

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza časového vývoje světelného znečištění České republiky v posledních dvaceti letech prostřednictvím satelitních dat

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

Autor diplomové práce: Bc. Jakub Sokolík

České Budějovice, 2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Fakulta zemědělská  
Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub SOKOLÍK**  
Osobní číslo: **Z13626**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Agroekologie**  
Název tématu: **Analýza časového vývoje světelného znečištění České republiky v posledních dvaceti letech prostřednictvím satelitních dat**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Světelné znečištění představuje významný ekologický, nicméně často opomíjený problém. Náplní diplomové práce bude analyzovat a vyhodnotit úroveň světelného znečištění na území České republiky a jeho vývoj v období přibližně posledních dvaceti let. Postiženo tak bude období od ukončení komunistického režimu na území České Republiky do současnosti. Pro hodnocení časového vývoje budou použita dostupná družicová data (např. časové kompozice NOAA AVHRR).

Práce bude zahrnovat následující části:

1. Vypracování literární rešerše problematiky světelného znečištění a možností sledování pomocí technik dálkového průzkumu Země.
2. Praktické zvládnutí metodického postupu analýzy datových podkladů v prostředí GIS.
3. Zpracování získaných družicových dat a dalších materiálů a jejich adekvátní statistické vyhodnocení.
4. Diskuse výsledků v širších souvislostech vlivu světelného znečištění na přírodu, člověka a lidské aktivity.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **40 - 50 stran textu**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**CAMPBELL, Gaylon. Introduction to environmental biophysics. 2nd ed. New York: Springer, 1998. ISBN 9780387949376.**

**CAMPBELL, James B. Introduction to remote sensing. London, New York: Taylor & Francis, 2002. ISBN 0415282942 9780415282949.**

**DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu. Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, 1998.**

**JENSEN, John R. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2000. Prentice Hall series in geographic information science. ISBN 0134897331.**

**KONDZIOLKA, J. et al. Světelné znečištění. Sezimovo Ústí: Hvězdárna Františka Pešty, 2008.**

**MIZON, B. Light pollution: responses and remedies. London: Springer-Verlag, 2002.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Brom, Ph.D.**  
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: **17. března 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2015**

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13 ④  
370 05 České Budějovice  
L.S.

doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2014

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne: 30. 11. 2015

Jakub Sokolík

### **Poděkování:**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jakubovi Bromovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a ochotu pomoci při řešení problémů během práce.

Také bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu nejen při psaní této práce, ale i při celkovém průběhu studia.

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá problémem světelného znečištění. V teoretické části jsou popsány druhy světelného znečištění, jejich vliv na organismy, informace o dálkovém průzkumu Země a charakteristiky družic využívaných pro mapování světelného znečištění. V praktické části jsou zpracovány časové kompozice z družic DMSP (F10-F18). S využitím těchto snímků jsou vyhodnoceny změny intenzity světla za časový úsek 1992 - 2013. Při vizuálním hodnocení jsou nejvíce patrné změny při porovnání roku 1992 a 2013, kdy dochází především v okolí měst k výraznému růstu světelného znečištění. Statistické hodnocení prokázalo, že stoupá četnost hodnot v kategoriích, do kterých spadají vyšší hodnoty DN (digital number). Toto zvýšení znamená i posun intenzity světla na vyšší hladinu. Z výsledků lze usuzovat, že světelné znečištění v České republice má rostoucí tendenci.

**Klíčová slova:** světelné znečištění, dálkový průzkum, DMSP.

## **Abstract**

This thesis deals with the problem of light pollution. In the theoretical part it brings description of the types of light pollution, effects on organisms, information about remote sensing and characteristics of satellites which are used to map light pollution. Time composition images from DMSP satellites (F10-F18) are processed in the practical part. Changes in light intensity for the period 1992 to 2013 are described using these images. During visual assessment the most noticeable changes were obvious when comparing 1992 and 2013, when significant growth of light pollution was especially visible around cities. Statistical evaluation showed increasing values in the categories which contain higher DN (digital number) value. This increase also represents a shift to a higher light intensity level. The results suggest that light pollution in the Czech Republic tends to grow.

**Keywords:** light pollution, remote sensing, DMSP.

# Obsah

|   |    |
|---|----|
| 1. Úvod.....  | 8  |
| 2. Současný stav poznání.....                       | 9  |
| 2.1 Světelné znečištění .....                       | 9  |
| 2.1.1 Astronomické světelné znečištění.....         | 9  |
| 2.1.2 Ekologické světelné znečištění.....           | 11 |
| 2.2 Vliv světelného znečištění na organismy.....    | 12 |
| 2.2.1 Ptáci .....                                   | 13 |
| 2.2.2 Obojživelníci .....                           | 14 |
| 2.2.3 Ryby.....                                     | 15 |
| 2.2.4 Želvy .....                                   | 16 |
| 2.2.5 Hmyz.....                                     | 17 |
| 2.2.6 Rostliny .....                                | 19 |
| 2.2.7 Člověk .....                                  | 20 |
| 2.3 Dálkový průzkum Země .....                      | 21 |
| 2.3.1 Definice dálkového průzkumu Země.....         | 21 |
| 2.3.2 Princip dálkového průzkumu Země .....         | 21 |
| 2.3.3 Rozdělení Dálkového průzkumu Země.....        | 22 |
| 2.3.4 Elektromagnetické záření.....                 | 23 |
| 2.3.5 Elektromagnetické spektrum.....               | 24 |
| 2.4 Družice.....                                    | 25 |
| 3. Cíle práce.....                                  | 28 |
| 4. Materiály a metodika.....                        | 29 |
| 4.1 Data .....                                      | 29 |
| 4.2 Metodika .....                                  | 29 |
| 4.2.1 Mapové zpracování.....                        | 30 |
| 4.2.2 Statistické zpracování .....                  | 30 |
| 5. Výsledky.....                                    | 32 |
| 5.1 Hodnocení změny na základě obrazových dat ..... | 32 |
| 5.2 Statistické vyhodnocení dat .....               | 36 |
| 6. Diskuze.....                                     | 45 |
| 7. Závěr .....                                      | 48 |
| 8. Literatura .....                                 | 49 |
| 9. Přílohy .....                                    | 56 |

# 1. Úvod

Téma světelného znečištění je obecně stále málo známé, přitom je tímto znečištěním postížena velká část populace. Představa znečištění je většinou spojena s látkami vyznačujícími se pevným, kapalným či plynným skupenstvím. Uměle vytvořené světlo, které svítí jinak, než je určeno, má však také velmi negativní účinky. Tento vliv postihuje nejen zvířata a rostliny, ale i člověka. Člověk je živočichem s denní aktivitou a pro přirozený chod organismu musí trávit spánek v přirozené tmě. Celková nutnost svítit v noci pramení z noční aktivity člověka, která není přirozená, ale v současnosti je obvyklá.

Na mnoha místech na Zemi probíhají studie, které využívají velkého množství metod na hodnocení světelného znečištění. Tyto studie byly nejprve podněcovány astronomy, jelikož zvýšený jas oblohy v okolí měst jim ztěžuje práci. Časem se připojili i jiní vědci, kteří si uvědomovali nebezpečí antropogenního osvětlení. Při studiích zjistili, že se světelné znečištění během let neustále zvyšuje v souvislosti s ekonomikou jednotlivých států. Tento fakt je předvídatelný z důvodu neustálé expanze lidské populace a nutnosti vytvářet nová sídla, místa pro rekreaci, prostor pro obstarávání základních potřeb nebo výrobní areály.

Cílem předkládané diplomové práce je analýza trendu změn světelného znečištění v období od roku 1992 do současnosti. Pro hodnocení jsem zvolil oblast České republiky jako místa, kde žiji a kde jsem také ovlivňován vlivy antropogenního světla.



## **2. Současný stav poznání**

### **2.1 Světelné znečištění**

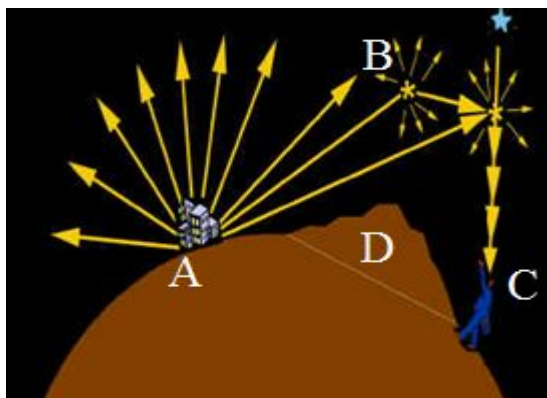
Zjištění, že světlo působí jako znečišťující látka, je již mezi vědci poměrně známé. Je však důležité, aby se o tomto fenoménu dozvěděla i široká veřejnost a sama vyžadovala ochranu před negativními vlivy tohoto světla (Aubé a Kocifaj, 2014). Největší problémy působí světelné znečištění astronomům jako astronomické světelné znečištění, které znemožňuje pozorování noční oblohy, a tedy i jejich práci (Kondziolka a kol., 2008). Existuje ale i druhá forma - ekologické světelné znečištění. To je velmi nebezpečné pro organismy, na které dopadá (Loncore a Rich, 2006). V poslední době vzniklo velké množství vědeckých studií, které dokazují, že umělé světlo negativně ovlivňuje organismy. Působí na široké spektrum druhů, u nichž způsobuje rozdílné reakce. Mohou to být například změny v chování, potravních návycích, dezorientace, ale také změna v zastoupení hormonů (Kondziolka a kol., 2008; Deda a kol., 2007; Rich a Longcore, 2006; Bruce-White a Shardlow, 2011; Brüning a kol., 2014). Stejně jako umělé světlo ovlivňuje rostliny a živočichy, tak se některé reakce projevují i u člověka (Blask a kol., 2005).

#### **2.1.1 Astronomické světelné znečištění**

Vznik tohoto druhu světelného znečištění je nejvíce způsoben umělým zvýšením jasu noční oblohy. To má za následek zhoršené možnosti pozorování nebeských těles, a tedy ztížení práce astronomů. Nejen profesionální astronomové jsou tímto znečištěním ovlivněni. Také amatérští astronomové i obyčejní lidé, kteří chtějí pozorovat nebeská tělesa viditelná pouhým okem. Velké množství lidí již ani neví, jak vypadá mléčná dráha (Kyba a kol., 2011; Perkin a kol., 2011).

Zvyšování přirozeného jasu oblohy probíhá tak, že umělý zdroj světla je nedostatečně cloněn a vyzařuje světlo do horního poloprostoru a dál do atmosféry. Může jít také o světlo, které je vyzářeno ze zdroje směrem k zemi, kde je odraženo zpět ke zdroji a pokračuje dále k obloze. Během cesty se může srazit například s prachovými částicemi v atmosféře a je tak dále odráženo do více směrů. Tímto způsobem se světlo může šířit do dalekého okolí od svého zdroje (Mizon, 2002). Samotné zvýšení přirozeného jasu oblohy je závislé na několika faktorech.

Především při zhoršených podmínkách, například při mlze, je možné pozorovat žlutou kopuli nad městy i vesnicemi. Schéma znázorňující rozptyl světla v atmosféře je na obrázku číslo 1.

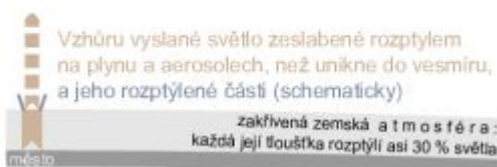


Obrázek č. 1: Schéma vzniku oranžové oblohy nad městy: A – zdroj světla; B – prachové částičky v atmosféře; C – pozorovatel; D – terénní nerovnost, přes kterou je možno pozorovat žlutou záři (Seminář o světelném znečištění 2008).

Dalším faktorem je také úhel unikajícího světla. Pokud jde světlo kolmo vzhůru, urazí kratší vzdálenost, a má tedy i menší pravděpodobnost střetu s prachovými či jinými částicemi v atmosféře. Tento jev je znázorněn na obrázku číslo 2 (Kondziolka a kol., 2008).

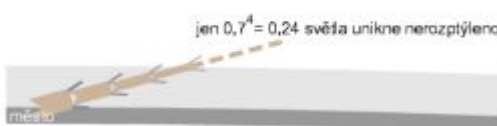
Když jde světlo z lamp či osvětlených ploch směrem:

- 90 stupňů vzhůru: 30 % se rozptýlí, z toho 28 % dolů, celkem se tedy vrátí dolů jen 8 % takového světla,



Souhm rozptýleného ovzduším a jeho skutečné směry – většinou podobné směru původnímu

- 15 stupňů nahoru: 76 % se rozptýlí, z toho 40 % dolů, celkem se tedy vrátí dolů 31 % takového světla,



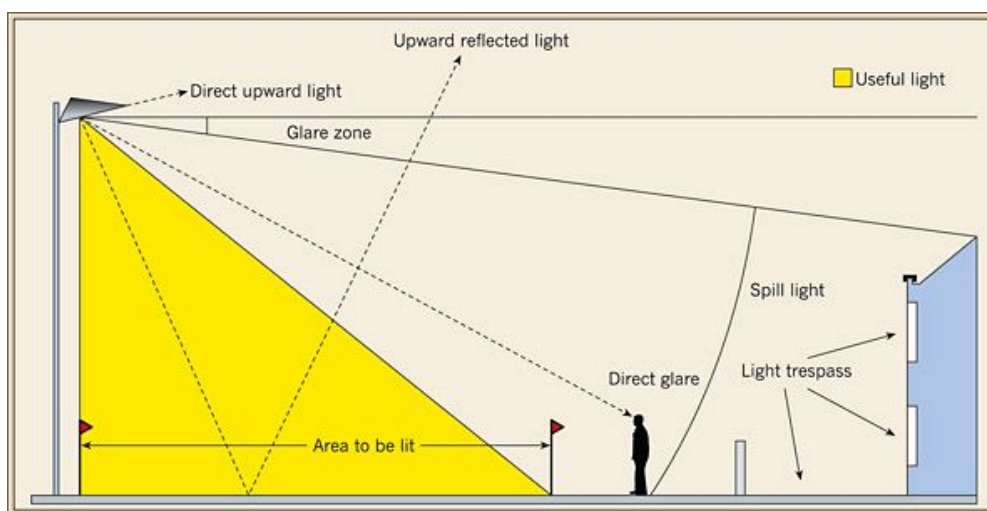
- 5 stupňů nahoru: 97 % se rozptýlí, z toho 45 % dolů, celkem se tedy vrátí dolů 45 % takového světla.



Obrázek č. 2: Vliv mezi úhlem unikajícího světla a délkou urazené trasy v atmosféře (Kondziolka a kol., 2008).

## 2.1.2 Ekologické světelné znečištění

Jako první zavádí termín ekologické světelné znečištění Loncore a Rich 2004. Tento druh světelného znečištění se nejčastěji skládá ze světelného přesahu a přímého oslnění. Do tohoto úseku lze také zařadit výkyvy v osvětlení, které jsou někdy více škodlivé než osvětlení, které svítí neustále (Loncore a Rich, 2004). Světelným přesahem je myšleno světlo, které dopadá na zemský povrch, ale mimo místo určené k osvětlení (obrázek č. 3). Toto světlo tedy může ovlivnit svým působením živočichy, kteří žijí v okolí zdroje (Gaston a kol. 2012).

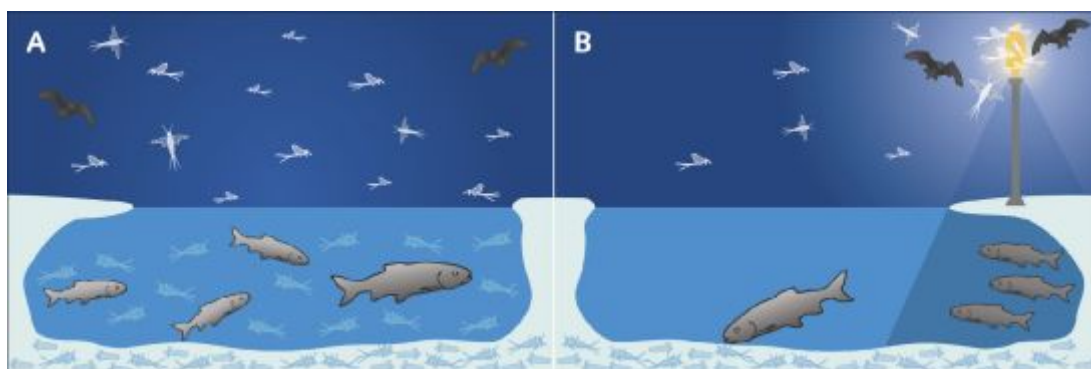


Obrázek č. 3: Nevhodná lampa, která oslňuje (direct glare) a umožňuje světelný přesah (light trespass). Direct upward light – světlo unikající přímo nad úroveň horního poloprostoru. Upward reflected light – odražené světlo které uniká vzhůru. Glare zone – osvětlená plocha. Area to be lit – plocha, která má být osvětlena. Spill light – rozptýlené světlo. Useful light – využití světlo (House of Commons Science and Technology Committee, 2003).

Ekologické světelné znečištění je hůře odstranitelné než astronomické světelné znečištění. Tento fakt je dán tím, že ekologické světelné znečištění vzniká působením velkého počtu zdrojů. Nejedná se pouze o zdroje světla, která míří k obloze, jak tomu je u astronomického světelného znečištění. Zdrojem pro tento druh znečištění mohou být například i osvětlené budovy, rybářské čluny, bezpečnostní světla, světla na vozidlech, světla na výzkumných plavidlech apod. (Loncore a Rich, 2004).

## 2.2 Vliv světelného znečištění na organismy

Během posledních několika let se stále více vědců zabývá vlivem umělého světla na ekosystémy a především na samotné organismy. Přírozené střídání dne a noci panuje již miliony let (Brüning a kol., 2010). Téměř všechny organismy jsou tímto cyklem ovlivněny a přizpůsobily se mu (např. migrace, období rozmnožování, vytváření zásob na zimu, hibernace, dormance). Antropogenní světlo tento dlouhodobý cyklus narušuje (The Royal Commission on Environmental Pollution, 2009). Řada výzkumů prokázala, že antropogenní světlo mění chování, potravní návyky (obrázek č. 4), dezorientuje a také mění zastoupení hormonů (Kondziolka a kol., 2008; Deda a kol., 2007; Rich a Longcore, 2006; Bruce-White a Shardlow, 2011; Brüning a kol., 2014;). Člověk není výjimkou a je ovlivňován neustálým působením umělého světla během noci. To může mít za následek nejen nespavost nebo narušení cirkadiánních (denních) rytmů, ale také změnu distribuce hormonů, které jsou pro chod organismu důležité (Cho a kol., 2013; Blask a kol., 2005).



Obrázek č. 4: Schéma možného vlivu na organismy obývající sladkovodní tok. Přírozené chování bez světelného znečištění (A). Chování při umělém osvětlení, kdy je hmyz přitahován ke světlu, kde je loven netopýry. Vodní bezobratlí se vyskytují hlouběji v toku a jsou loveni pouze většími rybami, které nemají strach z predace (B) (Perkin a kol., 2011).

### 2.2.1 Ptáci

U ptáků je ovlivnění světelným znečištěním nejvíce patrné. Je to proto, že ptáci jsou ovlivněni nejen ekologickým světelným znečištěním, ale také astronomickým. Ptáci, kteří jsou schopni letu, jsou tak ovlivněni i světlem, které svítí do atmosféry.

Velký počet ptáků, převážně druhy, které nevyužívají plachtění, táhnou v noci. Tito ptáci jsou zejména při špatném počasí, kdy mají tendenci letět nízko, vystaveni riziku kolize s budovami. Ptáci jsou světly oslněni a včas nezpozorují překážku, která jim stojí v cestě (Kondziolka a kol., 2008). Fatal light awareness program v Kanadě zaznamenává kolize ptáků s budovami již 10 let. Podle Daniela Klema mladšího, biolog z vysoké školy Muhlenberg v Pensylvánii, se v Severní Americe střetne s osvětlenými budovami 100 milionů ptáků ročně. Ve většině případů je tato srážka smrtelná viz obrázek č. 5. ([www.flap.org](http://www.flap.org)).



Obrázek č. 5: Část ptáků, kteří zemřeli při kolizi s několika budovami v Torontu v roce 2009 ([www.flap.org](http://www.flap.org)).

Při migraci se ptáci mohou také střetnout s majáky na pobřeží. Výzkumy ukazují, že na pobřeží Britské Kolumbie se s 45 majáky střetne až 6000 ptáků ročně (Deda a kol., 2007).

Ropné plošiny také představují nebezpečí pro ptáky. Plošiny se nalézají na moři, kde často působí jako jediný zdroj světla. Ptáci letící poblíž těchto plošin

mohou být světlem přitahováni a poté mohou narazit na konstrukci plošiny, popálit se od plamenů nebo zahynout kvůli potřísnění peří olejem (Rich a Longcore, 2006).

Nejen stacionární ale i mobilní zdroje mohou lákat ptáky. Lodě na moři používají velmi často silná světla. Při zhoršené viditelnosti mají ptáci tendenci tato světla následovat a mohou se s lodí srazit (Merkel a Johansen, 2011).

U několika denních ptáků byly zjištěny takové změny chování, že jejich teritoriální zpěv pokračoval i v noci. Například výzkum Millera (2006) ukazuje, že drozd stěhovavý (*Turdus migratorius*) v osvětlených oblastech zpívá i v hluboké noci. Další, kdo potvrzuje zpěv denních ptáků v noci, je Bergen a Abs (1997). Změny v době zpěvu uvádí i studie zabývající se zpěvem drozdce mnohohlasého (*Mimus polyglottos*). Samečci drozdce běžně zpívají v noci pouze před spářením. Po spáření zpívají samečci pouze v osvětlených oblastech nebo za úplňku (Derrickson, 1988). Vliv takového chování na zdraví jedince není zatím znám.

Výzkum Dominonia a kol. (2013) ukazuje, že ptáci, kteří jsou v noci pod trvalým působením umělého světla, mohou mít problémy s přechodem do hnízdící sezóny. Toto tvrzení je založeno na porovnání velikosti pohlavních orgánů a množství testosteronu u ptáků, kteří nebyli vystaveni světlu v noci, s ptáky kteří světlu byli vystaveni. Druhá skupina zůstala na stejné úrovni jako před hnízdící sezónou, zatímco první prodělala změny potřebné pro rozmnožování. Skupina ovlivněná umělým světlem měla také problémy s přepeřováním. (Dominoni a kol., 2013). Jelikož byli ptáci vystaveni trvale stejné intenzitě světla, nelze tvrdit, že tomu tak je i v přirozených podmínkách. Ptáci by se pravděpodobně z takto osvětleného území přesunuli.

### **2.2.2 Obojživelníci**

Mnoho menších druhů obojživelníků migruje. Jejich přesuny jsou nutností při rozmnožování. Při těchto přesunech vzniká nebezpečí. Pokud se v trase, na které se obojživelníci přesunují, vyskytuje dopravní komunikace, mohou být ovlivněni světly projíždějících aut. Nejčastější reakcí, která potom následuje, je strnutí. Tento obranný mechanismus může pro obojživelníky znamenat kolizi s projíždějícími vozidly (Mazerolle a kol., 2005).

Velké množství žab využívá zrak k vyhledávání potravy, směru pohybu nebo také k vyhledávání partnera. Žáby jsou schopny vidění i při nízkých hladinách světla. Mají tedy převážně noční aktivitu (Rand a kol., 1997; Wise, 2007). Jako žáby tak i jejich predátoři se pohybují v noci. To může mít za následek zvýšený strach z predace při umělém osvětlení, například při vyhledávání partnera, jako je tomu u hvízdalky pěnodějně (*Engystomops pustulosus*). U jiných žab světlo ovlivňuje příjem potravy. Některé žáby, například rosnička hádavá (*Hyla squirella*) nebo ropucha západoamerická (*Bufo boreas*), se při zvýšené intenzitě světla přestávají krmit a vyhledávají úkryt (Rand a kol., 1997).

Střídání dne a noci má také na obojživelníky velký vliv. Výzkum Wiseové a kol. (2007) ukazuje, že umělé světlo má vliv na rychlost přeměny pulců v dospělé jedince. Laboratorní experiment ukázal, že stačí pouze malé osvětlení (přibližně stejné jako při úplňku) na to, aby se vývoj zpomalil, jak je možné pozorovat na obrázku číslo 6 (Wise, 2007).



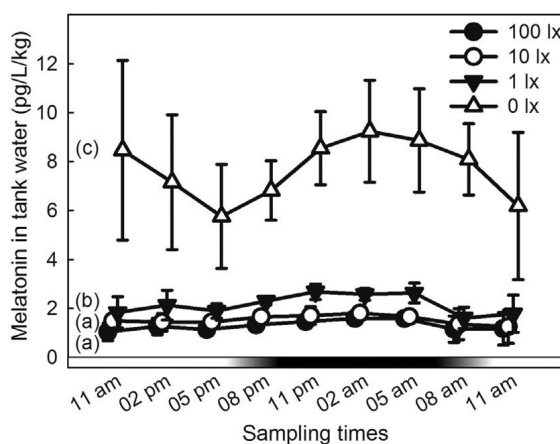
Obrázek č. 6: Porovnání metamorfózy pulců stejného stáří za přirozené tmy (A) a při umělém osvětlení (B) (Wise, 2007).

### 2.2.3 Ryby

Výzkum Brüningové a kol. (2010) se zaměřuje na ryby od oplodnění vajíček po vylíhnutí. Plůdek po vylíhnutí plave k hladině, aby zde naplnil svůj vzduchový vak, který potřebuje k životu. Tento proces se většinou děje při stmívání nebo během noci. Jelikož ryby vykazují negativní fototaxi (jsou světlem odpuzovány), může umělé světlo ovlivňovat jejich vývoj a přirozené chování (Brüning a kol., 2010). Jelikož Brüningová a kol. (2010) při svém experimentu využili osvětlení 3500 luxů (lux = jednotka osvětlení; 3500 lx = polojasný den) a žárovky vyzařující také UVA a

UVB záření, nedá se v tomto výzkumu uvažovat o běžně vznikajícím antropogenním světle, které se využívá na osvětlování.

Naproti tomu další výzkum Brüningové a kol (2014) je již koncipován reálně. V něm se zabývali reakcí okouna říčního (*Perca fluviatilis*) na umělé světlo. Intenzity světla dosahovali 0 luxů (kontrolní skupina), 1 lux (úroveň světla ve vodě poblíž lidských sídel), 10 luxů (pouliční osvětlení) a 100 luxů. Výzkum se zaměřoval na hormony melatonin (viz. člověk) a kortizol (hormon vypovídající o stresu, v tomto případě u ryb). Reakce na melatonin byla významná, ke snížení produkce o  $\frac{3}{4}$  stačila již intenzita 1 luxu (obrázek č. 7). Jde tedy říci, že umělé světlo narušuje denní rytmus řízený hormonem melatoninem a může mít vliv i na rozmnožování ryb. Změny u kortizolu nebyly významné, rybám tedy umělé světlo pravděpodobně nezpůsobuje velký stres (Brüning a kol., 2014). Není možné říci, že toto tvrzení je naprosto správné, jelikož zatím chybí dlouhodobé výzkumy.



Obrázek č. 7: Graf obsahu melatoninu ve vzorcích vody za sledovaný čas z chovných nádrží při intenzitách světla 0; 1; 10 a 100 luxů (Brüning a kol., 2014).

## 2.2.4 Želvy

Želvy jsou na světlo velmi citlivé, především při rozmnožování. Umělé světlo dopadající na pláž může odradit samičky mořských želv, které přišly naklást vajíčka, nebo je nutí zvolit méně vhodné stanoviště pro kladení. Pokud jsou vajíčka přece jen nakladena a mladé želvy se vylíhnou, jsou i ony ovlivněny světlem. Želvy se po vylíhnutí orientují intenzitou světla a horizontem. To znamená, že pokud se želvy vylíhnou na pláži, která není ovlivněna světlem, vydají se instinktivně směrem k moři. Toto chování je způsobeno tím, že oceán odráží více dopadajícího světla a



jeví se tedy světlejší než pevnina. Při vylíhnutí na osvětlené pláži se želvy místo k oceánu vydávají od něj (Deda a kol., 2007; Bourgeois a kol., 2008; Chepesiuk, 2009; Verutes a kol., 2014).

Toto chování potvrzuje výzkum Bourgeoisové a kol. (2008). Na pláži v národním parku Pongara v Gabonu zjistili, že čerstvě vylíhlé želvy se vydávají směrem k antropogenním zdrojům světla (Bourgeois a kol., 2008). Výzkum Rivasové a kol. (2014) také potvrdil zhoršenou orientaci želv pod umělým osvětlením (Rivas a kol., 2014).

Výzkum Mazorové a kol. (2012) se zabývá výskytem hnízd želv na pobřeží Středozemního moře u Izraele. S využitím družicových dat porovnali výskyt hnízd na neosvětleném území s územím, které je ovlivněné světelným znečištěním. Výsledkem bylo zjištění, že si želvy pro hnízdění vybraly místa, která nebyla světlem ovlivněna (Mazor a kol., 2012).



Obrázek č. 8: Čerstvě vylíhlé želvy, které se orientují podle intenzity světla a horizontu jsou přitahovány přenosnou lampou (Chepesiuk, 2009).

### 2.2.5 Hmyz

Hmyz dokáže vnímat velmi rozsáhle spektrum světla. Především noční hmyz je velmi citlivý i na nízké intenzity světla. Například čeleď lišajovití jsou schopni vidět barevně i při nízké intenzitě světla (intenzita jako při svitu hvězd). Umělé světlo hmyz především dezorientuje nebo přitahuje, což má za následek kroužení

hmyzu u zdroje světla (obrázek č. 9), než zemře vyčerpáním (Bruce-White a Shardlow, 2011) nebo než je uloven predátory (Langevelde a kol., 2011).



Obrázek č. 9: Hmyz poletující kolem lampy (Bruce-White a Shardlow, 2011).

Přitahování je asi nejznámější jev, který lze pozorovat u téměř všech zdrojů světla svítícího po setmění. Pouliční lampy přitahují velké množství hmyzu, který kolem krouží a následně vyčerpáním umírá. Mezi jedinci, kteří takto umírají, jsou přitom i významné druhy, které mohou být důležitým článkem ekosystému (Kondziolka a kol., 2008).

Nejen pouliční lampy, ale například i bezpečnostní světla mohou být zdrojem světla, které hmyz přitahuje. Na obrázku číslo 10 je možné vidět tisíce jepic, které zahynuly u bezpečnostního světla v Millecoquins Point v Naubinway na Horním Michiganském poloostrově (Loncore a Rich, 2004).



Obrázek č. 10: Jepice, které zahynuly u bezpečnostního světla v Millecoquins Point v Naubinway na Horním Michiganském poloostrově (Loncore a Rich, 2004).

## 2.2.6 Rostliny

Různé druhy rostlin mají i různé reakce jak na intenzitu světla, tak na jeho spektrální složení. Nejvíce jsou však rostliny ovlivněny modrým a červeným světlem. Modré světlo, které se přirozeně vyskytuje pouze během dne, nutí rostliny růst směrem ke zdroji světla. Červené světlo je nejdůležitější při řízení veškerých sezonních změn u rostlin, jako například klíčení, opad listů nebo kvetení (Deda a kol., 2007; The Royal Commission on Environmental Pollution, 2009; Health Council of the Netherlands, 2000).

Rostliny řídí svůj vývoj jako ostatní organismy v závislosti na střídání dne na noci. Dlouhodenní rostliny potřebují pro svůj správný vývoj dlouhé dny a krátké noci. U krátkodenních je tomu naopak. Pokud jsou krátkodenní rostliny v noci ozářeny světlem, reagují na něj a vyvíjejí se, jako by prožily dvě krátké noci. Tento jev je známý například u vánoční hvězdy (*Poinsettia pulcherrima*), která se musí přes noc zakrývat, aby vykvetla (Deda a kol., 2007; The Royal Commission on Environmental Pollution, 2009).

Opad listů u stromů je také řízen délkou dne a noci. Stromy vyskytující se u zdroje antropogenního světla rostou přes rok déle a listy jim opadávají často až s příchodem mrazů (obrázek č. 11). Různé druhy stromů jsou individuálně citlivé na umělé osvětlení (Deda a kol., 2007; Cathey a Campbell, 1975; Kondziolka a kol., 2008).



Obrázek č. 11: Vliv umělého osvětlení na opad listů stromů. Strom vlevo na obrázku je nejbližší ke zdroji světla a je oproti ostatním stromům ještě olistěný (Hollan, 2004).

### 2.2.7 Člověk

Člověk jako denní organismus potřebuje světlo, aby mohl využívat svého zraku při vykonávání různých činností. Aby mohl pracovat déle bez omezení, začal osvětlovat plochy kolem sebe. Toto osvětlení bylo instalováno s jediným cílem, vytvořit co největší osvětlenou plochu. Avšak nejen organismy žijící v blízkosti člověka jsou negativně ovlivňovány umělým světlem, je to i sám člověk (Falchi a kol., 2011).

U člověka, jako u všech ostatních organismů, se během působení střídání dne a noci vyvinuly přirozené biologické hodiny. Náš organismus také reaguje na přirozené sezonní změny (Health Council of the Netherlands, 2000). V současné době je však člověk neustále pod vlivem umělého světla a nedokáže na tyto změny přirozeně reagovat. Organismus vnímá umělé světlo jako dlouhý den, a člověk tedy v podstatě prožívá celoroční léto. To může mít za následek zvýšené ukládání tuku jako zásobu na zimní měsíce a rozvoj obezity (Wyse a kol., 2011).

Pokud je během spánku místnost osvětlena, ať už záměrně či jako důsledek pouličního osvětlení, mohou se vyskytnout různé problémy. Nejčastěji se projevují různé spánkové poruchy, jako například lehký spánek (Cho a kol., 2013).

Dalším problémem je tvorba hormonu melatoninu. Tento hormon se vytváří pouze během spánku, a to nejvíce v prostředí bez světla. Pokud je člověk během spánku rušen světlem, sníží se tvorba melatoninu, přitom je tento hormon velice důležitý (Reiter a kol., 2006). Melatonin v prvé řadě synchronizuje tělo během dne (Chepesiuk, 2009). Jeho další a pravděpodobně i významnější funkce spočívá v tom, že potlačuje aktivitu buněk, které mají tendenci k tvorbě rakoviny (Reiter a kol., 2006). Bylo prokázáno, že krev po noci strávené v prostředí nerušeném světlem, obsahuje velké množství melatoninu, a tedy mnohem lépe chrání tělo před vznikem rakovinného bujení, v tomto případě rakoviny prsu (Blask a kol., 2005).

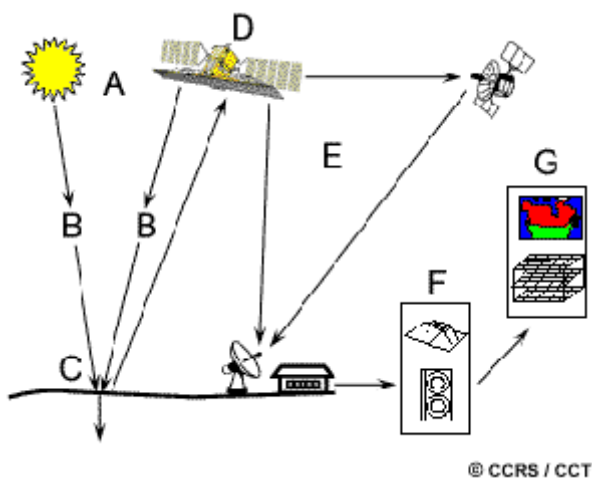
## 2.3 Dálkový průzkum Země

### 2.3.1 Definice dálkového průzkumu Země

Definice dálkového průzkumu Země (DPZ) se u různých autorů liší. Souhrnně se však dá popsat jako činnost, která získává informace o předmětech a jevech bez přímého kontaktu (Dobrovolný, 1998). Informace se získávají s využíváním elektromagnetického záření, jež jsou využívány přístroje schopny zaznamenat (Campbell, 2002).

### 2.3.2 Princip dálkového průzkumu Země

Základní princip dálkového průzkumu Země je možné vidět na obrázku číslo 12. Jde především o interakci mezi zdrojem záření a sledovanou oblastí zájmu, kdy je výsledek zaznamenáván. Dálkový průzkum však také zahrnuje i zaznamenávání energie, kterou vyzářují i samotné objekty zájmu (www.nrcan.gc.ca).



Obrázek č. 12: Základní princip DPZ: A – Zdroj záření; B – Dopadající záření; C – Interakce s předmětem zájmu; D – Senzor na zaznamenávání odražené nebo emitované energie; E – Přenos, příjem a zpracování informace; F – Předzpracování dat; G – Aplikace (www.nrcan.gc.ca).

### 2.3.3 Rozdělení Dálkového průzkumu Země

DPZ můžeme rozdělit podle různých kritérií. Například lze DPZ rozdělit podle zdroje elektromagnetického záření na pasivní (fotografie, která zachycuje odražené záření) a aktivní (radary, které vysílají a přijímají pozměněné záření) (Dobrovolný, 1998). Dále můžeme DPZ dělit dle druhu pořízených dat na konvenční a nekonvenční (Halounová a Pavelka, 2008)

Konvenční – tato metoda je založena na klasickém získávání fotografie na fotografický film. Při této metodě vzniká obraz v jediném okamžiku. Jako nosičů aparátů lze využít letadla i umělé družice. Nevýhodou této metody je náročné zpracování a malý vlnový rozsah, který lze zaznamenat (Halounová a Pavelka, 2008).

Nekonvenční – při těchto metodách se snímek vytváří postupně při tzv. řádkování. Snímek tak vzniká postupně po jednotlivých řádcích s využitím rozkladových zařízení (skenery). Průsečíkem jednoho řádku a jednoho sloupce se definuje obrazový prvek, pixel (picture element). Jeho velikost odpovídá rozlišovací schopnosti snímacího zařízení, tj. čím menší pixel, tím větší prostorové rozlišení. Každá rastrová buňka (pixel) je polohově lokalizovaná souřadnicemi a obsahuje číslo odpovídající množství zaznamenaného záření, tomuto číslu pak odpovídá tón šedi nebo barvy. Výsledkem této metody je snímek v digitální podobě. Jako nosiče se využívají převážně umělé družice (Halounová a Pavelka, 2008).

Kromě hlavního typu rozdělení DPZ můžeme dělit i podle jiných kritérií:

Dělení podle počtu záznamů obrazových dat pořízených v různých vlnových délkách při jednom měření. Vzniklá data mají následně monochromatický (v jednom pásmu spektra) nebo panchromatický (viditelná část spektra) charakter.

Dělení podle vlnových délek: panchromatická, infračervená, tepelná nebo mikrovlnná data.

Podle osy záběru: svislá (letecké a družicové snímky), šikmá (radarová data).

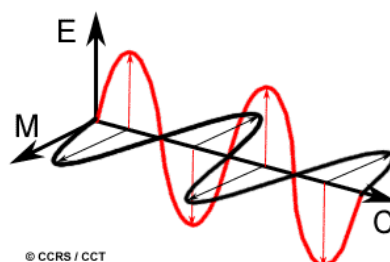
Podle druhu nosiče: nejčastěji se využívají družice a letadla, ale i jiné neobvyklé nosiče lze použít, například modely letadel, vrtulníky, balóny, dříve se používali draci nebo holubi.

Podle zorného pole kamery: snímky s úzkým úhlem, normálním nebo širokoúhlým.

Podle velikosti zaznamenávaného území: detailní, lokální, oblastní a globální (Halounová a Pavelka, 2008)

### 2.3.4 Elektromagnetické záření

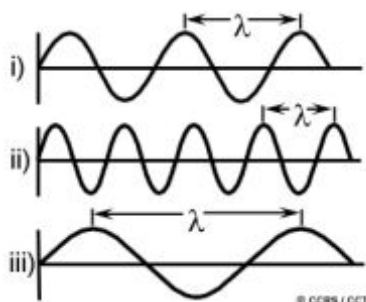
Základním předpokladem pro DPZ je zdroj záření, z kterého se uvolňuje záření směrem k sledovanému objektu, který je jím ozářen (pokud sám objekt nevyzařuje energii). Toto záření se vyskytuje ve formě elektromagnetického záření (www.nrcan.gc.ca).



Obrázek č. 13: Elektromagnetická vlna: E – Elektrické pole; M – magnetické pole; C – rychlost světla (www.nrcan.gc.ca).

Základní charakteristiky elektromagnetického záření jsou vlnová délka (obrázek č. 14) a frekvence. Vlnová délka je délka jednoho cyklu vlny, který může být měřen jako vzdálenost po sobě jdoucích hřebenů vln. Vlnová délka je obvykle reprezentována řeckým písmenem lambda ( $\lambda$ ). Měří se v metrech nebo jednotkách od metrů odvozených. Frekvence ( $\nu$ ) je počet opakování periodického děje za jednotku času. Udává se v Hertzech (Hz) (www.nrcan.gc.ca).

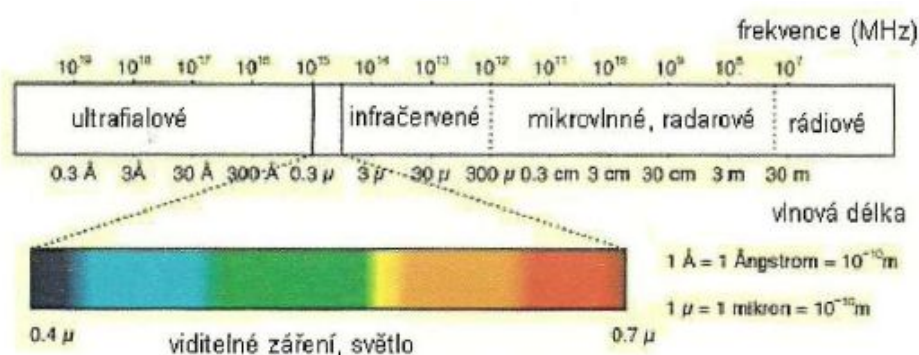
Mezi vlnovou délkou a frekvencí je nepřímá úměra  $c = \lambda \nu$  (Dobrovolný, 1998).



Obrázek č. 14: Příklad různých vlnových délek (www.nrcan.gc.ca).

### 2.3.5 Elektromagnetické spektrum

Přírodní elektromagnetické záření se vyskytuje v širokém spektru o téměř dvaceti řádech. Podle vlnové délky lze spektrum dělit do několika oblastí, které jsou určovány převážně konvenčně, podle odlišných způsobů měření. Pouze určité části spektra se využívají k DPZ. Jedná se o UV záření, viditelnou část spektra, infračervené záření a mikrovlny. Vždy však není možné zaznamenat všechno záření, které je vyzařováno do atmosféry (dojde k pohlcení atmosférou; je pod detekčním limitem přístroje), záleží na použité technologii. (Svatoňová a Lauer mann, 2010; Dobrovolný, 1998).



Obrázek č. 15: Základní rozdělení elektromagnetického spektra (Svatoňová a Lauer mann, 2010).

**Ultrafialové záření** – 30 - 380 nm. Je to nejkratší vlnová délka využívaná v DPZ. Je značně pohlcováno atmosférou. Využívá se pro vyhledávání ložisek zlata, sledování ropných skvrn nebo geologické aplikace, jelikož některé minerály vyzařují viditelné světlo po ozáření UV zářením ([www.nrcan.gc.ca](http://www.nrcan.gc.ca)).

**Viditelné záření** – 380 - 720 nm. Toto záření může člověk pozorovat pouhým okem. Z celkového rozsahu spektra je toto záření pouze malou částí. Hlavními barvami tohoto spektra jsou červená, zelená a modrá. Tyto barvy jsou hlavní, jelikož je nelze vytvořit kombinací ostatních barev, ale ostatní barvy lze z kombinace těchto tří vytvořit. Zdrojem tohoto záření je slunce. V minulosti nejvíce využívané záření z důvodu možnosti pořízení fotografie ([www.nrcan.gc.ca](http://www.nrcan.gc.ca)).

**Infračervené záření** – 720 nm - 1 mm. Můžeme ho rozdělit do dvou kategorií: odražená část, která se využívá obdobně jako viditelné spektrum; tepelná část, která je vyzařována Zemí ve formě tepelného záření ([www.nrcan.gc.ca](http://www.nrcan.gc.ca)).



**Mikrovlňné záření** – 1 mm – 1 m. Nejdelší záření využívané v DPZ. Využívají ho především aktivní systémy (radary). Lze použít při studiu reliéfu, plovoucího ledu, v geologii, lesnictví, zemědělství. Prostřednictvím mikrovlňného záření lze získat i údaje o výškových poměrech ([www.nrcan.gc.ca](http://www.nrcan.gc.ca)).

## 2.4 Družice

Družice jsou v DPZ využívány jako nosiče snímacích zařízení, s jejichž pomocí se získávají snímky zemského povrchu. Jsou umísťovány do různých výšek podle účelu, ke kterému slouží. Jejich dráha může být kruhová nebo eliptická. Vyskytují se na třech typech oběžných drah. Dráhy rovníkové, šikmé oběžné a subpolární (Svatoňová a Lauermann, 2010).

Družice, které se dají využít na mapování světelného znečištění, jsou především Suomi NPP a DMSP.

Suomi NPP (The Suomi National Polar-orbiting Partnership) je družicí, kterou spravuje NASA (National Aeronautics and Space Administration). Její provoz byl zahájen 28. října 2011. Družice je umístěna ve výšce cca 834 km a nese na své palubě pět sensorů. Prvním je ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder), který slouží k měření atmosférické teploty a vlhkosti pro modelaci počasí. Druhým senzorem je VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) radiometr, který snímá snímky ve viditelné a infračervené oblasti. Získaná data jsou používána k měření oblačnosti, barvy oceánu, teploty moře a souše, pohybu ledovců a k mapování ohňů ([www.npp.gsfc.nasa.gov](http://www.npp.gsfc.nasa.gov)). Data mohou být také použita k mapování zdrojů antropogenního světla. Radiometr snímá pruh Země o šířce 3000 km (Miller a kol. 2012). Dalším senzorem je CrIS (The Cross-track Infrared Sounder). Toto zařízení je spektrometr s 1305 spektrálními kanály, který vytváří trojrozměrné profily teploty, tlaku a vlhkosti. Jako další sensor je na palubě OMPS (Ozone Mapping Profiler Suite), který se využívá k mapování ozonu. Posledním senzorem na palubě je CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System). Je to tříkanálový radiometr na určování vlastností mraků (<http://npp.gsfc.nasa.gov>).

Druhý typ družice funguje v programu DMSP. DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) je program amerického ministerstva obrany. Tento program běží pod vedením Air Force Space and Missile Systems Center (Středisko kosmických a raketových systémů leteckých sil). Program DMSP navrhuje, vyrábí a zajišťuje starty družicím, které monitorují fyzikální meteorologické, oceánografické a sluneční pochody na pevnině ([www.ngdc.noaa.gov](http://www.ngdc.noaa.gov)).

Každý satelit fungující v programu DMSP má dobu jednoho oběhu 101 minutu. Je umístěn ve výšce 830 km nad zemským povrchem. Čidla, která zaznamenávají viditelné a infračervené záření, snímají pruh o šířce 3000 km. Tento pruh zaznamená celou Zemi dvakrát za den. Během let dochází k postupné náhradě starších typů družic (tabulka 1)([www.ngdc.noaa.gov](http://www.ngdc.noaa.gov)).

Tabulka 1: Družice a typy jejich konstrukcí pro období 1992-2013

| Rok  | Družice - typ konstrukce |     |     |           |     |     |
|------|--------------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
|      | Block 5D2                |     |     | Block 5D3 |     |     |
| 1992 | F10                      |     |     |           |     |     |
| 1993 | F10                      |     |     |           |     |     |
| 1994 | F10                      | F12 |     |           |     |     |
| 1995 |                          | F12 |     |           |     |     |
| 1996 |                          | F12 |     |           |     |     |
| 1997 |                          | F12 | F14 |           |     |     |
| 1998 |                          | F12 | F14 |           |     |     |
| 1999 |                          | F12 | F14 |           |     |     |
| 2000 |                          |     | F14 | F15       |     |     |
| 2001 |                          |     | F14 | F15       |     |     |
| 2002 |                          |     | F14 | F15       |     |     |
| 2003 |                          |     | F14 | F15       |     |     |
| 2004 |                          |     |     | F15       | F16 |     |
| 2005 |                          |     |     | F15       | F16 |     |
| 2006 |                          |     |     | F15       | F16 |     |
| 2007 |                          |     |     | F15       | F16 |     |
| 2008 |                          |     |     |           | F16 |     |
| 2009 |                          |     |     |           | F16 |     |
| 2010 |                          |     |     |           |     | F18 |
| 2011 |                          |     |     |           |     | F18 |
| 2012 |                          |     |     |           |     | F18 |
| 2013 |                          |     |     |           |     | F18 |

DMSP OLS (Operational Linescan System) je typ skenovacího radiometru, který je na palubě družic DMSP. Jeho prvotní funkce, pro kterou byl navržen, sestávala ze snímání mraků ve dvou spektrálních pásmech, viditelném a tepelném (Elvidge a kol., 1997). Data z OLS mají primární rozlišení 0,56 km, které je

následným převzorkováním upraveno na 2,7 km (Chalkias a kol., 2006). Za jeden den lze získat 14 snímků, v 6-bitovém radiometrickém rozlišení. Noční snímky jsou zaznamenávány fotonásobičem k zachycení co nejjemnějších signálů, které lze daným senzorem zachytit. Snímky jsou archivovány v NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a následně využity na vytvoření kompozičních snímků za jednotlivé roky.

Snímky jsou předpracovány automatickými algoritmy pro získání nejlepšího snímku. Pro identifikaci nejlepšího snímku bylo využito šesti kritérií:

- 1) Osa záběru družice prochází středem snímku
- 2) Na snímku se nevyskytuje žádné sluneční světlo
- 3) Snímek neobsahuje měsíční světlo
- 4) Žádné sluneční oslnění
- 5) Obraz neobsahuje oblaka
- 6) Ve snímaném prostoru se nevyskytuje polární záře

Snímky, které splňují uvedená kritéria, jsou zařazeny do souřadnicového systému a archivovány.

Informace obsažená ve snímcích je následně normalizovaná. Jejich digitální hodnota (DN) je vynásobena frekvencí detekovaného světla (např. digitální hodnota zaznamenaná v polovině případů je snížena o 50 %)([www.ngdc.noaa.gov](http://www.ngdc.noaa.gov)).



Obrázek č. 16: Družice DMSP - Block 5D2 (F10-F14) ([www.ngdc.noaa.gov](http://www.ngdc.noaa.gov)).

### **3. Cíle práce**

1. Zpracování literárního přehledu o problematice světelného znečištění a dálkovém průzkumu Země.
2. Zpracování získaných družicových dat a jejich statistické vyhodnocení.
3. Vyhodnocení změn časové řady snímků světelného znečištění v České republice za období 1992 až 2013.
4. Diskuze vlastních výsledků s výsledky jiných autorů.

## 4. Materiály a metodika

### 4.1 Data

Vstupní družicová data byla získána ze serveru NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), v sekci DMSP (Defense Meteorological Satellite Program).

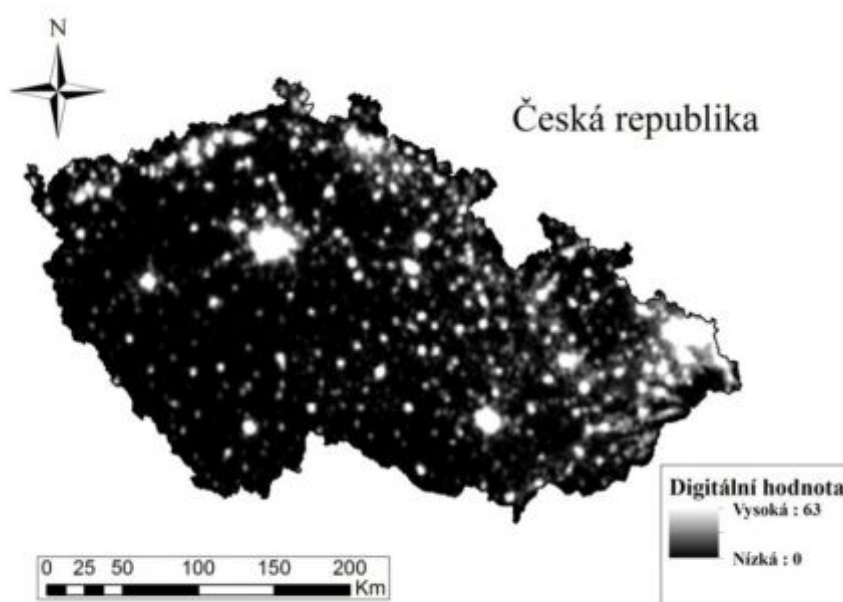
Data, která lze z tohoto serveru získat, mají prostorové rozlišení 2,7x2,7 km. Snímky jsou pořizovány v spektrálním rozsahu 0,47 – 0,95  $\mu\text{m}$ . Data jsou uložena v 6-bitovém ( $2^6$  hodnot) radiometrickém rozsahu.

Použitá data jsou již upravena radiometrickou a atmosférickou korekcí poskytovatelem dat.

### 4.2 Metodika

Diplomová práce se zabývá zpracováním časové řady snímků (rok 1992 až 2013) obsahujících DN informaci, kterou lze využít na popis intenzity světla.

Prvním krokem byla identifikace zájmového území. K tomuto účelu bylo využito polygonu České republiky, podle kterého byly v softwaru ArcGIS oříznuty vstupní družicové snímky (obrázek č. 17).



Obrázek č. 17: Zájmové území Česká republika z družice DMSP F10 rok 1992.

### **4.2.1 Mapové zpracování**

Pro vizuální zobrazení změn v intenzitě světla během časové řady snímků byl využit Software ArcGIS, v kterém byly jednotlivé snímky mezi sebou odečteny (například od roku 1993 byl odečten rok 1992).

Výsledné snímky byly překlasifikovány podle hodnoty DN na sedm kategorií. Tyto kategorie jsou popsány jako nízký nárůst ( $DN = 0 - 10$ ), střední nárůst ( $DN = 10 - 20$ ), vysoký nárůst ( $DN > 20$ ), beze změny ( $DN \sim 0$ ), nízký pokles ( $DN =$  od -5 do -10), střední pokles ( $DN =$  od -10 do -20), vysoký pokles ( $DN < -20$ ).

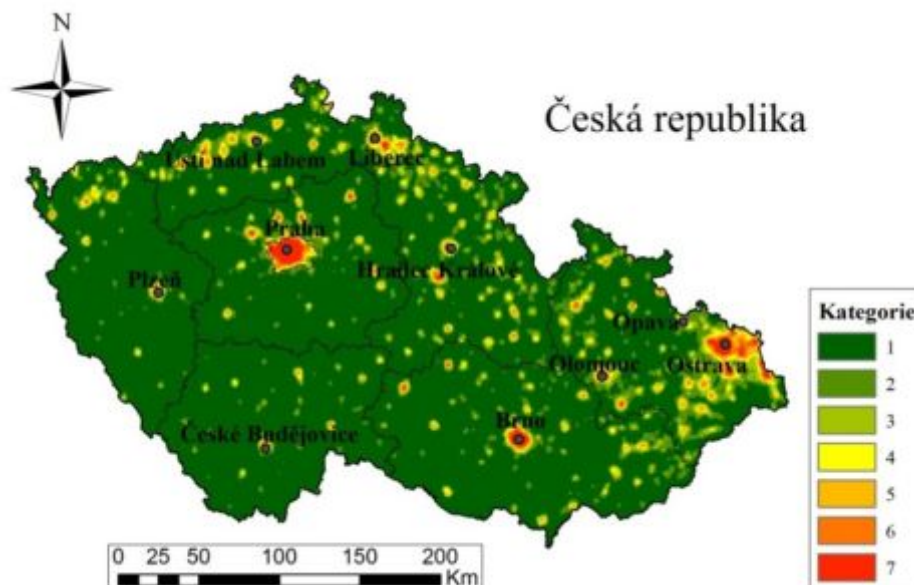
Pro zobrazení procentuálních změn DN snímků za sledované období byly jednotlivé roky sledovaného období vyděleny rokem 1992 a výsledná hodnota byla převedena na procenta. Výsledek procentuálních změn DN snímků je ukázán na příkladu Jihočeského kraje (obrázek č. 25).

### **4.2.2 Statistické zpracování**

Primárním cílem práce bylo vyhodnotit změny v distribuci světla, reprezentované digitální hodnotou jednotlivých pixelů, které tvoří snímek České republiky. Sledované období bylo od roku 1992 do roku 2013 (kromě roku 2009 a 2010).

Pro zjištění trendu změny hodnot DN během pozorovaných let byla data překlasifikována podle hodnoty DN na 7 kategorií (obrázek č. 18).

První kategorie tedy obsahovala DN v rozmezí 0-9, druhá 9-18, třetí 18-27, čtvrtá 27-36, pátá 36-45, šestá 45-54 a sedmá 54-63.



Obrázek č. 18: Příklad překlasifikované digitální hodnoty snímku do sedmi kategorií rok 1992.

Takto vzniklá data obsažená ve snímcích České republiky byla převedena pomocí skriptu do tabulky, kterou lze otevřít v softwaru MS Excel.

V prostředí MS Excel byla data roztříděna do jednotlivých sloupců a připravena k využití v softwaru Statistica. Při porovnání jednotlivých sloupců v tabulce bylo zjištěno, že roky 2009 a 2010 vykazují hodnoty DN a „no data“ (místa bez DN hodnoty) na jiných souřadnicích než je vykazují ostatní snímky, které byly zpracovány shodnou metodou. Z tohoto důvodu byly roky 2009 a 2010 z následujícího zpracování vyřazeny.

V softwaru Statistica byla na data aplikována maska pro odstranění „no data“. Pro ověření statisticky významného rozdílu mezi hodnotami DN během sledovaného období byl použit Kruskal-Wallisův test. Test byl aplikován na náhodně vybraný vzorek o velikosti 500 hodnot pro každý rok.

Pro popis posunu hodnot DN za sledované období, byly v softwaru Statistica vypočteny četnosti jednotlivých kategorií. Hodnoty z výpočtu četností byly přeneseny do softwaru MS Excel, v kterém byla vytvořena tabulka četností jednotlivých kategorií během let a z této tabulky byly vytvořeny obrázky číslo 26, 27 a 28. Hodnoty v tabulce četností byly seřazeny v softwaru MS Excel a následně byl proveden Mann-Kendallův test trendu a poté v softwaru Statistica regresní analýza pro vyhodnocení průběhu trendu.

## 5. Výsledky

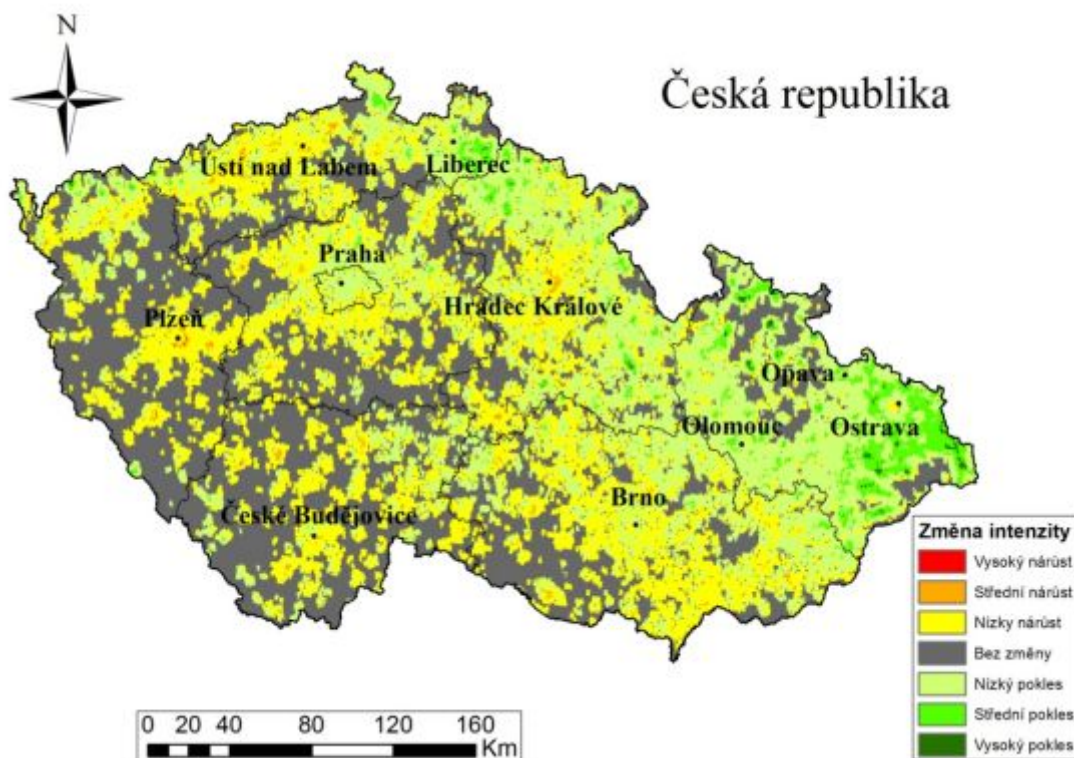
### 5.1 Hodnocení změny na základě obrazových dat

Při porovnání dvou po sobě jdoucích roků byly vytvořeny mapy změn DN snímků. Příkladem jsou obrázky číslo 19, 20 a 21 (zbylé roky jsou v příloze 2). Při porovnání prvního a posledního roku v časové řadě (1992 a 2013) byla vytvořena mapa změny mezi těmito roky (obrázek č. 22).

Při porovnání roků 1992 a 1993 je velké množství oblastí v České republice bez změny.

Při hodnocení růstu intenzity DN spadá nejvíce oblastí do kategorie nízký nárůst. Kategorie střední nárůst se vyskytuje u některých větších měst. Na několika místech, například v okolí Plzně, Klatov, Strakonice nebo Děčína se vyskytuje vysoký nárůst.

Při hodnocení poklesu spadá většina území do kategorie nízký pokles. Kategorie středního a vysokého poklesu se nejvíce vyskytuje v okolí Ostravy (obrázek č. 19).



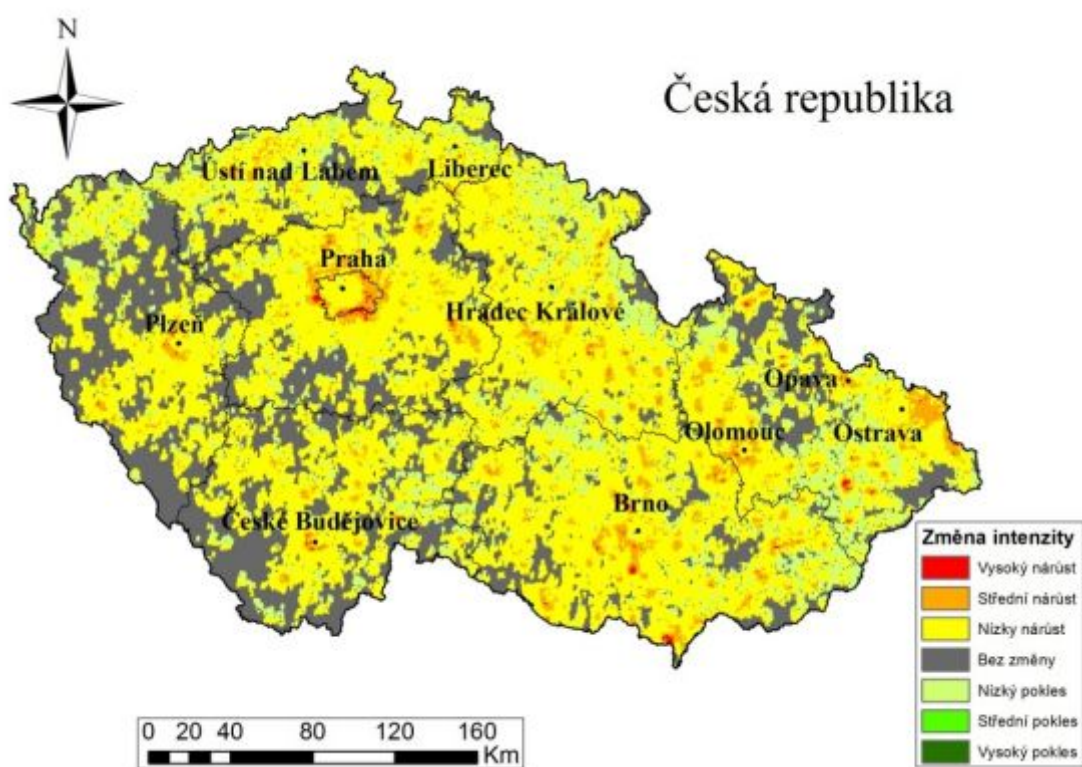
Obrázek č. 19: Změny intenzity DN mezi roky 1992 a 1993 na území České republiky.



Při porovnání roku 1993 a 1994 ubylo oblastí, v nichž nenastala změna hodnoty DN snímků.

Při hodnocení růstu intenzity DN spadá nejvíce oblastí do kategorie nízký nárůst. U větších měst je však již patrný střední nárůst a u velkých měst i vysoký nárůst.

Při hodnocení poklesu spadá většina území do kategorie nízký pokles. Několik oblastí má střední pokles a ještě méně je vysokého poklesu (obrázek č. 20).

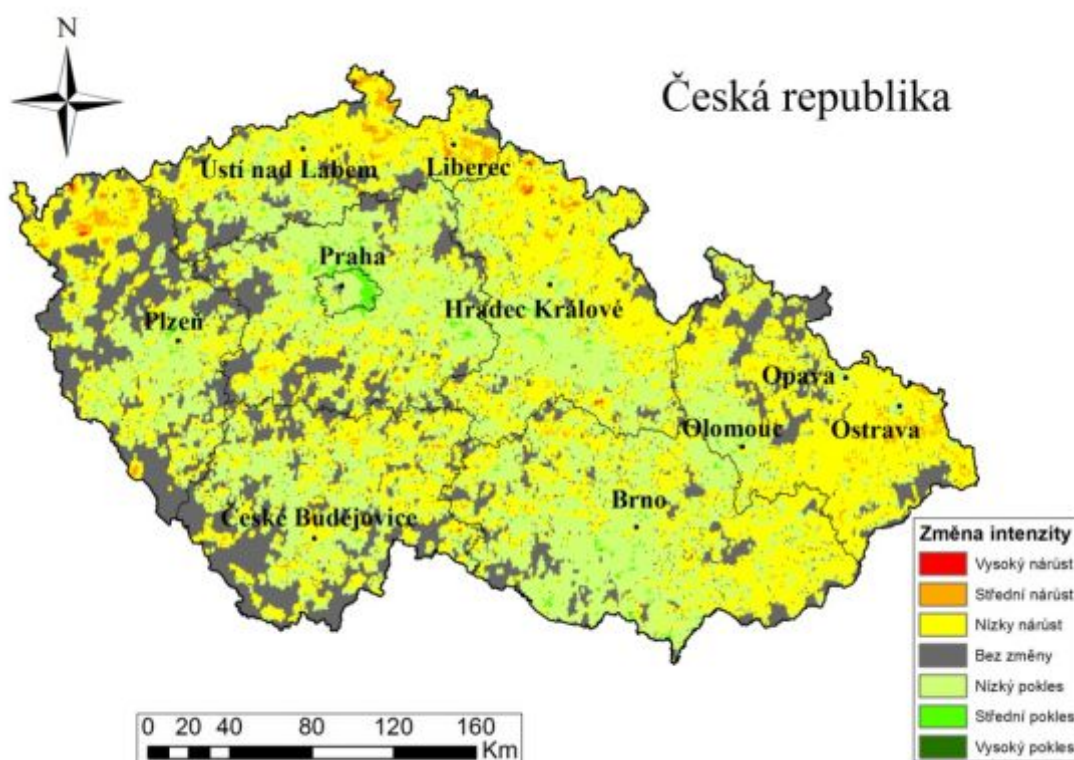


Obrázek č. 20: Změny intenzity DN mezi roky 1993 a 1994 na území České republiky.

Při porovnání roku 1994 a 1995 opět ubylo oblastí, v nichž nenastala změna hodnoty DN snímků.

Růst lze pozorovat nejvíce na severu a východě České republiky. Nejvíce oblastí růstu spadá do kategorie nízký nárůst. Střední nárůst je nejvíce na severu České republiky. Vysoký nárůst nastal pouze ojediněle například v okolí Dačic, Špindlerova Mlýnu nebo Kraslic.

Při hodnocení poklesu spadá většina území do kategorie nízký pokles. Střední pokles je nejvíce soustředěn v okolí Prahy a vysoký pokles je pouze ojediněle například v okolí Mikulova, Břeclavi nebo Ivančic (obrázek č. 21).

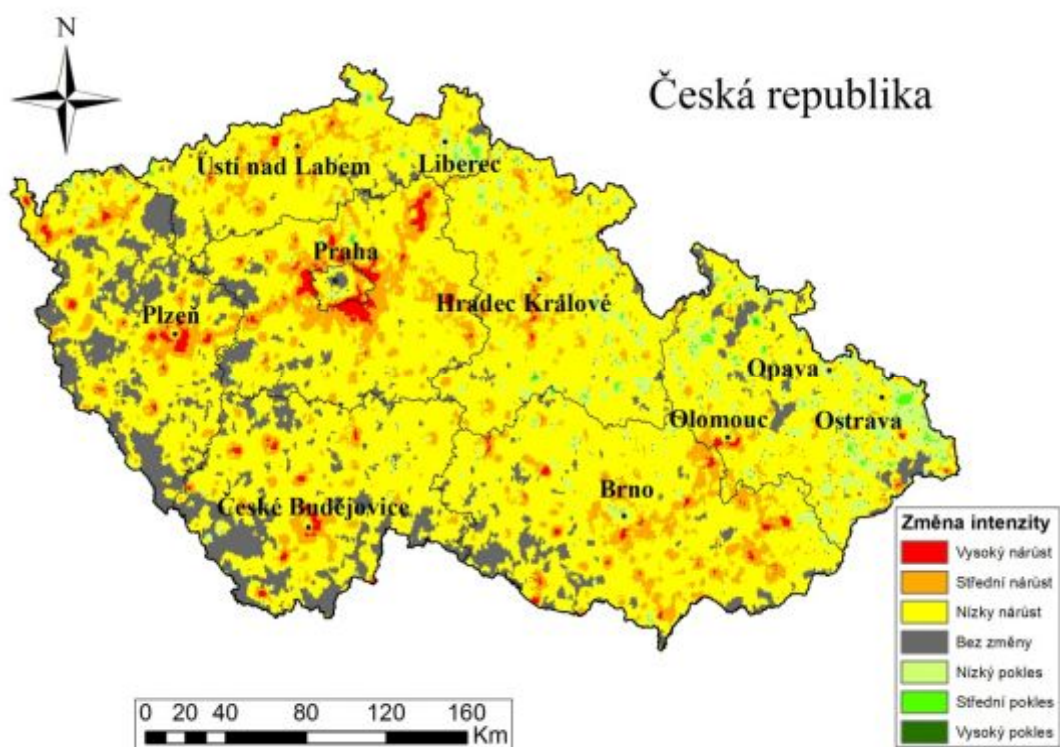


Obrázek č. 21: Změny intenzity DN mezi roky 1994 a 1995 na území České republiky.

Při hodnocení změn mezi rokem 1992 a 2013 je nejvíce oblastí bez změny na jihozápadě.

Při hodnocení růstu intenzity DN spadá nejvíce oblastí do kategorie nízký nárůst. Střední a vysoký nárůst nastal například v okolí Prahy, Plzně, Olomouce nebo Českých Budějovic.

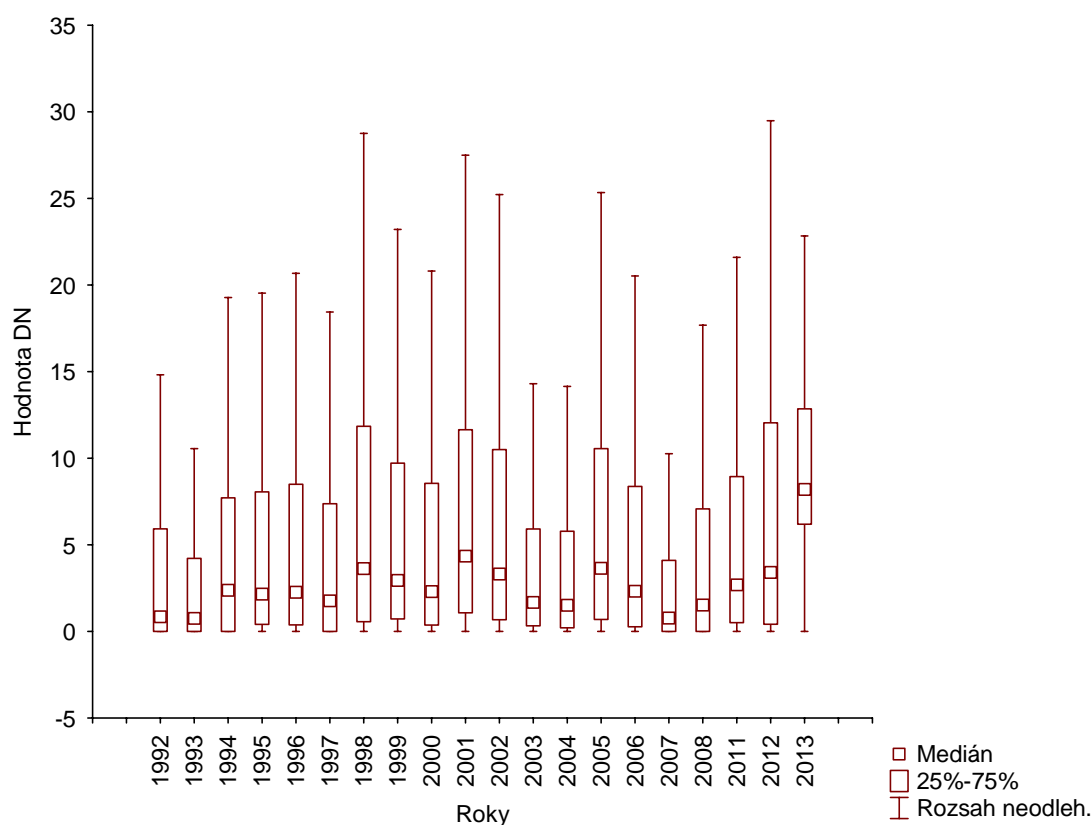
Nízký pokles nastal nejvíce v okolí Ostravy a Liberce. Několik oblastí má střední pokles a ještě méně je vysokého poklesu, který nalezneme například v okolí Vrba pod Pradědem, Hlinska nebo Vejprt (obrázek č. 22).



Obrázek č. 22: Změny intenzity DN mezi roky 1992 a 2013 na území České republiky.

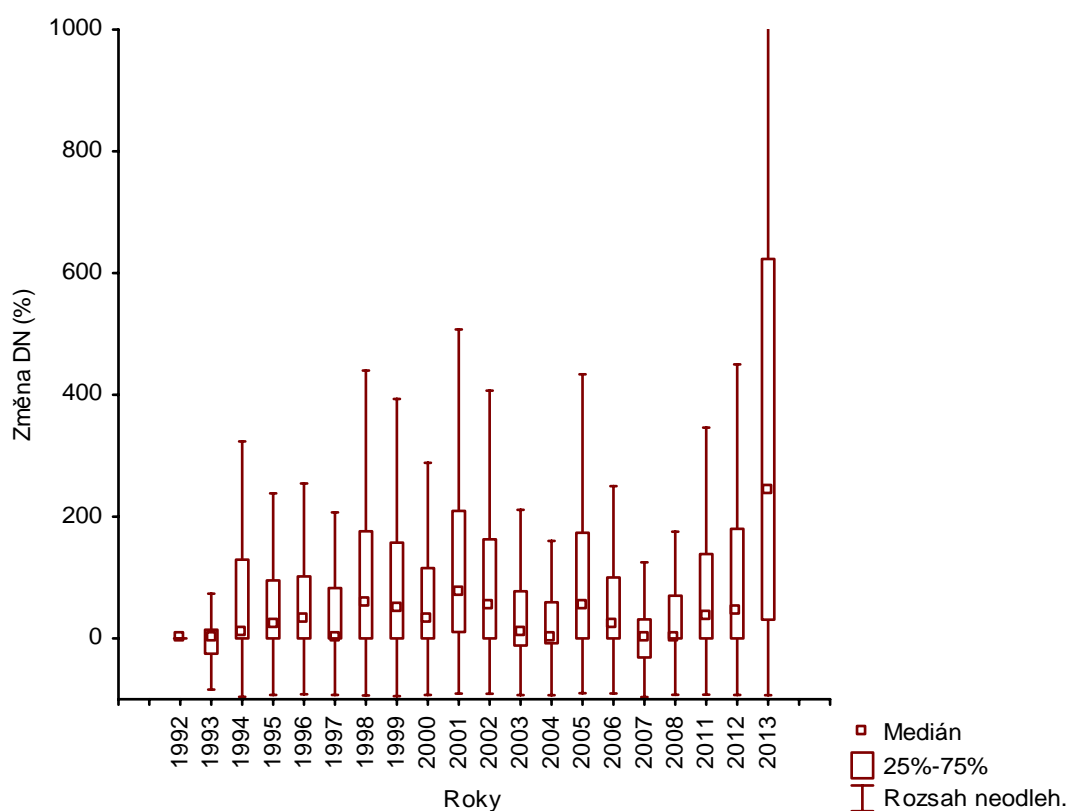
## 5.2 Statistické vyhodnocení dat

Rozdíly intenzity záření na území České republiky mezi jednotlivými roky byly hodnoceny pomocí Kruskal-Wallisova testu, který ukázal, že se hodnoty intenzit záření v jednotlivých letech statisticky významně liší ( $H = 565,2246$ ;  $p < 0,05$ ). Průběh změn byl takový, že do 2. čtvrtiny sledovaného období dochází k nárůstu středních hodnot DN snímků. Poté dochází až k 3. čtvrtině k poklesu a na konci období střední hodnoty DN snímků opět rostou (obrázek č. 23).

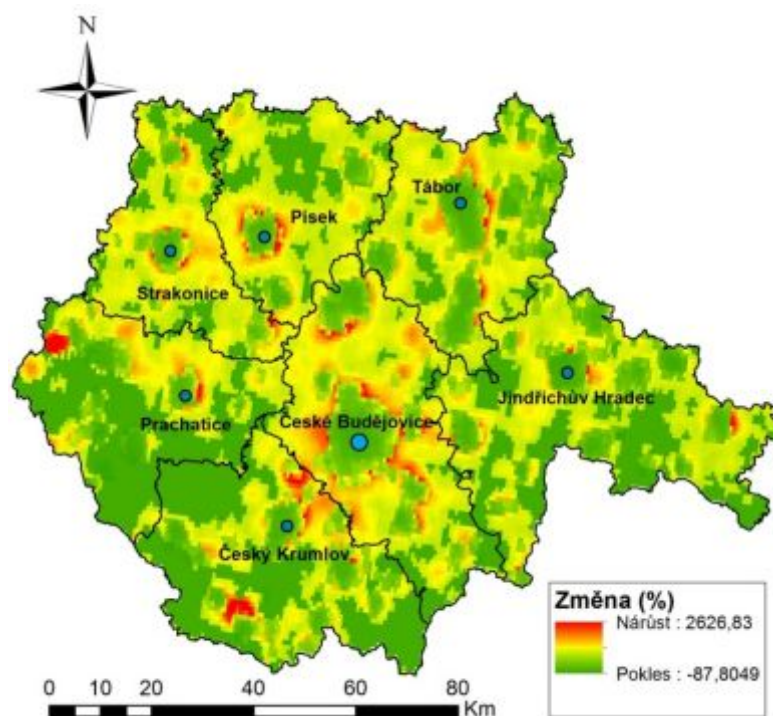


Obrázek č. 23: Graf změn statistického rozdělení DN hodnot snímků za sledované období.

Výsledky procentuální změny hodnot DN jednotlivých let oproti roku 1992 jsou v každém roce rozdílné s celkovou tendencí k růstu. V roce 1993, 1997, 2004, 2007 a 2008 jsou mediány stejné nebo velmi podobné počátečnímu roku. Největší nárůst je v roce 2013 (obrázek č. 24). Výsledek procentuálních změn hodnot DN mezi roky 1992 a 2013 je ukázán na příkladu Jihočeského kraje, kde je vidět, že extrémně vysoké hodnoty jsou nejvíce soustředěny v okolí větších měst (obrázek č. 25).

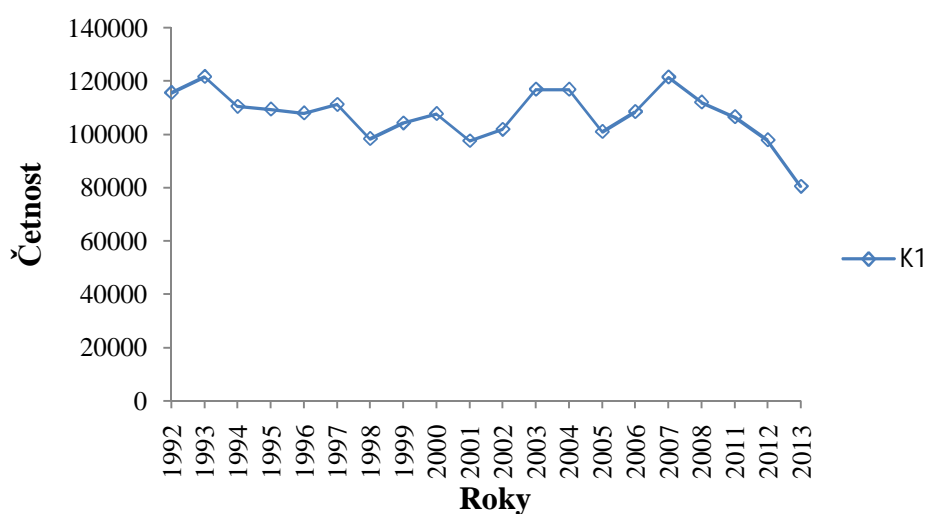


Obrázek č. 24: Procentuální změna DN hodnot v jednotlivých letech sledovaného období oproti roku 1992.



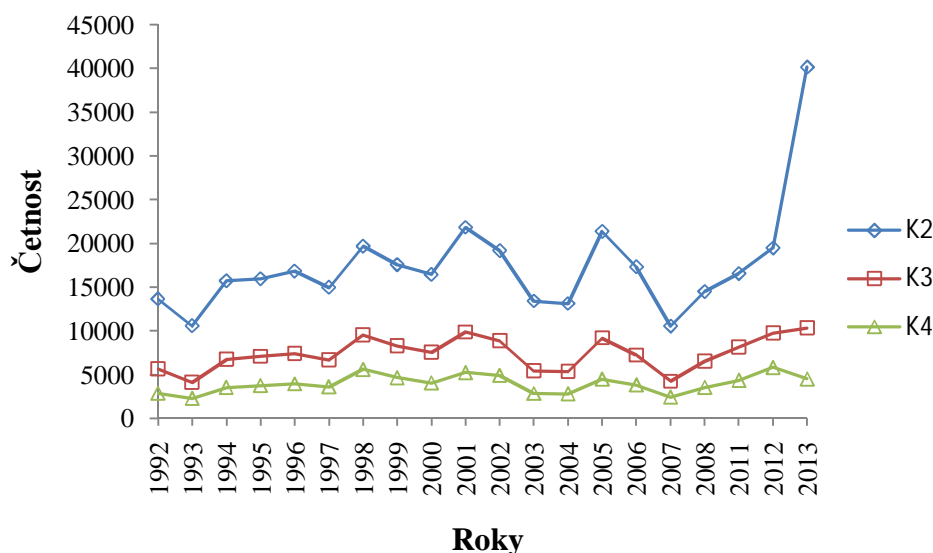
Obrázek č. 25: Procentuální změna hodnot DN mezi rokem 1992 a 2013 v Jihočeském kraji.

Hodnocení četností výskytu hodnot v jednotlivých kategoriích ukázalo následující trendy. Změna v četnostech kategorie 1 během sledovaného období probíhala tak, že až do 2. čtvrtiny dochází k postupnému snižování četnosti, následuje nárůst v 3. čtvrtině až nad hodnoty na začátku časové řady a v poslední čtvrtině dochází k prudkému snižování četnosti (obrázek č. 26).



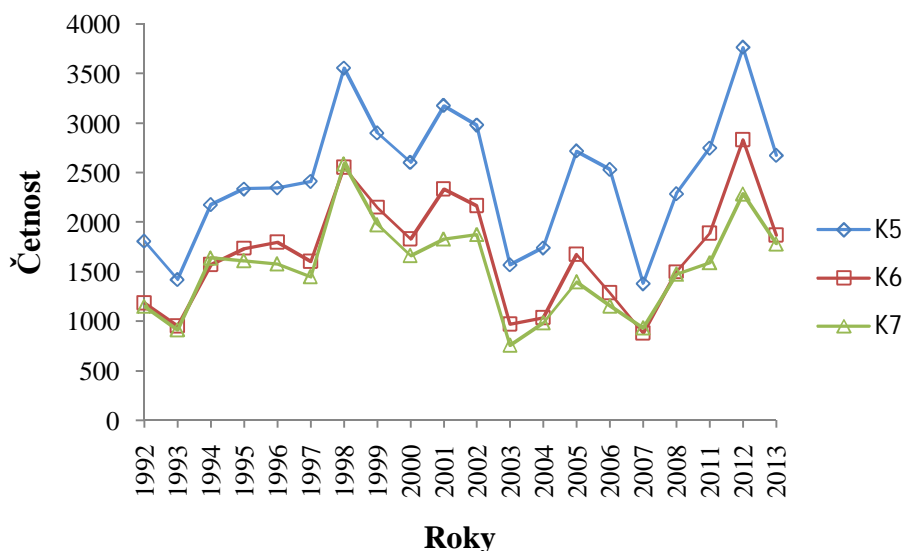
Obrázek č. 26: Změny v četnostech kategorie 1, která byla vytvořena z DN obsaženého v družicových snímcích během sledovaného období 1992 - 2013.

Změna v četnostech kategorie 2, 3 a 4 během sledovaného období probíhala tak, že zpočátku dochází k růstu hodnot až do 2. čtvrtiny, poté k poklesu v 3. čtvrtině až pod úroveň na začátku sledované řady. V poslední čtvrtině dochází u kategorie 2 a 3 k prudkému nárůstu především u kategorie 2. Kategorie 4 vykazuje poslední rok sledovaného období pokles (obrázek č. 27).



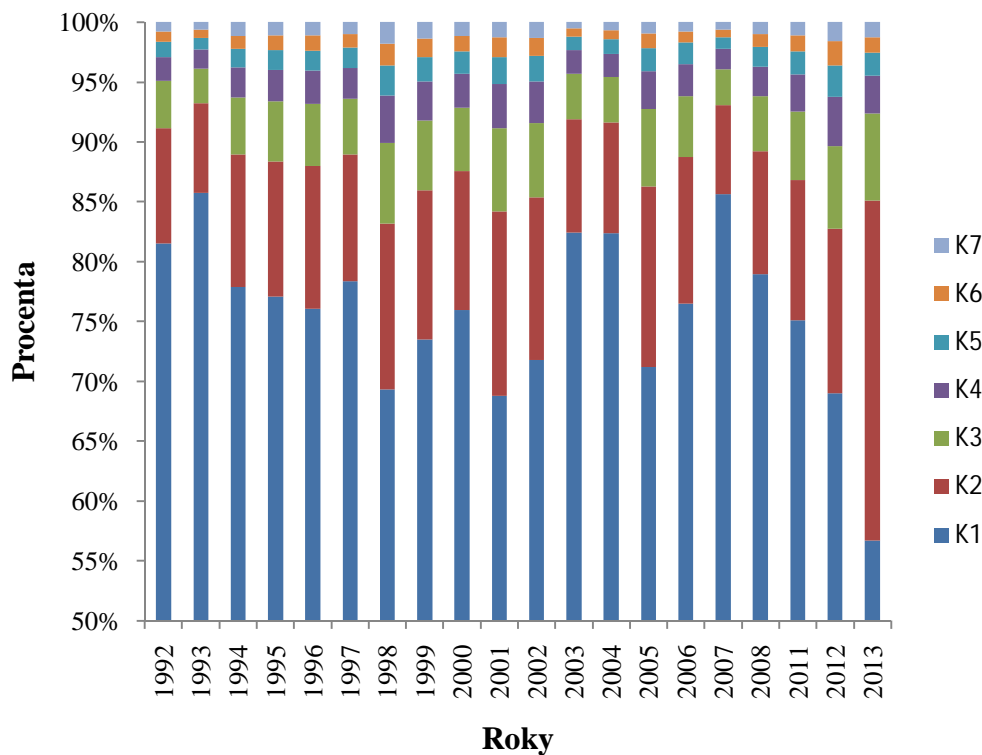
Obrázek č. 27: Změny v četnostech kategorie 2, 3, a 4, které byly vytvořeny z DN obsaženého v družicových snímcích během sledovaného období 1992 - 2013.

Změna v četnostech kategorie 5, 6 a 7 během sledovaného období probíhala tak, že zpočátku dochází k rozkolísanému růstu hodnot až do 2. čtvrtiny, poté během 3. čtvrtiny dochází k poklesu pod hodnoty na začátku sledovaného období a v poslední čtvrtině dochází k růstu, kdy poslední sledovaný rok dochází k poklesu jako u kategorie 4 na obrázku číslo 27 (obrázek č. 28).



Obrázek č. 28: Změny v četnostech kategorie 5, 6, a 7, které byly vytvořeny z DN obsaženého v družicových snímcích během sledovaného období 1992 - 2013.

Celkové procentuální porovnání četností mezi jednotlivými kategoriemi během sledovaných let je na obrázku číslo 29.



Obrázek č. 29: Procentuální zastoupení četností kategorie 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 7, které byly vytvořeny z DN obsaženého v družicových snímcích během let 1992 - 2013.



Jako první metoda pro potvrzení trendu byl použit Mann-Kendallův test. Trend byl potvrzen (byla vyvrácena hypotéza  $h_0$ ) pouze u kategorie 1 (tabulka 2), u ostatních kategorií trend potvrzen nebyl (nebyla vyvrácena  $h_0$ ).

Při zpracování dat Mann-Kendallovým testem byl sledován i Kendallův korelační koeficient  $\tau$ , který určuje sílu vztahu mezi proměnnými a sklon trendu.

Z hodnot Kendallova korelačního koeficientu  $\tau$  vyplývá, že kategorie 1 má klesající trend, který byl Mann-Kendallovým testem potvrzen. Ostatní kategorie, které nebyly Mann-Kendallovým testem potvrzeny, vykazovaly podle Kendallova korelačního koeficientu  $\tau$  mírně stoupající tendenci (tabulka 2).

Tabulka 2: Výsledky Mann-Kendalova testu a hodnoty Kendallova korelačního koeficientu  $\tau$  pro 7 kategorií 1992 – 2013.

| Kategorie | Trend      | Hodnota p | Kendalovo $\tau$ |
|-----------|------------|-----------|------------------|
| 1         | klesající  | 0.0492    | -0.2737          |
| 2         | nepotvrzen | 0.0825    | 0.2316           |
| 3         | nepotvrzen | 0.0563    | 0.2632           |
| 4         | nepotvrzen | 0.1166    | 0.2000           |
| 5         | nepotvrzen | 0.0825    | 0.2316           |
| 6         | nepotvrzen | 0.1929    | 0.1474           |
| 7         | nepotvrzen | 0.3386    | 0.0737           |

Další použitá metoda pro popsání trendu byla regresní analýza.

Pro volbu proložení, které nejvíce vystihuje průběh dat, byl sledován determinační koeficient ( $R^2$ ), který udává podíl rozptylu vysvětlený modelem (tabulka 3). V tabulce 3 je možno vidět, jak se postupně zlepšuje podíl rozptylu zachycený modelem s přidáním stupněm regrese. Zvýrazněné hodnoty v tabulce 3, byly potvrzeny regresní analýzou. Při použití regresní rovnice s dvěma parametry jsou data proložena přímkou, která postihuje maximálně 17,3 % rozptylu vysvětleného modelem.

Přidáním dalšího parametru do modelu se proložení mírně zlepšilo na maximálně 22,1 %.

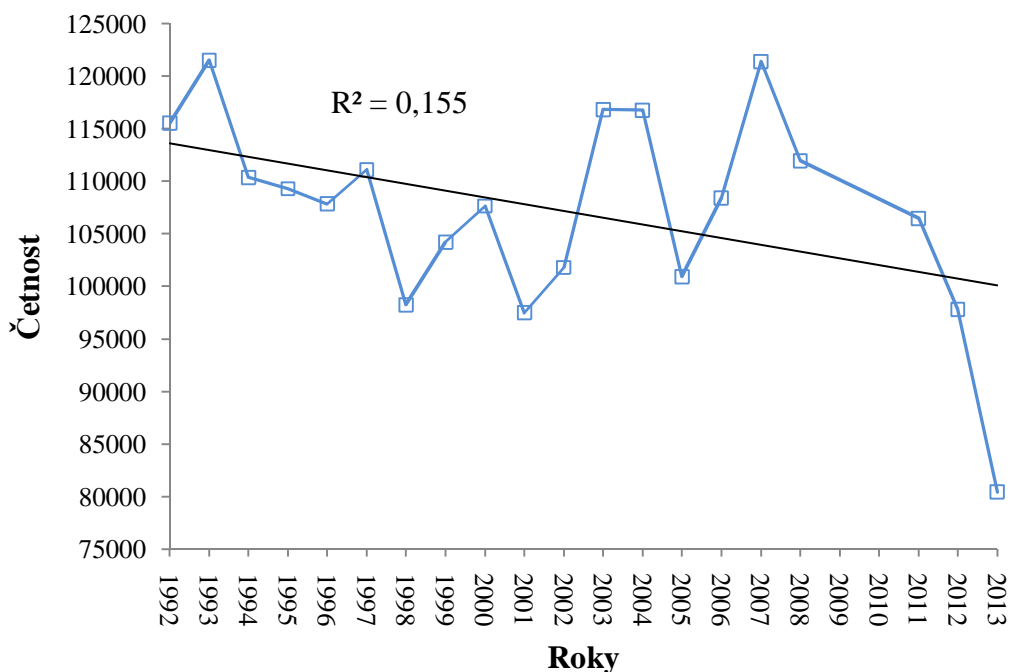
Největšího zlepšení dosahuje polynom 3. stupně, který je popsán kubickou parabolou, která postihuje maximálně 53,5 % rozptylu.

Po přidání dalšího parametru se proložení zlepší nejvíce u kategorie 1 a 2. U dalších kategorií dojde pouze k mírnému zlepšení. Z toho vyplývá, že by nejlépe modelu vyhovovala polynomická regrese 4. stupně, ale při regresní analýze nebyl trend potvrzen (nebyla vyvrácena  $H_0$ ) (tabulka 3). Proto byl trend v této práci hodnocen nelineární regresí s polynomem 3. stupně. Dalším důvodem bylo také to, že se polynomická regrese 4. stupně v praxi pro svou složitost nevyužívá (Lepš, 1996).

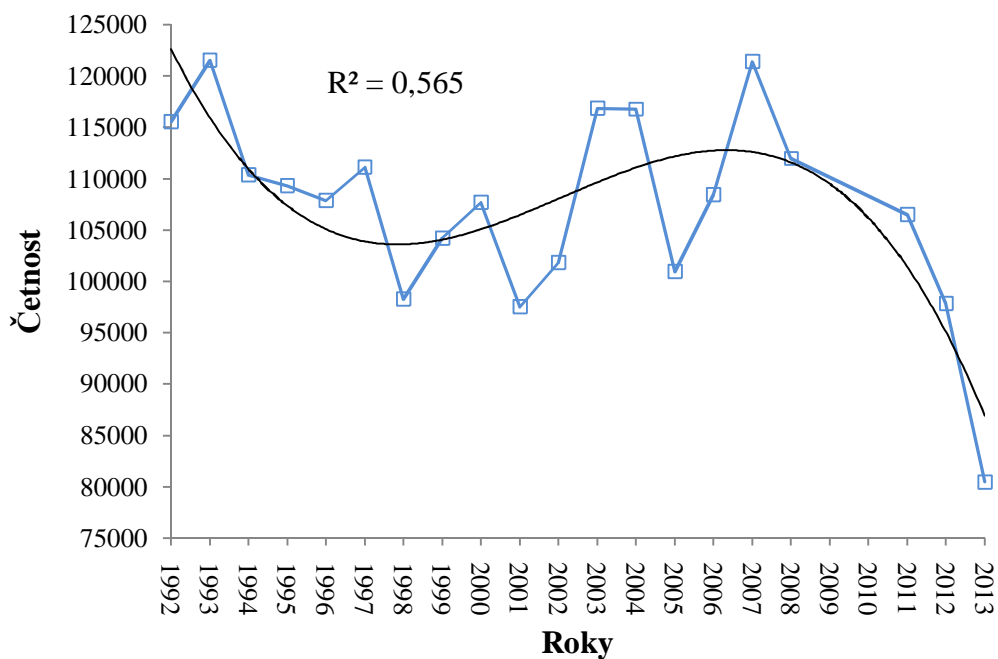
Tabulka 3: Hodnoty  $R^2$  pro jednotlivé kategorie v regresní analýze - zvýrazněné hodnoty byly potvrzeny regresní analýzou.

|                          | <b>Kategorie</b> |              |              |              |              |              |              |
|--------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                          | <b>1</b>         | <b>2</b>     | <b>3</b>     | <b>4</b>     | <b>5</b>     | <b>6</b>     | <b>7</b>     |
| <b>Přímka</b>            | 0.155            | 0.173        | 0.121        | 0.082        | 0.072        | 0.025        | 0.005        |
| <b>Parabola</b>          | 0.164            | 0.221        | 0.126        | 0.108        | 0.091        | 0.031        | 0.005        |
| <b>Kubická parabola</b>  | <b>0.565</b>     | <b>0.535</b> | <b>0.453</b> | <b>0.412</b> | <b>0.376</b> | <b>0.432</b> | <b>0.459</b> |
| <b>Polynom 4. stupně</b> | 0.699            | 0.729        | 0.523        | 0.436        | 0.387        | 0.444        | 0.461        |

Grafické znázornění proložení dat je na obrázku číslo 30 a 31. Obrázek 30 znázorňuje průběh četností kategorie 1 za sledované období s přidanou regresní přímkou a determinačním koeficientem ( $R^2$ ). Obrázek 31 znázorňuje průběh četností kategorie 1 za sledované období s přidanou kubickou parabolou a determinačním koeficientem ( $R^2$ ).



Obrázek č. 29: Průběh četností kategorie 1 za sledované období s přidanou regresní přímkou a determinačním koeficientem ( $R^2$ ).



Obrázek č. 30: Průběh četností kategorie 1 za sledované období s přidanou kubickou parabolou a determinačním koeficientem ( $R^2$ ).

V softwaru Statistica byla provedena regresní analýza četností jednotlivých kategorií během sledovaného období. Výsledky testu jsou v tabulce 4. Ve všech

kategoriích byl potvrzen trend, že přibližně do roku 1997 hodnoty četností kategorií 2-7 stoupají. Následně od roku 1997 do roku 2006 hodnoty klesají a po roce 2006 opět stoupají až do roku 2013.

Tabulka 4: Výsledky nelineární regrese s polynomem 3. stupně pro jednotlivé kategorie.

| <b>Kategorie</b> | <b>Počáteční rok</b> | <b>Trend</b> | <b>Rok změny</b> | <b>Trend</b> | <b>Rok změny</b> | <b>Trend</b> | <b>Konečný rok</b> |
|------------------|----------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|--------------------|
| <b>1</b>         | 1992                 | klesající    | 1997             | stoupající   | 2006             | klesající    | 2013               |
| <b>2</b>         | 1992                 | stoupající   | 1997             | klesající    | 2006             | stoupající   | 2013               |
| <b>3</b>         | 1992                 | stoupající   | 1997             | klesající    | 2006             | stoupající   | 2013               |
| <b>4</b>         | 1992                 | stoupající   | 1997             | klesající    | 2006             | stoupající   | 2013               |
| <b>5</b>         | 1992                 | stoupající   | 1997             | klesající    | 2006             | stoupající   | 2013               |
| <b>6</b>         | 1992                 | stoupající   | 1997             | klesající    | 2006             | stoupající   | 2013               |
| <b>7</b>         | 1992                 | stoupající   | 1997             | klesající    | 2006             | stoupající   | 2013               |

## 6. Diskuze

V současné době se problém světelného znečištění začíná více objevovat v různých pracích, kde jsou popisovány vlivy na organismy, rozšiřování umělého světla za hranice lidských sídel nebo snižování možnosti pozorovat nebeská tělesa. Jsou také vytvářeny mapy popisující stav světelného znečištění na Zemi pomocí družicových, případně leteckých snímků. V některých pracích jsou hodnoceny změny v distribuci světla během několika let za pomoci družicových snímků (Han a kol. 2014; Benie a kol. 2014; Chalkias a kol. 2006).

Pro hodnocení jsem zvolil oblast České republiky. V České republice se vyskytuje velké množství malých obcí (do 500 obyvatel) v porovnání s velkými městy (nad 20 000 obyvatel). Z tohoto poznání můžeme předpokládat, že města budou z hlediska světla vyzařovaného do atmosféry ovlivňovat menší území, avšak s větší intenzitou než menší obce ([www.is.muni.cz](http://www.is.muni.cz))

Vysokou intenzitu světla ve velkých městech, kde se centra nemění, je možno vidět v mapových výsledcích. Je to způsobeno tím, že jsou tato místa již na začátku sledovaného období, tedy v roce 1992, nasycena na maximální možnou úroveň ( $DN_{max} = 64$ ), který je družice DMSP schopna zaznamenat (barevná hloubka 6 bitů). Jinak by to bylo u družice Suomi NPP, která je ovšem na oběžné dráze pouze od roku 2011. Druhý typ družice je vybaven novějším senzorem než DMSP. Tento senzor dokáže zaznamenávat barevnou hloubku 14 bitů ( $DN_{max} = 16\,384$ ). Krátká existence družice však neumožňuje provádět porovnání delších časových řad (Elvidge a kol. 2013). Z tohoto důvodu jsou autoři, kteří zpracovávají vývoj světelného znečištění v čase, prozatím odkázáni na data z družic DMSP.

Nárůst v okolí Ostravy může být uměle zvětšován rozptylem světla do velkých vzdáleností z důvodu velkého obsahu prachových částic ve vzduchu (Kondziolka a kol., 2008) Pokles může být způsoben poklesem úrovně průmyslu.

Při hodnocení procentuální změny jednotlivých roků oproti roku 1992 vyšly v některých letech vysoké hodnoty změn. Je to způsobeno tím, že je jedná o poměr mezi hodnotami. Extrémně vysoké hodnoty jsou soustředěny v okolí větších měst, což může být způsobeno zvýšenou satelitní výstavbou. V roce 2013 je změna středních hodnot, oproti roku 1992 až téměř 300 %. Je to pravděpodobně způsobeno

rostoucím výskytem menších zdrojů světla, které střední hodnoty výrazně zvětšují. Tento závěr podporují i výsledky z hodnocení průběhu četností mezi kategoriemi.

Při hodnocení trendu četností mezi kategoriemi Mann-Kendallův test potvrdil trend pouze u kategorie 1. U ostatních kategorií trend potvrzen nebyl, což může být způsobeno různorodým přesunem hodnot mezi jednotlivými kategoriemi během let. U všech nepotvrzených kategorií byla podle hodnoty Kendallova korelačního koeficientu pozorována mírně stoupající tendence. Když uvážíme, že kategorie 1 je oproti ostatním kategoriím inverzní, prokázání poklesu trendu u kategorie 1 v podstatě prokazuje i trend růstu ostatních kategorií, pokud bychom kategorie 2-7 spojily do jedné.

Průkazný nárůst světelného znečištění dokládá řada autorů z různých zemí světa. Cinzano (2000) prokázal meziroční nárůst světelného znečištění na území severovýchodní Itálie o 5 % od roku 1960 do roku 1995. Ve své práci také uvádí výsledky jiných autorů. Například Walker (1973) potvrzuje nárůst osvětlení atmosféry v okolí San Jose o 5 % mezi lety 1938-1972 a o 6,2 % mezi lety 1965-1978. Isobe a Hamamura (2000) dokládají meziroční nárůst emisí světla do noční oblohy o 12 %.

Ve svém výzkumu dospěl Bennie a kol. (2014) k výsledku, že na většině území Evropy dochází během let 1995-2010 k nárůstu světla vyzařovaného do atmosféry

Při hodnocení změn světelného znečištění na území Číny došli Han a kol. (2014) k výsledku, který potvrzuje nárůst z původní hodnoty 2,08% mezi roky 1992 a 1996 na hodnotu 5,64% mezi roky 2008 a 2012.

Závěry, že se intenzita světla vyzařovaného do atmosféry během let zvětšuje, lze vyvodit z polské studie od Ścieżora a kol. (2012), kteří potvrzují nárůst jasu noční oblohy v oblasti hranic s Českou republikou od roku 1995 do roku 2004.

Výsledky z regresní analýzy ukazují, že trend během let 1992 a 2013 má tři části. Nejdříve se přesun mezi kategoriemi 2-7 zvětšuje až do roku 1997, poté do roku 2006 klesá a následně od roku 2006 opět roste. Změnu trendu z rostoucího na klesající mezi roky 1997 - 2006 není možné zcela vysvětlit. Celkový průběh změn mezi jednotlivými roky je velice různorodý. Může to být způsobeno mnoha vlivy, které působí na celkový vývoj trendu stejným nebo naopak opačným směrem. Například by změna trendu mohla být způsobena „velkou privatizací“, do které vstupovaly zejména velké průmyslové podniky a banky.

Nárůst kolem roku 2006 je možný vysvětlit vstupem České republiky do Evropské unie a čerpání dotací. U obou těchto vlivů by ovšem bylo zapotřebí znát reakční dobu a s tím spojený ekonomický rozvoj.

Vliv ekonomiky předpokládá ve své studii Elvidge a kol. (2005). V práci Elvidgeho a kol. (2005) je jako příklad uvedena Moldávie. Na tomto území lze pozorovat výrazné snížení intenzity světla od roku 1992 do roku 2003. Autor výzkumu tuto změnu přisuzuje úpadku ekonomiky státu vlivem rozpadu Sovětského svazu.

Některé menší změny lze přisuzovat například změnám v zákonech, kdy například v roce 2002 bylo rušivé světlo zahrnuto do zákona č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. Tento zákon zakazoval svítit jinam než na místo k tomu určené. Tento zákon byl však již v roce 2004 novelizován, kdy původní zákaz byl nahrazen dobrovolným rozhodnutím každé obce, zda světlo omezí či nikoliv (Seminář Temné nebe, 2008).

Možnou příčinu poklesu světelného znečištění uvádí Hollan (2004). Ten v závěrečné zprávě, která se zabývala mapováním světelného znečištění a negativními vlivy při osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky, přisuzuje možný úbytek světelného znečištění zdražování elektrické energie. V této zprávě lze také nalézt informaci, že poměrně velkým zdrojem světelného znečištění jsou reklamní poutače (billboardy). Způsob jejich osvětlování byl upraven vyhláškou číslo 137/1998 sb. o obecných technických požadavcích na výstavbu. V § 60 odstavci 1 se píše, že stavby a zařízení pro informace a reklamu nesmějí nad přípustnou míru mimo jiné obtěžovat okolí světlem ([www.nipi.cz](http://www.nipi.cz)). Nedostatkem této vyhlášky je, že chybí definice přípustné míry.

Celkovou mírně stoupající tendenci světelného znečištění v České republice lze vyvodit z faktu, že světelné znečištění je v podstatě vytvářeno antropogeniím zdrojem záření. Lze tedy předpokládat, že s rozvojem lidských sídel se bude také zvětšovat i území, které je světelným znečištěním zasaženo.

Celkově lze říci, že vývoj světelného znečištění může poznamenat řada faktorů, které nejsme schopni zcela definovat jako například vývoj ekonomiky státu, míru dotací, změny v infrastruktuře, války, nárůst či pokles populace, vývoj cen energií, zákony atd.

## 7. Závěr

Světelné znečištění je problém, který je potřeba řešit z důvodu jeho negativního vlivu na organismy nebo také z důvodu ekonomických ztrát vlivem neefektivně využitého světla. Primárním cílem v předkládané diplomové práci bylo vyhodnocení změn časové řady snímků světelného znečištění v České republice za období 1992 až 2013. K tomuto účelu byly využity družicové snímky z družice DMSP. Vizuální hodnocení změn prokázalo nárůst intenzity DN nejvíce v okolí velkých měst. Statistické vyhodnocení bylo zprostředkováno Kruskal-Wallisovým, Mann-Kendallovým testem trendu a regresní analýzou. Bylo potvrzeno, že se hodnoty DN mezi jednotlivými roky statisticky významně liší. Při hodnocení četností bylo zjištěno, že průběh přesunu kategorií s intervaly hodnot DN má mírně stoupající tendenci. Stoupající trend kategorií 2 - 7 byl potvrzen od roku 1992 do roku 1997. Po roce 1997 se trend změnil na klesající až do roku 2006. Od roku 2006 až do současnosti má trend stoupající tendenci. Změny v trendu může poznamenat řada faktorů, které nejsme schopni zcela definovat jako například vývoj ekonomiky státu, míru dotací, změny v infrastruktuře, války, nárůst či pokles populace, vývoj cen energií, zákony atd. Nárůst světelného znečištění potvrzují studie mnoha autorů, kteří pocházejí z různých zemí světa.



## 8. Literatura

AUBÉ, M a M KOCIFAJ. Light pollution: Theory, modeling, and measurements. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 2014, č. 139, 1-2.

BENNIE, J, T W DAVIES, J P DUFFY, R INGER a K J GASTON. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. *Scientific Reports*. 2014. č. 4, 1-6.

BERGEN, F, M ABS. . Etho-ecological study of the singing activity of the blue tit (*Parus caeruleus*), great tit (*Parus major*) and chaffinch (*Fringilla coelebs*). *Journal für Ornithologie*. 1997. č. 138, 451-467

BLASK, D, E, G C BRAINARD, R T DAUCHY, J P HANIFIN, L K DAVIDSON, J A KRAUSE, L A SAUER, M A RIVERA-BERMUDEZ, M L DUBOCOVICH, S A JASSER, D T LYNCH, M D ROLLAG a F ZALATAN. Melatonin-Depleted Blood from Premenopausal Women Exposed to Light at Night Stimulates Growth of Human Breast Cancer Xenografts in Nude Rats. *American Association for Cancer Research*. 2005. č. 65, 11174-11184.

BOURGEOIS, S, E GILOT-FROMONT, A VIALLEFONT, F BOUSSAMBA a S L DEEM. Influence of artificial lights, logs and erosion on leatherback sea turtle hatchling orientation at Pongara National Park, Gabon. *Biological conservation*. 2008. č. 142, 85-93.

BRUCE-WHITE a M SHARDLOW. A review of the impact of artificial light on invertebrates. *Buglife – The Invertebrate Conservation Trust*. 2011. 33s. ISBN 978-1-904878-99-5.

BRÜNING, A, F HÖLKER a CH WOLTER. Artificial light at night: implications for early life stages development in four temperate freshwater fish species. *Aquatic Sciences*. 2011. č. 73, 143-152.

BRÜNING, A, F HÖLKER, S FRANKE, T PREUER a W KLOAS. Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress. *Science of the Total Environment*. 2014. č. 511, 516 – 522.

CAMPBELL, J, B. Inroduction to remote sensing. London, New York: Taylor & Francis. 2002. ISBN 0-415-28294-2

CATHEY, H, M, a L E CAMPBELL. Security lighting and its impact on the landscape. *Journal of Arboriculture*.1975. č. 1, 181-187.

CINZANO, P. The growth of light pollution in North-Eastern Italy from 1960 to 1995. *Memorie della Società Astronomia Italiana*. 2000. č. 71, 159-165.

DEDA, P, I ELBERTZHAGEN a M KLUSSMANN. Light pollution and the impacts on biodiversity, species and their habitats. *Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals*. 2007, č. 27, 133-139.

DERRICKSON, KC. Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. *Condor*. 1988, č. 90, 592– 606.

DOBROVOLNÝ, P. Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu. *Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity*. 1998.

DOMINONI, D, M, M QUETTING a J PARTECKE. Long-Term Effects of Chronic Light Pollution on Seasonal Functions of European Blackbirds (*Turdus merula*). *PLoS ONE*. 2013. č. 8, 1-9.

ELVIDGE, CH, D, K E BAUGH, E A KIHN, H W KROEHL a E R DAVIS. Mapping City Lights With Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 1997. č. 63, 727-734.

ELVIDGE, CH, D, K E BAUGH, J SAFRAN, B T TUTTLE, A T HOWARD, P J HAYES, J JANTZEN a E H ERWIN. Preliminary Results From Nighttime Lights Change Detection. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2005. č. 36, 8-12.

ELVIDGE, CH, D, K E BAUGH, M ZHIZHIN, F CH HSU. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*. 2013. č. 35, 62-69.

FALCHI, F, P CINZANO, CHD ELVIDGE, DM KEITH a A HAIM. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*. 2011, č. 92, 2714-2722.

GASTON, K, J, T W DAVIES, J BENNIE a J HOPKINS. Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *Journal of Applied Ecology*. 2012. č. 49, 1256-1266.

HALOUNOVÁ, L a K PAVELKA. Dálkový průzkum země. *Praha: České vysoké učení technické v Praze*. 2008.

HAN, P, J HUANG, R LI, L WANG, Y HU, J WANG a W HUANG. Monitoring Trends in Light Pollution in China Based on Nighttime Satellite Imagery. *Remote Sensing*. 2014. č. 6, 5541-5558.

HEALTH COUNCIL OF THE NETHERLANDS. Impact of outdoor lighting on man and nature. *The Hague: Health Council of the Netherlands*, 2000.

HENDL, J. Přehled statistických metod: Analýza a metaanalýza dat. Vyd. 4. *Praha: Portál*. s. 734. ISBN 978-80-262-0200-4.

HOLLAN, J. Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. *Brno: Přírodovědecká fakulta Masarykovi univerzity*. 2004.

HOUSE OF COMMONS SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMITTEE. Light pollution and astronomy. Seventh Report of Session 2002-03. 2003.

CHALKIAS, C, M PETRAKIS, B PSILOGLOU a M LIANOU. Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS. *Journal of Environmental Management*. 2006, č. 79, 57-63.

CHEPESIUK, R. Missing the Dark Health Effects of Light Pollution. *Environmental Health Perspectives*. 2009, č. 117, 20-27.

CHO, J, R, E Y JOO, A L KOO a A B HONG. Let there be no light: the effect of bedside light on sleep quality and background electroencephalographic rhythms. *Sleep Medicine*. 2013. č. 14, 1422-1425.

ISOBE, S a S HAMAMURA. Monitoring light energy loss estimated by the DMSP satellites. *Memorie della Società Astronomia Italiana*. 2000. č. 71, 131-138.

KONDZIOLKA, J. et al. *Světelné znečištění*. Sezimovo Ústí: Hvězdárna Františka Pešty, 2008.

KYBA, CH, C, M, T RUHTZ, J FISHER a F HÖLKER. Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. *PLoS ONE*. 2011. č. 6, 1-9.

LANGEVELDE, F, J A ETTEMA, M DONNERS, M F WALLISDEVRIES a D GROENENDIJK. Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation*. 2011. č. 144, 2274-2281.

LEPŠ, J. Biostatistika. *České Budějovice: Biologická fakulta Jihočeské univerzity*. 1996. ISBN 80-7040-154-0.

LIBISELLER, C a A GRIMVALL. Performance of partial Mann-Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics*. 2002. č. 13, 71-84.

LONGCORE, T a C RICH. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, DC: Island Press, 2006.

LONGCORE, T a C RICH. *Ecological light pollution. Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004. č. 2, 191-198.

MAZEROLLE, MJ, M HUOT a M GRAVEL. Behavior of amphibians on the road in response to car traffic. *Herpetologica*. 2005, č. 62, 380–388.

MAZOR, T, N LEVIN, H P POSSINGHAM, Y LEVY, D ROCCHINI, A J RICHARSON a S KARK. Can satellite-based night lights be used for conservation? The case of nesting sea turtles in the Mediterranean. *Biological Conservation*. 2012. č. 159, 63-72.

MILLER, M, W. Apparent Effects of Light Pollution on Singing Behavior of American Robins. *The Cooper Ornithological Society - The Condor*. 2006. č. 108, 130-139.

MILLER, S, S P MILLS, CH D ELVIDGE, D T LINDSEY, T F LEE a J D HAWKINS. Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012. č. 109, 15706–15711.

MIZON, B. *Light pollution: responses and remedies*. London: Springer-Verlag, 2002. 216s. ISBN 1-85233-497-5

PERKIN, E, K, F HÖLKER, J S RICHARDSON, J P SADLER, CH WOLTER a K TOCKNER. The influence of artificial light on stream and riparian ecosystems: questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere*. 2011. č. 2, 1-16.

RAND, AS, ME BRIDAROLLI, L DRIES L a MJ RYAN. Light levels influence female choice in Tungara frogs: predation risk assessment? *Copeia*. 1997, 447–450.

REITER, R, J, F GULTEKIN, L C MANCHESTER a D-X TAN. Light pollution, melatonin suppression and cancer growth. *Journal of Pineal Research*. 2006. č. 40, 357-358.

RIVAS, M, L, P S TOMILLO, J D URIBEONDO a A MARCO. Leatherback hatchling sea-finding in response to artificial lighting: Interaction between wavelength and moonlight. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2014. č. 465, 143-149.

ŚCIEŻOR, T, M KUBALA a W KASZOWSKI. Light pollution of the mountain areas in Poland. *Archives of Environmental Protection*. 2012. č. 38, 59-69.

SVATOŇOVÁ, H a L LAUERMANN. Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací. Brno: Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. 2010. ISBN 978-80-210-5162-1.

VERUTES, G, M, CH HUANG, R R ESTRELLA a K LOYD. Exploring scenarios of light pollution from coastal development reaching sea turtle nesting beaches near Cabo Pulmo, Mexico. *Global Ecology and Conservation*. 2014. č. 2, 170-180.

WALKER, M, F. Light pollution in California and Arizona. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 1973. č. 85, 508-519.

WISE, S. Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: amphibians as models. *Journal of Thermal Biology*. 2007, č. 6, 107-116.

WYSE, C, A, C SELMAN, M M PAGE, A N COOGAN a D G HAZLERIGG. Circadian desynchrony and metabolic dysfunction; did light pollution make us fat? *Medical Hypotheses*. 2011. č. 77, 1139-1144.

## **Další zdroje:**

Seminář Temné nebe. Hvězdárna Františka Pešty, Sezimovo Ústí, 2008.

Www.flap.org. Fatal light awareness program [online]. 2015 [cit. 2015-01-15].  
Dostupné z: <http://www.flap.org/toronto-lights-out.php>

Www.is.muni.cz. Vybrané kapitoly ze socioekonomické geografie České republiky [online]. 2013 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js13/geograf/web/pages/02-sidelni-struktura.html>

Www.ngdc.noaa.gov. National Oceanic and Atmospheric Administration [online]. 2015 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp.html>

Www.npp.gsfc.nasa.gov. National Aeronautics and Space Administration [online]. 2015 [cit. 2015-11-06]. Dostupné z: [http://npp.gsfc.nasa.gov/suomi\\_mission\\_details.html](http://npp.gsfc.nasa.gov/suomi_mission_details.html)

Www.nrcan.gc.ca Natural Resources Canada [online]. 2015 [cit. 2015-02-07].  
Dostupné z: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9309?destination=node/1430>

Www.nipi.cz Národní institut pro integraci osob [online]. 2008 [cit. 2015-11-11].  
Dostupné z: <http://www.nipi.cz/vismo/dokumenty2.asp?id=1011>

Www.visibleearth.nasa.gov. NASA [online]. 2000 [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=55167>

## **9. Přílohy**

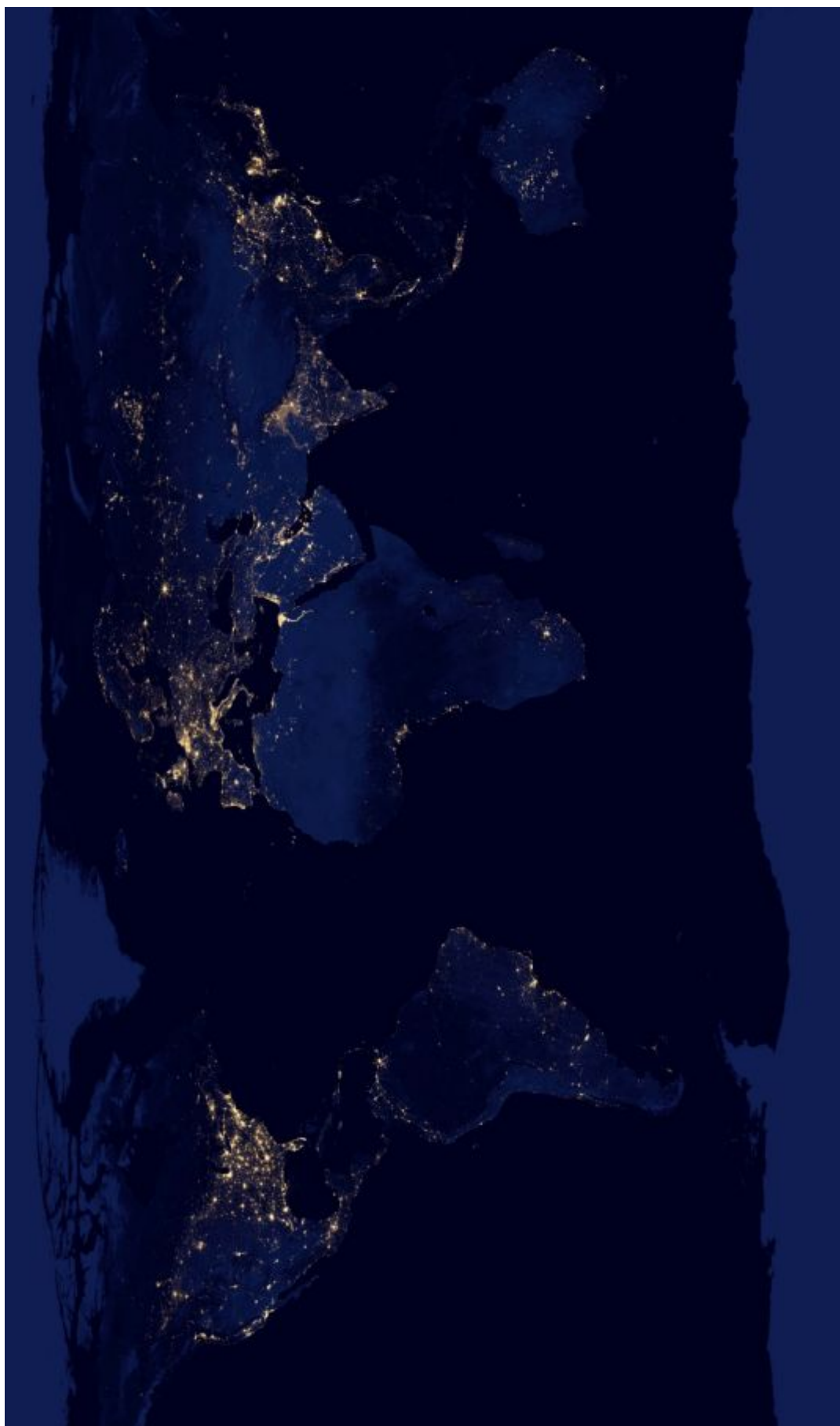
### **Seznam příloh**

Příloha 1      Antropogenní zdroje světla.

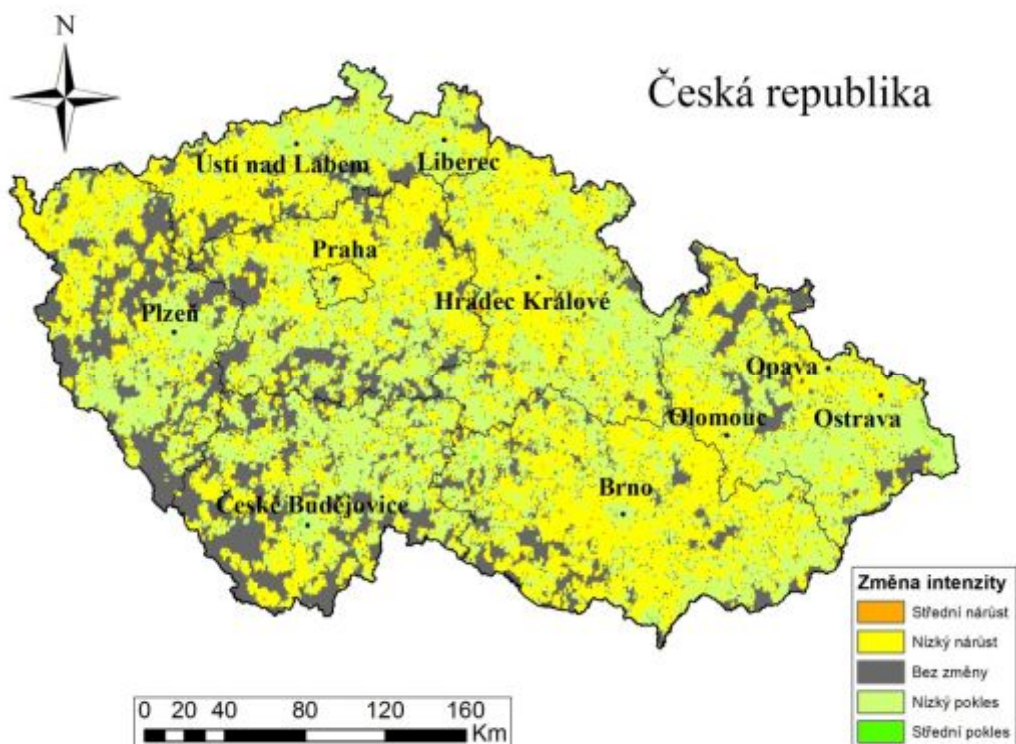
Příloha 2      Mapy meziročních změn DN v České republice od roku 1996 až 2013  
(mapy od roku 1992 do roku 1995 jsou v kapitole Výsledky).



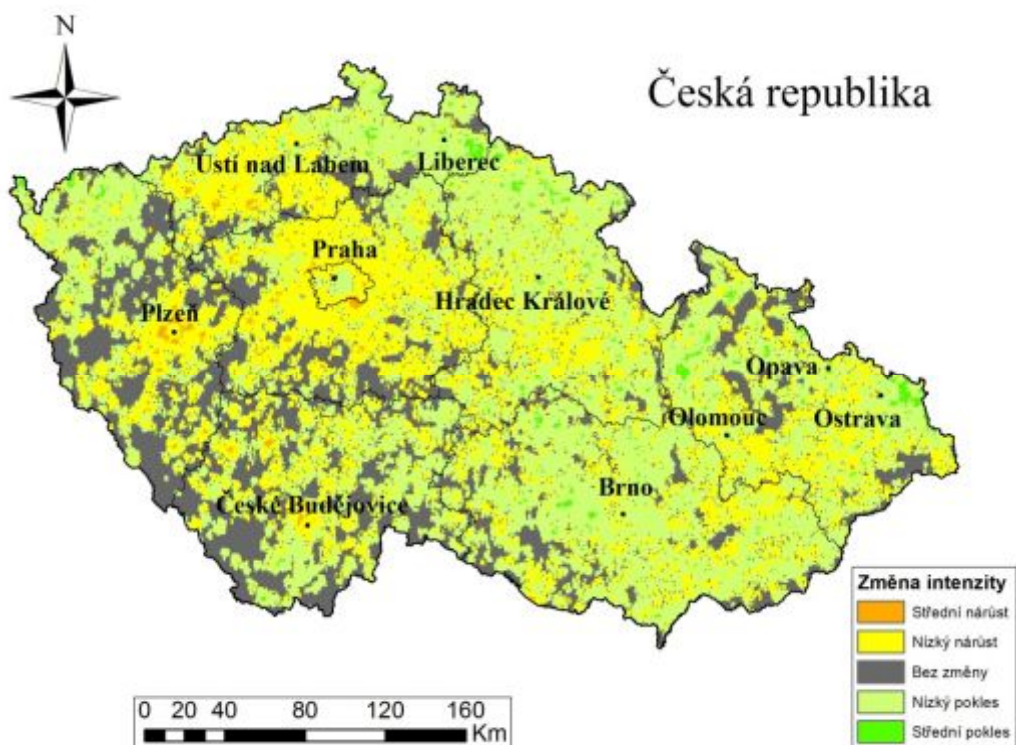
Příloha 1 – Antropogenní zdroje světla ([Www.visibleearth.nasa.gov](http://www.visibleearth.nasa.gov)).



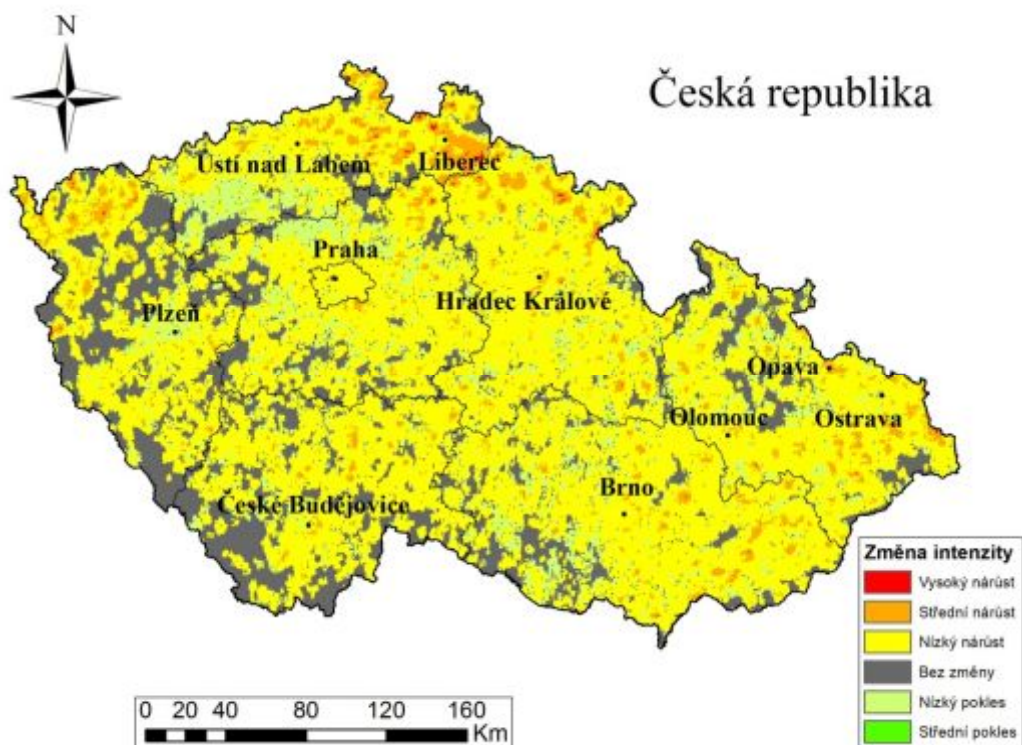
Příloha 2 – Mapy meziročních změn DN v České republice od roku 1996 až 2013 (mapy od roku 1992 do roku 1995 jsou v kapitole Výsledky).



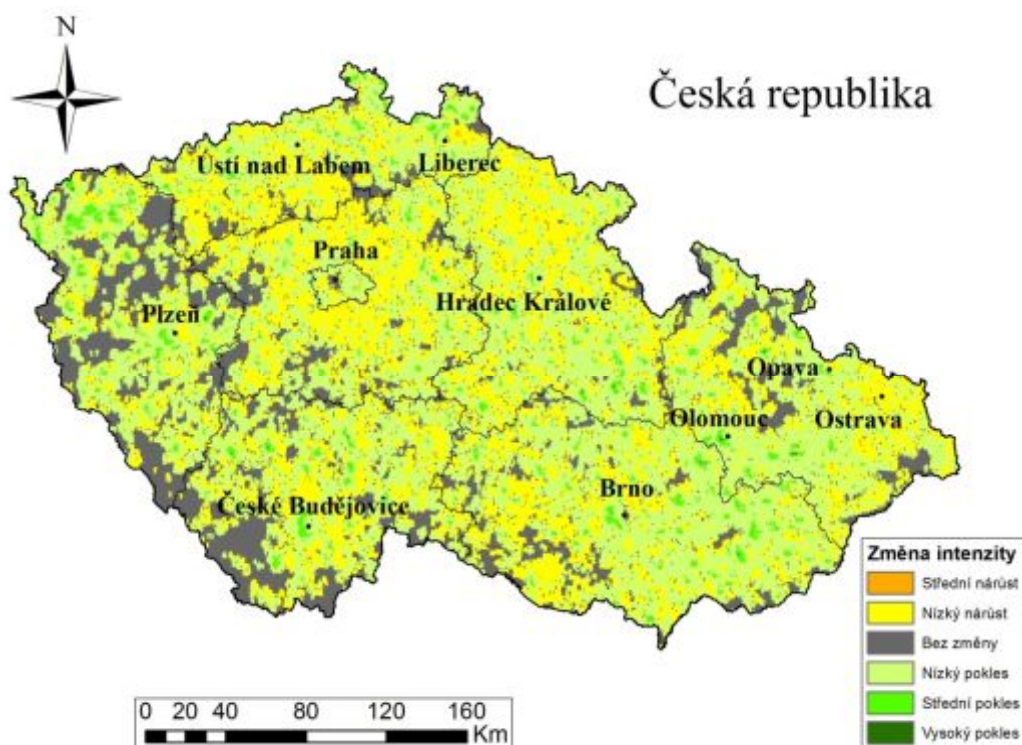
Příloha 2.1: Změna DN snímků mezi roky 1995 a 1996.



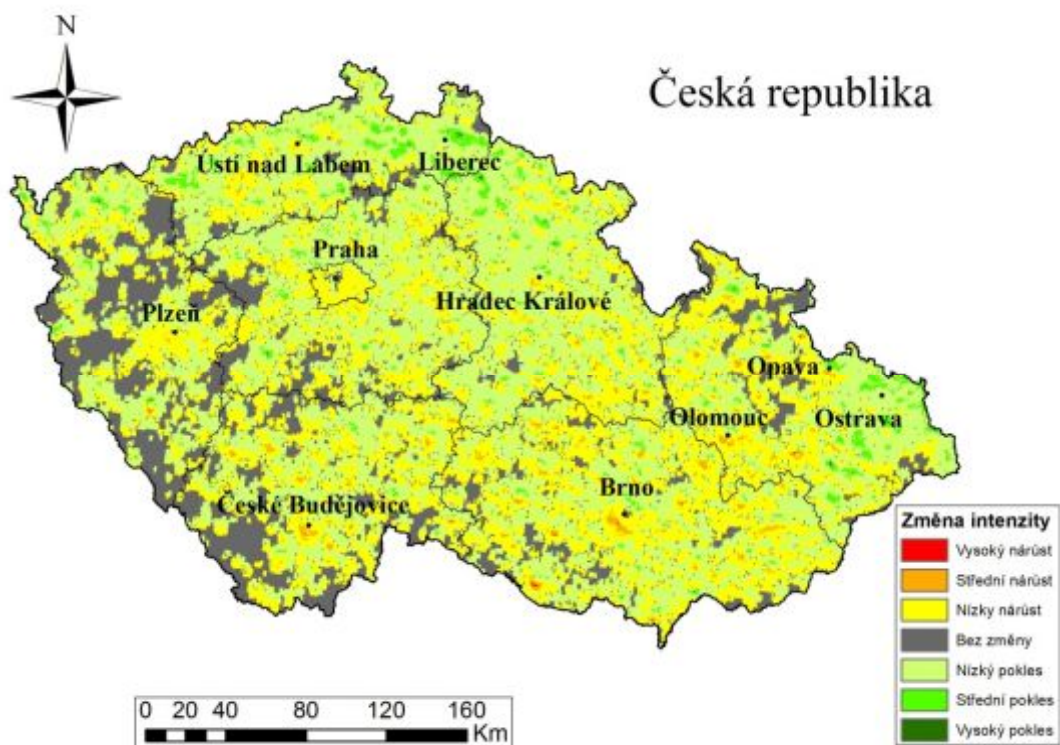
Příloha 2.2: Změna DN snímků mezi roky 1996 a 1997.



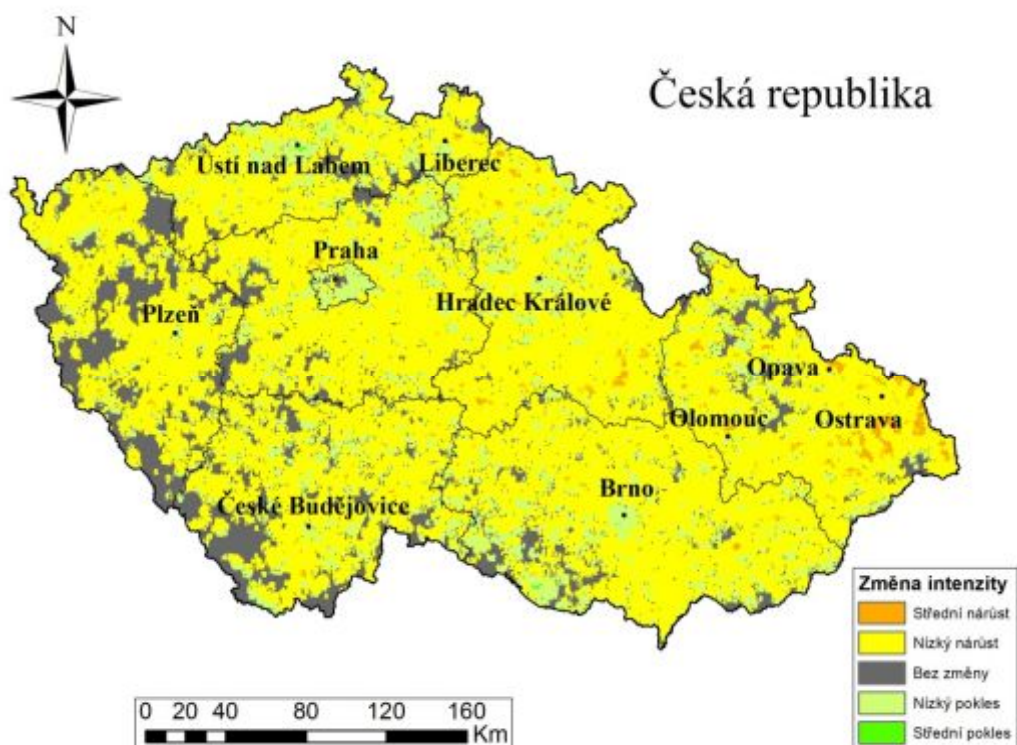
Příloha 2.3: Změna DN snímků mezi roky 1997 a 1998.



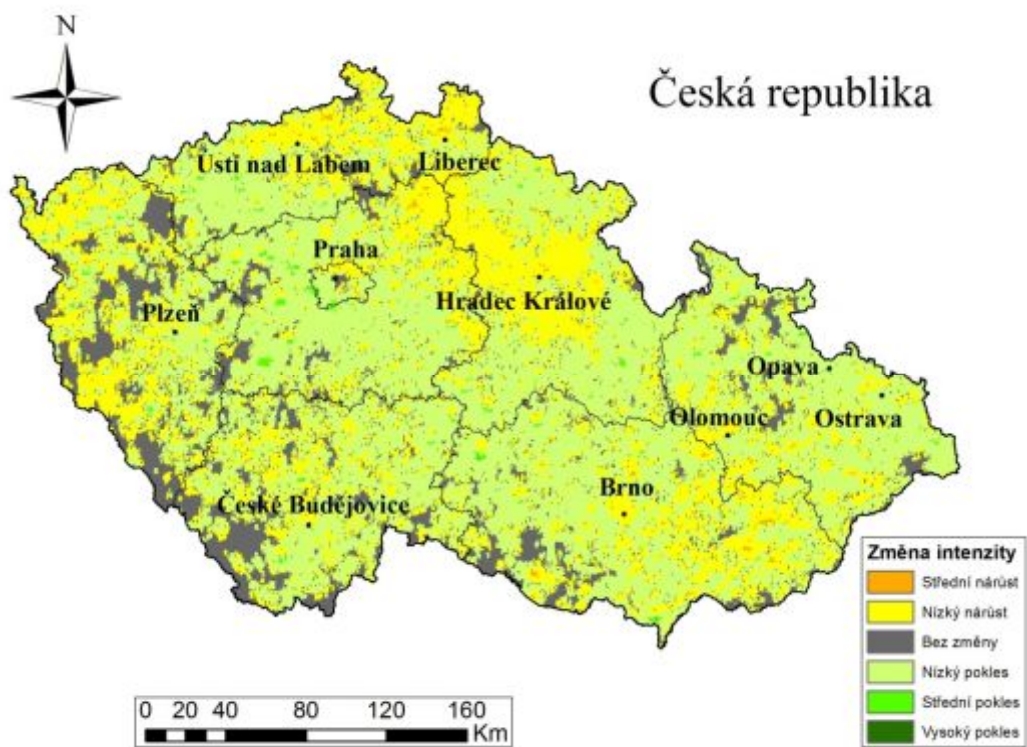
Příloha 2.4: Změna DN snímků mezi roky 1998 a 1999.



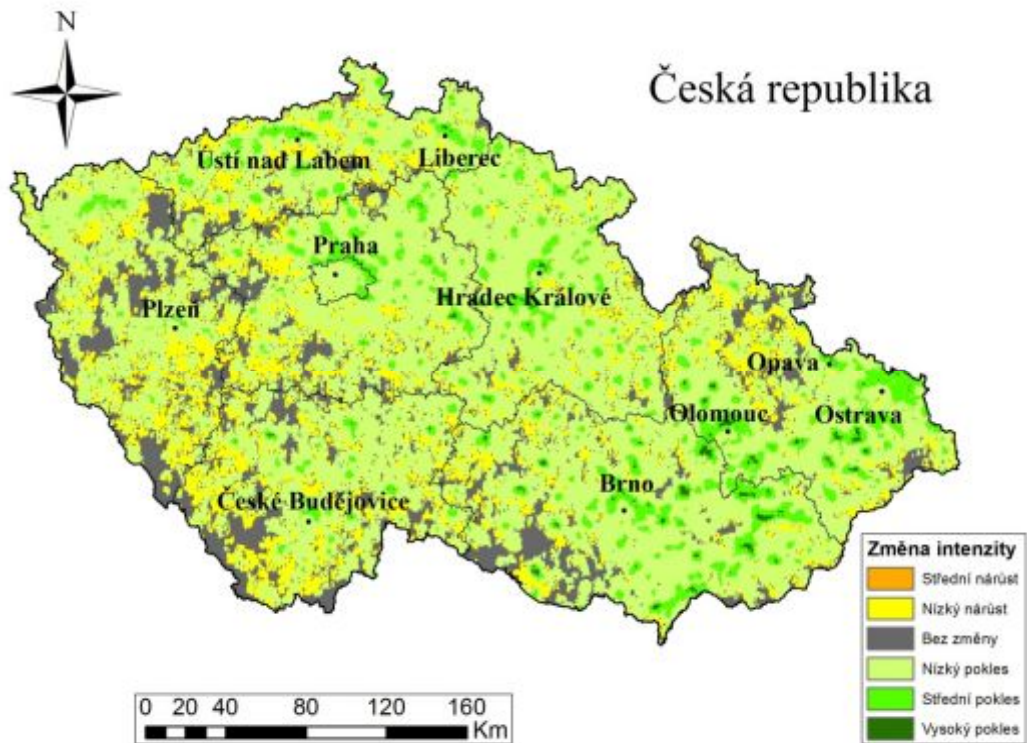
Příloha 2.5: Změna DN snímků mezi roky 1999 a 2000.



Příloha 2.6: Změna DN snímků mezi roky 2000 a 2001.



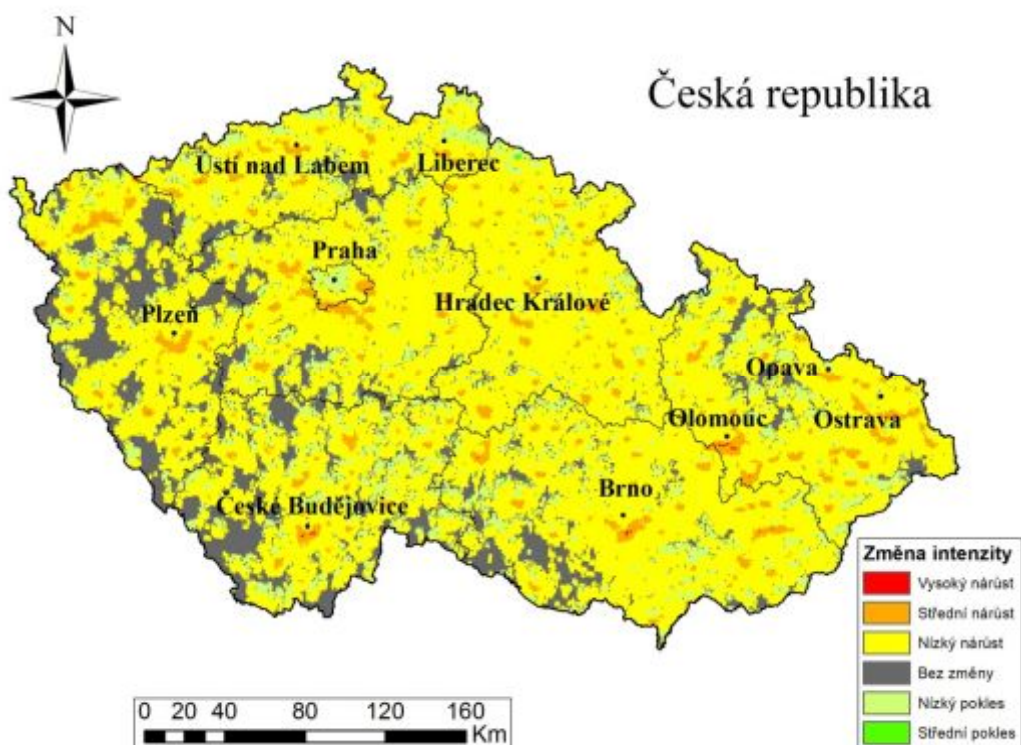
Příloha 2.7: Změna DN snímků mezi roky 2001 a 2002.



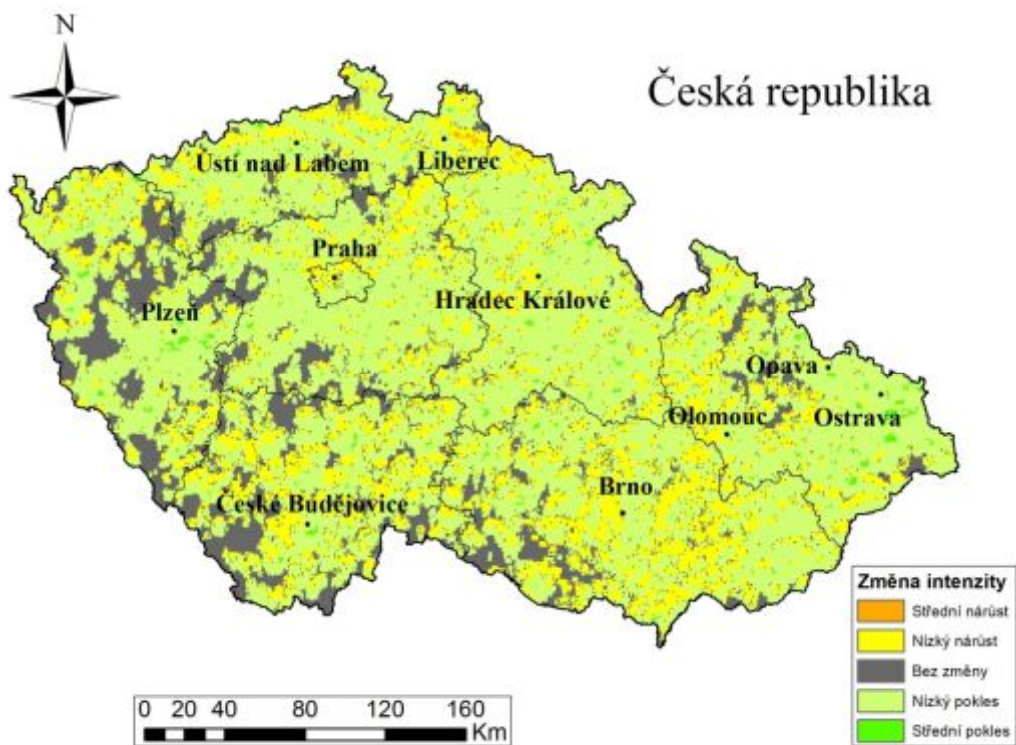
Příloha 2.8: Změna DN snímků mezi roky 2002 a 2003.



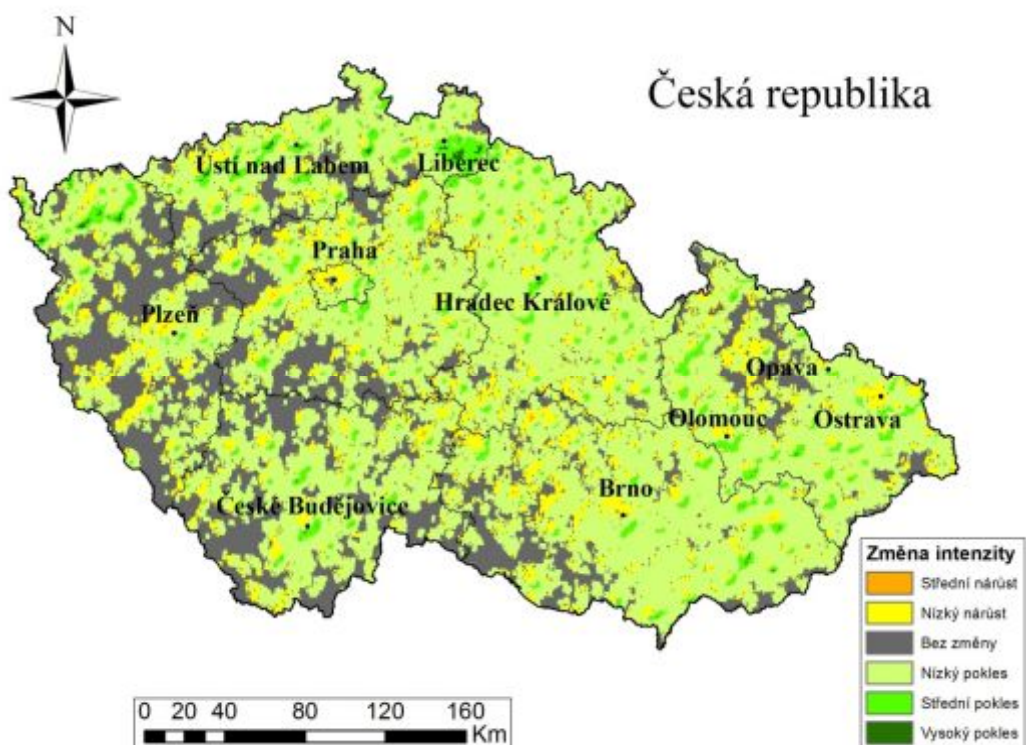
Příloha 2.9: Změna DN snímků mezi roky 2003 a 2004.



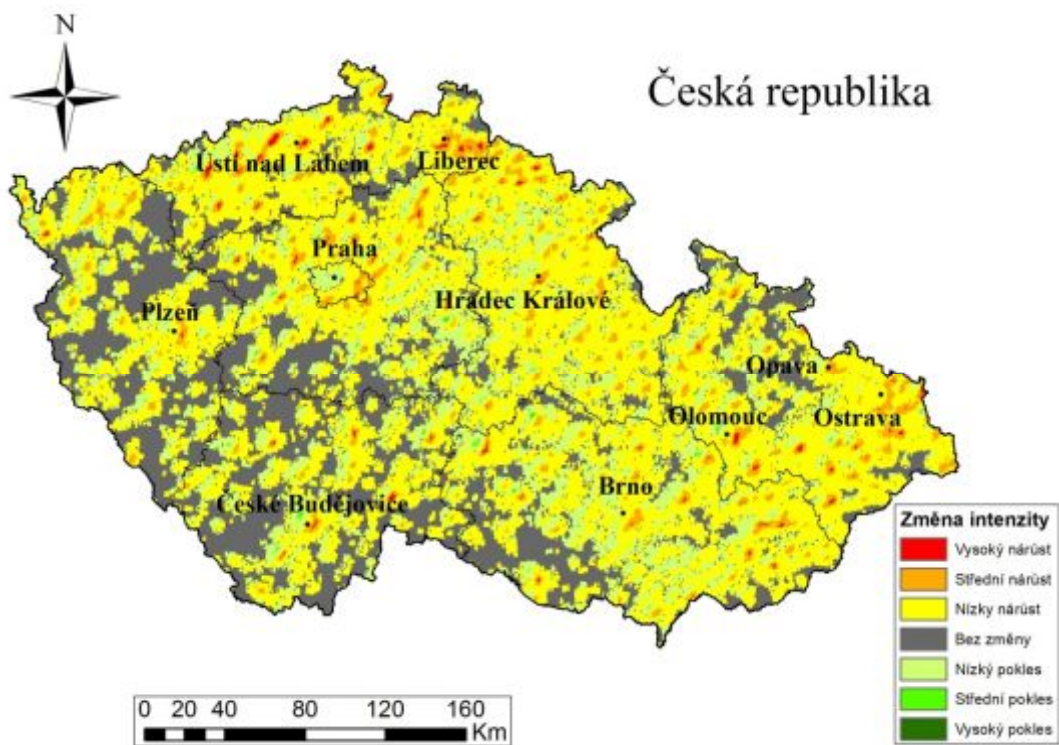
Příloha 2.10: Změna DN snímků mezi roky 2004 a 2005.



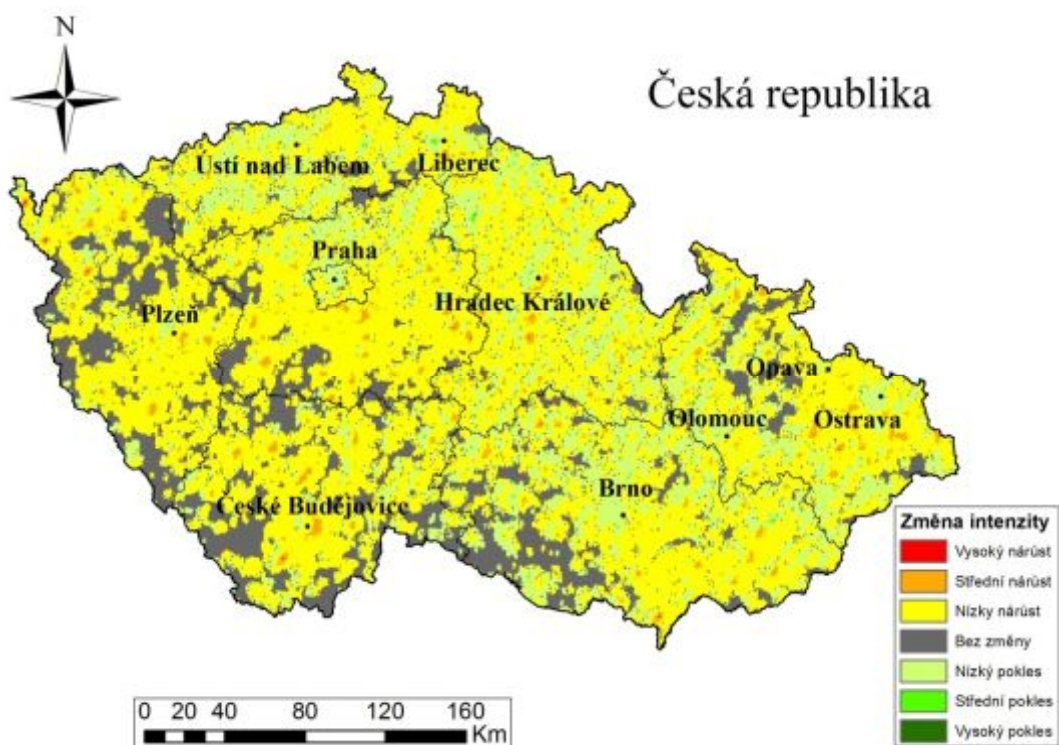
Příloha 2.11: Změna DN snímků mezi roky 2005 a 2006.



Příloha 2.12: Změna DN snímků mezi roky 2006 a 2007.

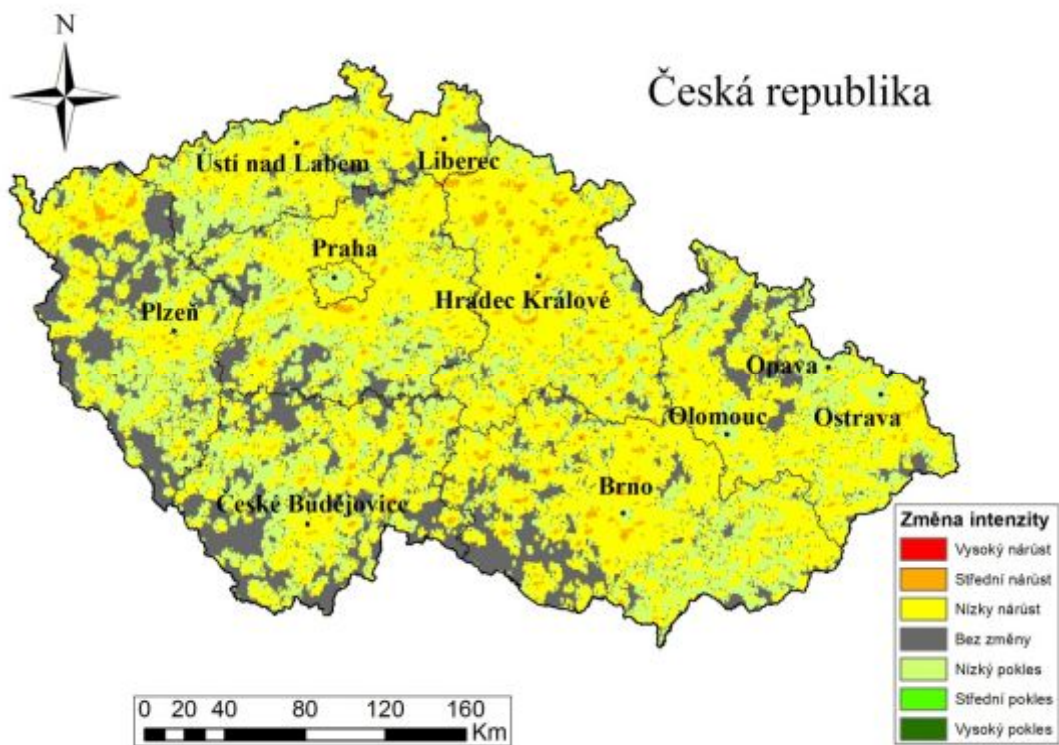


Příloha 2.13: Změna DN snímků mezi roky 2007 a 2008.

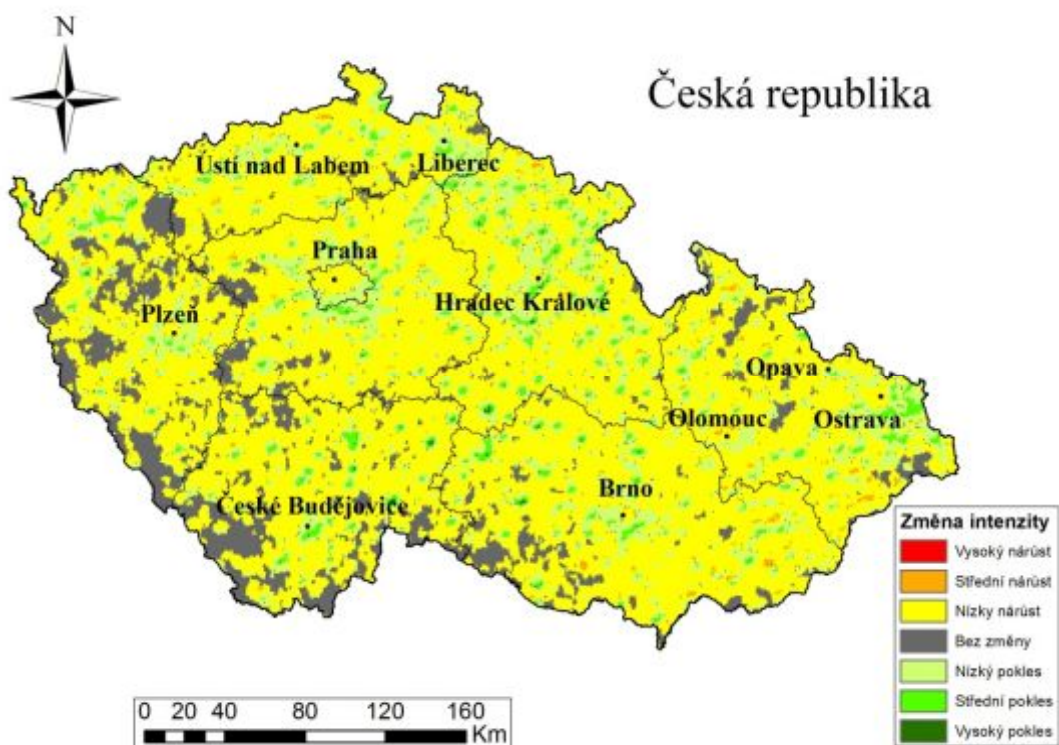


Příloha 2.14: Změna DN snímků mezi roky 2008 a 2011.





Příloha 2.15: Změna DN snímků mezi roky 2011 a 2012.



Příloha 2.16: Změna DN snímků mezi roky 2012 a 2013.