tuto hypotézu mohu potvrdit. Na základě vegetačních dat DPZ to není již tak jednoznačné, i když u začátku a délky lze tuto hypotézu potvrdit, kde tyto výsledky převažovaly. Výsledky konce vegetačního období nedávají již tak jasné výsledky, zde by bylo potřeba ještě provést další šetření a lepší určení dat konců vegetačního období.

Význam této práce spočívá především ve srovnání výsledků z odvozených družicových dat s pozemními fenologickými údaji, které jsou na území České republiky k dispozici. Výsledky tohoto srovnání jsou uvedeny výše. Tento problém nebyl ve většině předchozích studií řešen, naopak byl zmíněn jako klíčový v posunutí problematiky zkoumání vegetační fenologie pomocí dálkového průzkumu Země. Další prohloubení této práce by bylo možné již v diskuzi zmíněném terénním průzkumem jednotlivých území. Především by bylo potřeba zpřesnění pozemních fenologických údajů. Zaměření lokalit výskytu jednotlivých druhů pomocí GPS. Následně by se mohla využít data DPZ s prostorovým rozlišením 250 m, která již jsou k dispozici.

POUŽITÁ LITERATURA

Publikace, online literatura

BECK, P. S.A. ... [et al.] (2006): Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 100, Issue 3, s. 321-334. K dispozici také elektronicky na WWW: <
http://pdn.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271745&_user=1490772&_pii=S0034425705003640&_check=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=2006-02-15&wchp=dGLzVlV-zSkzS&md5=fac0d2b770947955fd381774ee2c8bc0/1-s2.0-S0034425705003640-main.pdf>

BRADLEY, B. A. ... [et al.] (2007): A curve fitting procedure to derive inter-annual phenologies from time series of noisy satellite NDVI data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 106, Issue 2, s. 137-145. K dispozici také elektronicky na WWW: <
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6V6V-4M7K9YV-1-H&_cdi=5824&_user=1490772&_pii=S0034425706003014&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=01%2F30%2F2007&_sk=998939997&wchp=dGLzVz-zSkWb&md5=833a481a23364e8622d9527d5edc27ab&ie=/sdarticle.pdf>

BUYANTUYEV, A., WU, J. (2012): Urbanization diversifies land surface phenology in arid environments: Interactions among vegetation, climatic variation, and land use pattern in the Phoenix metropolitan region, USA. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 105, Issue 1-2, s. 149-159. K dispozici také elektronicky na WWW: <
http://ac.els-cdn.com/S0169204611003641/1-s2.0-S0169204611003641-main.pdf?_tid=db81bc03c93d3107a35ba9a38e9e3e9f&acdnat=1333361798_5c6a73f59ff4460fd462bc1451d0a0b9>

CHEN, X. ... [et al.] (2000): Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in Northern China. *Int J Biometeorol*. Vol. 44, No. 2, s. 97-101. K dispozici také elektronicky na WWW: <
<http://www.springerlink.com/content/daa1w3btfccgdj5p/fulltext.pdf>>

CHEN, J. ... [et al.] (2004): A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 91, Issues 3-4, s. 332 – 344. K dispozici také elektronicky na WWW: <
http://ac.els-cdn.com/S003442570400080X/1-s2.0-S003442570400080X-main.pdf?_tid=5b9cd43cf058e8b45e999665969031f9&acdnat=1339055283_a50d8870fa0ab37cf9fa3783aa38980c>

CLELAND, E. E. ... [et al.] (2007): Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 22, Issue 7, s. 357-365. K dispozici také elektronicky na WWW: <
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6VJ1-4NMKVB0-1-N&_cdi=6081&_user=1490772&_pii=S0169534707001309&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=07%2F31%2F2007&_sk=999779992&wchp=dGLzVlV-zSkWl&md5=0949425c8bdf0f81310823367db1db42&ie=/sdarticle.pdf>

CLEVELAND, R. B. ... [et al.] (1990): STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics*. Vol. 6, No. 1, s. 3 – 73. K dispozici také elektronicky na WWW: <
<http://www.jos.nu/Articles/article.asp>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2009): *Návod pro činnost fenologických stanic: Lesní rostliny. Metodický předpis č. 10*. Praha, 2009.

DASH, J., CURRAN, P. J. (2003): MTCI: Meris Terrestrial Chlorophyll Index. *Proc. MERIS User Workshop* [online]. November 10-13, 2003, Frascati, Italy, [cit. 2011-08-20]. K dispozici také elektronicky na WWW: <
<http://envisat.esa.int/cgi-bin/confmeris.pl?abstract=70>>

DASH, J., CURRAN, P. J. (2005a): Algorithm Theoretical Basic Document. *Proc. ATBD: Chlorophyll Index* [online]. 2005, Noordwijk, Netherlands, [cit. 2011-08-20]. K dispozici také elektronicky na WWW: <
http://envisat.esa.int/instruments/meris/atbd/atbd_2_22.pdf>

DASH, J., CURRAN, P. J. (2005b): Evaluation and applications of the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI) [elektronický zdroj]. MERIS/AATSR Workshop, 2005. K dispozici také elektronicky na WWW: <
<http://www.neodc.rl.ac.uk/?option=displaypage&Itemid=145&op=page&SubMenu=-1>>

DASH, J., JEGANATHAN, C., ATKINSON, P.M. (2010): To use of MERIS Terrestrial Chlorophyll Index to study spatio-temporal variation in vegetation menology over India. *Remote Sensing of Environment*. 2010, Vol. 114, s. 1388-1402. K dispozici také elektronicky na WWW:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V6V-4YPGJ1R-1-13&_cdi=5824&_user=1490772&_pii=S003442571000544&_origin=search&_coverDate=07%2F15%2F2010&_sk=998859992&view=c&wchp=dGLbVtb-zSkWA&_valck=1&md5=210cb31dc14ff8f16ba63d88b1046438&ie=/sdarticle.pdf>

DELBART, N. ... [et al.] (2006): Remote sensing of spring phenology in boreal regions: A free of snow-effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004). *Remote Sensing of Environment*. Vol. 101, Issue 1, s. 52-62. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://ac.els-cdn.com/S0034425705004074/1-s2.0-S0034425705004074-main.pdf?_tid=6a01292a798e57cdcb52fce71d4d1d4&acdnat=1333360780_57d553b59ee003db337f7f851dd26434>

DOBROVOLNÝ, P. (1998): *Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

DOSE, V., MENZEL, A. (2004): Bayesian analysis of climate change impacts in phenology. *Global Change Biology*. Vol. 10, Issues 2, s. 259-272. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1529-8817.2003.00731.x/full>>

DUCHEMIN, B., GOUBIER, J., COURRIER, G. (1999): Monitoring Phenological Key Stages and Cycle Duration of Temperate Deciduous Forest Ecosystems with NOAA/AVHRR Data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 67, s. 68-82. K dispozici také elektronicky na WWW: <ftp://ftp.ccrs.nrcan.gc.ca/ad/Phenology/PhenologyPapers/Duchemin_1999_NOAA_AVHRR_Phenological_Key_Stages.pdf>

DUNN, A. H., DE BEURS, K. M. (2011): Land surface phenology of North American mountain environments using moderate resolution imaging spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 115, Issue 5, s. 1220-1233. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://ac.els-cdn.com/S0034425711000186/1-s2.0-S0034425711000186-main.pdf?_tid=dcaf39c55c98425b2a6ecaa94779dffc&acdnat=1333361500_201ac18a824a8dc22c9b6fa18e03dc82>

EKLUNDH, L., JÖNSSON, P. (2009): *TIMESAT 3.0 Software Manual* [online]. Lund University, Sweden [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.nateko.lu.se/timesat/docs/timesat30_software_manual.pdf>

GANGULY, S. ... [et al.] (2010): Land surface phenology from MODIS: Characterization of the Collection 5 global land cover dynamics product. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 114, Issue 8, s. 1805-1816. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://ac.els-cdn.com/S0034425710001185/1-s2.0-S0034425710001185-main.pdf?_tid=1bd994fdacf67ca6c2f5616f26be2472&acdnat=1333361404_fedbc356275dc947c4b06bfef50b9a23>

GEERKEN, R. A. (2009): An algorithm to classify and monitor seasonal variations in vegetation phenologies and their inter-annual change. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 64, Issue 4, s. 422-431. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIamiImageURL&_cid=271826&_user=1490772&_pii=S0924271609000422&_check=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=2009-07-31&wchp=dGLzVBA-zSkz&md5=402c83c0cddda72d7de74a6be02c6a1/1-s2.0-S0924271609000422-main.pdf>

GUYON, D. ... [et al.] (2011): Monitoring elevation variations in leaf phenology of deciduous broadleaf forests from SPOT/VEGETATION time-series. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 115, Issue 2, s. 615-627. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://ac.els-cdn.com/S003442571000310X/1-s2.0-S003442571000310X-main.pdf?_tid=b93fbc3d16a4e3a95f487ab1d142a37&acdnat=1333360995_98055fff8ad19e21bf8b2053d4841e58>

HENDL, J. (2006): *Přehled statistických metod zpracování: analýza a metaanalýza dat*. 2. vyd. Praha: Portál, 2006. 583 s. ISBN 80-7367-123-9.

HUETE, A., JUSTICE, CH., VAN LEEUWEN, W. (1999): *MODIS Vegetation Index (MOD 13): Algorithm Theoretical Basis Document* [online]. Version 3. The University of Arizona, University of Virginia, April 30, 1999 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>

HIRD, J. N., McDERMID, G. J. (2009): Noise reduction of NDVI time series: An empirical comparison of selected techniques. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 113, Issue 1, s. 357-365. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V6V-4TVR2BF-1-W&_cdi=5824&_user=1490772&_pii=S0034425708002745&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=01%2F15%2F2009&_sk=998869998&wchp=dGLbVzW-zSkWW&md5=0700b684f6568b3e593a2a17b81c78eb&ie=/sdarticle.pdf>

HORION, S. ... [et al.] (2012): Studying interactions between climate variability and vegetation dynamic using a phenology based approach. *International Journal of Applied Earth Observation and*

Geoinformation. In Press. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0303243411002054/1-s2.0-S0303243411002054-main.pdf?_tid=a2774210405fba17876e4786811ac1eb&acdnat=1333361906_6a8f1c92467d6d654902431ec96e841e >

HUFKENS, K. ... [et al.] (2012): Linking near-surface and satellite remote sensing measurements of deciduous broadleaf forest phenology. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 117, s. 307-321. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0034425711003543/1-s2.0-S0034425711003543-main.pdf?_tid=a77588d0fe1be32ffe52c8a92b6988ab&acdnat=1333370116_34794bd3b11ef6b69106bf710c7a7e22 >

IVITS, E. ... [et al.] (2012): Combining satellite derived phenology with climate data for climate change impact assessment. *Global and Planetary Change*. In Press, Accepted Manuscript. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0921818112000562/1-s2.0-S0921818112000562-main.pdf?_tid=610076d2013446d268a9440957fa99f8&acdnat=1333370237_b90fd7e483fc4a7d5b5936a219fc0e6c >

JONES, M. O. ... [et al.] (2011): Satellite passive microwave remote sensing for monitoring global land surface phenology. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 115, Issue 4, s. 1102-1114. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S00344257110003615/1-s2.0-S00344257110003615-main.pdf?_tid=63ebd983efb740aea670dffede8c209a&acdnat=1333370000_954395f282511a7c5ff84fd663315cb7 >

JÖNSSON, A. M., EKLUNDH (2002): Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-Series of Satellite Sensor Data. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 40, No. 8, s. 1824-1832. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://gis.uml.edu/abrown2/ca/greenup/timesat/IEEE_TGRS_timesat.pdf >

JÖNSSON, P., EKLUNDH, L. (2004): TIMESAT - a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers and Geosciences*. Vol. 30, s. 833 – 845. K dispozici také elektronicky na WWW: < <http://www.nateko.lu.se/personal/Lars.Eklundh/Institutionssida/compgeosci.pdf> >

JÖNSSON, A. M. ... [et al.] (2010): Annual changes in MODIS vegetation indices of Swedish coniferous forests in relation to snow dynamics and tree phenology. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 114, Issue 11, s. 2719-2730. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6V6V-50J3D71-2-13&_cdi=5824&_user=1490772&_pii=S0034425710001951&_origin=search&_coverDate=11%2F15%2F2010&_sk=998859988&view=c&wchp=dGLzVtb-zSkWb&md5=613e1cf71f3b839868b57355724d0f1d&ie=/sdarticle.pdf >

KANG, S. ... [et al.] (2003): A regional phenology model for detecting onset of greenness in temperate mixed forests, Korea: an application of MODIS leaf area index. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 86, Issue 2, s. 232-242. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6V6V-48S4T1S-3-R&_cdi=5824&_user=1490772&_pii=S0034425703001032&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=07%2F30%2F2003&_sk=999139997&wchp=dGLbVtb-zSkzS&md5=df501b55ec9e1a3cad524dc73bc1b90b&ie=/sdarticle.pdf >

KARLSEN, S. R. ... [et al.] (2007): Variability of the start of the growing season in Fennoscandia, 1982–2002. *Int J Biometeorol*. Vol. 51, s. 513-524. K dispozici také elektronicky na WWW: < <http://www.springerlink.com/content/6056qh227111467r/fulltext.pdf> >

KARLSEN, S. R. ... [et al.] (2008): MODIS-NDVI-based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 10, Issue 3, s. 253-266. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0303243407000621/1-s2.0-S0303243407000621-main.pdf?_tid=e96d0d0accf826f6bd2d491b9f6b7842&acdnat=1333613513_ce561402ea7e085d9685f05b717324a2 >

KNYAZIKHIN, Y. ... [et al.] (1999): *MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15) Algorithm Theoretical Basis Document* [online]. Version 4.00. April 30 1999 [cit. 2012-05-05]. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod15.pdf >

KOLÁŘ, J. (1989): *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha: SNTL. 170 s. ISBN 80-03-00517-5.
KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (2000): *Dálkový průzkum Země 10*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT. 164 s. ISBN 80-01-01567-X.

LIANG, L., SCHWARTZ, M. D., SONGLIN, F. (2011): Validating satellite phenology through intensive ground observation and landscape scaling in a mixed seasonal forest. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 115, Issue 1, s. 143-157. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0034425710002531/1-s2.0-S0034425710002531-main.pdf?_tid=dc2e4d32a86d26738e7f708443262fb7&acdnat=1333369886_51f9ba5ac04dfed525b3f961b87ed3d5>

MA, M., VEROUSTRAETE, F. (2005): Reconstructing pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the Northwest of China. *Advances in Space Research*. Vol. 37, Issues 4, s. 835-840. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0273117705010331/1-s2.0-S0273117705010331-main.pdf?_tid=9bf1796dd9a4e486b5fce106208fd59a&acdnat=1339055886_0bd70b231e648fd9d78214c7290d5ff8>

MAIGNAN, F. ... [et al.] (2008): Interannual vegetation phenology estimates from global AVHRR measurements Comparison with in situ data and applications. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 112, Issue 2, s. 496-505. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271745&_user=1490772&_pii=S0034425707002143&_chec k=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=2008-02-15&wchp=dGLzVBA-zSkzS&md5=1918f97c030fe19e476c90c8184cc09f/1-s2.0-S0034425707002143-main.pdf>

MODIS Overview. *LP DAAC :: ASTER and MODIS Land Data Products and Services* [online]. U.S. Geological Survey, 2008, October 20, 2008 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z WWW: <https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_overview>

MODIS Products Table. *LP DAAC :: ASTER and MODIS Land Data Products and Services* [online]. U.S. Geological Survey, 2009, March 18, 2009 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z WWW: <https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table>
NERC Earth Observation Data Centre [online]. 2011 [cit. 2011-08-25]. MERIS Terrestrial Chlorophyll Index. Dostupné z WWW: <<http://www.neodc.rl.ac.uk/?option=displaypage&Itemid=145&op=page&SubMenu=-1>>.

MOULIN, S. ... [et al.] (1997): Global-scale assessment of vegetation phenology using NOAA AVHRR satellite measurements. *Journal of Climate*. Vol. 10, s. 1054 – 1170. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442%281997%29010%3C1154%3AGSAOVP%3E2.0.CO%3B2>>

MYNENI, R. ... [et al.] (2003): *User's Guide FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day Composite NASA MODIS Land Algorithm* [online]. 9/10/2003. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <<http://cybele.bu.edu/modismisr/products/modis/userguide.pdf>>

Národní geoportál INSPIRE [online]. Copywrite CENIA, 2010-2012, [cit. 2012-21-7]. Dostupné z WWW:<<http://geoportal.gov.cz>>

PAN, Y. ... [et al.] (2012): Characterizing Spatial Patterns of Phenology in Cropland of China Based on Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 119, s. 232-242. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S1671292709600730/1-s2.0-S1671292709600730-main.pdf?_tid=90b5621c56aa54c277151e185e6e9d75&acdnat=1333370285_cacb949b3242ac90449585a56f9d7566>

PINZON, J. E., BROWN, M. E., TUCKER, C. J. (2007): Product Guide, Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) AVHRR 8km. [cit. 2010-04-05]. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://glcf.umiacs.umd.edu/library/guide/GIMMSdocumentation_NDVlg_GLCF.pdf>.

RangeView : Remote Sensing Applications for Range Management [online]. 2005 [cit. 2009-12-22]. Remote Sensing of Vegetation. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://rangeview.arizona.edu/tutorials/intro.asp>>.

REED, B. C. ... [et al.] (1994): Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*. Issue 5, s. 703-714. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/3235884/pdf>>

RYBSKI, D., HOLSTEN, A., KROPP, J. P. ... [et al.] (2003): Towards a unified characterization of phenological phases: Fluctuations and correlations with temperature. *Physica A*. Vol. 390, Issue 4, s. 680-688. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TVG-51C4RSR-2&_user=1490772&_coverDate=02%2F15%2F2011&_alid=1705940238&_rdoc=8&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5534&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=4859&_acct=C000053052&_version=1&_urlVersi on=0&_userid=1490772&md5=d91a55f3a44ae09b0efef568e4d57d7b&searchtype=a>

SAKAMOTO, T. ... [et al.] (2005): A crop phenology detection method using time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 96, Issue 3-4, s. 366-374. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6V-4GFNG6S-1&_user=1490772&_coverDate=06%2F30%2F2005&_alid=1705918894&_rdoc=2&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslist_item&_cdi=5824&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=964&_acct=C000053052&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1490772&md5=9176b5607c4117426dfda1d449902de5&searchtype=a>

SCHLEIP, CH. ... [et al.] (2006): The use of Bayesian analysis to detect recent changes in phenological events throughout the year. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 141, Issues 1-2, s. 179-191. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6V8W-4MBCB85-1-1&_cdi=5881&_user=1490772&_pii=S0168192306002838&_origin=search&_coverDate=12%2F20%2F2006&_sk=998589997&view=c&wchp=dGLzVtb-zSkzV&md5=da250515c08607bcd23ec9f96d7633b1&ie=/sdarticle.pdf>

SOLANO, R. ... [et al.] (2010): *MODIS Vegetation Index User's Guide: (MOD13 Series)* [online]. Version 2.00, (Collection 5). The University of Arizona: Vegetation Index and Phenology Lab, May 2010 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://vip.arizona.edu/MODIS_Project.php>

TAO, F. ... [et al.] (2006): Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 138, Issue 1-4, s. 82-92. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V8W-4JX9V3Y-2&_user=1490772&_origUdi=B6V8W-4SD1KHF-1&_fmt=high&_coverDate=08%2F29%2F2006&_rdoc=1&_orig=article&_origin=article&_zone=related_art&_acct=C000053052&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1490772&md5=a04ffcd96132a9e09dfaec2486791912>

VERBESSELT, J. ... [et al.] (2010): Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 114, Issue 12, s. 2970-2980. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6V6V-50X9SD7-3-Y&_cdi=5824&_user=1490772&_pii=S0034425710002336&_origin=search&_coverDate=12%2F15%2F2010&_sk=998859987&view=c&wchp=dGLbVzz-zSkzk&md5=e0eec57c5a2671d8efc53b2ee7bbe4d6&ie=/sdarticle.pdf>

WALKER, J. J. ... [et al.] (2012): Evaluation of Landsat and MODIS data fusion products for analysis of dryland forest phenology. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 117, s. 357-365. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0034425711003622/1-s2.0-S0034425711003622-main.pdf?_tid=cbb601fb2e61826ff410e162e93f881f&acdnat=1333361970_87d724c30a9ac3490eee00ed17c60c7c>

WANG, H. L. ... [et al.] (2008): Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 148, Issue 8-9, s. 1242-1251. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V8W-4SD1KHF-1&_user=1490772&_coverDate=07%2F04%2F2008&_alid=1705940238&_rdoc=5&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslist_item&_cdi=5881&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=4859&_acct=C000053052&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1490772&md5=70fa882b074e154dd8730564b052ff64&searchtype=a>

WHITE, M. A. ... [et al.] (2009): Intercomparison, interpretation, and assessment of spring phenology in North America estimated from remote sensing for 1982–2006. *Global Change Biology*. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://secure.ntsg.umt.edu/publications/2009/WDDIRJOZNVBDSLDBKSBL09/White%20GCB%202009.pdf>>

WHITE, A. W., THORNTON, P. E., RUNNING, S. W. (1997): A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 11, No. 2, s. 217-234. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://research.eeescience.utoledo.edu/lees/papers_PDF/White_1997_GBC.pdf>

WU, W. ... [et al.] (2010): Characterizing Spatial Patterns of Phenology in Cropland of China Based on Remotely Sensed Data. *Agricultural Sciences in China*. Vol. 9, Issue 1, s. 101-112. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S1671292709600730/1-s2.0-S1671292709600730-main.pdf?_tid=90b5621c56aa54c277151e185e6e9d75&acdnat=1333370285_cacb949b3242ac90449585a56f9d7566>

XIAO, X. ... [et al.] (2006): Detecting leaf phenology of seasonally moist tropical forests in South America with multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 103, Issue 4, s. 465-473. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://ac.els-cdn.com/S0034425706001611/1-s2.0-S0034425706001611-main.pdf?_tid=b3367d95e73773dd332609aaedddde20&acdnat=1333369769_a3d976d3dd5e8352c17458f3315ad2bd>

XIN, J. ... [et al.] (2002): Mapping crop key phenological stages in the North China Plain using NOAA time series images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 4, Issue 2, s. 109-117. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6X2F-46FPT5Y-1&_user=1490772&_coverDate=11%2F30%2F2002&_alid=1705918894&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=7269&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=964&_acct=C000053052&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1490772&md5=5c335e9dcbf17ffb0d6223238a283d97&searchtype=a>

ZHANG, B. A. ... [et al.] (2003): Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 84, Issue 3, s. 471-475. K dispozici také elektronicky na WWW: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6V6V-478RS7T-1-G&_cdi=5824&_user=1490772&_pii=S0034425702001359&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=03%2F31%2F2003&_sk=999159996&wchp=dGLbVzz-zSkWW&md5=1f43dc05e5f580baa9605026aae15326&ie=/sdarticle.pdf>

Datové sady

REESE, H. ... [et al.] (2007): *MERIS Terrestrial Chlorophyll Index: UK Multi-Mission Product Archive Facility (UK-MM-PAF)/Infoterra Ltd (MTCI) Data* [online]. NERC Earth Observation Data Centre, 2007, [cit. 2009-08-22]. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://badc.nerc.ac.uk/view/neodc.nerc.ac.uk__ATOM__dataent_11750994700119761>

TUCKER, C. J., PINZON, J. E., BROWN, M. E. (2004): *Global Inventory Modeling and Mapping Studies* [online]. 2.0. College Park (Maryland): Global Land Cover Facility (University of Maryland), 2004, [cit. 2009-10-23]. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/>>.

Národní geoportál INSPIRE [online]. Copywrite CENIA, 2010-2012, [cit. 2012-21-7]. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.gov.cz>>

NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). 2001. *MCD15A3 - Leaf Area Index - Fraction of Photosynthetically Active Radiation 4-Day L4 Global 1km*. Sioux Falls, South Dakota: USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2001, November 10 2011 [cit. 2012-05-18]. K dispozici také elektronicky na WWW: <https://lpdaac.usgs.gov/get_data/data_pool>

NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). 2001. *MOD13A2 - Leaf Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km*. Sioux Falls, South Dakota: USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2001, November 10 2011 [cit. 2012-05-18]. K dispozici také elektronicky na WWW: <https://lpdaac.usgs.gov/get_data/data_pool>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2012): *Data lesních fenologických stanic: Lesní rostliny. Liberecký a Královéhradecký kraj 1982-2011*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012.

SEZNAM TABULKOVÝCH A GRAFICKÝCH PŘÍLOH

Tabulkové přílohy

Tab. 1	Hodnoty NDVI a MTCI pro Obr. 3	14
Tab. 2	Časové změny zařízení pro datovou sadu GIMMS	35
Tab. 3	Data v datové sadě MOD13 Series	39
Tab. 4	Data v datové sadě MOD15 Series	40
Tab. 5	Techniky pro redukci šumu vybraných pro empirické srovnání podle HIRD, McDERMID, 2009	47
Tab. 6	Veličiny časových řad NDVI.....	48
Tab. 7	Statistické ukazatele pozemních fenologických stanic	74
Tab. 8	Průměrná směrnice regresní přímky za jednotlivé datové sady.....	75
Tab. 9	Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ - Harrachov.....	77
Tab. 10	Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých dat. sad - Harrachov	79
Tab. 11	Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ - Holenice	81
Tab. 12	Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad - Holenice.....	82
Tab. 13	Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ – Frýdlant Větrov	84
Tab. 14	Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad – Frýdlant.....	85
Tab. 15	Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ – Svoboda nad Úpou	86
Tab. 16	Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad - Svoboda	87
Tab. 17	Směrnice regresní přímky – pozemní fenologická data ČHMÚ – Machov.....	89
Tab. 18	Hodnoty směrnice reg. přímky a rozdíl od mediánu u jednotlivých datových sad - Machov	90
Tab. 19	Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Harrachov	94
Tab. 20	Hodnoty směrnice reg. přímky u datových sad v období 2001-2006 - Harrachov	94
Tab. 21	Hodnoty směrnice reg. přímky u dat ČHMÚ a GIMMS v období 1982-2006 - Harrachov	95
Tab. 22	Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Holenice.....	95
Tab. 23	Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Svoboda nad Úpou.....	96
Tab. 24	Hodnoty směrnice reg. přímky u datových sad v období 2001-2006 – Svoboda nad Úpou	97
Tab. 25	Hodnoty směrnice reg. přímky u dat ČHMÚ a GIMMS v období 1982-2006 - Svoboda	97
Tab. 26	Srovnání fenologických proměnných datových sad 2001-2006 Machov	98

Obrázkové přílohy

Obr. 1	Spektrální odrazivost vegetace v oblasti viditelného a IČ záření	11
Obr. 2	Spektrální odrazivost vegetace s různými obsahy chlorofylu a umístění spektrálních pásem 8, 9 a 10	13
Obr. 3	MERIS snímky vegetačních indexů NDVI a MTCI.....	14
Obr. 4	Vztah LAI a NDVI	15

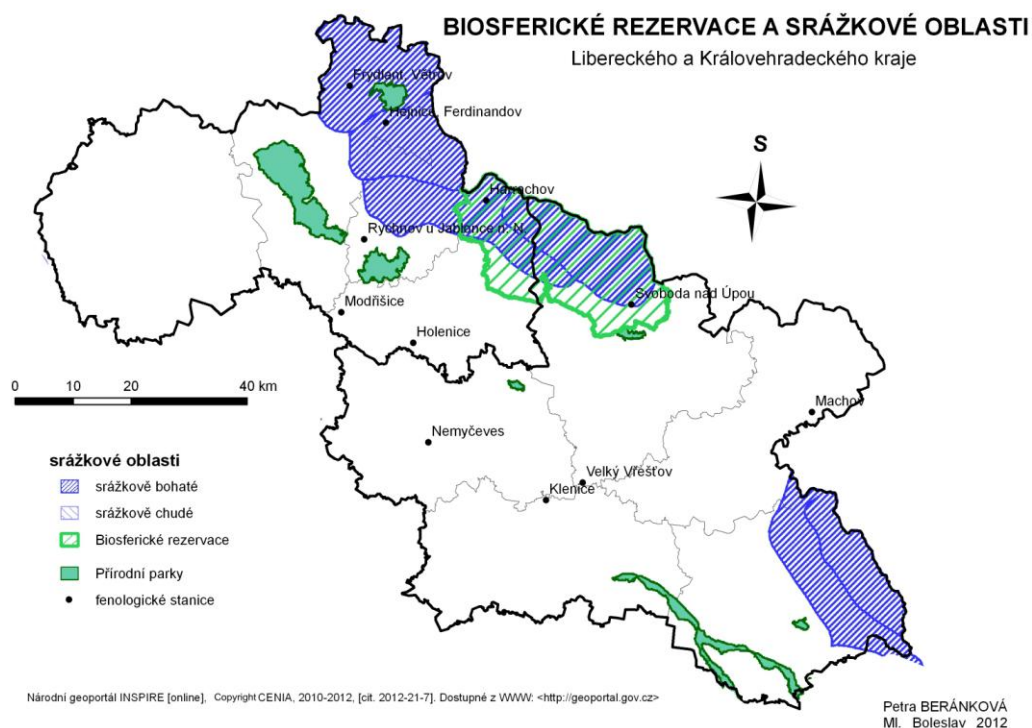
Obr. 5	Data NDVI s šumem a vyhlazená v letech 1989-1992	17
Obr. 6	Satelitně odvozené roční kolísání průměrné hodnoty NDVI na rovině HHH	19
Obr. 7	Zorné pole digitální kamery regionů zájmů.....	23
Obr. 8	Prostorová distribuce kombinací fenologických trendů v období 1982-2006	24
Obr. 9	Anomálie odhadů nástupu vegetačního období v celé Evropě v letech 1982-1999.....	27
Obr. 10	(a) datum, kdy je průměrná teplota (1960-1991) vyšší než 5°C na jaře, (b) byla pod 5°C na podzim (c) začátek vegetačního období, (d) konec vegetačního období průměr hodnot GIMMS NDVI v období 1982-2002	28
Obr. 11	Anomálie v načasování nástupu zeleně a délkou vegetačního období pro rok 2002 vzhledem k průměru mezi lety 2001 až 2006.....	30
Obr. 12	MTCI v Evropě v období 2.6. – 9.6. 2002.....	37
Obr. 13	MODIS sinusový mřížkový systém.....	38
Obr. 14	Lesní fenologické stanice ČHMÚ v Liber. a Královéhrad. kraji.....	44
Obr. 15	Extrakce začátku a konce vegetačního období	45
Obr. 16	Vývojový diagram procesu fenologické extrakce.....	46
Obr. 17	Vliv změn parametrů na lokální funkci	52
Obr. 18	Parametry dvojité logistické funkce	52
Obr. 19	Sloučení lokálních funkcí do globální modelové funkce.....	53
Obr. 20	Extrahované sezónní parametry.....	54
Obr. 21	Přehled zpracování dat v TIMESAT	56
Obr. 22	Údaje vegetační indexů v obrazech a časová řada.....	57
Obr. 23	TIMESAT menu	58
Obr. 24	TSM_IMAGEVIEW s načtenými daty MTCI MERIS	59
Obr. 25	TSM_GUI ukazující časovou řadu dat MTCI MERIS, řádek 158, sloupec 345	60
Obr. 26	TSF_process	61
Obr. 27	Data GIMMS – posun začátku a konce vegetačního období	67
Obr. 28	Data MODIS NDVI – posun začátku a konce vegetačního období.....	69
Obr. 29	Data MODIS EVI – posun začátku a konce vegetačního období	71
Obr. 30	Data MODIS MCD LAI – posun začátku a konce vegetačního období.....	72
Obr. 31	Data MERIS MTCI – posun začátku a konce vegetačního období	73
Obr. 32	Ortofotomapa fenologické stanice Harrachov	77
Obr. 33	Ortofotomapa fenologické stanice Holenice.....	80
Obr. 34	Ortofotomapa fen. stanice Frýdlant Větrov	83
Obr. 35	Ortofotomapa fen. stanice Svoboda nad Úpou	86
Obr. 36	Ortofotomapa fen. stanice Machov.....	88

Grafické přílohy

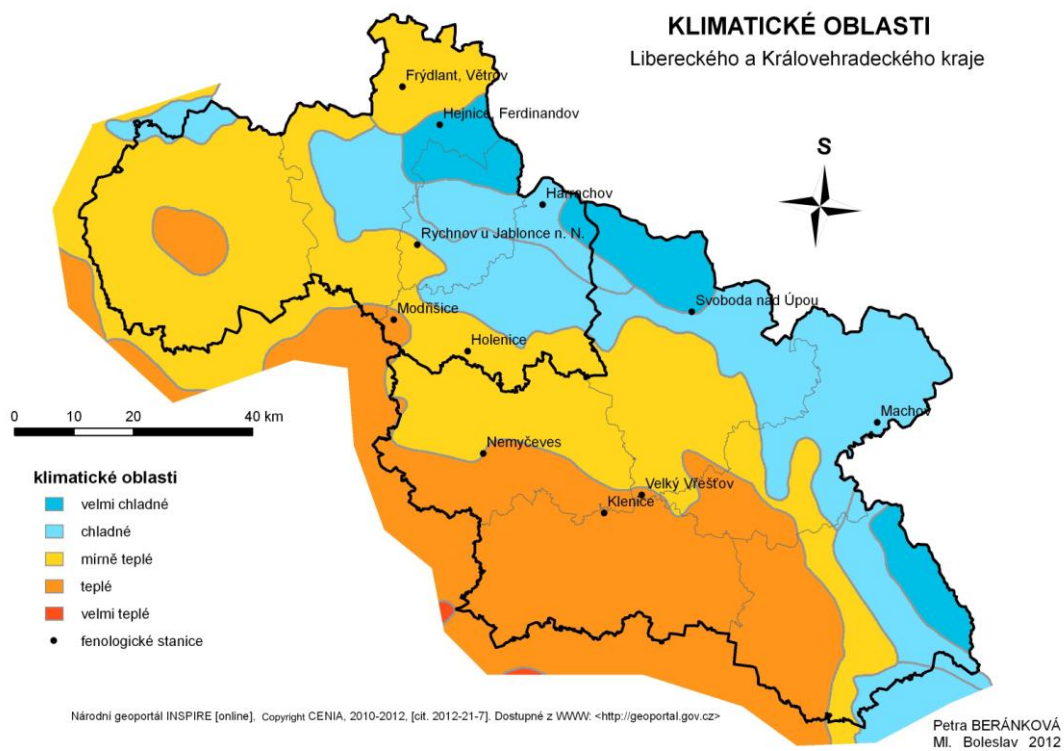
Graf 1	Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Harrachov	78
Graf 2	Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Holenice.....	81
Graf 3	Průběh fen. fází – bříza bělokorá – Frýdlant Větrov	84
Graf 4	Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Svoboda n. Ú.	87
Graf 5	Průběh fenologických fází – bříza bělokorá - Machov	89
Graf 6	Znázornění vegetačního období 2005 – Harrachov	94
Graf 7	Znázornění vegetačního období 2005 – Holenice	96
Graf 8	Znázornění vegetačního období 2005 – Svoboda nad Úpou	97
Graf 9	Znázornění vegetačního období 2005 – Machov.....	98

PŘÍLOHY

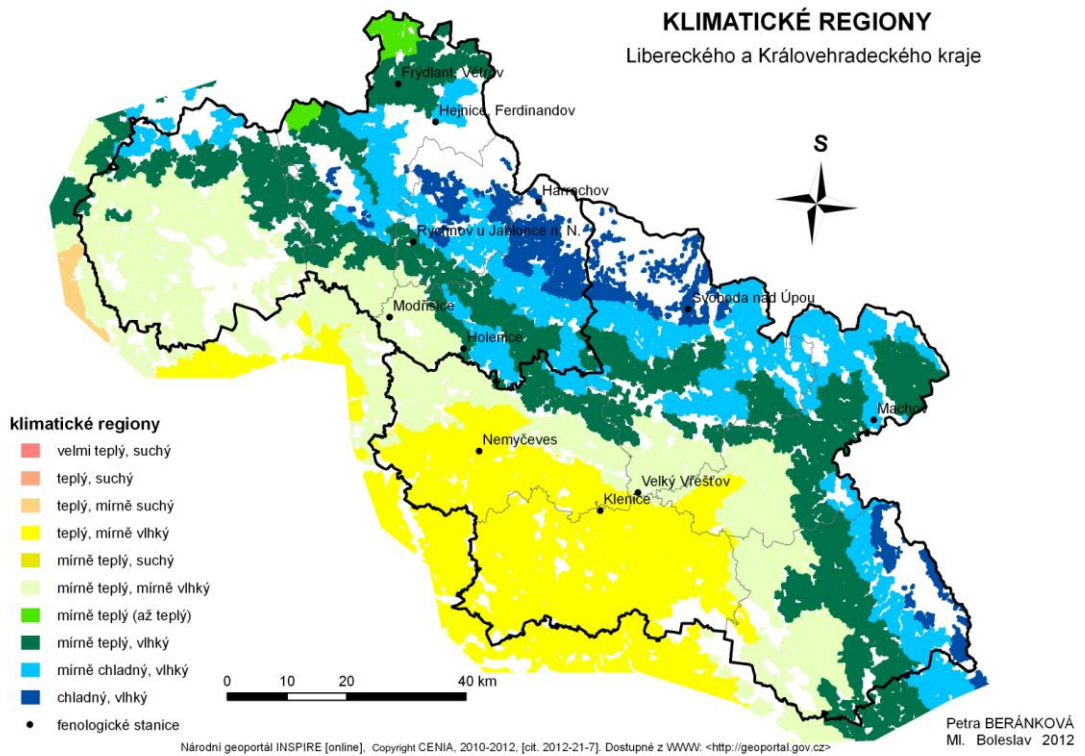
Příloha č. 1: Biosferické rezervace a srážkové oblasti



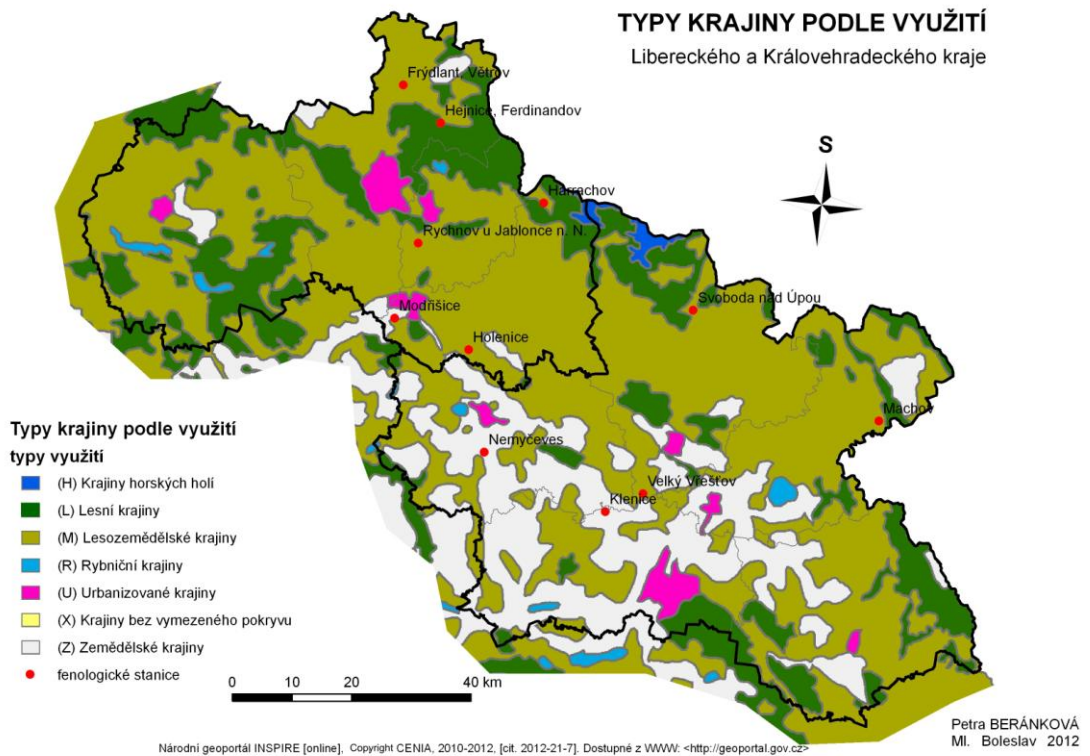
Příloha č. 2: Klimatické oblasti



Příloha č. 3: Klimatické regiony



Příloha č. 4: Typy krajiny podle využití



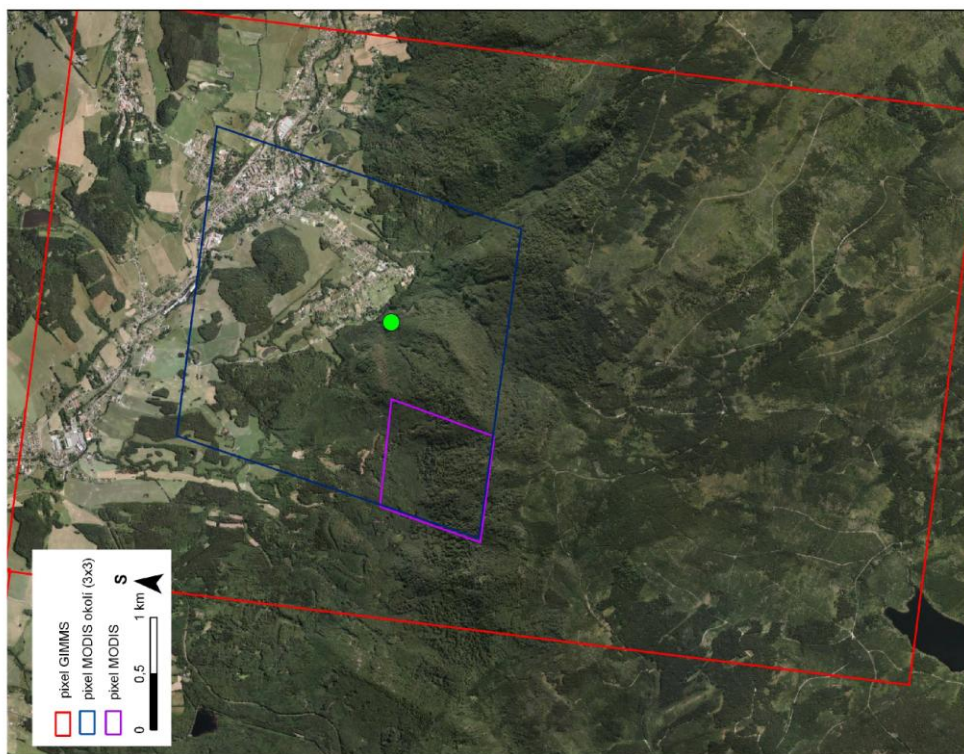
Příloha č. 5: Lesní fenologická data poskytnutá ČHMÚ

		bez černý	bříza bělokorá	buk lesní	dub letní	habr obecný	hloh obecný	javor klen	javor mlč	jeřáb ptačí	lípa srdčitá	líška obecná	modřín opadavý	olše lepkavá	vrba jíva
Frýdlant, Větrov	82-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	97-11	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet
Harrachov	82-88	-	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	-	-	-	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50	PL10, PL50, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100
	92-11	98-11 komplet	komplet	komplet	-	-	-	komplet	komplet	komplet	komplet	98-11 komplet	komplet	komplet	komplet
Hejnice, Ferdinandov	82-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	92-96	PL10, PL50, PL100, OL10, OL100	PL10, PL50, PL100, OL10, OL100	komplet	komplet	PL10, PL50, PL100, OL10, OL100	-	komplet	PL10, PL50, PL100, OL10, OL100	PL10, PL50, PL100, OL10, OL100	PL10, PL50, PL100, OL10, OL100	komplet	PL10, PL50, PL100, OL10, OL100	komplet	komplet
Holenice	82-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	92-11	komplet	komplet	00-11 komplet	komplet	99-11 komplet	98-11 komplet	komplet	-	komplet	komplet	93 - 11 komplet	-	komplet	komplet
Klenice	82-90	PL10, PL50	PL10, PL50, OL10, OL100	-	-	-	PL10, PL50	-	-	*83 PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50	PL10, PL50, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100
	92-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Machov	82-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	92-11	95-11 komplet	95-11 komplet	komplet	-	komplet	komplet	komplet	-	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet
Modřišice	82-90	PL10, PL50	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	-	PL10, PL50	mimo 83, 84 a 89 PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50	PL10, PL50, OL100	82-89 PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100
	92-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nemyčevs	82-89	82-90 PL10, PL50	PL10, PL50, OL10, OL100	-	-	-	PL10, PL50	-	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50	-	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100
	92-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rychnov u Jablonce n. N.	82-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	92-01	komplet	komplet	komplet	komplet	-	-	komplet	-	komplet	-	-	komplet	-	-
Svoboda nad Úpou	82-90	PL10, PL50	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	-	PL10, PL50	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50	PL10, PL50, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100	PL10, PL50, OL10, OL100
	92-11	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet
Velký Vřešův	82-91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	92-01	91 - 01 komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet	komplet

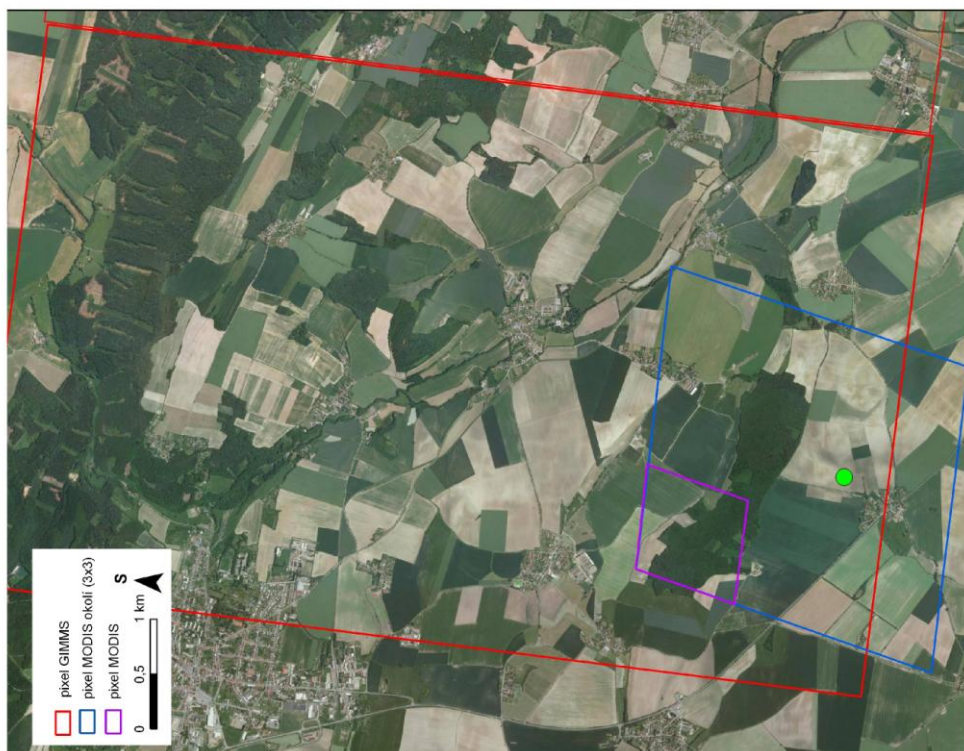
PL10, PL50, PL100, LX, OL10, OL100 - komplet

Příloha č. 6: Ortofoto jednotlivých fenologických stanic

HEJNICE - FERDINANDOV
ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice

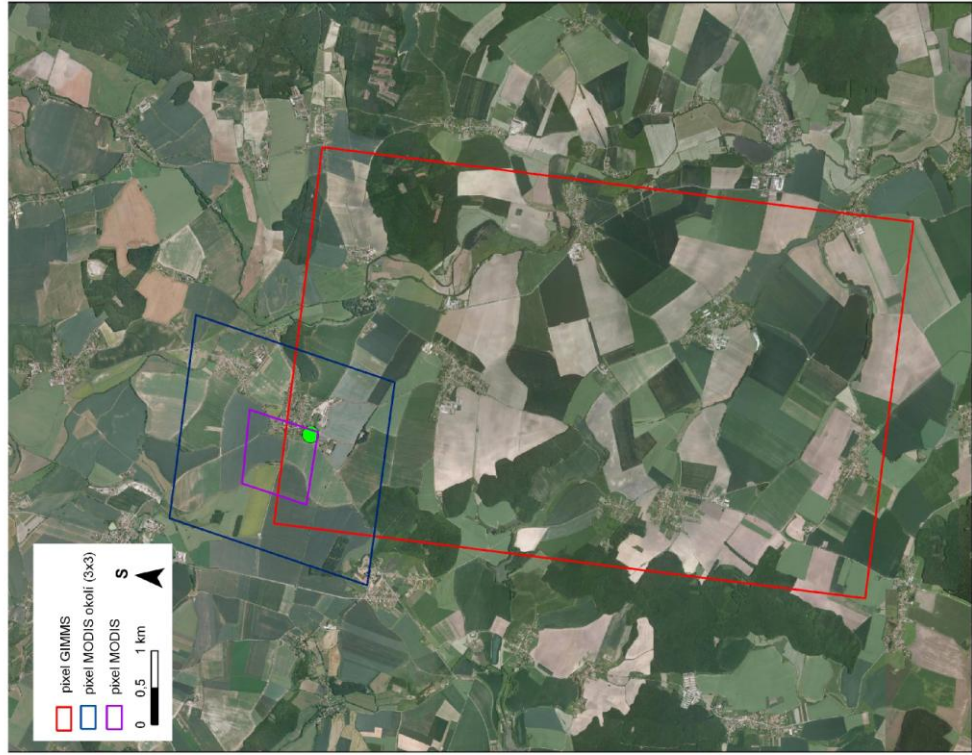


KLENICE
ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



NEMYČEVES

ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



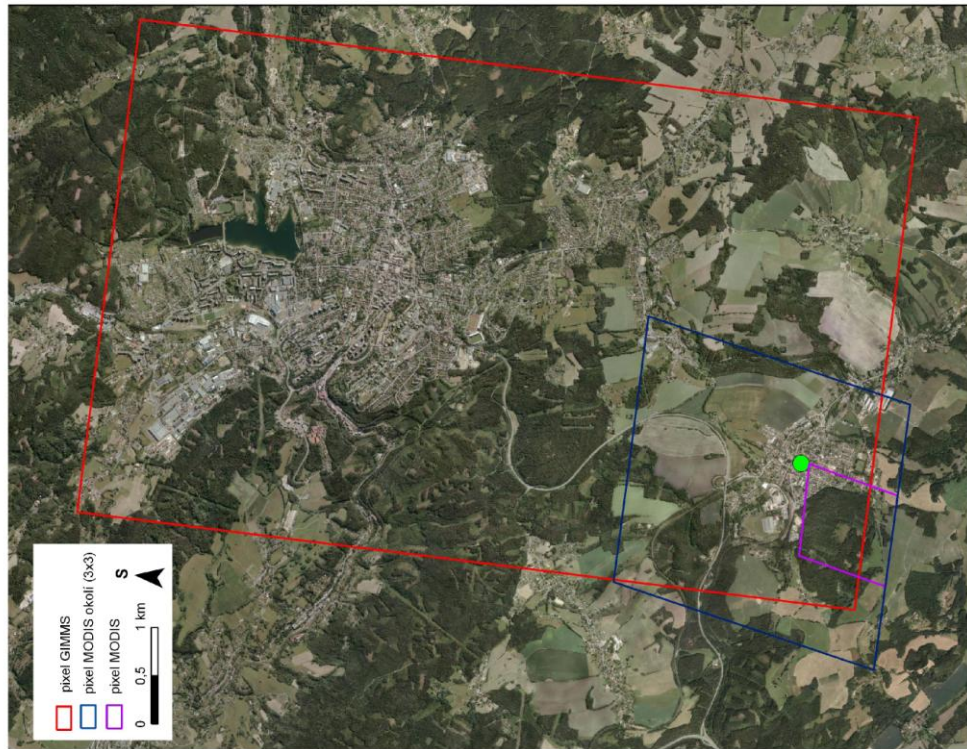
MODŘIŠICE

ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



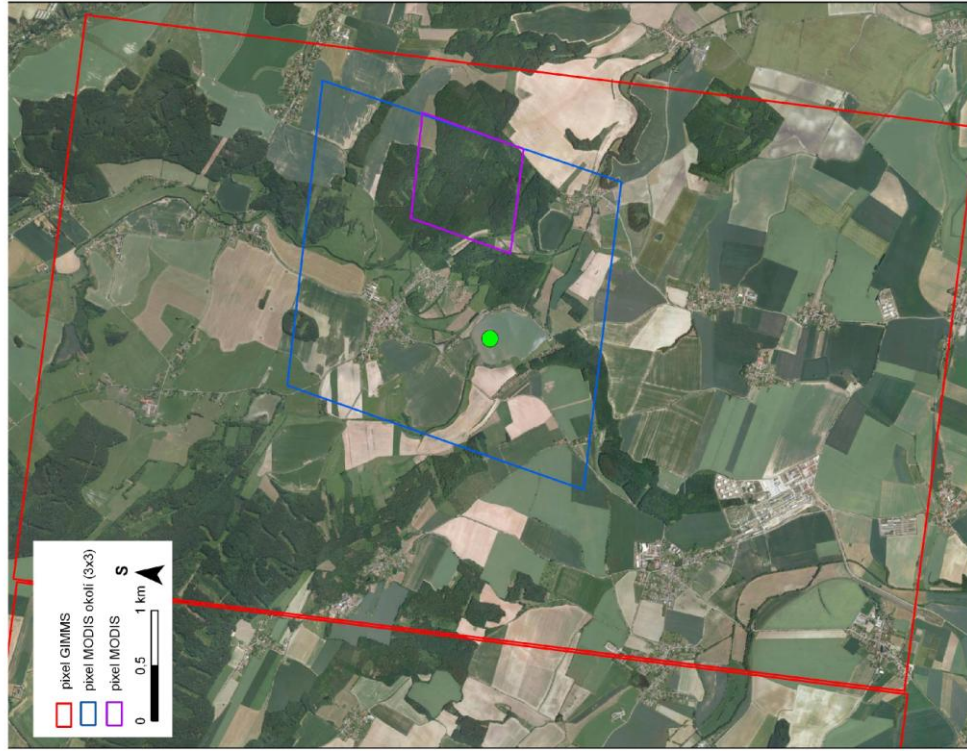
RYCHOV U JABLONCE n. N.

ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



VELKÝ VŘEŠŤOV

ortofotomapa oblasti lesní fenologické stanice



Příloha č. 7: Hodnoty nastavení u jednotlivých vyhlazovacích metod

		NDVI - GIMMS			MTCI - MERIS			MODIS - LAI			MODIS - NDVI a EVI		
		<i>Gaussian</i>	<i>Logistic</i>	<i>Savitzky-Golay</i>	<i>Gaussian</i>	<i>Logistic</i>	<i>Savitzky-Golay</i>	<i>Gaussian</i>	<i>Logistic</i>	<i>Savitzky-Golay</i>	<i>Gaussian</i>	<i>Logistic</i>	<i>Savitzky-Golay</i>
Data Plotting	<i>Method</i>												
Common settings	<i>Data range</i>	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000	-10000
	<i>Amplitude value</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Spike method</i>	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original	3.STL*original
	<i>Number</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Class-specific settings	<i>Seasonal par.</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	<i>No. of envelope iterations</i>	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
	<i>Adaptation strength</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	<i>Force minimum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Savitzky-Golay window size</i>	-	-	6	-	-	13	-	-	23	-	-	6
	<i>Start of season method</i>	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude	1: amplitude
	<i>Season start</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	<i>Season stop</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Příloha č. 8: Příložené CD

Příloha č. 9: Srovnání vegetačních indexů datových sad 2001-2006 Harrachov, Holenice, Svoboda nad Úpou, Machov

