

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE



BIOMONITORING KVALITY PROSTŘEDÍ  
POMOCÍ EPIFYTICKÝCH LIŠEJNÍKŮ VE  
VYBRANÉM ÚZEMÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. RNDr. Jana Kocourková, CSc.

Zpracovatel: Bc. Věra Zimmerlová

2015

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Věra Zimmelová

Regionální environmentální správa

Název práce

Biomonitoring kvality prostředí pomocí epifytických lišejníků ve vybraném území

Název anglicky

Biomonitoring quality environment with epiphytic lichens in selected area

---

### Cíle práce

Cílem práce je zmonitorovat a vyhodnotit biodiverzitu epifytických lišejníků a tím i kvalitu ovduší ve vybraném území Sokolovska pomocí statistických analýz z dat sebraných na 100 jedincích *Fraxinus exelsior*. Jako nadstavba k základnímu cíli práce bude proveden ve vybraném území obdobný sběr dat na 100 jedincích rodu *Quercus* a výsledky obou analýz pak porovnány pro zjištění přesnosti a vhodnosti použité metody.

### Metodika

Bude vypracován popis studovaného území z hlediska historie, přírodních poměrů a atmosférického znečištění.

V souladu s postupy vhodnými pro metodu Lichen diversity value (Asta et al. 2002) bude území rozděleno do 50 čtverců o rozměrech 1000 x 1000 m a v každém čtverci pak vybrány 2 jedince druhu *Fraxinus exelsior* a dva jedince rodu *Quercus* tak, aby jedinci odpovídali podmínkám LDV metody. U každého jedince bude zaznamenána poloha pomocí GPS přístroje, určeno stáří borky, posouzena míra zástínu a typ okolní vegetace. Jednotlivé stromy pak budou zařazeny do skupin podle výskytu – solitérní jedinci, výskyt v aleji a výskyt v porostu. Každý strom bude ze všech světových stran osnímován a u každého druhu lišejníku bude určen stupeň pokryvnosti v rozsahu 1-5. Jednotlivé druhy epifytických lišejníků budou určovány přímo v terénu za pomoci zvětšovací lupy (zvětšení 15x), obtížně určitelné druhy budou odebírány v dostatečném množství pro určení laboratorními metodami pod mikroskopem a stereomikroskopem a k jejich deteminaci budou použity barvicí a reakční činidla. Následně bude vypracován seznam nalezených druhů.

Výsledky budou zpracovány vhodnými statistickými metodami a bude provedeno porovnání mezi výsledky zjištěnými na jedincích rodu *Fraxinus* a jedincích rodu *Quercus*. V závěru práce bude zhodnocen stav atmosférického znečištění vybraného území a vhodnost použití metody LDV.

### Doporučený rozsah práce

60 80 stran

### Klíčová slova

Biomonitoring, metoda LDV, epifytické lišejníky, *Fraxinus excelsior*, atmosférické znečištění, biodiverzita.

---

### Doporučené zdroje informací

- Asta J., Erhardt W., Ferretti M., Fornasier F., Kirschbaum U., Nimis P. I., Purvis O. W., Pirintsos S., Schneidegger C., Van Haluwyn C., Wirth W. (2002): Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. In: Nimis P. L., Scheidegger C., Wolseley P. A. (eds): *Monitoring with Lichens Monitoring Lichens. Nato Science Series. IV. Earth and Environmental Sciences*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 273 279.
- Liška J., Palice Z., Slavíková Š. (2008): Checklist and Red List of lichens of the Czech Republic. Seznam a Červený seznam lišejníků České republiky. *Preslia* 80: 151 182.
- Liška J., Palice Z. (2010): Červený seznam lišejníků České republiky. *Příroda* 29: 3 66.
- Nash III. T. H. (ed.) (2008): *Lichen Biology (Second edition)*. Cambridge University Press, Cambridge. 496 pp.
- Orange A., James P. W., White F. J. (2001): *Microchemical methods for the identification of lichens*. British Lichen Society, London. 101 pp.
- Smith C. W., Aptroot A., Coppins B. J., Fletcher A., Gilbert O. L., James P. W., Wolseley P. A. (eds.) (2009): *The Lichens of Great Britain and Ireland*. The British Lichen Society, London. 1046 pp.
- Vězda A., Liška J. (1999): *Katalog lišejníků České republiky*. Botanický ústav AV ČR, Průhonice. 283 pp.
- Wirth, V., Hauck, M. & Schultz, M. (2013): *Die Flechten Deutschlands*. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. 1244 pp.

---

### Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

### Vedoucí práce

doc. RNDr. Jana Kocourková, CSc.

---

Elektronicky schváleno dne 18. 9. 2014

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 6. 11. 2014

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2015

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci vypracovala samostatně, s pomocí citovaných literárních zdrojů.

V Sokolově, dne 22. 4. 2015



## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí mé diplomové práce, doc. RNDr. Janě Kocourkové, CSc., za odborné vedení mé práce, cenné rady a pomoc při určování jednotlivých lišejníků. Stejně tak bych chtěla poděkovat ing. Petrovi Uhlíkovi a Mgr. Jiřímu Malíčkoví. Prvně jmenovanému za podporu, zapůjčení literárních zdrojů a pomoc při určování lišejníků, Mgr. Jiřímu Malíčkoví především za pomoc při determinaci obtížně určitelných druhů lišejníků. Dále bych chtěla poděkovat Karolině Vyjídačkové, studentce University of Aberdeen, za pomoc při shromažďování literárních zdrojů a Bc. Ivě Harapátové za pomoc s analýzami výsledků mé práce.

V Sokolově, dne 22. 4. 2015

# BIOMONITORING KVALITY PROSTŘEDÍ POMOCÍ EPIFYTICKÝCH LIŠEJNÍKŮ VE VYBRANÉM ÚZEMÍ

## ABSTRAKT

Téma diplomové práce se zaměřuje na provedení monitoringu epifytické lichenoflóry na vybraném území Sokolovska pomocí metody Lichen diversity value uplatněné na 100 jedincích druhu *Fraxinus excelsior* a dále jako nadstavba diplomové práce i na 100 jedincích rodu *Quercus*. Bylo zkoumáno území mezi obcemi Sokolov a Kynšperk nad Ohří, kdy převážná většina území byla v sedmdesátých letech 20. století po zhoršení stavu životního prostředí označena za „lišejníkovou poušť“. Výsledky terénních sběrů byly vyhodnoceny a byla vypočtena hodnota LDV zvlášť pro jasaný a pro dub. Následně byly výsledky obou analýz porovnány. Celkem bylo nalezeno 39 druhů a nižších taxonomických jednotek, z toho 34 druhů na jasanech a 26 druhů na dubech. Všechny druhy patřily k běžným lišejníkům a byly zaznamenány i druhy ohrožené. Příčinou rozdílů v diverzitě lišejníkových druhů na obou druzích stromů se zdá být pH borky, které je u dubu ve srovnání s jasanem nižší. V převážné většině mapovaných čtverců – ve 42 % čtverců při monitoringu na jasanech a na 52 % čtverců při monitoringu na dubech – byla kvalita prostředí vyhodnocena jako narušená. Vzhledem k nálezům i velmi citlivých keříčkových lišejníků *Usnea* spp., a *Ramalina* spp. lze říci, že stav atmosférického znečištění na Sokolovsku se zlepšuje, velikost stélek ale ukazuje na pomalý průběh rekolonizace nebo její pozdější nástup. Převaha nitrofilních společenstev nad acidofilními naznačuje snížení působení SO<sub>2</sub> a zároveň dokazuje posun ke stavu, kdy je prostředí obohaceno dusíkatými látkami.

**Klíčová slova:** Biomonitoring, metoda LDV, epifytické lišejníky, *Fraxinus excelsior*, atmosférické znečištění, biodiverzita.

## BIOMONITORING QUALITY ENVIRONMENT WITH EPIPHYTIC LICHENS IN SELECTED AREA

### ABSTRACT

The topic of the thesis focuses on the design and analysis of results of monitoring epiphytic lichen flora in the selected area of Sokolov district divided in 100 square units. Using method Lichen diversity value was performed on 100 individuals *Fraxinus excelsior* species as well as the extension of the thesis and 100 individuals of the genus *Quercus*. The territory examined was between the villages Sokolov and Kynšperk nad Ohří, when the vast majority of the territory was marked as "lichen desert" in the seventies of the 20th century after the environmental deterioration. The LDV value was calculated separately for ash trees and oaks. Subsequently, the results of both analyzes are compared. Total 39 species of lichens were found, including 34 species on ash and 26 species on the oaks. Most of the species found belong to common lichens but several endangered species were also found. The reason for the differences in the diversity of lichens on both species of trees seems to be bark pH, which is lower in oak in comparison to ash. The quality of environment evaluated with LDV was assessed as disturbed in most of squares, and the values found in both species of phorophytes differ. Using calculation of LDV, 42 % of monitored squares are disturbed when mapping lichens on ash and 52 % of the squares using oak. Recording very sensitive fruticose lichen *Usnea* spp. and *Ramalina* spp., we can confirm that atmospheric pollution in the Sokolov is decreasing, however, generally small size of lichen thalli found indicates slow progress in their recolonization. The predominance of nitrophilous communities over acidophilous implies a reduction of acid pollutants and demonstrates the shift to environment enriched in nitrogen compounds.

### Keywords:

Biomonitoring, LDV method, epiphytic lichens, atmospheric pollution, *Fraxinus excelsior*, biodiversity.

## **OBSAH**

1. ÚVOD.....	10
2. CÍLE PRÁCE .....	10
3. METODIKA.....	11
3.1 VÝBĚR ÚZEMÍ .....	11
3.2 VÝBĚR STROMŮ.....	13
3.3 DETERMINACE LIŠEJNÍKŮ .....	16
3.4 VÝPOČET HODNOT LDV.....	17
3.5 GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ .....	18
3.6 ANALÝZA DAT .....	18
3.6.1 ZOBECNĚNÝ LINEÁRNÍ MODEL.....	18
3.6.2 ORDINAČNÍ ANALÝZY .....	19
4. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	19
4.1 ZNEČIŠTĚNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ .....	19
4.1.1 OXID SIŘIČITÝ .....	20
4.1.2 OXIDY DUSÍKU .....	21
4.1.3 VÝVOJ A TREND ATMOSFÉRIKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ SO <sub>2</sub> A NO <sub>x</sub> V ČESKÉ REPUBLICE .....	23
4.2 SPECIFIKA LIŠEJNÍKŮ .....	24
4.3 LIŠEJNÍKY JAKO BIOINDIKÁTORY .....	27
4.3.1 VHODNOST LIŠEJNÍKŮ PRO BIOINDIKACI.....	27
4.3.2 VLIV POLUTANTŮ NA LIŠEJNÍKY .....	29
4.4 METODY BIOMONITORINGU POMOCÍ LIŠEJNÍKŮ – STRUČNÝ NÁHLED.....	34
4.5 SNÍMKOVANÉ DŘEVINY.....	40
5. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ.....	43
5.1 VYMEZENÍ A POPIS STUDOVANÉHO ÚZEMÍ.....	43
5.2 GEOMORFOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ .....	45
5.3 FYTOGEOGRAFICKÁ A BIOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ .....	46

5.4 PEDOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ.....	47
5.5 KLIMATICKÉ POMĚRY STUDOVANÉHO ÚZEMÍ.....	48
5.6 HISTORIE A SOUČASNOST ANTROPOGENNÍCH VLVŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ SOKOLOVSKA .....	48
5.6.1 SITUACE DO 50. LET MINULÉHO STOLETÍ .....	48
5.6.2 SITUACE OD 50. – 70. LET MINULÉHO STOLETÍ .....	49
5.6.3 SITUACE OD 90. LET MINULÉHO STOLETÍ DO SOUČASNOSTI .....	52
5.7 HISTORIE LICHENOLOGICKÝCH VÝZKUMŮ VE STUDOVANÉM ÚZEMÍ .....	58
6. VÝSLEDKY .....	65
6.1 SNÍMKOVANÉ ČTVERCE .....	65
6.1.1 ZASTAVĚNÁ ÚZEMÍ OBCÍ.....	65
6.1.2 PRŮMYSLOVÉ AREÁLY A POLOCHY .....	66
6.1.3 ALEJE .....	66
6.1.4 LESNÍ POROSTY .....	66
6.1.5 SOLITÉRNÍ JEDINCI .....	66
6.2 SEZNAM NALEZENÝCH DRUHŮ .....	67
6.3 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ LIŠEJNÍKŮ Z HLEDISKA JEJICH OHROŽENÍ .....	70
6.4 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ LIŠEJNÍKŮ PODLE ČETNOSTI VÝSKYTU .....	71
6.4 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ LIŠEJNÍKŮ PODLE DALŠÍCH FAKTORŮ .....	74
6.5 METODA LICHEN DIVERSITY VALUE .....	74
6.5.3 VLIV FAKTORŮ PROSTŘEDÍ NA HODNOTU LDV.....	79
6.6 VÝSKYT JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ .....	85
7. DISKUSE.....	122
7.1 EPIFYTICKÉ LIŠEJNÍKY SOKOLOVSKA.....	122
7.2 NITROFILNÍ A ACIDOFILNÍ SPOLEČENSTVA .....	125
7.2.1 POSUN VE VÝSKYTU LIŠEJNÍKU <i>LECANORA CONIZAEOIDES</i> .....	126
7.3 VYHODNOCENÍ ROZDÍLŮ MEZI DUBY A JASANY .....	127

7.4 REKOLONIZACE.....	127
7.4.1 „ZONE-SKIPPING“ .....	127
7.4.2 DISTRIBUČNÍ POTENCIÁL DRUHŮ .....	128
7.4.3 VLIV REFUGIÍ NA PROCES REKOLONIZACE .....	129
7.4.4 VLIV SUBSTRÁTU NA PROCES REKOLONIZACE .....	129
7.4.5 VLIV KLIMATU NA PROCES REKOLONIZACE .....	130
7.5 ZHODNOCENÍ LDV METODY A JEJÍCH VÝSLEDKŮ .....	131
8. ZÁVĚR.....	132
9. PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	133
10. PŘÍLOHY.....	142

## 1. ÚVOD

Rozsáhlé změny, které proběhly především v minulém století v přírodních i řízených ekosystémech, měly příčinu v rychlém a neregulovaném rozvoji technologií a současném bezohledném vztahu k životnímu prostředí. To mělo za následek mimo jiné devastaci a narušení rozsáhlých ploch vegetace a důsledky imisního poškození lesních porostů je dodnes možné pozorovat na vrcholcích Krušných a Jizerských hor.

Sokolovsko bylo díky své orientaci na těžbu rud, těžbu hnědého uhlí a energetický průmysl jedním z několika území nejvíc exponovaných atmosférickému znečištění, především imisím SO<sub>2</sub>. V sedmdesátých letech 20. století byl stav natolik závažný, že území kolem řeky Ohře bylo prakticky bez lichenoflóry a bylo vyhodnoceno jako „lišejníková poušť“. Právě lišejníky jsou jednou z nejcitlivějších ekologických skupin organismů a díky svým dalším vlastnostem jsou velmi vhodné pro metody biomonitoringu životního prostředí.

Po společenských změnách koncem devadesátých let došlo ke změnám v postoji k životnímu prostředí a spolu s tím k odsíření elektráren, zpracovatelských závodů na hnědé uhlí i dalších zdrojů atmosférického znečištění. Snížení koncentrací polutantů pravděpodobně umožnilo rekolonizaci citlivějšími druhy lišejníků a znovuosídlení prázdných stanovišť, případně mohlo docházet k šíření druhů dříve na těchto místech nezaznamenaných.

Zvýšená zátěž životního prostředí vyžadovala přesná technická měření a biomonitoring pomocí epifytických lišejníků nabízí levné, poměrně přesné a časově nenáročné řešení. V současné době je při vyhodnocování všech metod biomonitoringu pomocí epifytických lišejníků třeba přihlížet ke zvýšené depozici oxidů dusíku a tím i ke změnám v lichenoflóře způsobeným právě touto novou zátěží.

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce je zmonitorovat a vyhodnotit biodiverzitu epifytických lišejníků a tím i kvalitu ovzduší ve vybraném území Sokolovska pomocí statistických analýz z dat sebraných na 100 jedincích *Fraxinus excelsior*. Jako nadstavba k základnímu cíli práce bude proveden ve vybraném území obdobný sběr dat na 100

jedincích rodu *Quercus* a výsledky obou analýz pak porovnány pro zjištění přesnosti a vhodnosti použité metody. V průběhu práce bylo řešeno několik otázek:

- Jaká je biodiverzita epifytických lišejníků rostoucích na stromech druhu *Fraxinus excelsior* ve vybraném území Sokolovska?
- Jaká je biodiverzita epifytických lišejníků rostoucích na stromech rodu *Quercus* ve stejném území?
- Jaký dopad má posun ve vlivu SO<sub>2</sub> a současně vzestup vlivu NO<sub>x</sub> na Sokolovsku na složení epifytické lichenoflóry od posledních doložených výzkumů (v odstupu 40 let) do současnosti?
- Jak se liší výsledky obou analýz provedených na jedincích *Fraxinus excelsior* a *Quercus robur* a *Q. petraea* ?
- Jak vhodná a přesná je použitá metoda biomonitoringu – Lichen diversity value?

### **3. METODIKA**

Metodika použitá v této práci se opírá o pokyny pro provádění kvantitativní moderní evropské metody s názvem LDV – Lichen diversity value. Tato metoda byla publikována v roce 2002 (ASTA et al. 2002) a v Čechách ještě v tomtéž roce vyzkoušena v práci D. Svobody (SVOBODA 2002). Principem této metody je biomonitoring pomocí epifytických lišejníků s přihlédnutím ke snadné opakovatelnosti výzkumu. Výstupy této metody poskytují informace o dlouhodobém působení polutantů na znečištění životního prostředí, ukazují míru antropogenního vlivu na citlivé složky prostředí a míru eutrofizace. Metodika byla pro potřeby diplomové práce upravena následovně:

#### **3.1 VÝBĚR ÚZEMÍ**

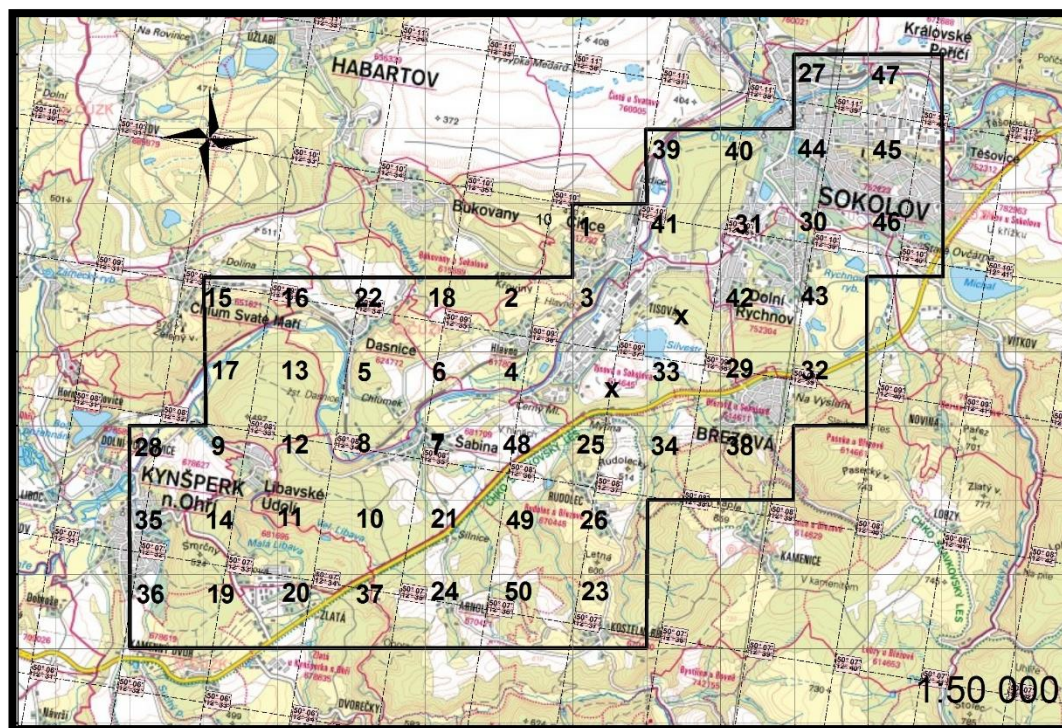
Při výběru studovaného území byla předem zjištěna teoretická pravděpodobnost výskytu požadovaných stromů v potřebném množství. Pro splnění této podmínky byly konzultovány záměry prací s pracovníky Muzea Sokolov a dále byly jako podklad použity údaje z Městského úřadu v Sokolově, odboru životního prostředí, který disponuje mapami se zakreslenými stromy pro katastrální území Sokolov.

Studované území bylo následně na mapě (Obrázek 1) rozděleno do 50 čtverců o rozměrech 1000 x 1000 m.



Ve studovaném území nebyl dostatečný počet stromů nalezen pouze na dvou sousedících čtvercích a čtverce byly tedy ze studovaného území vyjmuty a území bylo rozšířeno o dva čtverce na severní straně. Na mapě se zakreslením číselovaných čtverců (Obrázek 1) mají vynechané čtverce označení X.

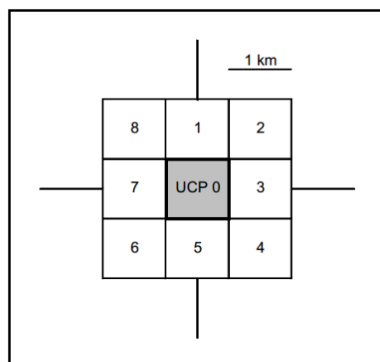
Obrázek 1 – Mapa zájmového území s rozdělením na jednotlivé čtverce.



Zdroj: vlastní zpracování v programu Arc Gis 10.2, podkladová mapa Cenia.

Pokud v některém ze čtverců došlo k situaci, že nebyl nalezen dostatečný počet vhodných stromů ve středu čtverce, byl čtverec pomyslně rozdělen na devět menších dílů a údaje o výskytu lišejníků převzaty ze sousedního dílu (Obrázek 2), optimálně z dílu nacházejícího se na sever od stávajícího, případně dále z dílů v pořadí ve směru pohybu hodinových ručiček.

Obrázek 2 – Schéma pro posun zkoumané jednotky v případě, kdy nebyly nalezeny vhodné podmínky



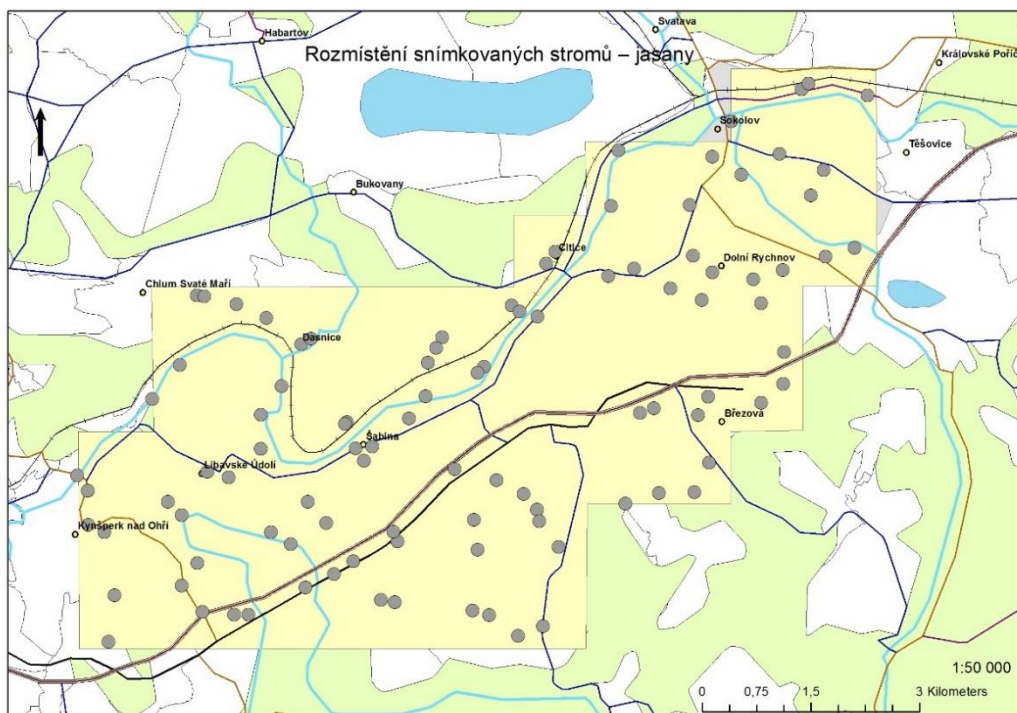
Zdroj: Asta et al. 2002

### 3.2 VÝBĚR STROMŮ

V každém čtverci byly následně vybrány 2 jedinci druhu *Fraxinus excelsior* a 2 jedinci rodu *Quercus* (Obrázek 3 a Obrázek 4). Výskyt lišejníků byl zkoumán (Obrázek 6) pomocí botanické lupy se zvětšením 15 x. Snadno určitelné druhy byly rovnou zaznamenány a zjištěna a zaznamenána byla i jejich frekvence podle výskytu v jednotlivých oknech mřížky (1 – 5). Od ostatních lišejníků byly odebrány vzorky v množství dostatečném pro určování pod mikroskopem a stejně tak byla zaznamenána jejich četnost.

Výběr forofytů byl ovlivněn rozdílným pH borky dubů a jasanů. Pro potřeby práce není druh dubu relevantní, a proto nebyl dále sledován.

Obrázek 3 – rozmístění snímkovaných stromů v zájmovém území – jasaný

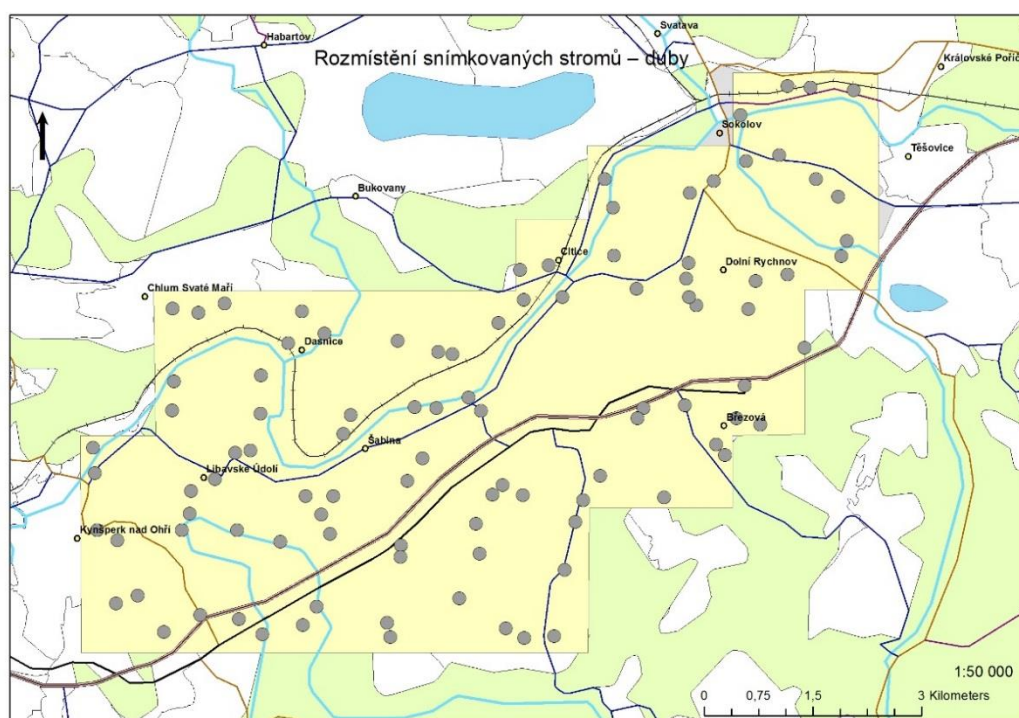


Zdroj: vlastní zpracování v programu Arc Gis 10.2, podkladová mapa Cenia.

Pro výzkum byly vybrány kmeny splňující tyto podmínky: kmeny bez poškozené borky, bez oloupané borky, bez znečištěné borky, bez borky potřísněné průmyslovými hnojivými, kmeny bez výrůstků a vyboulenin, bez nízko nasazených větví, kmeny nezastíněné a bez viditelných stop po průsaku, kmeny s pokryvem mechorostů v ploše nepřesahující 25 %, kmeny s náklonem od svislé osy menším než 10° a s obvodem větším než 40 cm, optimálně větším než 70 cm.

Při nalezení vhodného stromu byly pomocí GPS přístroje zjištěny příslušné souřadnice (Příloha č. 1) a poloha stromu byla zaznamenána do terénní mapy. Do terénního zápisníku byly zaznamenány tyto údaje: číslo čtverce, název lokality, druh (rod) stromu, číslo stromu, souřadnice polohy stromu, obvod kmene změřený v prsní výšce, stáří borky (stará, střední, mladá), zástin kmene (ano, ne), typ vegetace (porost, les, solitér, alej) a poloha stromu (obec, mimo obec).

Obrázek 4 – rozmístění snímovaných stromů v zájmovém území – duby



Zdroj: vlastní zpracování v programu Arc Gis 10.2, podkladová mapa Cenia.

Pro samotné snímování (Obrázek 5) byla vyrobena mřížka s pěti čtverci se světlým rozměrem 10 x 10 cm. V tomto případě byl pro výrobu mřížky použit měkčený PVC a mřížka byla tak snadno přenosná a ke kmeni při snímování těsně přiléhala (Foto 1). Přichycení ke kmeni bylo provedeno jednoduchými kancelářskými značkovacími transparentními špendlíky.

Mřížka byla umístěna kolmo ke kmeni tak, aby se spodní okraj mřížky nacházel 1 m nad terénem Horní okraj mřížky tak dosahoval do výšky 1,5 metru s připočtením tloušťky okrajů a pásků mezi jednotlivými okny mřížky, tedy maximálně + 8 cm.

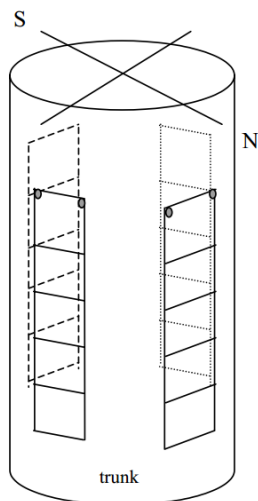
Výskyt lišejníků byl zkoumán (Obrázek 6) pomocí botanické lupy se zvětšením 15 x. Snadno určitelné druhy byly rovnou zaznamenány a zjištěna a zaznamenána byla i jejich frekvence podle výskytu v jednotlivých oknech mřížky (1 – 5). Od ostatních



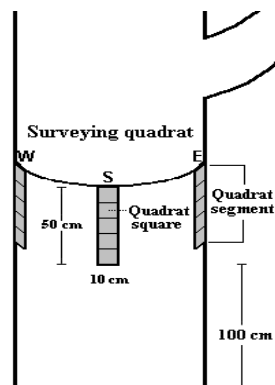
lišejníků byly odebrány vzorky v množství dostatečném pro určování pod mikroskopem a stejně tak byla zaznamenána jejich četnost.

Obrázek 5 – Vzorkovací síť složená ze čtyř mřížek, každá s pěti čtverci

Obrázek 6 – Znáznornění přiložení snímkovacích mřížek ke kmeni



Zdroj: Asta et al. 2002



Zdroj: ASTA et al. 1992

Foto 1 – Připevnění mřížky ke snímkanému kmeni



Zdroj: archiv autorky

### 3.3 DETERMINACE LIŠEJNÍKŮ

Snadno určitelné duhy byly určovány pomocí botanické lupy, huře určitelné druhy pomocí stereomikroskopu a mikroskopu podle moderní určovací literatury (SMITH et al. 2009, NEBEL & PHILIPPI 2000, NEBEL & PHILIPPI 2001, WIRTH et al. 2013). K určování byla použita technika využívající barevné reakce stélky na barvící a reakční činidla (ORANGE et al. 2001), kdy K je 10% roztok hydroxidu draselného (KOH), C je vodní roztok chlorového vápna ( $\text{CaCl}_2\text{O}_2$ ), který byl nahrazen Savem. KC – nejdříve působí K, později na totožné místo C. PD je parafenylendiamin (10g  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , 1 g parafenylendiaminu, 0,5 ml detergentu a 100 ml destilované vody) rozpuštěný v 96% ethanolu a I je jodjodkalium (roztok jodu a jodidu draselného).

Názvy taxonů lišejníků byly sjednoceny podle Liška & Palice (LIŠKA & PALICE 2010) a byl vypracován seznam nalezených druhů lišejníků, ve kterém je uveden platný vědecký název a stupeň ohrožení podle Liška & Palice (LIŠKA & PALICE 2010). V případě uváděných synonym byla v této i následujících kapitolách sjednocena nomenklatura podle dostupné literatury (VĚZDA & LIŠKA 1999, LIŠKA et al. 2008, LIŠKA & PALICE 2010) a názvy původních taxonů tak, jak byly vyexcerpovány z použité literatury, jsou uvedeny v závorkách.

Seznam zkratk používaných pro vyjádření stupně ohrožení v Červených seznamech (LIŠKA & PALICE 2010) : **EX** (*Extinct*) – vyhynulé taxony, **CR** (*Critically Endangered*) – kriticky ohrožené taxony, **EN** (*Endangered*) – silně ohrožené taxony, **VU** (*Vulnerable*) – ohrožené či zranitelné taxony, **LR-nt** (*Lower Risk – near threatened*, někdy jen zkráceně **NT** – *Near Threatened*) – taxony blízké ohrožení, **LC** (*Least Concern*) – neohrožené taxony, **LC-att** (*Least Concern – attention list*) – neohrožené taxony vyžadující pozornost, **DD** (*Data Deficient*) – nedokonale známé taxony, **DD-va** (*Data Deficient – vanished*) – nezvěstné taxony a **NE** (*Not Evaluated*) – nehodnocené taxony. Zpracované a ošetřené vzorky jsou uloženy v soukromém herbáři autorky.

Byl vypracován seznam zkratk druhů taxonů (Tabulka 1) používaných ve statistických analýzách a ordinačních diagramech.

Aby mohla být data dále analyzována v programu ArcGIS 10.2 na podkladových mapách České informační agentury životního prostředí CENIA, byly geografické souřadnice všech dvou set snímkovaných stromů, zaznamenané v terénu GPS

přístrojem, přepsány v potřebném tvaru zvlášť pro každou studii (jasany, duby) a následně převedeny ze systému WGS-84 do systému S-JTSK EastNorth.

Tabulka 1 – seznam používaných zkratk taxonů

<i>Druh lišejníku</i>	Zkratka		
<i>Amandinea punctata</i>	amapun	<i>Lepraria cf. incana</i>	lepinc
<i>Anisomeridium polypori</i>	anipol	<i>Lepraria lobificans</i>	leplob
<i>Bacidina delicata</i>	bacdel	<i>Lepraria rigidula</i>	leprig
<i>Candelariella efflorescens</i>	caneff	<i>Melanelixia glabra</i>	melgla
<i>Candelariella xanthostigma</i>	canxan	<i>Melanelixia subaurifera</i>	melsub
<i>Evernia prunastri</i>	evepru	<i>Micarea micrococca</i>	micmic
<i>Halecania viridescens</i>	halvir	<i>Parmelia saxatilis</i>	parsax
<i>Hypocnomyce scalaris</i>	hypscs	<i>Parmelia sulcata</i>	parsul
<i>Hypogymnia physodes</i>	hypphy	<i>Phaeophyscia nigricans</i>	phanig
<i>Lecania cyrtella</i>	leccyr	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	phaorb
<i>Lecania naegelii</i>	lecnae	<i>Phlyctis argena</i>	phlarg
<i>Lecidella elaeochroma</i>	lecela	<i>Physcia adscendens</i>	phyads
<i>Lecanora conizaeiodes</i>	lecon	<i>Physcia tenella</i>	phyten
<i>Lecanora chlarotera</i>	lecchla	<i>Ramalina sp.</i>	ramspe
<i>Lecanora leptyroides</i>	leclep	<i>Strangospora pinicola</i>	strpin
<i>Lecanora persimilis</i>	lecpes	<i>Scoliciosporum sarothamni</i>	scosar
<i>Lecanora pulicaris</i>	lecpul	<i>Usnea sp.</i>	usnspe
<i>Lecanora saligna</i>	lecsal	<i>Xanthoria candelaria</i>	xancan
<i>Lecanora subsaligna</i>	lecsub	<i>Xanthoria parietina</i>	xanpar
		<i>Xanthoria polycarpa</i>	xanpol

### 3.4 VÝPOČET HODNOT LDV

Výsledky sběrů byly zaneseny do tabulek a byl proveden výpočet hodnot LDV podle následujících vzorců zvlášť pro jasany a zvlášť pro duby.

Nejprve byla vypočítána diverzita lišejníkových druhů pro jednotlivé stromy:

$$i = S_{1n} FiN + S_{1n} FiE + S_{1n} FiS + S_{1n} FiW$$

*i* = jednotlivý strom

**S<sub>1n</sub> Fi**: součet frekvencí lišejníkových druhů na mřížce

**N, E, S, W** = sever, východ, jih a západ

a dále byla spočítána hodnota diverzity lišejníkových druhů pro jednotlivé světové strany ve čtvercích podle vzorce:

$$\mathbf{MSFN}_j = (\mathbf{SF1N}_j + \mathbf{SF2N}_j + \mathbf{SF3N}_j + \mathbf{SF4N}_j + \dots + \mathbf{SFnN}_j) / \mathbf{n}$$

**MSF**: průměr ze součtů frekvencí všech druhů na snímkovaných stromech ve čtverci na určité světové straně

**SF**: součet frekvencí všech druhů lišejníků nalazených v daném aspektu (světové straně)

**N, E, S, W** = sever, východ, jih, západ

a dále následuje výpočet hodnoty diverzity lišejníkových druhů pro jednotlivé čtverce (**LDV<sub>j</sub>**) podle vzorce:

$$\mathbf{LDV}_j = (\mathbf{MSFN}_j + \mathbf{MSFE}_j + \mathbf{MSFS}_j + \mathbf{MSFW}_j)$$

Dále byly provedeny výpočty četnosti jednotlivých druhů pro srovnání mezi oběma typy forofytů a tyto výpočty byly použity v kapitole 6. – Výsledky.

### 3.5 GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Grafické zpracování výsledků metody LDV bylo provedeno v programu ARcGIS 10.2 za použití metody vážené inverzní vzdálenosti (Inverse distance weighting, dále jen IDW) v nástrojích 3D Analyst Tools. Souřadnice jednotlivých stromů, získané pomocí přístroje GPS, byly použity pro vytvoření bodové vrstvy obsahující hodnoty LDV pro jednotlivé kmeny a dále frekvence lišejníků pro jednotlivé světové strany (tzn. součet frekvencí všech druhů pro danou světovou stranu pro daný kmen). Z hodnot LDV pro jednotlivé kmeny a frekvence lišejníků na jednotlivých světových stranách byl interpolován rastr nad studovaným územím (Obrázek 23, Obrázek 24). Při použití této metody je hodnota v každém pixelu rastru ovlivněna všemi hodnotami bodů v bodové vrstvě. Míra vlivu jednotlivých bodů na daný pixel je nepřímo úměrná vzdálenosti bodu od daného pixelu. Výsledný rastr byl dále reklasifikován podle Stupnice LDV (Tabulka 9). Dále byly na podkladových mapách České informační agentury životního prostředí CENIA vypracovány mapky s vyznačeným výskytem jednotlivých druhů lišejníků na obou typech forofytů.

### 3.6 ANALÝZA DAT

#### 3.6.1 ZOBECNĚNÝ LINEÁRNÍ MODEL

Všechny statistické analýzy byly provedeny v programu R. Byl testován vliv proměnných (dřevina, expozice, borka, zástavba, průměr) na počet druhů a na hodnotu LDV. Nejprve byla kontrolována shoda rozdělení proměnných počet druhů a LDV

s normálním rozdělením Shapiro-Wilkovým testem normality. Neboť obě proměnné nevykazovaly shodu s normálním rozdělením, byl v obou případech použit zobecněný lineární model (GLM) s Poissonovou distribucí. Prvním modelem byl analyzován vliv všech proměnných a poté byl vybrán nejlepší model podle AIC statistiky (Akaikeho informační kritérium) metodou obousměrného postupného výběru (funkce ‚step‘). Významnost vlivu proměnných byla testována Chi kvadrát testem.

### 3.6.2 ORDINAČNÍ ANALÝZY

Vliv proměnných prostředí na druhové složení byl analyzován ordinačními analýzami z knihovny ‚vegan‘. Byla dohromady analyzována data z dubů i z jasanů. Nejprve byla vypočítána detrendovaná korespondenční analýza (DCA) na všech družích. Délka nejdelšího gradientu se pohybovala mezi 3 a 4, což umožňuje použití lineárních i unimodálních technik (TER BRAAK & SMILAUER 2012). Vzhledem k velkému počtu vzácných druhů, tedy velkému počtu nulových hodnot nevhodných pro modelování metrických vzdáleností, byla pro přímou ordinační analýzu použita distance-based RDA (LEGENDRE 2008) umožňující počítat s nemetrickými vzdálenostmi v tomto případě založenými na Bray-Curtisovu indexu nepodobnosti snímků. Dále byly provedeny db-RDA zvláště na snímcích z dubů a z jasanů pro zjištění, jestli některá z nesignifikantních proměnných nepůsobí pouze u jedné z dřevin a její vliv není společnou analýzou zastřen. Analyzován byl vliv těchto sledovaných proměnných: druh dřeviny, expozice, borka, zástavba, průměr. Vliv proměnné zástin byl z analýz vynechán, neboť zde nebyla téměř žádná variabilita a snímky byly téměř ve všech případech nezastíněné. Dále byla do analýzy zařazena proměnná LDV ke zjištění, které druhy se vyskytují při určitých hodnotách LDV. Vliv proměnných byl testován permutačním testem pro 999 permutací. K zjištění čisté variability vysvětlené proměnnými byl použit rozklad variance podle Legendre (LEGENDRE 2008). Výskyt jednotlivých druhů ve vztahu k hodnotám LDV byl modelován metodou Species response curves z knihovny ‚eHOF‘ (HUISMAN et al. 1993). Byly analyzovány pouze druhy, které se vyskytovaly 5krát a více.

## 4. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 4.1 ZNEČIŠTĚNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Definice znečištění podle zákona č. 17/1992 Sb. o životním prostředí v platném znění [1], udává, že znečišťování životního prostředí je vnášení takových fyzikálních,



chemických nebo biologických činitelů do životního prostředí v důsledku lidské činnosti, které jsou svou podstatou nebo množstvím cizorodé pro dané prostředí. Poškozováním životního prostředí stanovuje zákon zhoršování stavu životního prostředí znečišťováním nebo jinou lidskou činností nad míru stanovenou zvláštními předpisy.

Koncem dvacátého století patřily mezi hlavní znečišťující látky oxid siřičitý, oxidy dusíku a prašný aerosol. V průběhu devadesátých let minulého století byla na zdrojích znečištění realizována účinná opatření, která vedla k poklesu emisí oxidu siřičitého do ovzduší. Stejně tak došlo ke snížení emisí dalších znečišťujících látek. V současnosti představují největší problém suspendované částice (měřeny jsou frakce PM10, PM2,5 a menší), na ně vázané látky (polycyklické aromatické uhlovodíky, těžké kovy), v letním období přízemní ozón a v blízkosti frekventovaných komunikací oxid dusičitý (URL č. 6).

Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší v platném znění [2], mimo jiné pak stanovuje i imisní limity a povolený počet jejich překročení za kalendářní rok včetně imisních limitů vyhlášených pro ochranu ekosystémů a vegetace (Tabulka 2). Sledovanými látkami jsou v tomto případě oxid siřičitý a oxidy dusíku, kde především u oxidů dusíku podíl na znečišťování ovzduší stoupá.

Tabulka 2 – Imisní limity vyhlášené pro ochranu ekosystémů a vegetace

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
<b>Oxid siřičitý</b>	<i>Kalendářní rok a zimní období (1. 10. – 31. 3.)</i>	20 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
<b>Oxidy dusíku*</b>	<i>1 kalendářní rok</i>	30 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

\*)Součet objemových poměrů (ppbv) oxidu dusnatého a oxidu dusičitého vyjádřený v jednotkách hmotnostní koncentrace oxidu dusičitého.

Zdroj: zákon č. 201/2012 Sb.,[2], vlastní zpracování

#### 4.1.1 OXID SIŘIČITÝ

Hlavním antropogenním zdrojem oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>) je spalování fosilních paliv (uhlí a těžkých olejů) a tavení rud s obsahem síry. V atmosféře je SO<sub>2</sub> oxidován na sírany a kyselinu sírovou vytvářející aerosol jak ve formě kapiček, tak i pevných částic. SO<sub>2</sub> a látky z něj vznikající jsou z atmosféry odstraňovány mokrou a suchou depozicí. Při vypuštění do ovzduší reaguje SO<sub>2</sub> s kyslíkem a za přítomnosti vody se transformuje na kyselinu sírovou, která je spolu s kyselinou siřičitou příčinou kyselých dešťů. Mezi

významné metabolické účinky SO<sub>2</sub> na rostliny, tím pádem i na řasového symbionta v lišejnících, patří přímé ovlivňování fotosyntetické fixace CO<sub>2</sub>. Nepřímé účinky se v rostlinných organismech projevují při působení siřičitanů a organických sulfonátů na buněčné složky. Tyto sloučeniny pak mohou způsobit inhibici metabolických enzymových systémů. Všechny tyto faktory jsou pravděpodobnou příčinou narušení chloroplastů a mitochondriální struktury v organismech rostlin. Škodlivé účinky vznikají tehdy, když koncentrace SO<sub>2</sub> převyší kapacitu tkáně a síra se začlení do normálních metabolických pochodů. Působení polutantu na buněčný metabolismus má za následek snížení růstu a výnosu rostlin (MALHOTRA & HOCKING 1976).

V roce 2012 nebyly v České republice překročeny imisní limity SO<sub>2</sub> pro hodinovou ani pro 24hodinovou koncentraci na žádné měřicí stanici. K překročení hodnoty pro 24hodinový limit (125 µg.m<sup>-3</sup>) došlo v povoleném počtu (méně než nebo rovno třem) pouze na stanici Pardubice-Dukla. V případě hodinových koncentrací došlo k překročení hodnoty pro imisní limit (350 µg.m<sup>-3</sup>) v povoleném počtu (méně než nebo rovno 24), a to nejvíce na lokalitách v Pardubickém a Ústeckém kraji (Pardubice-Dukla 7krát, Lom 5krát). Méně než tři překročení byly zaznamenány na lokalitách v Plzni-město, Chomutově, Sokolově, Mostu a Přerově (URL č. 6).

Podle údajů Českého hydrometeorologického ústavu se na deseti stanicích s nejvyšší roční průměrnou koncentrací SO<sub>2</sub> pohybovala hodnota od 12–25,2 µg.m<sup>-3</sup>. Hodnoty vyšší než 14 µg.m<sup>-3</sup> bylo dosaženo v jediném případě (Ostrava-Radvanice 25,2 µg.m<sup>-3</sup>) a v této stanici byl jako v jediné překročen imisní limit vyhlášený pro ochranu ekosystémů a vegetace podle zákona č. 201/2012 Sb. [2]. Oblast Sokolovska mezi uvedenými deseti stanicemi nefigurovala (URL č. 6).

#### 4.1.2 OXIDY DUSÍKU

Při sledování a hodnocení atmosférického znečištění se pod pojmem oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>). Imisní limit pro ochranu zdraví lidí je stanoven pro NO<sub>2</sub> a imisní limit pro ochranu ekosystémů a vegetace je vyhlášen pro NO<sub>x</sub>. (URL č. 6).

Zdroje antropogenního atmosférického znečištění je v případě oxidů dusíku možné rozdělit na zdroje stacionární a zdroje mobilní. U stacionárních zdrojů se v průběhu spalovacích procesů dusík v palivech transformuje na oxidy dusíku a hlavní surovinou je v tomto kontextu opět uhlí, protože ropa, zemní plyn i biomasa obsahují mnohem

nižší hladiny dusíku. Přesto při spalování těchto ušlechtilých paliv ke vzniku oxidů dusíku dochází a při jejich vzrůstajícím podílu na objemu použitých paliv nejsou nezanedbatelné. Dalšími zdroji jsou výroba průmyslových hnojiv a zpracování průmyslových odpadů. Mobilním zdrojem je v případě oxidů dusíku i přes používání katalyzátorů automobilová doprava (významný podíl má i letecká a vodní), kdy  $\text{NO}_x$  vznikají reakcí atmosférického dusíku a kyslíku při vysokých teplotách v souvislosti s procesy probíhajícími ve spalovacích motorech. Převážná většina oxidů dusíku emituje v podobě NO, jen pouze okolo 5 %  $\text{NO}_x$  je emitováno v podobě primárního  $\text{NO}_2$ . Převážná část atmosférického  $\text{NO}_2$  je vedlejším produktem chemických procesů v atmosféře (WHO 2006).

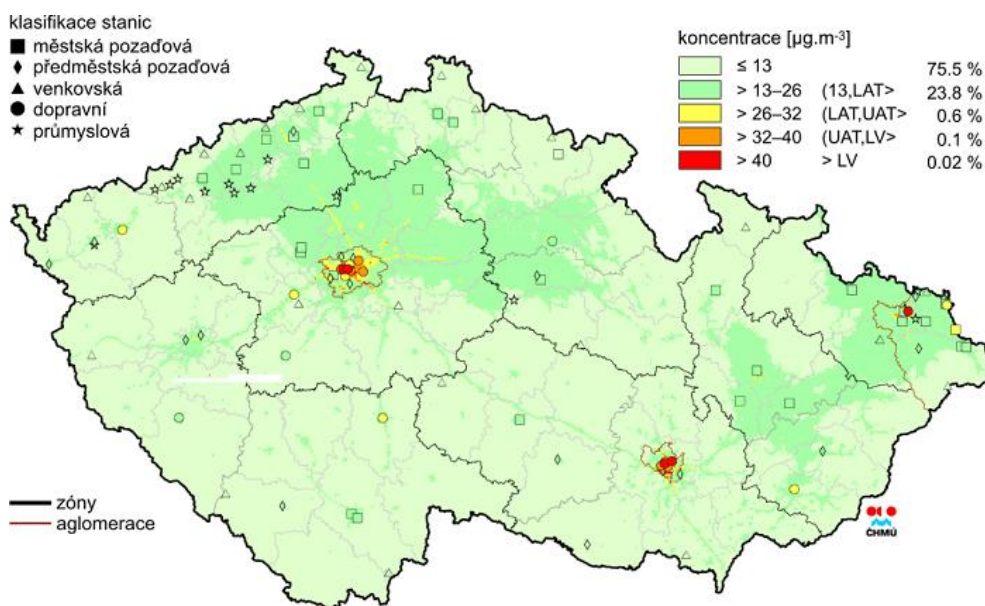
Řadou chemických reakcí se část  $\text{NO}_x$  přemění na  $\text{HNO}_3/\text{NO}_3^-$ , které jsou z atmosféry odstraňovány suchou a mokrou atmosférickou depozicí (URL č. 6). Dusík je jedním z biogenních prvků a v přiměřeném množství je pro rostliny nezbytný. Ve vyšších koncentracích ale oxidy dusíku působí na rostliny negativně a mohou způsobit větší náchylnost rostlin k mrazům a plísním. Dusík je rostlinami běžně přijímán kořenovou soustavou, v posledních letech je ale díky zvýšené depozici oxidů dusíku v atmosféře stále častější příjem atmosférického dusíku. Rostlinou vdechnuté oxidy dusíku se v mezibuněčném roztoku rozpouští za vzniku nitrátu (soli kyseliny dusičné, dusičnanu nebo nitritu (dusitanu) a přes buněčnou membránu vstupují do buněk rostliny. Nitrit pak pravděpodobně působí jako metabolický jed (DARRAL 1989, PLHÁK 2000).

Oxid dusičitý je společně s oxidy síry součástí takzvaných kyselých dešťů. Oxidy dusíku jsou prekurzory fotochemického smogu a NO i  $\text{NO}_2$  jsou klasifikovány jako skleníkové plyny. Oxidy dusíku ovlivňují vegetaci i nepřímo, přes půdní acidifikaci a ve svém důsledku značně přispívají k eutrofizaci půd a vod (DARRAL 1989, PLHÁK 2000). Nezanedbatelným zdrojem dusíkatých látek v prostředí je i chov skotu, kdy je do okolního prostředí uvolňován ve větší míře amoniak ( $\text{NH}_3$ ), který vzniká rozpadem biologické hmoty (VAN HERK 1999).

K překročení ročního imisního limitu  $\text{NO}_2$  dochází jen na stanicích v blízkosti aglomerací a velkých měst (Obrázek 7), tedy na lokalitách silně dopravně exponovaných. Sokolovsko mezi těmito lokalitami opět nefigurovalo, průměrná roční koncentrace  $\text{NO}_2$  mezi 26–32  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  byla zaznamenána v blízkých Karlových Varech.

Pro srovnání – nejvyšší průměrné hodnoty na měřicí stanici Praha2 – Legerova dosáhly hodnoty  $57,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (URL č. 6).

Obrázek 7 – Pole roční průměrné koncentrace  $\text{NO}_2$  v letech 2002–2012



Zdroj: ČHMÚ (URL č. 6)

Právě zvýšené koncentrace dusíku v atmosféře i v celé řadě ekosystémů, jsou spolu s následky globálního oteplování hrozbou pro celkovou biologickou diverzitu Země (KRUPA 2003).

#### 4.1.3 VÝVOJ A TREND ATMOSFÉRICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ $\text{SO}_2$ A $\text{NO}_x$ V ČESKÉ REPUBLICE

V průběhu devadesátých let minulého století začal díky značným investicím do výrobních technologií, změnami struktury průmyslu a díky novým technologiím v dopravě markantní pokles znečištění ovzduší, kdy především u  $\text{SO}_2$  došlo k poklesu o 70–80%. Od roku 2001 je klesající trend zastaven, dochází ke stagnaci a někde i k mírnému nárůstu koncentrací znečišťujících látek. V dalších třech letech koncentrace stoupají a v roce 2003 dosáhly v kontextu deseti let svého maxima. Je možné předpokládat, že zvýšení koncentrací bylo v tomto roce důsledkem nepříznivých meteorologických a rozptylových podmínek v zimních měsících a současného podnormálního množství srážek.

U koncentrací  $\text{SO}_2$  je mezi roky 2003–2005 zaznamenán mírně klesající trend. V roce 2004 byly koncentrace  $\text{NO}_x$  opět sníženy na úroveň roku 2001, v roce 2005 a 2006 ale došlo k nárůstu koncentrací  $\text{NO}_2$  a na zvýšení hodnot z let 2005–2006 měly patrně

velký vliv zhoršené rozptylové podmínky a naopak, právě dobré rozptylové a meteorologické podmínky zapříčinily pokles znečištění u obou polutantů v letech 2007–2008. Situace se opakovala i v letech 2009 a 2010 – opět došlo k mírnému zhoršení a příčinou se zdají být opět rozptylové podmínky. V roce 2011 koncentrace znečišťujících látek (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) poklesly, a to ve všech imisních charakteristikách a na všech typech lokalit. V roce 2012 pokles pokračoval až na výjimku u koncentrací SO<sub>2</sub>, kdy byl zaznamenán mírný nárůst 4. nejvyšší 24hodinové koncentrace. Nicméně i tato hodnota leží hluboko pod imisním limitem. Při shrnutí lze u uvedených látek pozorovat stagnaci nebo klesající trend a jejich hodnoty zůstávají převážně pod hladinou příslušného imisního limitu. Je ale potřeba vzít v úvahu i skutečnost, že k překračování limitů dochází nejen ve velkých aglomeracích a dopravně zatížených lokalitách, ale pravděpodobně i v místech, kde chybí monitoring látek znečišťujících ovzduší (URL č. 6). V kontextu této skutečnosti se nabízí využití biomonitoringu s pomocí lišejníků.

#### 4.2 SPECIFIKA LIŠEJNÍKŮ

Lišejníky jsou na Zemi všeobecně rozšířeny, některé druhy jako kosmopolitní, jiné rostou jen v určitých oblastech. Přednostně kolonizují místa, kde se nemusejí vyrovnávat s konkurenčním tlakem ostatních organismů a lze je nalézt na rozličných typech substrátů – na kamenech, skalách, borce stromů, na půdě, na mrtvém dřevě, na zdech staveb, v tropech často i na listech. Jsou to fascinující organismy schopné přežít extrémní sucha a teploty. Dominují extrémním stanovištím – např. horským oblastem a oblastem s toxickým prostředím, kde dokáží úspěšně konkurovat cévnatým rostlinám. Lišejníky dokáží osídlit i netypické substráty jako je sklo, kovy, krovky brouků i krunýře želv (BATIČ 2002, HALLINGBÄCK & HODGETTS 2000, KALINA & VÁŇA 2005, SMITH et al. 2009).

Lišejníky spolu s mechorosty patří k pionýrským organismům, kdy zejména lišejníky působením svých sekundárních metabolitů – lišejníkových kyselin – naleptávají substrát. Hlavní význam lišejníků v přírodě spočívá právě v jejich půdotvorné činnosti a ta se uplatňuje především na extrémních stanovištích. Každá obnažená skála je po čase lišejníky kolonizována a působením jejich speciálních organických kyselin je chemicky narušována její struktura. (KALINA & VÁŇA 2005, FORMAN & GODRON 1993).

Lišejníky jsou symbiotické organismy obsahující houbovou (mykobiont) a fotosyntetizující složku (fotobiont) – nejčastěji řasy nebo sinice. Fotobiont obsahuje chlorofyl a dodává prostřednictvím fotosyntézy organické látky, mykobiont dodává celému organismu vodu, anorganické látky a chrání organismus před extrémě v podobě nadměrného světla, tepla a vyschnutí. Některé lišejníky jsou tvořeny i dalšími symboionty, jako jsou endogenní houby, bakterie nebo viry. Houbovou složku tvoří v převážné většině houby vřeckovýtrusné (*Ascomycetes*), ojediněle houby stopkovýtrusné (*Basidiomycetes*) a houby nedokonalé (*Deuteromycetes*). Vztahy mezi oběma složkami jsou předmětem častého vědeckého zkoumání, a ačkoli je zvykem považovat lišejníky za jednotlivce, povaha mnohých, především vývojových a reprodukčních studií, předpokládá zcela jiný pohled (NASH 2008a). Lišejníky jsou jedním z nejúspěšnějších příkladů symbiózy (BATIČ 2002) a i když vztah mezi fotobiontem a mykobiontem bývá často vysvětlován právě jako příkladný symbiotický vztah, kde výhody ze soužití plynou pro obě strany, alternativní pohled na toto soužití ho může popisovat jako řízený parazitismus, kdy fotobiont prokazatelně lépe prospívá mimo svazek s mykobiontem (AHMADJIAN 1993).

Lišejníky jsou poikilohydrické organismy a jako takové nejsou schopné kontrolovat obsah vody v pletivech. Jsou zcela závislé na vlhkosti okolního prostředí, především dešťových srážek, ale dokáží využít i vodní páry. Díky zpětné transpiraci, která je zapříčiněná nízkým osmotickým tlakem v pletivech, dokáží lišejníky využít vzdušnou vlhkost i za nízkých teplot (NASH 2008a).

Lišejníky jsou morfologicky velmi rozdílné, jejich stélky mají různé tvary. Podle tvaru stélky se rozlišují lišejníky na korovité, lupenité a keříčkovité a jejich barevná škála obsahuje barvy od šedé, hnědé, černé a zelené ke žluté, oranžové a červené (WIRTH 2013). Stejně rozdíly jsou i velikosti lišejníků – mohou viset v dvoumetrových trsech a zároveň se vyskytovat jako organismy nepřesahující rozměr milimetrů. Většina lišejníků jsou vytrvalé, mnohaleté organismy a přesto je mezi nimi několik efemerních (např. *Vezdaea*) (NASH 2008a).

Nejjednodušším typem nepohlavního rozmnožování lišejníků je fragmentace stélky, ale nejběžnějším typem nepohlavního rozmnožování je rozmnožování pomocí soredií a izidií. Dalším typem nepohlavního rozmnožování je tvorba konidií. Pohlavně, pomocí výtrusů, se rozmnožuje pouze mykobiontická složka lišejníků. Rozmnožování pomocí spor umožňuje šíření i na větší vzdálenosti; pokud druh upřednostňuje

nepohlavní způsob rozmnožování pomocí soredií a izidií, na větší vzdálenosti se šíří hůře (KALINA & VÁŇA 2005, ELLIS 2012, FRITZ et al. 2008, SPRIBILLE et al. 2008). Podmínkou pro úspěšné šíření lišejníků je v případě pohlavního rozmnožování sama přítomnost vhodného fotobionta – řasy nebo sinice v místě nové kolonizace. I za předpokladu, že malé a lehké spóry umožňují snadné šíření i na větší vzdálenosti, je lišejník podmínkou přítomnosti fotobionta v šíření omezen (FRITZ et al. 2008).

Růst lišejníků je velmi pomalý, některé korovité lišejníky přirůstají rychlostí pouze 1 mm během dvaceti let a některé arktické a alpské druhy dosahují plodnosti až po desítkách let. Lupenité a keříčkovité druhy rostou rychleji. Příčinami tohoto pomalého růstu je výskyt na extrémních stanovištích (KALINA & VÁŇA 2005). Celkem 40 – 50 % podílu vysušené stélky lišejníků tvoří uhlík a je nezbytný pro růst buněčných stěn a vnitřních struktur stélek. Při jeho transformaci mají obě složky lišejníků – fotobiont a mykobiont odlišné funkce. Fotobiont se díky fotosyntéze podílí na fixaci uhlíku a opačný proces – respirace, díky které dochází k uvolňování uhlíku, probíhají za účasti mykobionta (NASH 2008a).

Různé ekologické nároky lišejníků mají za následek jejich dělení a to především podle typu substrátu, na kterém žijí (epifytické, saxikolní, lignikolní, terestrické, muscikolní, folikolní), dále podle jejich požadavků na pH substrátu (acidofilní, nitrofilní, neutrofilní) a podle nároků na celkovém množství živin v okolním prostředí (oligotrofní, eutrofní, hypertrofní) (SEAWARD 2008).

Mezi druhy nejvíce citlivé na atmosférické znečištění patří epifytické rostoucí druhy. Růst epifytických lišejníků na borce stromů je ovlivněn nejen přístupem k živinám, ale i pH borky těchto stromů. Blízkost zdroje znečištění může pH borky ovlivnit a tím působit na složení lichenoflóry konkrétního stromu (SKYE 1968). Kyselá depozice tak mívá za následek snížení pH a posun ve složení lišejníkových společenstev od společenstev na neutrálních substrátech ke společenstvím acidofilním a stejně tak vliv vápenatých sloučenin může složení lichenoflóry ovlivnit a posunout opačným směrem (NASH 2008c). Růst epifytických lišejníků je mimo uvedených vlastností dostupného substrátu ovlivněn i faktory okolního prostředí, které představují především vlhkost a teplota a přítomnost polutantů (NASH 2008c).

Lišejníky jsou součástí potravních řetězců, podílejí se na diverzitě mikro i makroorganismů a podílejí se na toku energií v ekosystémech. Využitím lišejníků

a jejich sekundárních metabolitů pro člověka se zabývá etnolichenologie. Významnou rolí lišejníků je jejich použití jako bioindikátorů při sledování stavu atmosférického znečištění (NASH 2008a).

#### 4.3 LIŠEJNÍKY JAKO BIOINDIKÁTORY

Bioindikátory jsou organismy nebo společenstva organismů, které reagují na znečištění životního prostředí změnou svých životních funkcí nebo znečišťující látky akumulují. Současně jako indikační druh označujeme takové, které svým výskytem nebo reakcemi umožňují hodnotit parametry prostředí (ANDĚL 2011, ARNDT et al. 1987).

##### 4.3.1 VHODNOST LIŠEJNÍKŮ PRO BIOINDIKACI

Lišejníky vykazují i další vlastnosti vhodné pro dobré bioindikátory: Areál jejich rozšíření je velmi obsáhlý a umožňuje tak provádět i studie založené na prostorových modelech. Jsou to dlouhověké organismy, které v průběhu času v sobě polutanty kumulují a dokáží ve stélkách absorbovat množství prvků několikanásobně převyšující jejich fyziologické požadavky (NASH 2008c). Vhodný bioindikátor by měl splňovat i podmínku snadné a jednotné taxonomické determinace (ANDĚL 2011).

V bioindikaci jsou pro své vlastnosti často používány i mechorosty, ale jako indikátory atmosférického znečištění jsou využívány především lišejníky, které po zasažení imisemi umírají rychleji než mechorosty a bývají častěji přítomny na stanovištích vystavených působení polutantů, jako je borcka soliterně rostoucích stromů a plochy v městské zástavbě (VÁŇA 2006). Jako příklad rychlosti úhynu lišejníků oproti vyšším rostlinám jako jsou stromy, je možno uvést výsledky výzkumu při transplantaci lišejníku *Hypogymnia physodes* ze Slavkovského lesa do centra Prahy. Během dvou měsíců došlo k odumření 75 % stélky (KRÁL 1984).

Lišejníky nemění svojí morfologii tak snadno jako cévnaté rostliny např. shozem listů a nemohou se tím působení polutantů vyhnout. Intenzita metabolismu lišejníků je velmi nízká a s tím souvisí pomalý růst a malé regenerační schopnosti při poškození toxikantem (ANDĚL 2011, NASH 2008c).

Citlivost lišejníků na atmosférické znečištění je dána i tím, že lišejníky jsou poikilohydrické organismy. Vodní režim ovlivňují tedy pouze pasivně (nemají průduchy) a jako takové jsou zcela závislé na dešťových srážkách, ale dobře mohou využívat i jiné formy vzdušné vlhkosti jako jsou vodní páry a mlhy (NASH 2008b).



Právě vodní páry a mlhy v sobě koncentrují živiny a polutanty a ty jsou lišejníky schopné přijímat celým povrchem, protože jim na rozdíl od cévnatých rostlin chybí ochranná vosková pokožka – kutikula. Samotný SO<sub>2</sub> se v ovzduší v plynné formě udrží jen velmi krátkou dobu (12 hodin) a díky jeho dobré rozpustnosti ve vodě dochází k jeho zachycení ve vodní páře a k přeměně na vysoce reaktivní kyselinové ionty.

Srážkovou vodu přijímají lišejníky přímo, bez předchozí filtrace v půdě, kde dochází k zachycení toxických látek (ANDĚL 2011). Epifytické lišejníky jsou navíc vystaveny větším dávkám polutantů, protože imise jsou zachytávány na povrchu jehličí a listů a při srážkách jsou pak splavovány po kmeni a tím na lišejníky působí z větší plochy, než je samotná plocha stélky (ANDĚL 2011).

Další příčinou výjimečné citlivosti lišejníků k atmosférickému nečištění je jejich symbiotická podstata. Rovnovážný stav mezi fytoiontem a mykobiontem odpovídá daným ekologickým podmínkám a změna některé z nich může vést k narušení rovnováhy a ve výsledku i k zániku organismu (ANDĚL 2011).

Vzhledem k typu funkcí, které lišejníky při použití různých metod biomonitoringu zaujímají, lze jejich zapojení do biomonitoringu rozdělit na:

- Pasivní bioindikaci, kdy jsou pro účely monitoringu využívány přirozeně rostoucí lišejníky.
- Aktivní bioindikaci, která zahrnuje sběr lišejníků v místech se slabým atmosférickým znečištěním, jejich přenesení do znečištěného prostředí a následné testování účinků znečištění.
- Funkci reaktivních bioindikátorů, kdy se využívá reakcí životních funkcí lišejníků (změny v šíření, růstu, struktuře stélek) na znečištění životního prostředí nebo jiný stres.
- Funkci kumulativních bioindikátorů, které do určité míry ve svém organismu hromadí polutanty bez viditelného poškození životních funkcí (BATIČ 2002, FERRY et al. 1993).

Akumulační bioindikátor by v podstatě měl splňovat následující kritéria (ANDĚL 20011: Měla by být dobře známá jeho celková biologie a ekologie, měly by být dobře známy fyziologické a biochemické reakce daného bioindikátora na působení

toxikantu. Druh by měl být co nejvíce geograficky rozšířen, měl by obývat poměrně malé území a měl by se vyskytovat v hojném počtu. Dále by měl mít bioindikátor rychlý rozmnožovací cyklus. Druh by měl mít schopnost kumulovat toxickou látku v relativně velkém rozsahu a odběr vzorků by měl být snadný.

Lišejníky tedy splňují většinu z uvedených kritérií, jsou dobře použitelné pro pravidelná a opakovaná hodnocení a biomonitring. Při posuzování by měl být brán zřetel na skutečnost, že zjištěné koncentrace jsou modelem biodostupné složky toxikantu a liší se tak od množství v okolním prostředí (ANDĚL 2011). Jako příklad akumulární schopnosti lišejníků je možno uvést výsledky výzkumu (Tabulka 3) v okolí továrny na zpracování olova na Příbramsku, kdy byl porovnáván obsah těžkých kovů (KRÁL et al. 1984).

Tabulka 3 – Obsah kadmia a olova (vzdálenost 700 m od zdroje znečištění)

<b>Stromy</b>	smrk – jehličí	0,92 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Cd	70,1 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Pb
	borovice – jehličí	2,84 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Cd	149 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Pb
<b>Lišejník</b>	<i>Hypogymnia physodes</i> (terčovka bublinatá)	6,3 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Cd	<b>11614 <math>\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}</math> Pb</b>
<b>Houba</b>	muchomůrka červená	<b>30,3 <math>\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}</math> Cd</b>	51,3 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Pb

Zdroj: KRÁL et al. 1984, vlastní zpracování

Při studiích různých typů, zaměřených na zkoumání míry atmosférického znečištění jsou často využívány především epifytické lišejníky, protože v množství existujících druhů je mnoho rozdílů v míře tolerance vůči atmosférickému znečištění a také stromy stejného druhu a věku poskytují potřebný substrát pro srovnávací studie (HAWKSWORTH & ROSE 1970).

#### 4.3.2 VLIV POLUTANTŮ NA LIŠEJNÍKY

Průmysl produkuje řadu látek, které působí na růst lišejníků, ať už jsou to oxidy síry, dusíkaté látky, oxidanty, peroxiacetylnitrát (PAN), ozón, fluorovodík nebo kovy (NASH 2008). Mizení lišejníků bylo zpočátku 20. století a dříve přičítáno uhelnému prachu, který byl produktem průmyslových oblastí i prakticky všech domácností a fyto toxické účinky oxidu siřičitého byly osvětleny později.

Oxid siřičitý vzniká především jako vedlejší produkt při spalování fosilních paliv v průmyslu i v domácích topeništích. Jeho největším zdrojem jsou elektrárny a teplárny, které spalují uhlí s vysokým obsahem síry. I když technologie odsíření snížila úroveň atmosférického znečištění, je SO<sub>2</sub> v mnoha zemích stále významným polutantem (NASH & WIRTH 1988).

Působení oxidu siřičitého na lišejníky má za následek především narušení procesu fotosyntézy u fotobionta. Dochází k abnormálnímu blednutí chlorofylu, permanentní plazmolýze a k výskytu sporadických hnědých skvrn na chloroplastech, fotosyntéza při vyšších koncentracích ustává (TÜRK & WIRTH 1975, RAO & LE BLANC 1966). SO<sub>2</sub> poškozují vnitřní strukturu buněk a negativně působí i na šíření lišejníků tím, že ovlivňuje produkci spór i soredií a izidií a inhibuje aktivitu nitrogenázy, která je využívána fotobiontem k fixaci vzdušného dusíku (HÄLLGREN & HUSS 1975).

Vliv SO<sub>2</sub> na lišejníky je znatelně větší v případech, kdy je stélka hydratovaná, než když je suchá a proto k většímu poškození dochází v zimních měsících s nízkou teplotou, kdy je ztráta vody u lišejníků menší, než v létě (NASH 2008c, BATIČ 2002). Náchylnost lišejníků k poškození působením SO<sub>2</sub> je ovlivněna i pH substrátu a odolnost lišejníků se snižuje se snižující se kyselostí prostředí. Tato skutečnost je dána tím, že koncentrace toxických látek, vznikajících interakcí vody a SO<sub>2</sub>, je závislá na pH. Při expozici SO<sub>2</sub> a současných hodnotách pH nižších než 3 ustává proces fotosyntézy ve stélkách acidofilních i neutrofilních lišejníků (TÜRK & HAUCK 1975).

U lišejníků je citlivost k atmosférickému znečištění zkoumána již několik desetiletí a na základě výsledků výzkumu byla sestavena i 11 bodová stupnice citlivosti lišejníků na SO<sub>2</sub>, podle které lze určit stav znečištění životního prostředí. Tam, kde je znečištění silné, lišejníky vyhynou a přežívají jen řasy jako například *Desmococcus viridis*, větší koncentraci snese i *Lecanora conizaeoides* a *Hypogymnia physodes*, oproti tomu pro oceánické prostředí západní Evropy platí, že například *Lobaria amplissima*, *L. scrobiculata*, *Usnea articulata* a *U. filipendula* vyžadují optimálně čistý vzduch (HAWKSWORTH & ROSE 1970).

Ne všechny druhy lišejníků jsou stejně citlivé na atmosférické znečištění a zdá se, že hlavním faktorem odolnosti lišejníků proti působení SO<sub>2</sub> je povrchová hydrofobnost, která se původně vyvinula jako reakce na vysokou vzdušnou vlhkost. Smáčivost stélek lišejníků se pohybuje na škále od silně hydrofobní po silně hydrofilní

a extrakce intracelulárních sekundárních metabolitů s obsahem acetonu sice tuto hydrofobnost snižuje, ale neruší. Tolerance k SO<sub>2</sub> se u lišejníků zvyšuje souběžně s rostoucí hydrofobností. Vzhledem k tomu, že hydrofobnost neinhibuje pouze zachytávání roztoků kyseliny sírové, ale kapalin a roztoků všeobecně, je zřejmě také vysvětlením skutečnosti, že řada SO<sub>2</sub> tolerantních lišejníků se vyznačuje i velkou tolerancí k těžkým kovům. Stejně jako u mechorostů má na odolnost vůči znečištění u lišejníků vliv i pufrací schopnost substrátu (HAUCK 2005, HAUCK et al. 2008) a citlivost k SO<sub>2</sub> je především u epifytických lišejníků dána i velmi nízkou pufrovací schopností borky stromů a keřů (HAUCK 2008).

Složení lišejníkových společenstev je tedy prokazatelně ovlivněno působením oxidu siřičitého (BATES et al. 2001, BATIC 2002, DEGELIUS 1964 a 1978, DE SLOOVER & LE BLANC 1968, GILBERT 1986, GOMBERT et al. 2004, GOTTARDINI et al. 2004, HAUCK 2005, HAUCK et al. 2008, HAWKSWORTH & ROSE 1970, KRICKE & FEIGE 2004, KRIESL 1978a,b, MASSARA et al. 2009, NASH 2008b) a přesto, že je v posledních letech množství tohoto polutantu v atmosféře účinně regulováno a citlivé lišejníky kolonizují místa, odkud zcela vymizeli, na složení lišejníkových komunit mají vliv i ostatní faktory, například depozice dusičnanů (NASH 2008c, VAN DOBBEN & DE BAKKER 1966).

Lišejníky jsou organismy citlivé na zvýšené depozice dusíku (HAUCK 2010, KRUPA 2003). Nejen automobilový provoz má za následek zvýšení depozic dusíku. Intenzivní chov hospodářských zvířat a zemědělská produkce způsobuje zvýšenou depozici amoniaku a kontaminaci půdy a vody chemikáliemi (OLIVIER et al. 1998, WEBB et al. 2005). Zatímco důkazů o škodlivých účincích vysokých koncentrací dusičnanů (SCHMULL et al. 2002) a kyseliny dusičné (RIDDELL et al. 2008) ve srážkách není dostatek, účinky amoniaku, především jeho schopnost poškozovat cytoplazmové membrány a tak snižovat účinky fotosyntézy, jsou dobře známy a popsány (PIRINTSOS et al. 2009). Právě amoniak a jeho koncentrace v místech, kde se soustřeďuje chov dobytka, bývá dáván do příčinné souvislosti s masovým nárůstem nitrofilního lišejníkového společenstva (VAN HERK 1999). Zároveň je prokázána souvislost mezi rozmanitostí sekundárních lišejníkových metabolitů obsažených ve stélkách a tolerancí lišejníků k eutrofizaci ekosystémů. Obecně platí, že rozmanitost sekundárních metabolitů klesá spolu s rostoucí tolerancí k eutrofizaci (HAUCK 2011).

Primární oxid dusnatý (NO) je dále oxidován ozónem na oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>), který je stejně jako SO<sub>2</sub> zodpovědný za vznik kyselých dešťů. Velmi vysoké koncentrace oxidů dusíku pak mají i při krátkodobých expozicích na lišejníky toxické účinky v podobě poškozených membrán a ztrátě chlorofylu, mohou snižovat stabilitu stélek a měnit poměr zastoupení fotobionta k mykobiontovi ve stélce (JOHANSSON et al. 2012).

Množství dusíkatých sloučenin v ekosystémech se zvyšuje a s největší pravděpodobností se i dále zvyšovat bude a oxidy dusíku mají za následek růst nitrofilních lišejníkových společenstev na úkor acidofilních (TÜRK & WIRTH 1975, VAN DOBBEN & DE BAKKER 1996). V místech se zvýšenou koncentrací amoniaku lze nalézt kmeny stromů zcela pokryté vrstvou druhů jako *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens* a *Xanthoria parietina*. Tento jev je zvláště patrný na stromech s kyselou borkou (*Quercus*, *Fagus*), na kterém nitrofilní druhy chyběly nebo byly poměrně vzácné. Současně některé acidofilní druhy, jako *Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Lecanora conizaeoides* a *Pseudevernia furfuracea* velmi snížily svou frekvenci (VAN HERK 1999). Přitom enormní nárůst nitrofilních druhů v okolí farem, specializujících se na chov dobytka, není přímým důsledkem přítomnosti NH<sub>3</sub> v ovzduší, ale příčinou se zdá být spíše okyselení borky stromů, která je způsobena adsorpcí NH<sub>3</sub> (VAN HERK 1999).

Při poklesu koncentrací dusíku v atmosféře lze jistě tento stav lokálně zvrátit (SPARRIUS 2007), ale mnohé populace lišejníků, především ty s omezenou schopností distribuce a se zvýšenou citlivostí na dusíkaté sloučeniny, současné maximum znečištění dusíkem nepřezijí a vymizí (HAUCK 2011).

Také znečištění ovzduší těžkými kovy je dnes považováno za globální problém a značný podíl na současném stavu má sama těžba, kdy dochází k přímé expozici atmosféry (BALABANOVA et al. 2012). Ve stélkách lišejníků lze nalézt především Fe, Zn, Cd, Cu, Ni a dále je možné detekovat i další kovy – Al, As, Ba, Be, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Ga, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Na, Nd, Pb, Rb, Sc, Sn, Sr, Ti, V a Y (NASH 1989). Lišejníky snadno vstřebávají těžké kovy a k jejich akumulaci dochází již po krátké době působení a to v řádu několika měsíců (BAČKOR & LOPPI 2009). Při delší expozici můžeme docházet ke změnám povrchových struktur lišejníků, ke ztrátě biomasy a ke snížení rozmnožovacích schopností. Rozpustné kovy, které se nacházejí extracelulárně, jsou považovány za bezprostředně méně škodlivé než rozpustné kovy,

nacházející se intracelulárně. Těžké kovy se hromadí převážně kvůli záporně nabitým iontům na stěnách buněk a intracelulárně jsou kovy detekovány jen stopově (BALABANOVA et al. 2012). Zvýšené koncentrace ve stélkách jasně přispívají k odumírání lišejníků a snižují tak biodiverzitu znečištěných oblastí (SCERBO et al. 1999, 2002) Souvislost mezi obsahem kovů ve stélkách lišejníků a výsledky bioindikace při studiích zaměřených na stav životního prostředí je zřejmá.

Koncentrace těžkých kovů ve stélkách lišejníků je ovlivněna přítomností lišejníkových kyselin – sekundárních metabolitů, které s kovovými ionty reagují a selektivně inhibují jejich příjem (HAUCK 2008, HAUCK et al. 2013). Tato schopnost se liší v závislosti na druhu lišejníku a tedy i typu sekundárních metabolitů ve stélce.

Lišejníky jsou často využívány i k detekci a monitoringu radioaktivního spadu (AHMADJIAN 1993, FERRY 1973, GILBERT 1973, NASH & WIRTH 1988, NASH 2008b) a vydrží i velmi vysoké dávky gama záření. Nízká citlivost k záření je pravděpodobně způsobena řídkým pletivem stélek, malými buněčnými jádry a jednoduchou stavbou chromozomů (PIŠŮT 1984). Sekundární metabolity obsažené v lišejnících často analyzu akumulovaných sloučenin ztěžují (BATIČ 2002).

Vlivy všech zmíněných látek jako například kumulace těžkých kovů ve stélkách lišejníků a působení prachových částic, mají většinou synergický efekt a stanovit jejich konkrétní vliv na lišejníky je velmi obtížné (NASH 2008c). Působením prachových částic jsou ovlivněny především lišejníky rostoucí na zemi nebo na kamenech a samozřejmě i epifytické lišejníky rostoucí v blízkosti frekventovaných cest, protože většina prachových částic pochází z exponovaného půdního povrchu. Tyto částice se snadno dostávají do stélek a přesto, že jsou částečně zdrojem živin, zůstávají např. Fe, Sc, Ti, Al a další prvky lithického původu ve stélkách ve velkých koncentracích. Mikrogranule znečišťujících látek jsou ve stélkách usazeny a mohou tak po dlouhou dobu vylučovat chemické látky (NIEBOER et al. 1978).

Troposférický ozón je součástí fotochemického smogu zejména v městských a průmyslových oblastech. Ačkoli u cévnatých rostlin dokáže O<sub>3</sub> poškodit buňky tvorbou kyslíkových radikálů, lišejníky jsou schopny tomuto poškození odolávat. Je to nejspíše tím, že jsou přizpůsobené na rychlé změny obsahu vody v buňkách, což způsobuje změny na buněčných membránách, zmenšení objemu cytoplasmy a pozastavení aktivity enzymů včetně pozastavení fotosyntézy. Lišejníky jsou tedy

na následky působení ozonu dobře připraveny. Odolnost lišejníků vůči ozónu je ovlivněna působením buněčných mechanismů, které umožňují překonat oxidativní vzplanutí, které je spojené s cykly dehydratace a rehydratace, tedy s cykly typickými pro poikilohydrické organismy (BERTUZZI et al. 2013). Škodlivé působení ozónu na lišejníky bylo nejčastěji zkoumáno v souvislosti se synergickým působením jiných polutantů, především s SO<sub>2</sub> a bylo prokázáno, že synergický účinek těchto polutantů je větší, než účinek každého polutantu zvlášť a i když byl u ozónu prokázán větší fytotoxický účinek, SO<sub>2</sub> jeho účinky zvyšoval. U některých lišejníků docházelo ke strukturálním změnám, k poklesu intenzity fotosyntézy, zvýšené akumulaci škrobu v chloroplastech a ke zvýšení obsahu lipidů v cytoplazmě (EVERSMAN & SIGAL 1987).

Lokálně mohou všechny zmíněné látky na lišejníky působit, ale citlivost na jednotlivé polutanty není u všech druhů lišejníků stejná (NASH 2008). Právě rozdílná toxitolerance různých druhů lišejníků je užitečná při interpretaci úrovně atmosférického znečištění polutanty. Tam, kde vysoce citlivé druhy mizí, toxitolerantní přežívají. Lišejníky jsou díky své citlivosti velmi vhodné pro metody biomonitoringu životního prostředí a bioindikace pomocí lišejníků je jedním z nejvýraznějších aspektů lichenologie.

#### 4.4 METODY BIOMONITORINGU POMOCÍ LIŠEJNÍKŮ – STRUČNÝ NÁHLED

Biomonitoring je dlouhodobé a systematické sledování vývoje nebo prostorového rozložení bioindikačních znaků (ANDĚL 2011).

Citlivost lišejníků na atmosférické znečištění je známým faktem už mnoho let. První nezávislá pozorování o mizení lišejníků z urbanizovaných oblastí pocházejí z roku 1800 a tzv. „city effect“ byl koncem 19. století uznávaný v celé Evropě (NIMMIS et al. 2002, NASH 2008a). O poklesu počtu lišejníků psal již v roce 1859 ve své knize o flóře Manchesteru a okolí anglický botanik Leo Grindon (GRINDON 1859) a ve svém díle poznamenal, že většina popsanych lišejníků roste pouze na kopcích nad městem a i tam se lichenoflóra v posledních letech změnila patrně vlivem kácení lesů i vlivem kouřových exhalací z místních továren. Lišejníky pak nazval milovníky čistého ovzduší. William Nylander (NYLANDER 1866) publikoval svou práci o lichenoflóře Paříže a označil velký veřejný park jako místo s nejzdravějším

ovzduším právě podle množství druhů a abundance stélek jednotlivých druhů lišejníků. Srovnatelná místa byla podle Nylandera možno nalézt pouze mimo město. Mezi prvními vědci, kteří označili souvislost atmosférického znečištění a odumírání lišejníků byl i F. Arnold (ARNOLD 1891, ARNOLD 1897, KRICKE & FEIGE 2004).

Na základě dalších pozorování a prací v souvislosti s úbytkem lišejníků ve městech po celé Evropě a s předpokladem, že tento úbytek souvisí se znečištěním ovzduší, zpracoval švédský botanik a ekolog Rutger Sernander (SEAWARD 1993 ex. SERNANDER 1926) na začátku 20. století první systematické mapování pomocí epifytických lišejníků ve Stockholmu a okolí. Oblast města a jeho okolí rozdělil podle výskytu epifytických lišejníků do tří zón:

- zóny lišejníkové pouště,
- zóny boje a poslední, –
- normální zóny.

V letech 1960 – 1970 se pak používaly především čtyři základní přístupy ke studiu lichenoflóry v blízkosti velkých zdrojů znečištění (HAWKSWORTH & ROSE 1970):

- První přístup představoval vytvoření detailních map rozšíření vybraných druhů.
- Druhý přístup znamenal sběr lišejníků v málo znečištěných oblastech a jejich transplantování na nová, atmosférickým znečištěním více zasažená stanoviště a přesným zaznamenání doby, za kterou došlo k jejich odumření.
- Třetí způsob spočíval ve vypočtení indexů čistoty ovzduší na základě toxitolerance jednotlivých druhů.
- Čtvrtý přístup představoval generalizaci zón s ohledem na bohatost rozšíření a celkový počet druhů.

První tři metody se dají označit jako časově velmi náročné, vyžadující mimo jiné rozsáhlé znalosti o ekologii různých druhů lišejníků nebo metody, které určují míru atmosférického znečištění jen pro určitý časový úsek. Čtvrtá metoda představuje hned několik výhod najednou – je poměrně rychlá, bere v úvahu bohatost druhů a nepředpokládá příliš rozsáhlé a hlavně dosud nepublikované znalosti (HAWKSWORTH & ROSE 1970).



Na základě citlivosti mechorostů a lišejníků k atmosférickému znečištění navrhli Le Blanc a De Sloover (DE SLOOVER & LE BLANC 1968, LE BLANC & DE SLOOVER 1970) metodu mapování a hodnocení stavu životního prostředí a výsledný výstup při použití této metody je znám pod názvem IAP (Index of Atmospheric Purity). Výpočet indexu není postaven na prezenci nebo absenci druhu, ale bere v potaz především frekvenci druhu a tzv. „ekologický index“, který vyjadřuje počet doprovodných druhů lišejníků. Vyšší výsledná hodnota indexu ( $IAP = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n Q_i f_i$ , kde  $n$  udává počet druhů nalezených v místě,  $Q$  představuje ekologický index a  $f$  frekvenci pokrytí na stupnici 1–5) indikuje menší atmosférické znečištění. Zdůvodnění a metodika této metody byla autory plně popsána a použita v mnoha následných studiích (MOORE 1974).

V roce 1968 navrhl estonský lichenolog Trass (TRASS 1968, TRASS 1973) další podobný index s názvem IP (index poleotolerance). Šestibodová stupnice s využitím lišejníků a mechorostů rostoucích na listnatých stromech, pískovcových stěnách a azbestových střeších byla poprvé sestavena O. L. Gilbertem, ale soustřeďuje se pouze na několik druhů a nelze jí dost dobře použít v oblastech mimo městskou zástavbu (HAWKSWORTH & ROSE 1970). Pro mapování výskytu jednoho druhu i zmapování výskytu všech druhů lišejníků v oblasti byly charakterizovány jednotlivé zóny odlišené podle množství druhů, bohatosti výskytu a frekvence výskytu (HAWKSWORTH 1973) a jedná se o tyto zóny (BATIČ 2002):

- Vnitřní zóna, která bývá také nazývána „lišejníkovou pouští“ a kde se lišejníky prakticky nevyskytují, s výjimkou nejvíce tolerantních druhů – některých korovitých lišejníků se sterilní stélkou.
- „Vnitřní zóna boje“, kde lze nalézt několik odolných lupenitých druhů s malým pokryvem i četností. Keříčkovité druhy zcela chybí.
- „Vnější zóna boje“, kdy se objevují nejvíce odolné keříčkovité druhy, především na chráněných místech.
- „Přechodná zóna“, kde je složení lišejníkových druhů podle předpokladů normální, ale lze detekovat známky poškození vzniklé působením polutantů – jedná se o změny v pokryvu a výskytu tolerantních a citlivých druhů.
- „Normální zóna“, nedotčená působením polutantů.

Termíny (lišejníková poušť, zóna boje...) uvedené v tomto rozdělení byly později požitý mnoha autory při různých studiích v různém prostředí a působily tak nejasnosti v interpretaci výsledků (BATIČ 2002).

Mezi nejpropracovanější patří metoda, kterou publikovali Hawksworth a Rose (HAWKSWORTH & ROSE 1970) a která je považována za metodu kvalitativní, založenou na výskytu vybraných epifytických lišejníků s různou citlivostí na atmosférický oxid siřičitý na předem vybraných dřevinách podle typu borky rozdělených na stromy s borkou eutrofizovanou a neeutrofizovanou. Podle nálezů těchto lišejníků v oblasti je stanovena míra atmosférického znečištění ve zkoumaném území a oblast pak byla rozčleněna do deseti zón. Některými autory je rozdělení borky na dva typy považováno za příliš jednoduché a za další důležité faktory, které mají vliv na složení lišejníkových komunit, považují i depozici vápenatého prachu, stádium sukcese a land use zkoumaného území (BATIČ 2002).

Jedenáctizónová stupnice (0–10) stupnice (Příloha č. 2), kterou sestavili Hawksworth a Rose (HAWKSWORTH & ROSE 1970) je vytvořena pro použití na listnatých stromech s hrubou borkou a s nízkým pH, rostoucích na volných stanovištích a tam, kde nitrofilní společenstva nejsou příliš rozvinuta. Použití této metody má další omezení a to představuje výběr stromů s průměrem od 0,5 m do 1 m s omezením sledovaného výskytu lišejníků ve vzdálenosti 1 – 5 m od země. Dále je nutné vyloučení lokalit s jiným výrazným zdrojem atmosférického znečištění, než je právě SO<sub>2</sub> a vyloučení stromů z těch oblastí, kde by borka mohla být potřísněna pesticidy nebo herbicidy. Není vhodné do studie zahrnovat stromy stojící u hlavních silničních tahů, protože s ohledem na stromy rostoucími vzdáleně od silnic nepředstavují reprezentativní vzorek (HAWKSWORTH & ROSE 1970).

Ačkoli metoda IAP i výše zmíněná stupnice staví na několikaleté a podrobné práci, v dalších letech byly obě metody modifikovány. Pokud by se stupnice (HAWKSWORTH & ROSE 1970) bez modifikací použila i v současnosti, je zřejmé, že by vedla k indikaci vyšších hodnot znečištění (WIRTH 1988). Použití metody stanovení IAP se zdá být poněkud omezující a oblast, kde je studie prováděna, musí být ekologicky homogenní. Proto v roce 1974 C. C. Moore metodu IAP modifikoval pro použití na různých substrátech (MOORE 1974) a tato modifikovaná metoda je známa pod názvem ILA (Index of Lichen Abundance). V roce 1981 při mapování čistoty ovzduší v Jizerských horách modifikoval Anděl (ANDĚL 1981) IAP přidáním

další hodnoty v, která vyjadřovala vitalitu druhu (1,0 – stélky normálně vyvinuté, bez známek poškození, 0,8 – stélky zakrnělé, případně mírně poškozené, 0,6 – stélky s výraznými stopami odumírání a poškození, 0,4 – stélky z velké části odumřelé, 0,2 – stélky zcela odumřelé). Výslednou hodnotu nazval indexem L. Další modifikaci IAP použili Herzig, Liebendörfer a Urech (HERZIG et al. 1987), když měřili četnost výskytu druhů při použití mřížky o deseti polích. Po výpočtu IAP a srovnání těchto hodnot s hodnotami pro další polutanty, vyhodnotili jako nejprůkaznější model, kdy  $IAP = \sum f$ , přičemž f představuje součet četností druhů. Podobný princip při výpočtech používá i německá norma VDI (VDI 1995) upravená později další normou (VDI 2005), která více přihlíží ke změnám složení lišejníkových společenstev ovlivněných eutrofizací borky hostitelských stromů.

Spornou vypovídací hodnotu IAP potvrdili například ve své práci z roku 2004 i Gombert, Asta a Seaward (GOMBERT et al. 2004) a konstatovali, že index čistoty ovzduší (IAP) je ovlivněn dalšími, environmentálními i krajinnými faktory. Při hodnocení jednotlivých stanovišť použili i subjektivní hodnocení antropogenního vlivu (IHI – Index of human impact), při kterém byly zohledněny čtyři místní ekologické parametry ovlivňující epifytickou lišejníkovou flóru. Jsou to:

- urbanizace (městská, příměstská nebo venkovská oblast);
- zátěž způsobená automobilovou dopravou (nízká nebo vysoká);
- lokální podmínky (stanice v polích, zelených plochách, obytných zónách nebo na parkovištích);
- expozice (stromy izolované, v řadách nebo ve skupině).

Další metodu biomonitoringu popsal Wirth při své studii epifytické lichenoflóry na javorech v německém Freiburgu (WIRTH & BRINCKMANN 1977). Pro snímkování použil 45 cm širokou transparentní folii, kterou pomocí připínáček připevnil na kmen stromu. Pomocí barevných fixů pak zakreslil stélky jednotlivých lišejníků. Připínáčky zůstávají na místě a při zopakování této metody je možné podle nich určit přesné postavení fólie a zhodnotit tak stav jednotlivých stélek.

Ve výčtu metod biomonitoringu pomocí lišejníku je potřeba znovu zmínit metodu, která je použita v této studii a tou je moderní kvantitativní metoda s názvem Lichen diversity value (LDV metoda). Metoda je založena na předpokladu, že rozmanitost epifytických lišejníků je ovlivněna právě atmosférickým znečištěním

a environmentálním stresem. Četnost výskytu jednotlivých druhů na určitých úrovních sledovaného kmene vybrané dřeviny slouží pro odhad míry environmentálního stresu (ASTA et al. 2002). Charakteristika je následně použita pro výpočet normality (naturality) vybraného území (LOPPI et al. 2002). Srovnáním metody LDV a kvalitativní metody (HAWKSWORTH & ROSE 1970) se ve své diplomové práci zabývá např. D. Svoboda (SVOBODA 2003).

V současné době je k bioindikaci pomocí lišejníků využíváno množství metod, které je možno rozčlenit do 5 základních skupin – metody fyziologické, metody morfologicko – anatomické, metody floristicko – chorologické, metody fytoocenologické a metody chemicko – analytické (ANDĚL 2011). Počet druhů, jejich abundance, pokryvnost a další kvantitativní parametry, které je vhodné používat pro popis společenstva, mohou popisovat i účinky toxických látek na společenstvo (ANDĚL 2011).

Při výzkumu prováděném v sedmdesátých letech Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti Jíloviště – Strnady s cílem zjistit vliv znečištění ovzduší na lesní porosty v zájmovém území Sokolovské pánve (MATERNA 1975, KRIESL 1978a) bylo pomocí výskytu epifytických lišejníků zkoumáno okolí Sokolova a z výsledků výzkumu byla sestavena mapa, kde je oblast rozdělena do čtyř zón následujícím způsobem:

1. pásmo – bez výskytu epifytických lišejníků na kmenech stromů, zaujímaví nejblíže okolí zdrojů exhalací.
2. pásmo – pásmo řídkého a deformovaného růstu epifytických lišejníků, kde korovitý lišejník *Lecanora conizaeoides* (*Lecanora varia*) je dominantním a často i jediným vyskytujícím se druhem.
3. pásmo – pásmo, pro které je charakteristický stoupající podíl lupenitých typů epifytických lišejníků; vitalita citlivějších druhů však je většinou snížena, jejich stélky jsou deformované a zčásti odumřelé.
4. pásmo – pásmo s relativně hojným výskytem epifytických lišejníků, zaujímaví jen menší plochy v nejvyšších polohách přilehlé části Krušných hor a Slavkovského lesa, nejvíce vzdálených od emisních zdrojů.

Porovnáním výsledků biomonitoringu pomocí lišejníků a listové analýzy – metody, která spočívala ve zpracování jehličí smrku a borovice a zjištění vodivosti vodních

výluhů z jehlic a zákalu s konkrétním měřením koncentrací SO<sub>2</sub> bylo zjištěno, že výsledky všech tří metod navzájem poměrně dobře odpovídají.

Bioindikace nemůže nahradit přesná technická měření včetně hodnot vyjadřujících koncentraci znečišťujících látek. Poskytuje ale cenný doplněk a s poměrně malým úsilím a mnohem nižšími náklady tak postihne mnohem větší území, než je prakticky umožněno technickým zařízením na jednotlivých lokalitách. Při použití biomonitoringu je působení polutantů zřejmé a biomonitoring tak může být v předstihu před technickými možnostmi detekce a měření nových nastupujících polutantů (OTTE et al. 2014). Zároveň je při použití lišejníků v biomonitoringu důležité vzít v potaz konkrétní podmínky dané lokality nebo případně lokalit pomocí lišejníkové bioindikace srovnávaných a to jak podmínky klimatické, tak orografické (SCERBO et al. 2002).

#### 4.5 SNÍMKOVANÉ DŘEVINY

Metoda LDV se provádí výhradně za pomoci epifytických lišejníků. Výraz epifyt pochází z řečtiny a jeho doslovný překlad by zněl „na rostlině“. Samotný forofyt (v tomto případě strom) představuje pro epifytický rostoucí lišejníky jedinečný substrát. V rámci jednoho druhu a jednoho stromu lze nalézt různé podmínky pro růst, ať už se jedná o podmínky mikroklimatické, chemické – trofie a pH, fyzikální – textura a barva borky, míra absorpce vody a stáří stromu.

Vzhledem k fyzikálním vlastnostem borky obou forofytů (mírně kyselá až kyselá a neutrální) byly v rámci této diplomové práce pro srovnání zvoleny stromy druhu *Fraxinus excelsior* a stromy rodu *Quercus*.

Goppel (GOPPEL 1976) ve své práci tvrdí, že pH svrchní odumřelé vrstvy borky stromů ve znečištěném prostředí závisí především na vnějších vlivech, tedy na koncentraci škodlivin a že výběr stromů při bioindikačních průzkumech v narušených ekosystémech nemá tak velký význam, jak se předpokládalo (KRIESL 1978b). Oproti tomu v posledních letech převládá názor, že chemismus borky a především její pH je tím faktorem, který ovlivňuje dostupnost živin a tím i strukturu a abundanci lišejníkových společenstev (LÖBEL et al. 2006, NASH 2008c, VAN HERK 2001).

Barkmann (BARKMANN 1958) dělí evropské stromy lze podle určitých vlastností (obsah minerálů, pH, absorpce vody, atd.) do tří skupin: Stromy s kyselou borkou –

borka chudá na minerály. Skupina v sobě zahrnuje především jehličnany (*Picea, Pinus, Larix, Juniperus, Cupressus, Abies*), olše (*Ulnus*) a břízy (*Betula*). Další skupinou jsou stromy s borkou mírně kyselou nebo neutrální – u této skupiny je borka středně bohatá na minerály a zahrnuje stromy převážně listnaté (*Quercus, Castanea, Carpinus, Fraxinus, Acer, Fagus*) a ovocné (*Malus, Sorbus, Prunus, Pyrus*). A poslední skupinou jsou stromy s borkou neutrální nebo mírně zásaditou – opět borka středně bohatá na minerály a zástupci stromů této skupiny jsou vrby a topoly (*Salix a Populus*), dále ořešáky, akáty, jilmy, kaštany (*Juglans, Robinia, Ulmus, Aesculus*). Při tomto zařazení uvádí u dubu pH v rozmezí 3,7–5,0 a u jasanu v rozmezí 2,5–8,5, což naznačuje velké rozdíly v kyselosti borky mezi oběma druhy

Ačkoli Barkmann (BARKMANN 1958) řadí jasanu i dubu do stejné skupiny, tedy skupiny stromů s borkou mírně kyselou až neutrální, další autoři řadí dub mezi stromy s borkou kyselou, s hodnotami pH okolo 4,5 (VAN HERK 1999). Další práce (KIRSCHBAUM & WIRTH 1997) dělí dřeviny do skupin s borkou kyselou, neutrální a subneutrální. Jasan má podle autorů hodnotu pH blížíci se 7, tedy patří mezi stromy s borkou subneutrální a hostí tak jiné druhy lišejníků než stromy s borkou kyselou. Navíc lze u forofytu se subneutrální borkou předpokládat vyšší pufrací kapacitu substrátu a s tím je spojena schopnost zmírňovat efekt překyselení při kyselých deštích a lišejníky na těchto stromech déle za této situace přežívají. Kyselé borky chudé na živiny a oproti tomu neutrální borky bývají na živiny bohaté a jsou častěji kolonizovány nitrofilními druhy lišejníků (BARKMANN 1958, DU RIETZ 1945). V některých oblastech se hodnoty pH obou zmíněných forofytů mohou překrývat. U dubů byla zjištěna průměrná hodnota pH 4,7 a u jasanů 5,1 (BATES & BROWN 1981).

V místech se zavedením intenzivní pastvy skotu (farmy) se může pH borky (např. *Quercus robur*) zvýšit z obvyklé hodnoty 4,5 až na cca 6,5, přičemž při hodnotě 6,5 již bývají acidofilní společenstva nahrazována nitrofilními (VAN HERK 1999).

Byla prokázána i souvislost mezi stářím stromu a hodnotou pH borky, kdy rostoucí obvod kmene koreluje se zvyšující se hodnotou pH (BATES 1992).

Právě rozdíly v pH borky obou zvolených forofytů a předpoklad výskytu rozdílných lišejníkových společenstev zajistí dobrý základ pro srovnání epifytické lichenoflóry vybraného území i spolehlivost zvolené metody biomonitoringu.

### ***Fraxinus excelsior* (jasan ztepilý)**

Jasan ztepilý se vyskytuje v lužních lesích, pobřežních křovinách a v suťových a roklinových lesích. Optimální podmínky pro růst této dřeviny představují živinami bohaté, čerstvě vlhké půdy, naopak nesnáší stagnující vodu a dlouho trvající záplavy. Jasan ztepilý je světlomilná dřevina snášející v mládí zástín a je citlivá k pozdním mrazům. Některé jeho ekotypy jsou odolné k suchu (SLAVÍK 2007).

V České republice roste roztroušeně od nížin do horských poloh, nejčastěji v planárním a kolinním stupni v lužních lesích a v suťových lesích kolinného až montánního stupně (SLAVÍK 2007).

Jasan ztepilý je lesnický i sadovnický pěstovaná dřevina, často bývá vysazován v extravilánu obce jako alejový strom nebo v intravilánu jako součást stromořadí. V sadovnictví bývá vysazován většinou jako solitér. V lesích často přirozeně a bohatě zmlazuje. Dřevo jasanu ztepilého je tvrdé, pružné a houževnaté (SLAVÍK 2007).

U zástupců čeledi *Oleaceae* stojí za zmínku obsah monoterpenoidních glykosidů, častý je výskyt lignanů a z flavonolů kvercetin a kempferol. Potvrzen byl i výskyt saponinů, triterpenů a u mnoha druhů i alkaloidů. Pro rod *Fraxinus* jsou typické kumariny (SLAVÍK 2007).

### ***Quercus robur* (dub letní) a *Quercus petraea* (dub zimní)**

Dub letní je světlomilná a teplomilná dřevina, přizpůsobená oceánskému i kontinentálnímu klimatu, ale citlivá k pozdním mrazům. Daří se mu na půdách minerálně bohatých, těžších, humózních, čerstvě vlhkých, mokrých i zaplavovaných. Roste i na minerálně chudších, kyselých a suchých půdách na slunných svazích společně s d. zimním, ačkoli je oproti němu na minerální živiny náročnější (HEJNÝ & SLAVÍK 1990).

V Čechách je dub letní rozšířen na většině území, těžiště výskytu má v termofytiku, méně v mezofytiku a v oreofytiku bývá vysazovaný. (HEJNÝ et SLAVÍK 1990). Vyskytuje se nejvíce v nížinných lužních lesích a pahorkatinných doubravách v suprakolinním stupni jen vtroušeně.

Dub zimní je stejně jako d. letní světlomilná a teplomilná dřevina přizpůsobená nižším letním srážkám a vyhýbá se oblastem s vyšší kontinentalitou, kde ještě roste dub letní. Roste především na kyselých horninách, na propustných, čerstvě vlhkých až suchých

půdách, často i na minerálně velmi chudých substrátech, na mělkých kamenitých půdách i na vápenci. Tam dosahuje pouze zakrslého vzrůstu. Nesnáší mokré a oglejené půdy. Je míň náročný na minerální bohatost a hloubku půdy než d. letní a je i méně citlivý k pozdním mrazům díky pozdějšímu rašení (HEJNÝ & SLAVÍK 1990).

Na našem území je rozšířen především v termofytiku a mezofytiku a až na výjimky chybí v oreofytiku a lužních oblastech. Je rozšířen v kolinním a suprakolinním stupni, v nížinách a kotlinách bývá vystřídán d. letním. Ojedinele se vyskytuje i v podhorském stupni, kde může růst na zvětralých skalnatých vrcholech nebo hřebenech (HEJNÝ & SLAVÍK 1990).

## 5. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

### 5.1 VYMEZENÍ A POPIS STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

Studované území (Obrázek 8) tvoří oblast v severozápadní části České republiky ohraničená obcemi Sokolov na východě a Kynšperk nad Ohří na západě, jezerem Medard na severu a Chráněnou krajinnou oblastí Slavkovský les na jihu (Obrázek 9). V území jsou dále zahrnuty obce Citice, Hlavno, Tisová, Dasnice, Chlum svaté Maří, Libavské Údolí, Zlatá, Šabina, Arnoltov, Rudolec, Kostelní Bříza, Březová a Dolní Rychnov. Jižní části území prochází frekventovaná komunikace – rychlostní silnice R6 spojující hlavní město se Spolkovou republikou Německo.

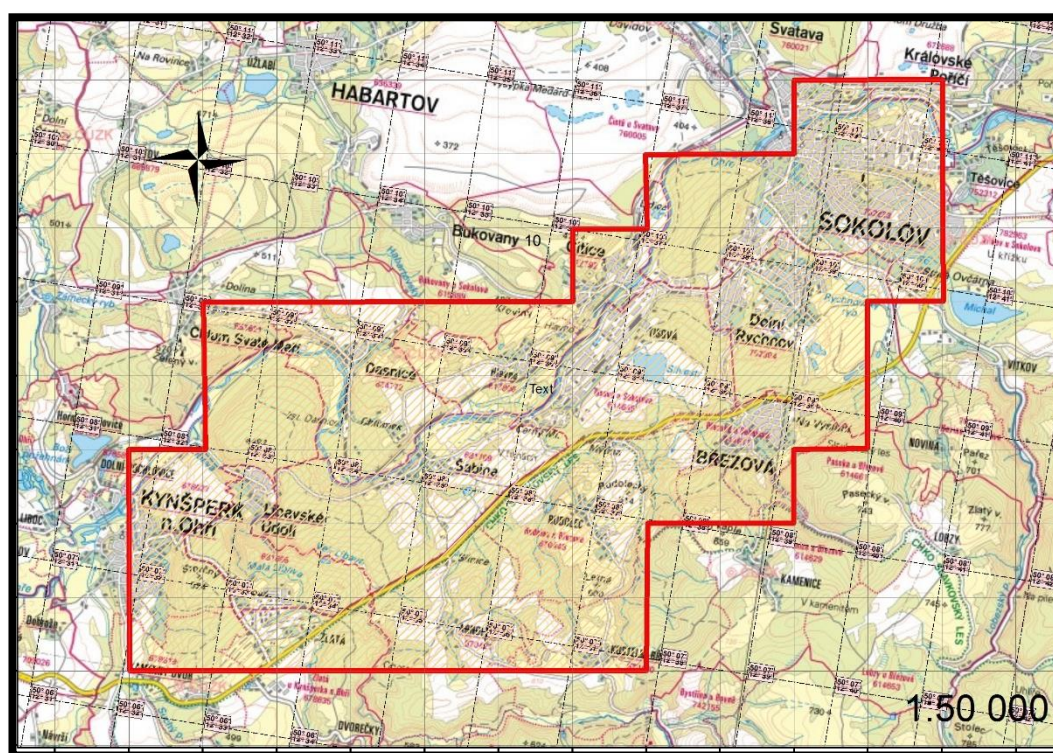
Obrázek 8 – Vyznačení zájmového území na mapě ČR



Zdroj: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map> [URL č. 4].



Obrázek 9 – Zájmové území



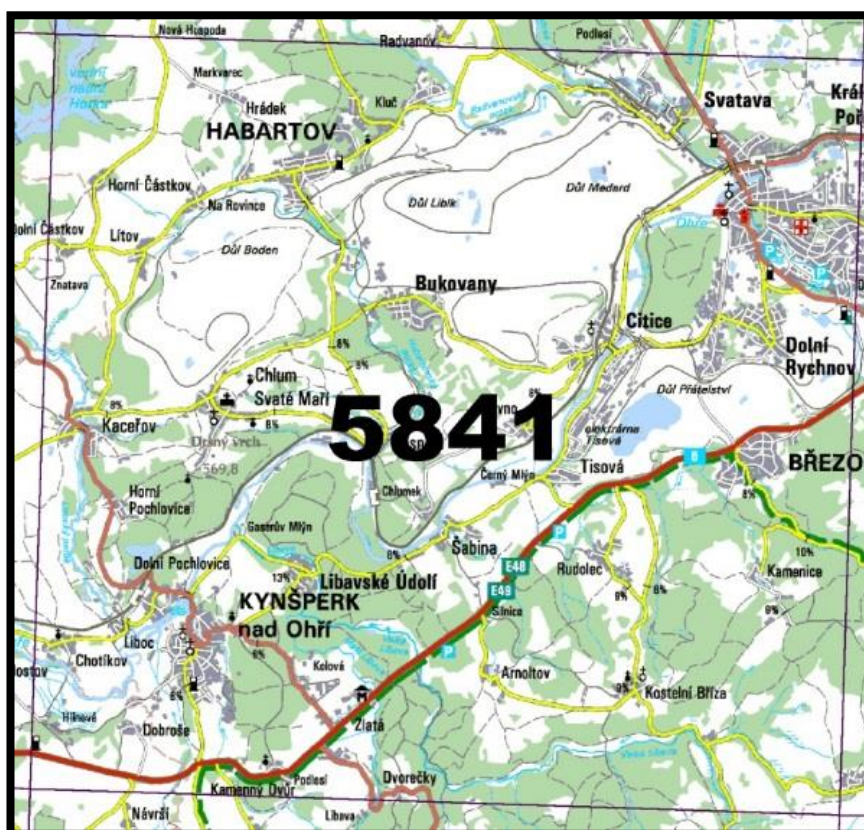
Zdroj: podkladová mapa Cenia.cz, vlastní zpracování v programu ArcGis 10.2

Zájmové území se zároveň rozkládá v oblasti vymezené kvadrátem středoevropského síťového mapování, systémově označeného číslem 541 (Obrázek 10) s rozlohou 11 x 12 km.

Historie Sokolovska je převážně spojena s průmyslem a především s těžbou hnědého uhlí z povrchových lomů (více v části 5.6 Historie a současnost antropogenních vlivů na životní prostředí na Sokolovsku). Je více než pravděpodobné, že těžba uhlí na Sokolovsku ovlivnila mezoklima oblasti tím, že narušením krajiny došlo k odvodnění a ztrátě vegetačního pokryvu ze značných ploch. K nepříznivým jevům, jako jsou průmyslové i přírodní inverze, přispívají i změny v morfologii krajiny způsobené hloubením lomů a zakládáním výsypek. Po druhé světové válce bylo na Sokolovsku 39 hlubinných dolů a 15 malolomů. Hlubinné doly byly postupně uzavírány a těžilo se dále pouze z povrchových lomů a důsledkem povrchové těžby byl již zmiňovaný značný zásah do krajiny. Takto postižená krajina neposkytuje dobrou klimatickou pohodu při pobytu v ní, ale především negativně působí na faunu a flóru studované oblasti.

Studované území zasahuje na jižní straně malou částí do Chráněné krajinné oblasti Slavkovský les.

Obrázek 10 – Kvadrát středoevropského síťového mapování č. 5841



Zdroj: Atlas hnízdního rozšíření ptáků ČR 2014–2017 (URL č. 2)

## 5.2 GEOMORFOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Podle *Hercynského geomorfologického systému* studované území spadá do provincie *Česká vysočina*, *Krušnohorská subprovincie* a *Podkrušnohorská hornatina*. V rámci *Podkrušnohorské hornatiny* spadá do geomorfologického celku *Sokolovská pánev*, kde zasahuje do podcelků *Chlumský práh* a *Svatavská pánev*. Kynšperk nad Ohří leží na hranici s celkem *Chebská pánev*, která spadá do *Podkrušnohorské hornatiny*. Na jihu studované území zasahuje do celku *Slavkovský les* v *Karlovarské hornatině*, konkrétně do podcelku *Kynžvartská vrchovina* a do okrsku *Arnoltovská vrchovina* (BÍNA & DEMEK 2012, DEMEK et al. 1987).

*Sokolovská pánev* je průměrně 8 km široká sníženina, protažená směrem JZ – SV, s plochou 312 km<sup>2</sup> a střední výškou 452 m n. m. Příkopová propadlina je omezena příkrými a vysokými zlomovými svahy a je vyplněná mírně zvlněným erozně denudačním reliéfem rozčleněným tektonickými pohyby jednotlivých ker podél příčných i podélných poruch. Osu pánve tvoří údolí řeky Ohře lemované stupni akumulacních teras. Ve studované oblasti je jejím pravostranným přítokem Lobežský

potok a potok Tisová, pravostranným přítokem je potok Velká Libava. Retenční schopnost území je malá a stupeň rozkolísanosti odtoku je střední. Ráz krajiny nepřehlédnutelně určují hnědouhelné lomy a výsypky, včetně rekultivovaných ploch. Geologické podloží je složeno především z oligocenních souvrství, v jejichž podloží vystupují horniny krušnohorského krystalinika na severu a na jihu krystalinické komplexy Slavkovského lesa. Výplň tektonické deprese, Sokolovské pánve, tvoří na bázi sled slabě zpevněných slepenců a pískovců, mladší terciární souvrství obsahují mimořádně mocné sloje hnědého uhlí, překryté jezerními jíly a jílovcí. (BÍNA & DEMEK 2012, DEMEK et al. 1987, ZAHRADNICKÝ & MACKOVČIN 2004)

*Arnoltovská vrchovina* je oproti tomu charakterizována jako členitá vrchovina tvořená rulami, migmatity a fylity arzberské série a granity karlovarského žulového masivu. Leží v severovýchodní části *Kynžvartské vrchoviny* a nad hranou ostrého lomového svahu se šíří do *Sokolovské pánve* vysoko položenou náhorní rovinou. Na dílčí tektonickou kontrolu odkazují i ostré ohyby říčky Velká Libava (BÍNA & DEMEK 2012, DEMEK et al. 1987).

### 5.3 FYTOGEOGRAFICKÁ A BIOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Fytogeograficky studované území spadá do obvodu Českomoravského mezofytika, do okresu 24 Horní Poohří a do podokresů 24a Chebská pánev 24b Sokolovská pánev. Menší část území spadá do okresu 28 Tepelské vrchy 28a Kynšperská vrchovina. Fytocenologická oblast Slavkovského lesa spadá do fytogeografického obvodu České oreofytikum (SLAVÍK 2007).

Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky (NEUHÄUSLOVÁ et al. 1998) řadí část studovaného území v okolí řeky Ohře k lužním lesům, střemchové jasenině (*Pruno-Fraxinetum*), místy v komplexu s mokřadními olšinami (*Alnion glutinosae*). Dominanty břehových porostů jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*) a vrba křehká (*Salix fragilis*) jsou dnes často nahrazeny olší lepkavou (*Alnus glutinosa*) a topolem kanadským (*Populus canadensis*). Příměs tvoří jilm horský (*Ulmus glabra*), vrba bílá (*Salix alba*) a vzácně vrba trojmužná (*S. triandra*). Na březích je četný kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) a v klidných zátočinách a tůních u Dasnic a Kynšperka roste ještě hojně štípatka vodní (*Sagittaria sagittifolia*) (NEUHÄUSLOVÁ et al. 1998, ZAHRADNICKÝ & MACKOVČIN 2004).

Řeka Ohře se stala hlavním vektorem šíření agresivních neofytů bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*) a častý je i kříženec křídlatky japonské (*Reynoutria japonica*) a křídlatky sachalinské (*R. sachaliensis*), křídlatka česká (*R. bohémica*), ale zároveň se zde vyskytují oba druhy rodičovských křídlatek. Podle mapy potenciální přirozené vegetace ČR většina území Sokolovské pánve spadá do acidofilních bikových, jedlových, březových a borových doubrav (*Genisto germanicae-Quercion*), konkrétně do bikových a/nebo jedlových doubrav (*Luzulo albidae-Quercetum petraeae, Albieti-Quercetum*) s roztroušenými teplomilnými prvky na exponovaných stanovištích. Dřívější přítomnost kyselých doubrav dokladuje hojnost kručinky barvířské (*Genista tinctoria*), jestřábníku hladkého (*Hieracium laevigatum*), bukvice lékařské (*Betonica officinalis*) aj. (NEUHÄUSLOVÁ et al. 1998, ZAHRADNICKÝ & MACKOVČIN 2004).

Značná část studovaného území je dnes tvořena typickým antropogenním reliéfem, jedná se o komplex sukcesních stadií na antropogenních stanovištích (oblasti povrchové těžby aj), někde spontánně zarůstajících, jinde rekultivovaných s použitím nepůvodních druhů. V místech, kde Sokolovská pánev přechází do Slavkovského lesa (fyt. podokres Kynšperská vrchovina) byl původní převládající lesní typ bikových bučin svazu *Luzulo-Fagion* přeměněn na kulturní smrčiny. Samotný okres Sokolov patří k nejlesnatějším okresům České republiky (49,6 %). Původní lesní porosty s poměrně velkým podílem listnatých dřevin, byly dnes nahrazeny dřevinami jehličnatými. V rámci celého okresu zaujímají 87 % plochy. Z toho tvoří 75 % smrk, 9 % borovice, 2 % modřín, ostatní 1 %. Listnaté dřeviny tvoří celkem 13 % plochy, z toho bříza 6 %, olše 3 % a ostatní listnaté dřeviny 4 %. V oboře Studánka se nacházejí maloplošné fragmenty jedlin, jediné na Sokolovsku. Nelesní společenstva jsou výrazně poznamenána melioracemi a masovým rozšířením bolševníku velkolepého. Přesto se, především při hranicích s CHKO Slavkovský les, zachovala řada lučních enkláv, jako například druhově bohaté kosené a pasené louky v okolí Rudolce (ZAHRADNICKÝ & MACKOVČIN 2004).

#### 5.4 PEDOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Půdní poměry území byly především ve 2. polovině 20. století ovlivněny těžbou uhlí a v menší míře i těžbou jiných nerostných surovin v sokolovské hnědouhelné pánvi a následnou tvorbou půd, které vznikly zemědělskou nebo lesnickou rekultivací na výsypkách, šterkopískových lomech, odkalištích aj. Jedná se o typické degradační



antrozemě, často na kyselých a intoxikovaných substrátech různých chemických a fyzikálních vlastností i zrnitostního složení. Tyto antrozemě zaujímají především střední část Sokolovska (polygon Kaceřov – Smolnice – Nové Sedlo – Sokolov) a zasahují i do území studovaného v rámci této diplomové práce. Nejrozšířenější skupinou jsou však hnědé půdy, většinou silně kyselé. Mezi Kynšperkem nad Ohří a Sokolovem se na svahovinách kyselých a neutrálních rul, granulitů, svorů a fylitů vytvořily asociace kyselé kambizemě typické a její plošně méně rozšířené variety. Nasycená kambizem typická leží v menší ploše na uvedených substrátech spolu s kambizemí pseudoglejovou (a její kyselou varietou) na polygenetických hlínách kolem nivy Ohře a Libockého potoka od Kynšperka až k Sokolovu (ZÁHRADNICKÝ & MACKOVČIN 2004).

## 5.5 KLIMATICKÉ POMĚRY STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

Studované území náleží k mírně teplým oblastem, většina území spadá do území charakterizovaného jako území s krátkým létem, mírným až mírně chladným, suchým až mírně suchým. Přejídné období normální až dlouhé s mírným jarem a mírným podzimem, zima je normálně dlouhá, mírná až mírně chladná, suchá až mírně suchá, s normálním až krátkým trváním sněhové pokrývky. Západní část studovaného území je charakterizovaná jako oblast s krátkým létem, mírným, suchým až mírně suchým. Přejídné období bývá krátké s mírným jarem a mírným podzimem, zima normálně dlouhá, mírně teplá a suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky (QUITT 1971).

Průměrná teplota v lednu je ve studovaném území  $-3 - -4^{\circ}\text{C}$  ( $-2 - -3^{\circ}\text{C}$ ), v červenci  $16 - 17^{\circ}\text{C}$ , v dubnu  $6 - 7^{\circ}\text{C}$  a v říjnu také  $6 - 7^{\circ}\text{C}$ . Dlouhodobé průměrné roční úhrny atmosférických srážek se pohybují na většině území od  $600 - 800$  mm. Dnů se srážkami  $1$  mm a více je v průměru  $110 - 120$  (QUITT 1971). Převládá západní a severozápadní proudění vzduchu, oproti územím Krušných hor a Slavkovského lesa, které je dobře provětráváno, je v pánevní oblasti zaznamenáno více inverzí (QUITT 1971).

## 5.6 HISTORIE A SOUČASNOST ANTROPOGENNÍCH VLIVŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ SOKOLOVSKA

### 5.6.1 SITUACE DO 50. LET MINULÉHO STOLETÍ

Těžba rud včetně těžby hnědého uhlí nepochybně způsobovala zhoršení životního prostředí a první zprávy o nepříznivém vlivu exhalací z průmyslových podniků

(sklářny, chemické závody, porcelánky) na lesní porosty pochází již z třicátých let 18. století. První podrobnější záznamy jsou známy z lesních hospodářských plánů pro obce Šabina, Loket a Sokolov z let 1872 a 1881 a v tomto období proběhly i první snahy o řešení situace lesnickou cestou, tedy výsadbou odolnějších druhů dřevin. Došlo i na požadavky na odškodnění a byla formulována doporučení, aby průmyslové podniky omezily vypouštění toxických látek do ovzduší. V druhé polovině 18. století přicházejí první snahy o ochranu krajiny kolem lázeňských měst – Karlových Varů a Mariánských Lázní (MATERNA et al. 1972).

Z období mezi světovými válkami publikuje údaje o atmosférickém znečištění na Sokolovsku ve své práci Stoklasa (STOKLASA 1923). Dalším větší zájem o stav životního prostředí proběhl až v roce 1958 v souvislosti s protesty proti výstavbě kombinátu ve Vřesové a šetřením ohledně dopadů imisí z průmyslových podniků bylo zjištěno zřetelné poškození porostů Slavkovského lesa (MATERNA et al. 1972).

#### 5.6.2 SITUACE OD 50. – 70. LET MINULÉHO STOLETÍ

Krátce po II. světové válce bylo potřeba vyřešit co nejefektivnější zpracování vytěženého uhlí a protože uhlí ze Sokolovské pánve vykazovalo průměrně 42% obsah vody a mělo 22 % popela, byly náklady na přepravu při zohlednění těchto balastních látek neúměrně vysoké. Z těchto důvodů byla v roce 1954 zahájena výstavba elektrárny v Tisové a v roce 1960 zpracovatelského závodu ve Vřesové. O umístění elektrárny rozhodl nejen blízký zdroj hnědého uhlí, ale také těsná blízkost řeky Ohře, odkud je elektrárna zásobovaná vodou. Pro Sokolovsko a přilehlé okolí měla výstavba elektrárny značný dopad – demolice obce Tisová, přeložka vodovodu a Tisovského potoka, zvýšení terénu staveniště navážkou nad úroveň stoleté vody a zasypaní slepých ramen Ohře. Byly nutné i značné investice – vybudování pobřežní silnice Citice – Černý mlýn, vybudování jezu Černý mlýn a vybudování ochranné hráze proti záplavám a další. Elektrárna Tisová byla budována jako dva technologické celky – ETI I. (dokončena 1959) a ETI II. (dokončena 1962). Krátce nato se stala ETI s výkonem 512 MW první československou velkoelektrárnou a její podíl na výrobě elektrické energie dosahoval 9,8 % (URL č. 3).

Palivový kombinát Vřesová byl jako nový podnik založen v roce 1960, budování ale probíhalo zdlouhavě a oproti tehdejším plánům se termíny (původně rok 1964) prodlužovaly. A to i přesto, že výstavba kombinátu byla v té době druhou největší

investiční akci v zemi. V roce 1965 tak byla otevřena teprve jedna z částí kombinátu – drtírna uhlí. Následovaly briketárna (1966) a tlaková plynárna (1969). Samotné zkoušení nové teplárny skončilo až v roce 1972. Po dostavbě se kombinát stal největším podobným komplexem v zemi a produkce svítiplynu, která byla hlavním zaměřením celého podniku, pokrývala v té době 30 % celkové spotřeby státu. Kromě svítiplynu produkoval kombinát tepelnou a elektrickou energii a v menším objemu energetické uhlí a vedlejší chemické produkty jako surový dehet, benzín, fenol, čpavek a dusík. Briketárna kombinátu ve Vřesové byla největší v zemi a ročně vyprodukovala více než 700 tisíc tun briket (URL č. 7).

Na konci sedmdesátých a na začátku osmdesátých let minulého století tak na Sokolovsku působily dva, ve svém oboru největší podniky v tehdejším Československu. Počátkem roku 1967 bylo pozorováno poměrně intenzivní a rychlé odumírání borovicových a částečně i smrkových porostů v polesí Loket a Cihelny. Způsob a průběh odumírání porostů ukazoval na poškození oxidem siřičitým a zvýšený obsah sloučenin síry v jehličí prokázala i listová analýza (MATERNA et al. 1972). Bez ohledu na to, jakou devastaci životního prostředí emise z obou zdrojů v oblasti způsobily, jejich existenci vnímali obyvatelé Sokolovska i svými smysly – charakteristický zápach z Vřesové vznikající hlavně při najíždění provozu nebo během různých poruch byl cítit na desítky kilometrů daleko a čerstvě napadaný sníh vydržel díky vrstvě popílku bílý snad jen v řádu hodin. V povědomí ostatních obyvatel Československa se Sokolovsko stalo synonymem pro tzv. „měsíční krajinu“ ... (Obrázek 11).

V roce 1972 byl na popud tehdejšího Ministerstva lesního a vodního hospodářství ČSR zadán úkol na posouzení vlivu imisí na lesní porosty v oblasti Slavkovského lesa za účelem zjištění pravděpodobného vlivu nového emisního zdroje. Tím měla být další elektrárna, jejíž výstavba byla zvažovaná v obci Šabina, v těsné blízkosti stávající ETI. Metodou listové analýzy a využitím bioindikace pomocí lišejníků bylo zjištěno značné stávající poškození životního prostředí, výstavba další elektrárny byla vyhodnocena jako riziko ve vztahu k dalšímu vývoji poškození lesních porostů a od projektu výstavby elektrárny v Šabině bylo upuštěno (MATERNA et al. 1972).

Obrázek 11 – Pohled na velkolom Jiří ze severu, v pozadí Sokolov. Mezi lomem a obcí se nachází nejseverněji položený čtverec zájmového území, čtverec č. 47.



Zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lom-Jiri>, cit. 22. 2. 2015 [URL č. 9].

V době provádění terénních průzkumů patřila Sokolovská pánev k územím, která byla imisemi ovlivněna nejvíce. Místní zdroje se na celkovém množství tuhých emisí v tehdejší Západočeském kraji podílely zhruba 35 % a na celkovém množství plynných exhalací až 60 %. K prudkému vzestupu objemu emisí došlo v Sokolovské pánvi přibližně v polovině šedesátých let minulého století (KRIESL 1978b) a koreluje tak s působením obou hlavních znečišťovatelů. ETI se na znečištění životního prostředí podílela emisemi popílku, oxidu siřičitého, oxidů dusíku a oxidu uhelnatého (URL č. 3). Palivový kombinát ve Vřesové se potýkal s úniky uhelného prachu do ovzduší, s vypouštěním znečištěných vod a emisemi oxidu siřičitého a dalších plynů (URL č. 7).

Podle zmiňované studie Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti (MATERNA 1975), která proběhla počátkem sedmdesátých let, bylo ale atmosférické znečištění na Sokolovsku menší než na vrcholcích blízkých Krušných hor a podílely se na něm právě především lokální zdroje. Emise oxidu siřičitého dosahovaly v roce



1974 v kombinátu Vřesová 22 357 t a v elektrárně Tisová 64 740 t (pro srovnání – ETI v roce 2012 – 3657 t SO<sub>2</sub>). Mezi nejvíce zatížené lokality byla při výzkumu řazena i lokalita Šabina (Tabulka 4), která se nalézá ve středu studovaném území.

Tabulka 4 – Průměrné roční koncentrace SO<sub>2</sub> na stanici Šabina ve vybraných letech

Průměrná roční koncentrace SO <sub>2</sub> v µg . m <sup>-3</sup>	
<b>1972</b>	56
<b>1973</b>	61
<b>1974</b>	40

Zdroj: (MATERNA 1975), vlastní zpracování

Při studii VÚLHM byl také kromě jiných metod využit biomonitoring pomocí epifytických lišejníků. Na základě zjištěných výsledků byla zpracována mapa a na ní vyznačeny jednotlivé zóny (viz kapitola 4.4 Metody biomonitoringu pomocí lišejníků). Studované území mezi Sokolovem a Kynšperkem nad Ohří, stejně jako území od Sokolova po Karlovy Vary je charakterizováno jako území s největší početní i druhovou chudostí výskytu lišejníků a tudíž nejvíce zasažené imisemi SO<sub>2</sub>.

### 5.6.3 SITUACE OD 90. LET MINULÉHO STOLETÍ DO SOUČASNOSTI

Začátkem devadesátých let 20. století se situace v oblasti znečištění životního prostředí na Sokolovsku začíná zlepšovat. Kombinát ve Vřesové se stal součástí Sokolovské uhelné a.s. a v roce 1996 skončila výroba svítiplynu a tlaková plynárna přešla na produkci tzv. energoplynu. Ve druhé polovině 90. let a na přelomu tisíciletí proběhly ve zpracovatelském závodě, jak zněl nově název podniku, mimořádné investice jak v oblasti výrobních technologií, tak v oblasti snižování dopadů provozu na životní prostředí. Výsledkem bylo mimo jiné snížení objemu emisí SO<sub>2</sub> v roce 2008 o celých 80 % oproti roku 1998. V elektrárně Tisová začal proces na splnění požadavků nové legislativy v ochraně životního prostředí, vod, ovzduší a nakládání s odpady v roce 1992. V letech 1995–1997 byla v elektrárně instalována odsiřovací jednotka a završením tohoto procesu bylo vybudování doprovodných staveb, které zabezpečují vhodné ukládání stabilizátů (vznikajících z tuhých zbytků po spalování uhlí) v úložišti a kompletní zneškodnění znečištěných odpadních vod z areálu elektrárny chemickou čistírnou odpadních vod (URL č. 3 a URL č. 7).

Ve sledovaném území je podle údajů Českého hydrometeorologického ústavu za rok 2011 jednadvacet zdrojů znečištění ovzduší (Obrázek 12), z toho se jich 14 (15) podílí

na znečištění ovzduší oxidem siřičitým a oxidy dusíku (Příloha č. 3). Do přehledu je začleněna i Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s., zpracovatelský závod Vřesová – tento podnik neleží přímo ve studovaném území (9 km S od SZ hranice studovaného území), ale atmosférické znečištění v něm bezpochyby ovlivňuje. Jednoznačně největším znečišťovatelem působícím přímo ve studovaném území je ČEZ a.s. elektrárna Tisová s emisemi v množství 3 657,534 t oxidu siřičitého a 1 440,890 t oxidů dusíku. Druhý největší znečišťovatel, Momentive Specialty Chemicals a.s. Sokolov má produkci SO<sub>2</sub> 15 x nižší a produkci oxidů dusíku 17 x nižší (URL č. 1 a URL č. 5).

Ani jeden ze zdrojů ve studovaném území nepatřil za rok 2012 podle žebříčku sdružení Arnika (URL č. 1) mezi deset největších znečišťovatelů v České republice, v citovaném zdroji byly ale posuzovány zdroje podle celkového množství plynů způsobujících kyselou srážku, tedy amoniaku, oxidů dusíku, oxidů síry, fluorovodíku a chlorovodíku a tak například největší znečišťovatel – ČEZ a.s. elektrárna Pruněřov v lokalitě Kadaň vypustila do ovzduší méně SO<sub>2</sub> (2 935,171 t) než největší znečišťovatel ve studovaném území Elektrárna Tisová (3 657,534 t). V žebříčku deseti největších znečišťovatelů v ČR je z nejbližšího okolí uveden jeden zdroj – Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s., zpracovatelská část Vřesová s produkcí 3 588,640 t SO<sub>2</sub> a 3 870,706 t oxidů dusíku (URL č. 1 a URL č. 5).

Obrázek 12 – Rozmístění hlavních znečišťovatelů ve studovaném území



Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

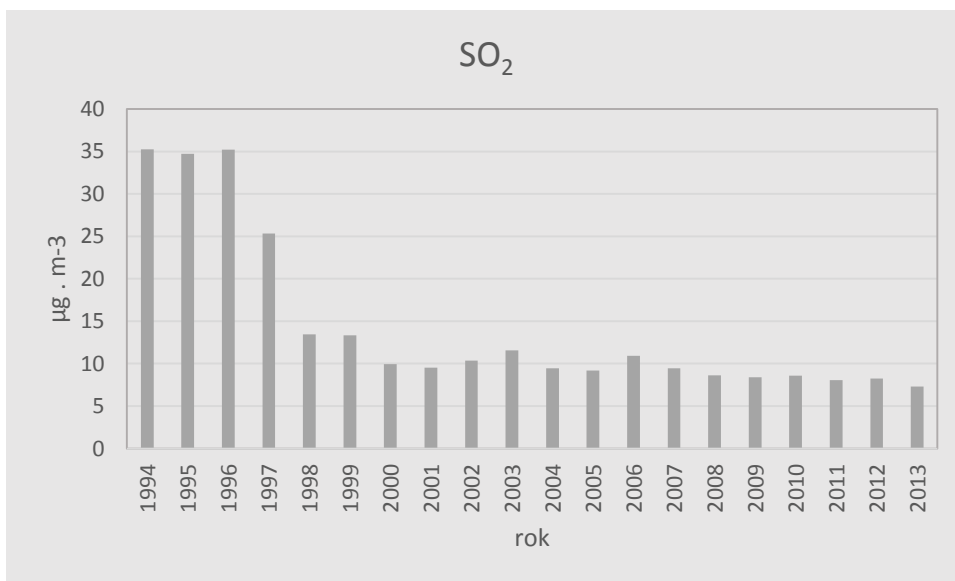
Po odsíření hlavních zdrojů znečištění v devadesátých letech dochází k markantnímu zlepšení stavu životního prostředí na Sokolovsku (Obrázek 13, Obrázek 16). U oxidů dusíku je ale snížení emisí hlavních zdrojů nahrazeno zvýšením emisí

z automobilového provozu. Pro porovnání – imisní limit pro ochranu ekosystémů a vegetace [2] nebyl v případě SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> za období posledních 15 let překročen ani v jednom roce (Obrázek 13, Obrázek 14, Obrázek 15 a Obrázek 19). 1hodinový imisní limit SO<sub>2</sub> byl překračován hluboko pod počtem povolených překročení (24) (Obrázek 17) a počet překročení 24hodinového imisního limitu byl pod povolenou hodnotou počtu překročení (3) posledních 18 let každoročně (Obrázek 18). Ani u oxidů dusíku není zjištěna výrazná stoupající tendence (Obrázek 20).

Podle údajů Českého hydrometeorologického ústavu na seznamu deseti stanic s nejvyšší roční průměrnou koncentrací SO<sub>2</sub> za rok 2012 oblast Sokolovska nefigurovala. Pro srovnání – nejvyšší hodnota naměřená na stanici Ostrava-Radvanice byla 25,2 µg.m<sup>-3</sup> a desátá nejvyšší roční průměrná koncentrace (Výsluní, okr. Chomutov a Šunychl, okr. Karviná) byla v hodnotě 12 µg.m<sup>-3</sup> (URL č. 6).

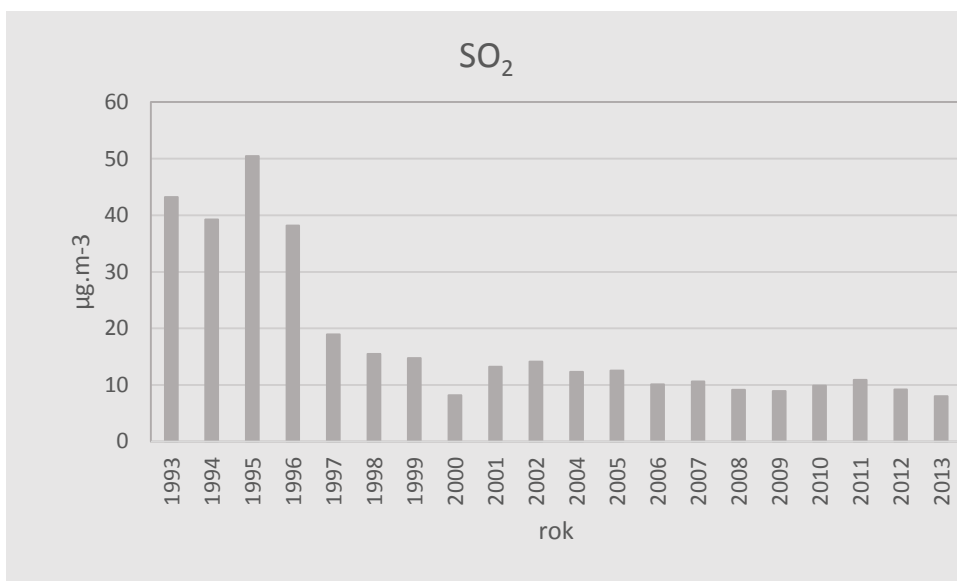
V seznamu stanic s nejvyššími hodnotami 25. a maximální hodinové koncentrace oxidu siřičitého figuruje měřicí stanice v Sokolově na pátém místě s hodnotami 409 µg.m<sup>-3</sup> (maximální h koncentrace) a 95,1 µg.m<sup>-3</sup> (25. nejvyšší h koncentrace). Pro srovnání – stanice s nejvyššími hodnotami Pardubice -Dukla 655,1 a 208,5 µg.m<sup>-3</sup>. V případě hodinových koncentrací došlo v lokalitě Sokolov k překročení hodnoty pro imisní limit (350 µg.m<sup>-3</sup>) méně než třikrát (URL č. 6).

Obrázek 13 – Roční aritmetické průměry koncentrací SO<sub>2</sub> naměřených na stanici Sokolov ve vybraných letech



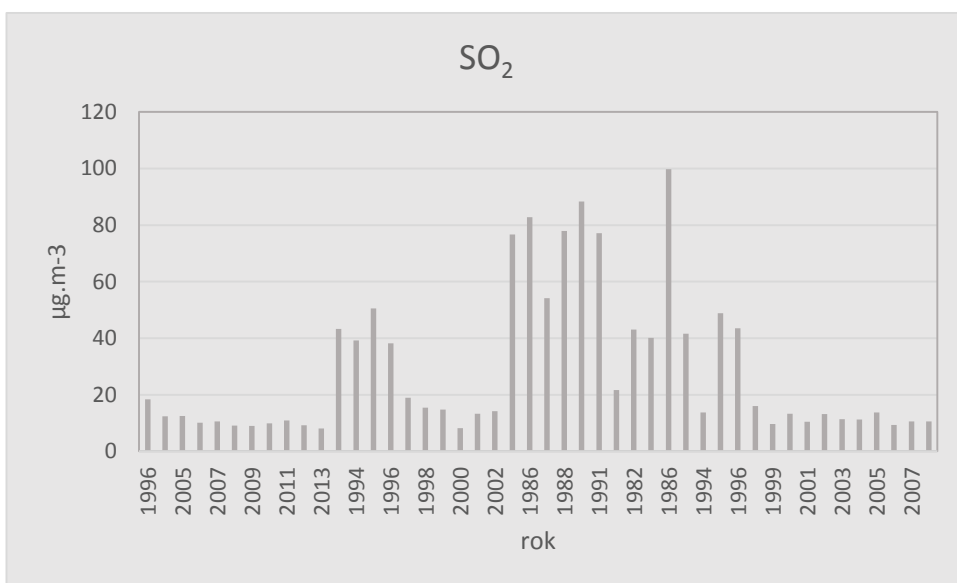
Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Obrázek 14 – Průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> naměřené ve vybraných letech v zimním období na stanici Sokolov



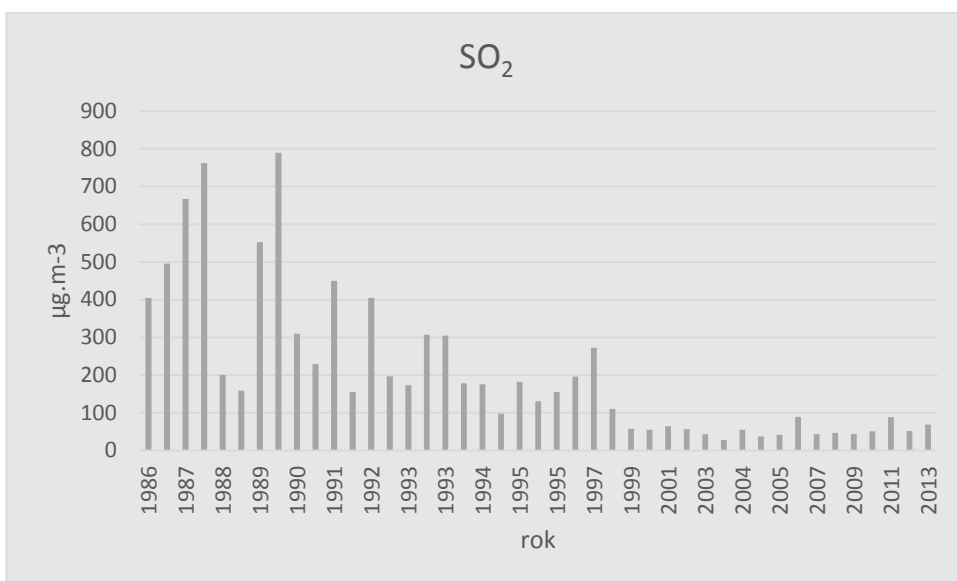
Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Obrázek 15 – Průměrné koncentrace SO<sub>2</sub> naměřené ve vybraných letech v zimním období na stanici Sokolov 1



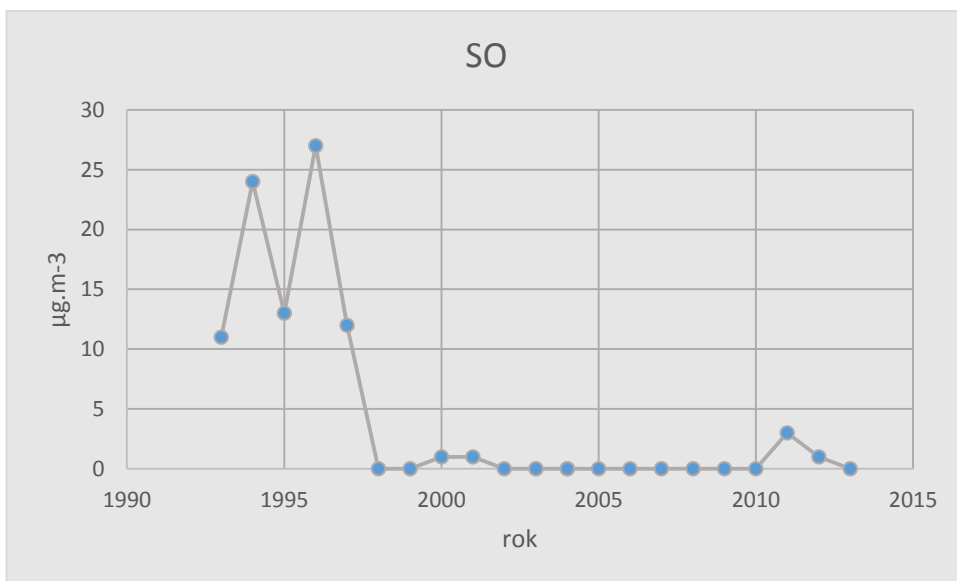
Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Obrázek 16 – Nejvyšší naměřené koncentrace SO<sub>2</sub> na stanici Sokolov ve vybraných letech



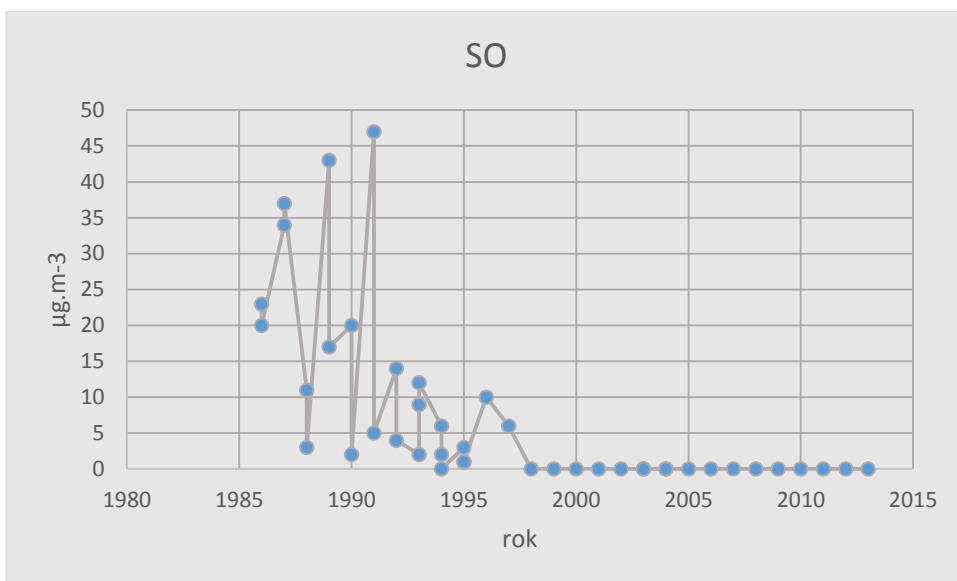
Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Obrázek 17 – Počet překročení 1hod imisního limitu koncentrací SO<sub>2</sub> na stanici Sokolov ve vybraných letech



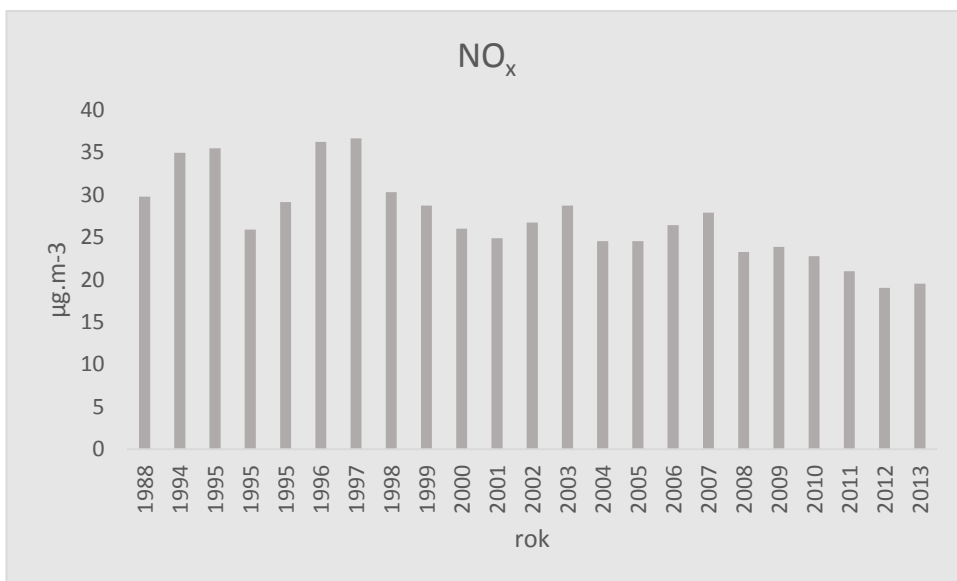
Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Obrázek 18 – Počet překročení 24hod imisního limitu koncentrací SO<sub>2</sub> na stanici Sokolov ve vybraných letech



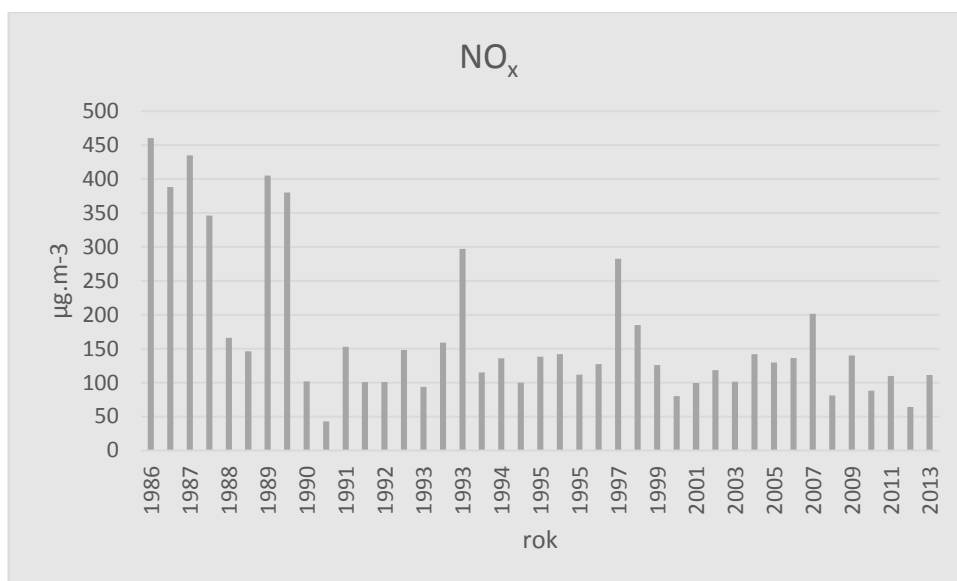
Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Obrázek 19 – Roční aritmetické průměry koncentrací NO<sub>x</sub> na stanici Sokolov ve vybraných letech



Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Obrázek 20 – Nejvyšší naměřené koncentrace NO<sub>x</sub> na stanici Sokolov ve vybraných letech



Zdroj: ČHMÚ, vlastní zpracování

Spalovací procesy, při kterých se uvolňuje oxid siřičitý, se odehrávají i v menších sídlech a velký vliv na přízemní vrstvu atmosféry mají i malé zdroje s nízkými komíny. Ty využívají pro vytápění pevná paliva, především hnědé uhlí a situace se zhoršuje především v době teplotních inverzí. Postupnou plynofikací oblasti a přechodem na spalovací zařízení splňující přísnější emisní limity se znečištění způsobené těmito zdroji bude snižovat.

### 5.7 HISTORIE LICHENOLOGICKÝCH VÝZKUMŮ VE STUDOVANÉM ÚZEMÍ

Studované území nikdy nepatřilo k lichenologicky zajímavým lokalitám. Silně exploatovaná a vlivem znečištěného životního prostředí poznamenaná krajina vykazovala v nedávné době téměř znaky lišejníkové pouště. Pro bádání lichenologů se jednoznačně zajímavějšími jevily a jeví blízké Krušné hory a také Slavkovský les, který nepatrnou částí zasahuje i do jižní části studovaného území. Publikace o současném stavu lichenoflóry v okolí studovaného území pochází především od ing. Petra Uhlíka, lichenologa přírodovědného oddělení Sokolovského muzea, a i v jeho člancích lze nalézt až na výjimky zmínky o lišejnících převážně z Krušných hor. Od stejného autora pochází i příspěvek do Koncepce ochrany přírody a krajiny v Karlovarském kraji, týkající se zvláště chráněných druhů lišejníků a ani zde není zmíněna žádná z lokalit studovaného území (UHLÍK 2005).

Při studii věnované vlivu elektrárenských emisí na porosty Slavkovského lesa (MATERNA et al. 1971) zaměřili autoři pozornost i na výskyt lišejníků a jejich rozšíření uvádí jako doplněk k posouzení stupně znečištění oblastí. Na základě terénních pozorování předběžně stanovili 4 zóny epifytické lichenoflóry s tím, že tyto zóny indikují postupný úbytek vlivu imisí z prostoru Sokolovské pánve. Pracovně nazvali tato pásma jako:

- pásmo *Lecanora*
- pásmo *Hypogymnia physodes* (*Parmelia physodes*)
- pásmo *Platismatia glauca* (*Cetraria glauca*)
- pásmo *Pseudevernia furfuracea*

Celkově bylo při terénním pozorování zjištěno 28 druhů lišejníků a jako oblast bez výskytu lišejníků bylo stanoveno nejbližší okolí velkých průmyslových závodů a povrchových hnědouhelných lomů. Dále autoři upozornili na skutečnost, že s postupující urbanizací střední části Sokolovské pánve mizí většina vhodných hostitelských stromů a může tak vzniknout klamný dojem „lišejníkové pouště“ i tam, kde by při dostatku forofytů pravděpodobně odolnější druhy lišejníky stále rostly.

V rámci studie o vlivu znečištění ovzduší na lesní porosty se lichenoflorou okolí Sokolova při svých výzkumech zabýval opět Antonín Kriesl (MATERNA 1975, KRIESL 1978a) a jako nejhojnější epifytický lišejník udává toxitolerantní *Lecanora conizaeoides* (sub. *L. varia*) a *Hypogymnia physodes*. Výzkum byl prováděn na počátku sedmdesátých let v lokalitách severně a jižně od sokolovské průmyslové oblasti, ve vzdálenosti 10 – 25 km od Sokolova a žádná ze sledovaných stanic tak neleží přímo ve studovaném území. Ve větším množství Kriesl zaznamenal epifytické lišejníky *Lepraria* spp., *Parmelia sulcata*, *Platismatica glauca* (sub. *Cetraria glauca*), *Tuckermannopsis chlorophylla* (sub. *C. chlorophylla*), *Lecanora chlorotera* (sub. *Lecanora subfusca*), *Lecidella elaeochroma* (sub. *Lecidea parasema*), *Parmeliopsis ambigua*, *Hypocenomyce scalaris* (sub. *Psora ostreata*), *Physcia tenella* a *Pseudevernia furfuracea* (sub. *Parmelia furfuracea*). Citlivé typy keříčkových epifytických lišejníků (především rodu *Alectoria*, *Ramalina* a *Usnea*) také považuje v této oblasti za spíše vzácné a navíc nalezené stélky hodnotí jako deformované do té míry, že jejich druhové určení bylo velmi obtížné. Celkem při svém výzkumu



zaznamenal 42 druhů epifytických lišejníků sbíraných na stromech bez rozlišení druhu a v jednotlivých lokalitách je udávána četnost od 4 do 22 druhů.

V závěrečné zprávě studie zaměřené na vliv elektrárenským exhalací na porosty Slavkovského lesa (MATERNA et al. 1972) hodnotí lichenofloru Sokolovska kolektiv autorů opět 4 pásmy (Obrázek 21), kdy oblast bez výskytu lišejníků představuje nejnižší partie Sokolovské pánve – jižní hranice oblasti probíhá od severu k jihu při kraji lesů západně od Šabiny, přes silnici Cheb – Sokolov, k severnímu okraji lesních porostů jižně od Březové a Dolního Rychnova, odtud přes severní konec obce Vítkov a dále při kraji lesů nad starým Sedlem a Loktem, východně od města se stáčí k severu (na mapce vyznačena červenou barvou). Pásmo řídkého výskytu lišejníků – na severu roste pouze *Lecanora conizaeoides*, postupně se objevuje *Hypogymnia physodes* (sub. *Parmelia physodes*), ale pouze na bázích stromů a na větvích ležících na zemi. Jižní hranice tohoto pásma jde od konce jesenické nádrže přes Tuřany, Zlatou, Arnoltov, Kamenici a Lobzy, sleduje zhruba horní okraje severních svahů výběžků Slavkovského lesa, u Nadlesí se stáčí k jihovýchodu a obchází v širokém oblouku Horní Slavkov (na mapce vyznačena oranžovou barvou). Toto pásmo odpovídá tzv. zóně boje. Další pásma s hojnějším výskytem epifytických lišejníků zasahují už výhradně do území Slavkovského lesa (MATERNA et al. 1972).

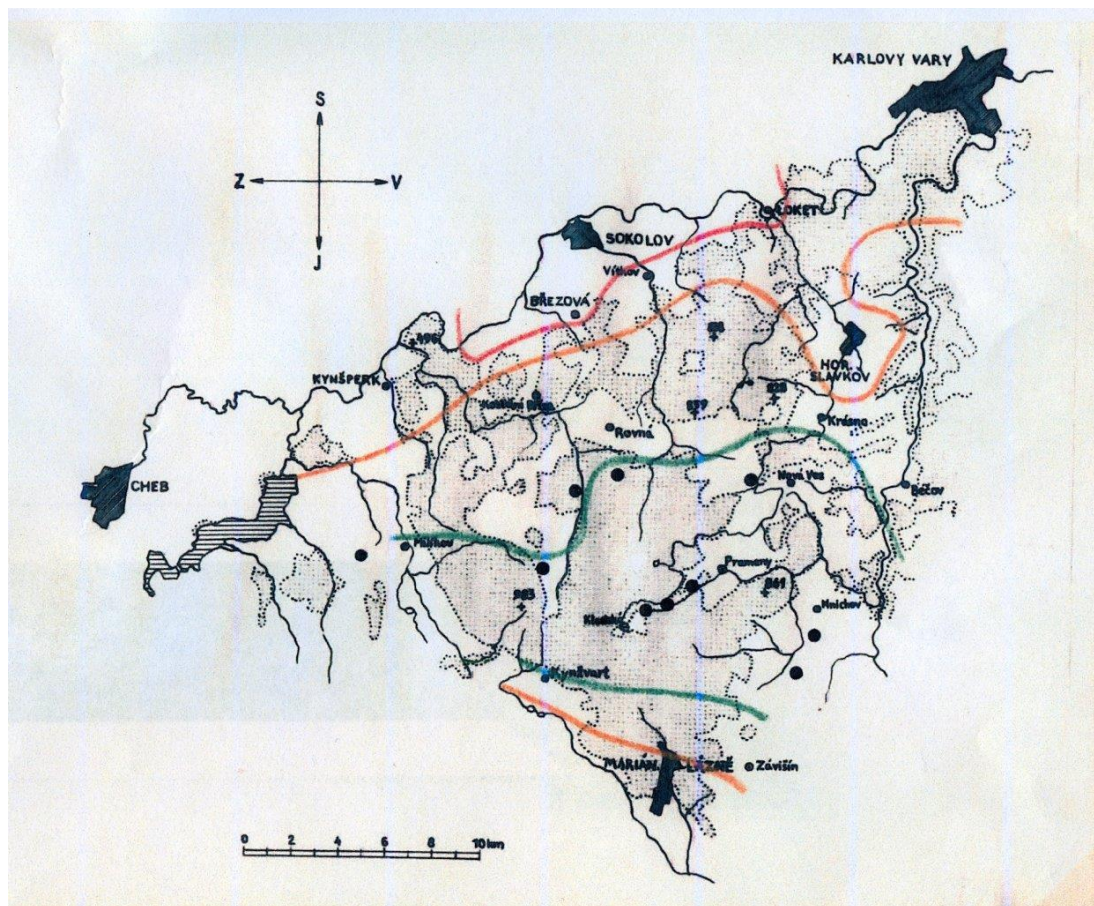
Toto rozdělení (V letech 1976–1978 byla oblast Sokolovska A. Krieslem zahrnuta do studie Indikace znečištění ovzduší vybraných oblastí Čech pomocí lišejníků prováděné v rámci dílčího úkolu Sledování vývoje poškození porostů v hlavních oblastech znečištění ovzduší, zpracovávaný Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti Jíloviště–Strnady (KRIESL 1978b). Jako nejčastější forofyty na Sokolovsku uvádí javor mléčný a javor klen, méně častý byl výskyt jasanů a jilmů. Lišejníky byly zaznamenávány na 26 druzích dřevin, převážně listnatých.

Obrázek 21) jasně ukazuje, že studované území se nachází převážně v I. zóně a jeho jižní a západní část (Arnoltov, Libavské Údolí, Kynšperk nad Ohří) v zóně II., tedy v zóně řídkého výskytu.

V letech 1976–1978 byla oblast Sokolovska A. Krieslem zahrnuta do studie Indikace znečištění ovzduší vybraných oblastí Čech pomocí lišejníků prováděné v rámci dílčího úkolu Sledování vývoje poškození porostů v hlavních oblastech znečištění ovzduší, zpracovávaný Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti Jíloviště–

Strnady (KRIESL 1978b). Jako nejčastější forofyty na Sokolovsku uvádí javor mléčný a javor klen, méně častý byl výskyt jasanů a jilmů. Lišejníky byly zaznamenávány na 26 druzích dřevin, převážně listnatých.

Obrázek 21 – Zonace výskytu epifytických lišejníků podle Materna et al. 1972



Zdroj: MATERNA et al. 1972

Výskyt lišejníků byl ovlivněn chybějící konkurencí citlivějších druhů a tak byl nejrozšířenějším druhem *Lecanora conizaeoides* (na 81 % všech snímkaných stromů) a *Hypogymnia physodes* (76,9 %). S frekvencí výskytu vyšší než 10 % byly zaznamenány druhy *Tuckermannopsis chlorophylla* (sub. *Cetraria chlorophylla*) (28,7 %), *Lepraria* sp. (20,5 %), *Parmeliopsis ambigua* (18,7 %), *Pseudevernia furfuracea* (16,9 %) a *Candelariella xanthostigma* (11 %). Zajímavým zjištěním byla hojnost druhů nalezených na Sokolovsku (47) shodná s počtem druhů nalezených na Plzeňsku. Menší počet lišejníkových druhů byl nalezen na Liberecku i v Polabí (39 a 42). Vliv na výsledky měla podle Kriesla nejen velikost zkoumaného území a stupeň atmosférického znečištění, ale i počet snímkaných stromů a detailnost průzkumu. V rámci celé studie bylo určeno 66 druhů, pro všechny 4 oblasti bylo společných jen

14 druhů. Na Sokolovsku byly výrazné rozdíly v zastoupení citlivějších druhů ve Slavkovském lese a v západní části Krušných hor, což při takřka shodných klimatických podmínkách obou oblastí (srážky, prům. teploty) dokazovalo nižší míru ovlivnění lichenoflóry Slavkovského lesa působením atmosférického znečištění (KRIESL 1978b).

Hodnocení míry znečištění ovzduší na Sokolovsku metodou výpočtu IAP byla prováděna na 390 forofytech a na 32 stanovištích v tomto procentuálním zastoupení: 40 % *Acer platanoides*, 12 % *Acer pseudoplatanus*, 11 % *Ulmus* sp., 13,2 *Fraxinus excelsior* a 5,6 % *Sorbus acuparia*. Kriesl (KRIESL 1978b) velmi podrobně popisuje rozdělení zkoumané oblasti do tří zón, odpovídajících různému stupni atmosférického znečištění. První zónu nejsilněji ovlivněnou imisemi člení na dvě podoblasti s tím, že první podoblast zaujímá nejbližší okolí průmyslových podniků, povrchových lomů a míst s nejhustějším osídlením. Tato podoblast byla prakticky bez výskytu epifytických lišejníků. Do druhé podoblasti Kriesl řadí většinu území okolo řeky Ohře s přilehlými svahy Slavkovského lesa a Krušných hor. Z lišejníků zde hojněji zaznamenal druh *Lecanora conizaeoides*, místy *Hypogymnia physodes* a *Parmelia sulcata*. Velmi ojediněle především na zastíněných kmenech se objevoval *Lepraria* sp. Preferovaným substrátem pro lišejníky byly v této oblasti staré kmeny jasanů a javorů. Druhou zónu nazval zónou středně ovlivňovanou imisemi a je charakterizována větší druhovou pestrostí epifytických lišejníků. Rostly de i druhy lupenitých lišejníků – *Platismatica glauca* a ve Slavkovském lese *Pleurosticta acetabulum* (sub. *Parmelia acetabulum*). Vitalita citlivějších druhů zde byla snižená, stélky zakrnělé a často deformované. Zjištěné byly i velké rozdíly bohatosti lišejníkové vegetace mezi sousedními stromy stejného druhu. Na jehličnanech se objevovalo velmi málo druhů, nejčastěji *Lecanora conizaeoides*, *Hypogymnia physodes*, zřídka *Pseudevernia furfuracea*. Zajímavé byly ale nálezy zakrnělých stélek *Usnea* sp. Tato zóna zahrnuje velkou část území západního křídla Krušných hor a okrajové části Slavkovského lesa. Třetí zóna se rozkládá už výhradně ve Slavkovském lese a v Krušných horách do ní patří okolí Božího Daru a část území mezi Bublavou a Novými Hamry. Zaznamenány zde byly takřka všechny druhy citlivějších lišejníků, ale nejhojnějším druhem je i v této zóně *Hypogymnia physodes*, citlivější druhy s výjimkou *Platismatica glauca* neměly větší pokryvnost, stélky bývaly zakrnělé a různě deformované (KRIESL 1978b). V kontextu současné míry nitrofility je lišejník *Platismatica glauca*

mnohem citlivější a vzácnější než *Pseudevernia furfuracea* (J. KOCOURKOVÁ in verb, IV. 2015).

Ve studii byl zaznamenán i nedostatek vhodných forofytů a jejich rozmístění bylo charakterizováno jako nerovnoměrné. V zalesněných částech Slavkovského lesa a Krušných hor chyběly vhodné listnaté stromy na poměrně rozlehlých plochách, v nižších polohách byly součástí alejí především staré stromy. Pokud byly zakládány nové aleje, pak z ovocných stromů, jeřábů, popřípadě z topolů, které nejsou pro bioindikační lichenologický průzkum vhodné (KRIESL 1978b).

Zajímavé byly i výsledky průzkumu týkající se průměrného počtu druhů nalezených na jednom stromě. V zóně I. to bylo 1,94 druhu, v zóně II. 3,90 a v zóně III. 5,66 druhu, na Sokolovsku tedy celkem v průměru 3,8 druhu na jeden strom. Zároveň bylo na jediném stromě nalezeno nejvýše 12 druhů. Podle Kriesla (KRIESL 1978b) tato čísla dostatečně vystihují druhovou chudost tehdejší lišejníkové vegetace oblasti, ačkoli klimatické podmínky se zdají být pro růst lišejníků optimální. Výsledky bioindikačního výzkumu byly tak v souladu s výsledky měření koncentrací SO<sub>2</sub> oblasti – v zóně I. byly naměřeny nejvyšší 24hodinové koncentrace SO<sub>2</sub> (60 µg.m<sup>-3</sup>) a nejnižší průměrné denní koncentrace (pod 30 µg.m<sup>-3</sup>) v zóně III.

Na Sokolovsku je zóna I. plošně nejrozsáhlejší a přesto byl bioindikační průzkum vykonán jen na malém počtu stanovišť. Podle Kriesla (KRIESL 1978b) byla chudost a absence epifytického lišejníkového pokryvu (a tím i značný vliv imisí) zřejmá na první pohled a zdlouhavé určování indexu (IAP) považoval za zbytečné. Proto byl IAP zjišťován pouze v oblasti Slavkovského lesa (zde dosáhl hodnoty 15,0) a Krušných hor (zde dosáhl hodnot 15,9), tedy v druhé podoblasti I. zóny. Pro srovnání nejvyšší hodnoty IAP dosáhl v Pramenech (78,7), ležících 14 km JV od Tisové na území Slavkovského lesa. Nápadné rozdíly mezi hodnotami IAP v zónách II. a III. byly zjištěny i na stanovištích ležících v těsné blízkosti a tento jev byl vysvětlován velkou členitostí terénu a jejím pravděpodobným vlivem na šíření imisí. Dvě stanoviště se nacházejí poměrně blízko oblasti studované v této diplomové práci. Jsou to Kamenice – 3 km JV od Tisové (IAP 17,1) a Vítkov – 5 km VSV od Tisové (IAP 18,9) a soupis nalezených druhů opět dokládá druhovou chudost epifytických lišejníků na Sokolovsku v sedmdesátých letech minulého století. Na stanovišti Kamenice byly nalezeny druhy *Lecanora conizaeoides*, *L. carpineae*, *Lepraria* sp., *Pleurosticta acetabulum* (sub. *Parmelia acetabulum*), *Parmelia sulcata*, *Physcia* sp.,

a na stanovišti Vítkov druhy *Amandinea punctata* (sub. *Buellia punctata*), *Cladonia pyxidata*, *Lecanora carpinea*, *L. hageni* sp., *Lepraria* sp., *Parmelia sulcata* a *Physconia grisea*.

Lichenoflórou Slavkovského lesa a tedy částečně i studovaného území se ve své středoškolské práci z roku 1977 zabývá i H. Tobrmanová (TOBRMANOVÁ 1979), kde minimálně dvě stanoviště těsně sousedí se studovaným územím. Ze zjištěných epifytických druhů z těchto míst Tobrmanová udává: *Cladonia coniocraea*, *C. fimbriata*, *C. squamosa*, *C. digitata*, *C. pyxidata*, *Hypogymnia physodes* (sub. *Parmelia physodes*), *Cetraria islandica*, *Platismatia glauca* (sub. *Cetraria glauca*) a výskyt všech druhů popisuje jako řídký. Srovnání těchto nálezů a nálezů na základě aktuálně prováděné studie nelze považovat za prokazatelné, protože dutohlávky jsou lišejníky vyskytující se především na bázích stromů a LDV metoda sleduje pouze jedince vyskytující se nad úrovní 1 m a při terénní práci na této studii nebyly dutohlávky v rozmezí daném metodikou nalezeny vůbec.

Shrnutím výskytu epifytických lišejníků v blízkých Krušných horách se ve své bakalářské práci zabývá L. Besperátová (BESPERÁROVÁ 2013) a při excerpci literárních zdrojů dospěla k závěru, že do roku 1965 bylo v Krušných horách zaznamenáno 81 druhů epifytických lišejníků, po roce 1980 již pouze 18 druhů. Společně se v obou obdobích vyskytovalo 12 druhů. Dále autorka uvádí, že během sedmdesátých let zřejmě žádné výzkumy lišejníků v Krušných horách neproběhly. O to zajímavější jsou výsledky z výzkumů prováděných zde ing. Krieslem, které byly v sedmdesátých letech pravděpodobně ojedinělé (KRIESL 1978b).

Další historii lichenologického výzkumu v Krušných horách shrnul ve své práci opět P. Uhlík (UHLÍK 2007). Zmiňuje zde nálezy a jejich autory z první poloviny dvacátého století i nálezy z německé strany Krušných hor a důraz klade teprve na nálezy z konce 20. století, kdy publikovala články o zajímavých lišejnících Jana Kocourková – Horáková (KOCOURKOVÁ – HORÁKOVÁ 1998a, 1998b) a kdy srovnání svých lichenologických výzkumů se záznamy z první poloviny 20. století zaznamenali ve své práci Lenka Pujmanová a Zdeněk Soldán (PUJMANOVÁ & SOLDÁN 1985). Další nálezy podle Uhlíka publikovali lichenologové Zdeněk Palice a Pieter van den Boom (VAN DEN BOOM & PALICE 2006). Jako práci, která zásadně přispívá k poznání lichenoflóry Krušných hor, označuje Uhlík práci Štěpánky Bayerové a spoluautorů (BAYEROVÁ et al. 2004a, 2004b) a zmiňuje i další

lichenology - Josefa Haldu, Bohdana Wagnera, Lenku Pujmanovou (Němcovou) a Čestmíra Ondráčka.

Na závěr kapitoly o lichenologickém výzkumu na Sokolovsku lze tedy s optimismem konstatovat, že v rámci epifytických lišejníků, které v oblasti nikdy nebyly hojné, v poslední době dochází k masivnímu nástupu rodu *Usnea*, *Bryoria* a druhu *Evernia prunastri*, jejichž malé stélky je možno vidět na listnatých stromech a v mladších modřínových výsadbách (UHLÍK 2013, KVASŇOVSKÝ 2014).

## 6. VÝSLEDKY

### 6.1 SNÍMKOVANÉ ČTVERCE

V rámci diplomové práce bylo prozkoumáno 52 čtverců. Během terénních prací nebyly ve dvou čtvercích nalezeny vhodné podmínky pro provedení LDV metody a zmíněné dva čtverce byly v souladu s metodikou vynechány a zvoleny náhradní čtverce tak, aby byl zachován počet 100 zkoumaných forofytů. Jedná se o čtverce v okolí odkaliště Silvestr v těsné blízkosti elektrárny Tisová. Samotnou plochu těchto čtverců zabírá odkaliště nebo rekultivované plochy s výsadbou mladých pionýrských dřevin a vhodné forofyty se v těchto čtvercích nevyskytují. Při hodnocení LDV v kontextu celého spojitého území bylo na těchto čtvercích postupováno v souladu s metodikou, tedy tak, že se pro tyto čtverce použily hodnoty ze čtverců sousedících s těmito čtverci na severu. Na zkoumaných a očíslovaných 50 čtvercích bylo v souladu s metodikou provedeno snímkování epifytických lišejníků pomocí mřížky a všechny zjištěné údaje zaznamenány. V rámci studované lokality se nacházela území (studované čtverce) s odlišnými podmínkami.

#### 6.1.1 ZASTAVĚNÁ ÚZEMÍ OBCÍ

Některé ze čtverců se nacházely výhradně v intravilánu obcí a v jejich zastavěných oblastech. Studované forofyty tak byly většinou součástí parkových úprav a bývaly i podobného stáří. V samotných centrech obcí (Sokolov, Kostelní Bříza a dalších) bylo velmi obtížné nalézt kmeny s obvodem vyhovujícím metodice, protože parky jsou poměrně letité a nová výsadba, především výsadba dubů, je v obci Sokolov sice hojná, ale jednotlivé stromy nedosahují zatím potřebného stáří a s tím souvisejícího obvodu. V některých čtvercích v zastavěných oblastech obcí byl velmi výrazný nedostatek dubů, především tam, kde byla hustá zástavba rodiných domů. Zde se duby

prakticky nevyskytovaly a ve čtverci č. 47, tedy nejseverněji položeném čtverci z celého studovaného území, lze najít pouze 3 jedince rodu *Quercus*. Dva z nich vyhovovaly metodice a tak mohlo snímkování proběhnout i zde. Na sídlištích byla situace dobrá, duby i jasany se zde nacházely v hojném počtu.

#### 6.1.2 PRŮMYSLOVÉ AREÁLY A POLOCHY

V okolí Sokolova se nachází rozsáhlé rekultivované plochy a plochy bývalých i sučasných průmyslových areálů. Na rekultivovaných plochách se potřebné forofyty nenacházejí, ale lze je nalézt v těsné blízkosti rekultivovaných ploch, v místech, kde se tyto plochy přibližují k obcím, nebo sousedí s lesními porosty. Jasany byly nalézány také v blízkosti malých vodních ploch.

#### 6.1.3 ALEJE

V rámci alejové výsadby se ve studované oblasti vyskytovaly především jasany. V některých čtvercích bylo možno jasany nalézt výhradně jako součást doprovodné vegetace cest a silnic (Citice – Tisová, Chlum sv. Maří – Dasnice, Hlavno) V rámci obohacení borky výfukovými zplodinami a v nich obsaženými dusíkatými látkami, mohlo toto umístění ovlivnit výsledky porovnání mezi nitorfilními a acidofilními společenstvy. Několik čtverců obsahovalo doprovodné vegetace břehových porostů v oblasti okolo řeky Ohře, zde se jednalo většinou o duby a jejich výskyt nebyl hojný.

#### 6.1.4 LESNÍ POROSTY

Několik čtverců zasahovalo i do lesních porostů a zde se oba forofyty díky své ekologii vyskytovaly pouze na okrajích lesa, případně na pasekách a tak nebyl faktor zástin brán v úvahu, kmeny ve výrazném zástinu nebyly. Protože se ve studované oblasti nachází především smrkové monokultury, nebyly ve shodě se svými ekologickými nároky žádné forofyty rodu *Quercus* a druhu *Fraxinus excelsior* v zapojených porostech nalézány.

#### 6.1.5 SOLITÉRNÍ JEDINCI

Jako solitéry bylo možno uvedené forofyty nalézt především v zastavěných oblastech obcí. Celkově bylo těžké vyhovět přísným podmínkám metodiky, jasany byly často nakloněné a většina ze solitérně rostoucích stromů měla velký obvod (Hlavno, Sokolov, Kostelní Bříza, Šabina, Chlumeck, Kynšperk n. Ohří atd.). Ve čtverci č. 5

(osada Chlumeck) se v parku okolo bývalého zámku nachází několik vzrostlých jasanů, do výše několika metrů jsou ale kmeny většiny z nich obrostlé popínavými rostlinami. V žádném ze čtverců nebyl výrazný dostatek stromů, stromy podobné velikosti bylo potřeba dohledat a dodržení stejného obvodu snímkaných stromů nebylo v zájmové oblasti možné dodržet. Pokud se v některých čtvercích dá hovořit o dostatku stromů, šlo o lokality na městských sídlištích a ve středech menších obcí a dále o lokality s jasanem jako alejovými stromy, což ve výsledku ovlivňuje diverzitu nitrofilních společenstev.

V souvislosti s terénním průzkumem je nutné zmínit i značnou fragmentaci krajiny na Sokolovsku, která je způsobena především rychlostní komunikací R6 a velkou rozlohou rekultivovaných, sukcesně mladých ploch. V místech s rozsáhlými pastvinami v okolí Rudolce a Kostelní Břízy je potřeba zmínit i neprostupnost krajiny, která je způsobena souvislým oplocením těchto pastvin. Ty prakticky znemožňují volný průchod krajinou.

## 6.2 SEZNAM NALEZENÝCH DRUHŮ

Jednotlivé lišejníky byly poměrně malého vzrůstu, u několika sběrů malý vzrůst znemožňoval přesné určení druhu. Největším lišejníkem byl jedinec druhu *Parmelia sulcata* o průměru 4 cm, jedinci rodů *Ramalina* a *Usnea* nedosahovaly velikosti ani 2 cm, u některých korovitých druhů probíhalo určování pouze na několika plodnicích.

V rámci prováděné LDV metody bylo ve výše zmíněných čtvercích zkoumáno 200 stromů, z toho 100 jedinců druhu *Fraxinus excelsior* a jako nadstavba diplomové práce i 100 jedinců rodu *Quercus*. Celkem bylo zaznamenáno 39 druhů a nižších taxonomických jednotek lišejníků (dále bude v práci používáno pouze označení druh). Seznam nalezených druhů je uváděn v abecedním pořadí včetně vyznačení stupně ohrožení (Liška & Palice 2010). U jedinců rodu *Ramalina* a *Usnea* nebylo z důvodu příliš malé velikosti vzorků možno určit druh a ve výsledcích jsou uváděny jako *Ramalina* sp. a *Usnea* sp. V dalším textu, především v tabulkách, mohou být taxony uváděny bez kompletních vědeckých názvů.

Seznam nalezených taxonů lišejníků:

*Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins et Scheid. **LC**

*Anisomeridium polypori* (Ellis et Everh.) M. E. Barr **LC**



*Bacidina delicata* (Larbal. ex Leight.) V. Wirth et Vězda **DD**  
*Candelariella efflorescens* (R. C. Harris & W. R. Buck) **DD**  
(Lišejník dosud není uveden v červeném seznamu lišejníků).  
*Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau **LC**  
*Evernia prunastri* (L.) Ach. **NT**  
*Halecania viridescens* Coppins et P. James **DD**  
*Hypocenomyce scalaris* (Ach.) M. Choisy **LC**  
*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. **LC**  
*Lecania cyrtella* (Ach.) Th. Fr. **LC**  
*Lecania naegelii* (Hepp) Diederich et Van den Boom **NT**  
*Lecanora conizaeiodes* Nyl. ex Cromb. **LC**  
*Lecanora chlarotera* (Nyl). **LC**  
*Lecanora leptyroides* (Nyl.) Degel. **DD**  
*Lecanora persimilis* (Th. Fr.) Nyl. **NT**  
*Lecanora pulicaris* (Pers.) Ach. **LC**  
*Lecanora saligna* (Schrad.) Zahlbr. **LC** s.l.  
*Lecanora subsaligna* M. Brand et Van den Boom **DD**  
*Lecidella elaeochroma* (Ach.) M. Choisy **NT**  
*Lepraria cf. incana* (L.) Ach. **LC**  
*Lepraria lobificans* auct. **LC**  
*Lepraria rigidula* (de Lesd.) Tønsberg **LC**  
*Melanelixia glabra* (Schaer.) O. Blanco et al. **CR**  
*Melanelixia subaurifera* (Nyl.) O. Blanco et al. **VU**  
*Micarea micrococca* (Körb.) Gams ex Coppins **LC**  
*Parmelia saxatilis* (L.) Ach. **LC**  
*Parmelia sulcata* (Taylor). **LC**

*Phaeophyscia nigricans* (Harm.) Moberg **LC**

*Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg. **LC**

*Phlyctis argena* (Spreng.) Flot. **LC**

*Physcia adscendens* (Fr.) H. Olivier. **LC**

*Physcia tenella* (Scop.) DC. **LC**

*Ramalina* sp.

*Scoliciosporum sarothamni* (Vain.) Vězda **LC**

*Strangospora pinicola* (A. Massal.) Körb. **NT**

*Usnea* sp.

*Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr. **LC**

*Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. **LC**

*Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber **NT**

Z celkového počtu 39 taxonů bylo na jasaněch zamenáno 34 taxonů, na dubech 26 taxonů a 21 taxonů lišejníků bylo shodných pro oba typy forofytů (Tabulka 5).

Tabulka 5 – Výskyt jednotlivých taxonů lišejníků na obou typech forofytů

<i>Druh lišejníku</i>	Výskyt jasanů	Výskyt dubů	Výskyt j. + d.
<i>Amandinea punctata</i>	●	●	●
<i>Anisomeridium polypori</i>	●		
<i>Bacidina delicata</i>		●	
<i>Candelariella efflorescens</i>	●	●	●
<i>Candelariella xanthostigma</i>	●		
<i>Evernia prunastri</i>	●	●	●
<i>Halecania viridescens</i>	●		
<i>Hypocenomyce scalaris</i>		●	
<i>Hypogymnia physodes</i>	●	●	●
<i>Lecania cyrtella</i>	●	●	●
<i>Lecania naegelii</i>	●	●	●
<i>Lecanora conizaeiodes</i>	●	●	●

<i>Lecanora chlarotera</i>	•	•	•
<i>Lecanora leptyroides</i>	•		
<i>Lecanora persimilis</i>	•		
<i>Lecanora pulicaris</i>	•		
<i>Lecanora saligna</i>	•	•	•
<i>Lecanora subsaligna</i>		•	
<i>Lecidella elaeochroma</i>	•		
<i>Lepraria cf. incana</i>	•	•	•
<i>Lepraria lobificans</i>	•	•	•
<i>Lepraria rigidula</i>	•	•	•
<i>Melanelixia glabra</i>	•		
<i>Melanelixia subaurifera</i>		•	
<i>Micarea micrococca</i>	•	•	•
<i>Parmelia saxatilis</i>	•		
<i>Parmelia sulcata</i>	•	•	•
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	•	•	•
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	•		
<i>Phlyctis argena</i>	•		
<i>Physcia adscendens</i>	•	•	•
<i>Physcia tenella</i>	•	•	•
<i>Ramalina sp.</i>		•	
<i>Scoliciosporum sarothamni</i>	•	•	•
<i>Strangospora pinicola</i>	•		
<i>Usnea sp.</i>	•	•	•
<i>Xanthoria candelaria</i>	•	•	•
<i>Xanthoria parietina</i>	•	•	•
<i>Xanthoria polycarpa</i>	•		

Zdroj: vlastní zpracování

### 6.3 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ LIŠEJNÍKŮ Z HLEDISKA JEJICH OHROŽENÍ

Z celkového počtu 39 taxonů lišejníků byl nalezen jeden druh kriticky ohrožený (*Melanelixia glabra* (Schaer.) O. Blanco et al.), jeden druh zranitelný nebo ohrožený

(*Melanelixia subaurifera* (Nyl.) O. Blanco et al.), šest druhů blízkých ohrožení a 24 druhů neohrožených. Pět druhů patřilo k taxonům nedokonale známým (*Bacidina delicata* (Larbal. ex Leight.) V. Wirth et Vězda, *Halecania viridescens* Coppins et P. James, *Lecanora leptyroides* (Nyl.) Degel., *Candelariella efflorescens* (R. C. Harris & W. R. Buck) a *Lecanora subsaligna* M. Brand et Van den Boom). Tento nález je prvním pro zkoumanou oblast. Sběry *Ramalina* sp. a *Usnea* sp. nebyly z hlediska ohrožení hodnoceny.

Pro srovnání s výsledky podobných prací je uveden stejný výčet jen pro lišejníky zaznamenané na *Fraxinus excelsior*:

Z celkového počtu 34 taxonů byl nalezen jeden druh kriticky ohrožený (*Melanelixia glabra* (Schaer.) O. Blanco et al.), šest druhů blízkých ohrožení a 23 druhů neohrožených. Tři druhy patřily k taxonům nedokonale známým (*Candelariella efflorescens* (R. C. Harris & W. R. Buck), *Halecania viridescens* Coppins et P. James, *Lecanora leptyroides* (Nyl.) Degel.). Sběry *Usnea* sp. a *Ramalina* sp. nebyly z hlediska ohrožení hodnoceny.

#### 6.4 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ LIŠEJNÍKŮ PODLE ČETNOSTI VÝSKYTU

Při hodnocení jednotlivých druhů a nižších taxonomických jednotek podle četnosti výskytu (Tabulka 6) byla zvolena následující stupnice:

Tabulka 6 – Hodnocení druhů podle četnosti výskytu

Četnost výskytu	Druh zaznamenaný na
Velmi hojně rozšířené druhy	>75 % stromů
Hojně rozšířené druhy	50–75 % stromů
Středně hojné druhy	25–50 % stromů
Málo četné druhy	10–25 % stromů
Zřídka se vyskytující druhy	< 10 % stromů

Zdroj: Vlastní zpracování

Srovnání platné pro forofyty druhu *Fraxinus excelsior*:

Lišejníky velmi hojně rozšířené (>75 % stromů): *Physcia adscendens* (Fr.) H. Olivier a *Physcia tenella* (Scop.) DC.

Lišejníky hojně rozšířené (50–75 % stromů): *Candelariella efflorescens* (R. C. Harris & W. R. Buck, *Lecanora conizaeiodes* Nyl. ex Cromb. a *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.

Lišejníky středně hojné (25–50 % stromů): *Parmelia sulcata* (Taylor).

Lišejníky málo četné (10–25 % stromů): *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins et Scheid., *Lecania cyrtella* (Ach.) Th. Fr., *Lecanora saligna* (Schrad.) Zahlbr., *Scoliciosporum sarothamni* (Vain.) Vězda a *Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber.

Lišejníky zřídka se vyskytující (< 10 % stromů): *Anisomeridium polypori* (Ellis et Everh.) M. E. Barr, *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau, *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Halecania viridescens* Coppins et P. James, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Lecania naegelii* (Hepp) Diederich et Van den Boom, *Lecidella elaeochroma* (Ach.) M. Choisy, *Lecanora chlarotera* (Nyl.), *Lecanora leptyroides* (Nyl.) Degel., *Lecanora persimilis* (Th. Fr.) Nyl., *Lecanora pulicaris* (Pers.) Ach., *Lepraria cf. incana* (L.) Ach., *Lepraria lobificans* auct., *Lepraria rigidula* (de Lesd.) Tønsberg, *Melanelixia glabra* (Schaer.) O. Blanco et al., *Micarea micrococca* (Körb.) Gams ex Coppins, *Parmelia saxatilis* (L.) Ach., *Phaeophyscia nigricans* (Harm.) Moberg, *Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg, *Phlyctis argena* (Spreng.) Flot., *Strangospora pinicola* (A. Massal.) Körb., *Usnea* sp. a *Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr.

Srovnání platné pro forofyty rodu *Quercus*:

Lišejníky velmi hojně rozšířené (>75 % stromů): *Lecanora conizaeiodes* Nyl. ex Cromb.

Lišejníky hojně rozšířené (50–75 % stromů): *Physcia adscendens* (Fr.) H. Olivier., *Physcia tenella* (Scop.) DC.

Lišejníky středně hojné (25–50 % stromů): *Candelariella efflorescens* (R. C. Harris & W. R. Buck, *Lepraria lobificans* auct., *Parmelia sulcata* (Taylor), *Scoliciosporum sarothamni* (Vain.) Vězda, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.,

Lišejníky málo četné (10–25 % stromů): *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins et Scheid a *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.

Lišejníky zřídka se vyskytující (< 10 % stromů): *Bacidina delicata* (Larbal. ex Leight.) V. Wirth et Vězda, *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Hypocenomyce scalaris* (Ach.) M.

Choisy, *Lecania cyrtella* (Ach.) Th. Fr., *Lecania naegelii* (Hepp) Diederich et Van den Boom, *Lecanora chlarotera* (Nyl.), *Lecanora saligna* (Schrad.) Zahlbr., *Lecanora subsaligna* M. Brand et Van den Boom, *Lepraria cf. incana* (L.) Ach., *Lepraria rigidula* (de Lesd.) Tønsberg, *Melanelixia subaurifera* (Nyl.) O. Blanco et al., *Micarea micrococca* (Körb.) Gams ex Coppins, *Phaeophyscia nigricans* (Harm.) Moberg, *Ramalina* sp., *Usnea* sp. a *Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr.

Nejpočetnějším lišejníkem na vybraných jasaněch ve studované oblasti byl lišejník *Physcia tenella*, který byl zaznamenán na 1198 snímcích z celkového počtu 2000 snímků. Druhým nejpočetnějším druhem byl *Physcia adscendens* s výskytem na 745 snímcích a třetím nejpočetnějším druhem byl *Candelariella efflorescens* s 390 výskyty. Častější výskyt byl dále zaznamenán u lišejníků *Lecanora conizaeiodes* (355 záznamů) a *Xanthoria parietina* (314 záznamů).

Na dubech byl ve sledovaném území nečastěji zaznamenán lišejník *Lecanora conizaeiodes*, který byl zaznamenán na 689 snímcích z celkového počtu 2000 snímků. Druhým nejpočetnějším lišejníkem byl druh *Physcia tenella* (646 záznamů), třetím nejpočetnějším druhem byl druh *Candelariella efflorescens* (350 záznamů). Častější výskyt byl zaznamenán i u druhu *Physcia adscendens* (313 záznamů).

Pro správnou interpretaci výše uvedených dat je potřeba přihlídnout k použité metodice, kdy výskyt lišejníku v jednotlivém snímku je zaznamenán pouze jako prezenze lišejníku v jednotlivých oddílech použité mřížky a nesdělují nic o plošném rozšíření lišejníku na ploše snímku. Stejný záznam má tedy například *Lecanora conizaeiodes*, který je podle pozorování spíše na ústupu a na snímku byl zastoupen plošně nevýrazně (jen v jednotkách cm<sup>2</sup>) a druh *Physcia tenella*, který často pokrýval celý snímek. Přesto jsou výše uvedené číselné hodnoty záznamů jednotlivých lišejníků hodnotné pro představu o výskytu jednotlivých lišejníků, protože i přes rozdílné plošné pokrytí jednotlivých snímků byly často oba lišejníky zaznamenány ve všech pěti snímcích příkládané mřížky a je možné je pokládat za hojně rozšířené.

Na jasaněch byl maximální počet druhů nalezených na jednom stromě 12, minimální počet 2 druhy. Průměrně bylo na jednom forofytu nalezeno 5 druhů lišejníků.

Na dubech byl maximální počet druhů nalezených na jednom stromě 9, minimální počet 1 druh. Průměrně byly na jednom forofytu nalezeny 4 druhy lišejníků.

#### 6.4 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ LIŠEJNÍKŮ PODLE DALŠÍCH FAKTORŮ

Z celkového počtu 39 druhů bylo zaznamenáno 26 korovitých, 10 lupenitých a 3 keříčkovité druhy (Tabulka 7). Z hlediska pH preferovaného substrátu bylo zaznamenáno 10 druhů acidofilních, 17 druhů neutrofilních a 12 druhů nitrofilních. U dvou taxonů (*Ramalina* sp. a *Usnea* sp.) byl z důvodu neurčité specifikace druhu zvolen jako druh substrátu neutrofilní.

Na jasaněch byly druhy zaznamenány následovně: 22 korovitých druhů, 10 lupenitých a 2 keříčkovité druhy. Z hlediska substrátu bylo na jasaněch zaznamenáno 8 druhů acidofilních, 14 druhů neutrofilních a 12 druhů nitrofilních.

Na dubech byly druhy zaznamenány následovně: 16 korovitých druhů, 7 lupenitých druhů a 3 druhy keříčkovité. Z hlediska substrátu bylo na dubech zaznamenáno 8 druhů acidofilních, 9 druhů neutrofilních a 9 druhů nitrofilních.

Tabulka 7 – Porovnání nalezených druhů z hlediska substrátové preference a typu stélky

	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Quercus</i> spp.
Korovité	22	16
Lupenité	10	7
Keříčkovité	2	3
Acidofilní	8	8
Neutrofilní	14	9
Nitrofilní	12	9

Zdroj: vlastní zpracování

#### 6.5 METODA LICHEN DIVERSITY VALUE

Hodnoty získané pomocí modifikované metody LDV prokazují poměrně chudou lichenofloru studované oblasti. Většina území byla vyhodnocena jako území s narušenou kvalitou prostředí. Relativně dobrá kvalita byla vypočtena maximálně na desetině plochy a velmi dobrá kvalita prostředí nebyla zjištěna v žádném ze čtverců. Hodnoty LDV byly nejvyšší v zastavěných oblastech. V území pravděpodobně dobíhá vliv kyselých imisí z konce minulého století a výskyt acidofilních lišejníků, především *Lecanora conizaeoides*, je v oblasti poměrně hojný, i když vykazuje známky ústupu. Na hodnoty LDV mají kromě prokazatelně signifikantního vlivu zaznamenaných proměnných (Obrázek 28, Obrázek 29, Obrázek 30) vliv i konkrétní lokální podmínky,

tedy rozsah používání fosilních paliv, působení lokálních znečišťovatelů, přítomnost farem s chovem dobytka, blízkost komunikací a ostatní faktory environmentálního stresu. K vysokým hodnotám v zastavěných oblastech přispívá pravděpodobně kombinace dobíhajícího vlivu SO<sub>2</sub>, jeho podpora ze spalování fosilních paliv v zastavěných oblastech a zároveň obohacování prostředí dusíkem, který vede k nárůstu nitrofilních společenstev lišejníků.

Na jasanech byly nameřeny tyto hodnoty (Tabulka 8) diverzity lišejníkových druhů podle metodiky LDV: na jednom stromě max. 76 a min. 4. Průměrně byla spočítána hodnota LDV na jeden strom 34,72 a tento údaj je shodný s průměrem hodnoty LDV na čtverec. Maximální hodnota LDV ve čtvercích byla spočítána na 64,5 a minimální 5,5.

Na dubech byly nameřeny tyto hodnoty diverzity lišejníkových druhů podle metodiky LDV: na jednom stromě max. 73 a min. 2. Průměrně byla spočítána hodnota LDV na jeden strom 28,15 a tento údaj je shodný s průměrem hodnoty LDV na čtverec. Maximální hodnota LDV ve čtvercích byla spočítána na 65 a minimální 2,5.

Tabulka 8 – Porovnání diverzity lišejníkových druhů podle metodiky LDV

Porovnání obou forofytů:	Jasany	Duby
Počet zaznamenaných druhů	34	26
Počet druhů na strom max.	12	9
Počet druhů na strom min.	2	1
Průměrný počet zaznamenaných druhů na strom	5	4
Hodnota LDV na strom max.	76	73
Hodnota LDV na strom min.	4	2
Průměrná hodnota LDV na strom	34,72	28,15
Hodnota LDV na čtverec max.	64,5	65
Hodnota LDV na čtverec min.	5,5	2,5
Průměrná hodnota LDV na čtverec	34,72	28,15

Zdroj: vlastní zpracování

Při vyhodnocení biodiverzity pomocí metody LDV byla použita stupnice (Tabulka 9) navržená D. Svobodou (SVOBODA 2003) pro Českou republiku vyjma horských oblastí.



Tabulka 9 – Stupnice hodnocení LDV pro ČR

Zóna	Hodnota LDV	Kvalita prostředí
1.	<20	špatná
2.	20 – 40	narušená
3.	40 – 60	střední
4.	60 – 80	relativně dobrá
5.	>80	velmi dobrá

Zdroj: SVOBODA (2003), vlastní zpracování

Při porovnání výše uvedené stupnice s výsledky (Tabulka 10) metody Lichen diversity value provedené na jasanech jsou k dispozici tyto výsledky:

Hodnota LDV <20 byla vypočtena na 10 čtvercích, které představovaly 20 % studovaného území.

Hodnota LDV 20–40 byla vypočtena na 21 čtvercích, které představovaly 42 % studovaného území.

Hodnota LDV 40–60 byla vypočtena na 14 čtvercích, které představovaly 28 % studovaného území.

Hodnota LDV 60–80 byla vypočtena na 5 čtvercích, které představovaly 10 % studovaného území.

Hodnota LDV >80 nebyla vypočtena ani na jednom čtverci.

Při použití metody LDV na dubech byly zjištěny tyto hodnoty:

Hodnota LDV <20 byla vypočtena na 17 čtvercích, které představovaly 34 % studovaného území.

Hodnota LDV 20–40 byla vypočtena na 26 čtvercích, které představovaly 52 % studovaného území.

Hodnota LDV 40–60 byla vypočtena na 5 čtvercích, které představovaly 10 % studovaného území.

Hodnota LDV 60–80 byla vypočtena na 2 čtvercích, které představovaly 4 % studovaného území.

Hodnota LDV >80 nebyla vypočtena na žádném ze čtverců.

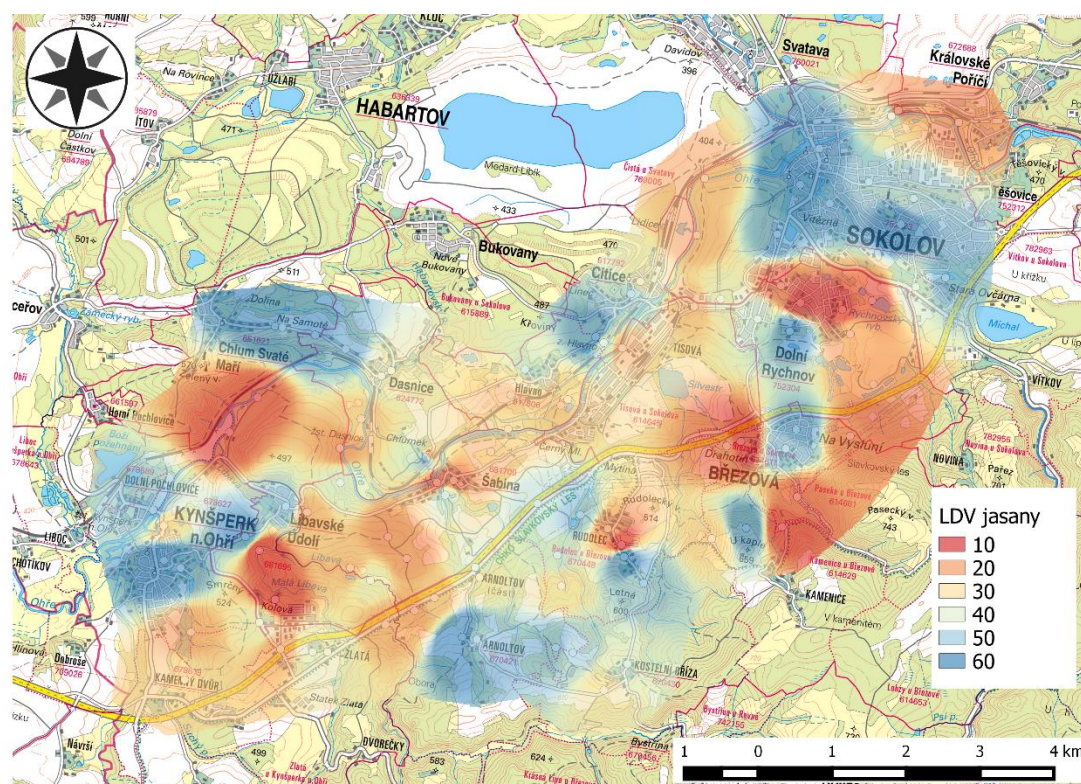
Tabulka 10 – Hodnoty LDV ve čtvercích studovaného území

Hodnota LDV	Kvalita prostředí	jasany		duby	
		Počet čtverců	%	Počet čtverců	%
<20	špatná	10	20	17	34
20–40	narušená	21	42	26	52
40–60	střední	14	28	5	10
60–80	relat.dobrá	5	10	2	4
>80	velmi dobrá	0	0	0	0

Zdroj: SVOBODA (2003), vlastní zpracování

Metoda IDW umožňuje grafické znázornění (Obrázek 22) výsledků biomonitoringu pomocí metody LDV.

Obrázek 22 – Mapa hodnot LDV platných pro jasany při použití metody IDW

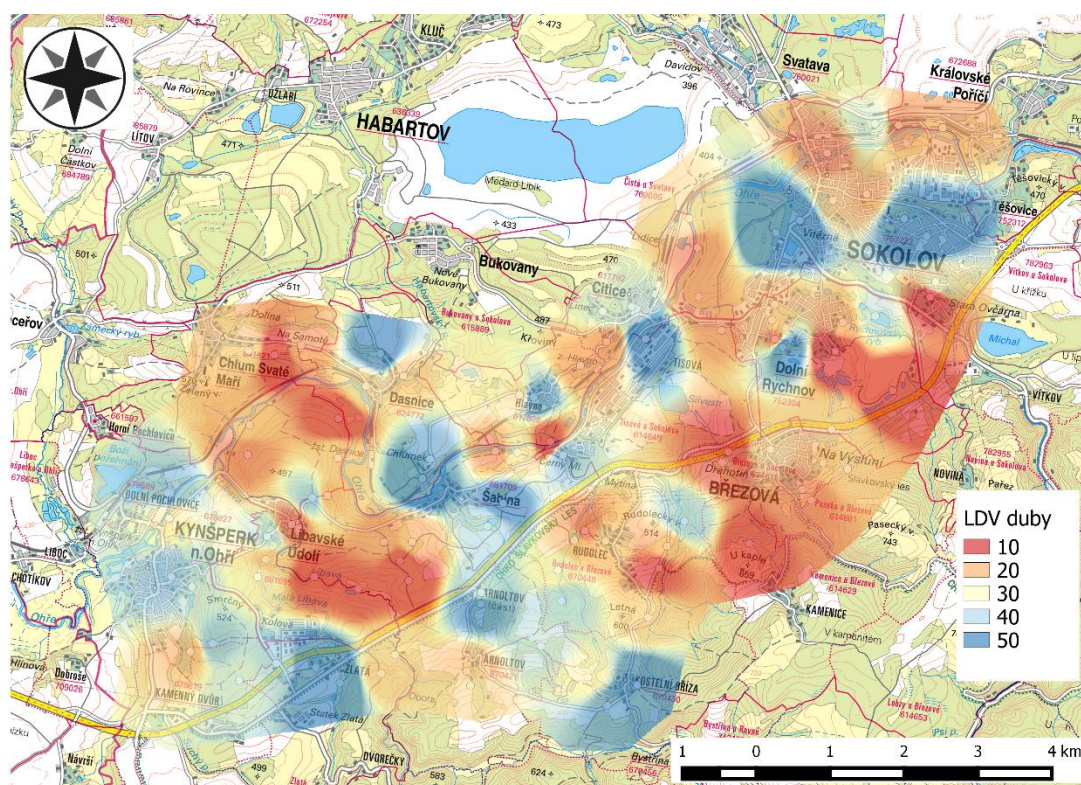


Z mapky je možno vyčíst prostorové rozložení hodnot LDV na jasaněch od míst s nejnižší hodnotou k místům s hodnotou nejvyšší. Z mapky je zřetelné, že nejvyšší hodnoty LDV byly naměřeny ve čtvercích v centru největšího města studované oblasti i druhého největšího města (Sokolov, Kynšperk), dále v oblasti mezi obcí Chlum sv. Maří a obcí Dasnice, dále podle komunikace spojující Sokolov s obcí Březová a která vede podél obce Dolní Rychnov. Další významně vyšší hodnoty byly naměřeny opět



v blízkosti obcí, tentokrát v Arnoltově a Citicích. Poměrně nízké hodnoty byly naměřeny bezprostředně podél páteřní komunikace celé oblasti, zplodiny z dopravy pravděpodobně ovlivňují spíše lichenofloru v blízkém okolí, než v těsné blízkosti komunikace. Nejmenší hodnoty LDV byly zjištěny v oblastech s lesními porosty, konkrétně mezi Libavským Údolím a Arnoltovem. Zde je nízká hodnota LDV pravděpodobně způsobena plošným nedostatkem světla, ačkoli v přímém zástínu se žádný ze studovaných kmenů nenacházel.

Obrázek 23 – Mapa hodnot LDV platných pro duby při použití metody IDW

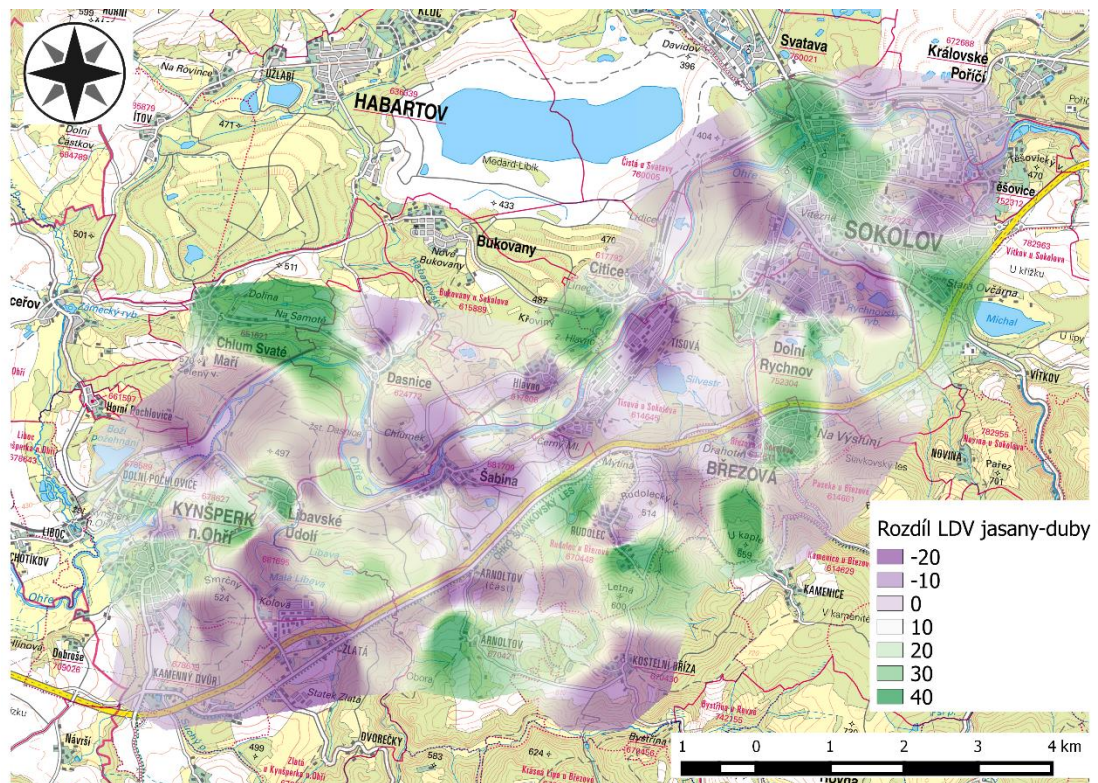


Z mapky prostorového rozložení hodnot LDV na dubech je zřetelné, že nejvyšší hodnoty byly zjištěny opět v místech s nejhustějším osídlením, tedy v okolí Sokolova, poměrně vysoké hodnoty jsou i v Kynšperku nad Ohří. Vyšší hodnoty byly naměřeny v Dasnicích (východně od silnice Chlum sv. Maří – Dasnice), v Kostelní Bříze (východně od Arnoltova), na Zlaté (jihovýchodně od Kynšperka). Nejnížší hodnoty byly opět naměřeny v zalesněných oblastech. Nejvyšší hodnota LDV na dubech byla naměřena opět v centru Sokolova, nejmenší hodnota pak jižně od Sokolova, v místech s rozsáhlým lučním porostem. Tato hodnota byla nejmenší pro celou studii.

Grafické znázornění výsledků biomonitoringu pomocí metody LDV lze dobře porovnat i zjištěné rozdíly mezi duby a jasanů. Hodnoty se u studií provedených na

obou typech foforytů lišily a byly způsobené rozdílným pH borky, která je u dubu nižší než u jasanu. S tím souvisí i rozdílné působení ostatních faktorů na složení lišejníkůvých společenstev. Zdá se, že na rozdíly mezi duby i jasanými nemá vliv těsná přítomnost frekventované komunikace, ale spíše hustota osídlení a s tím spojené vytápění fosilními palivy. V lesních porostech je zřetelná větší diverzita lišejníkůvých druhů ve prospěch dubů. Výrazný rozdíl je v lokalitě Chlum sv. Maří – Dasnice, kde byly jasanové součásti alejového porostu a duby se nacházely na okraji lesa. Nitrifikace prostředí s největší pravděpodobností ovlivňuje především složení lišejníkůvých společenstev na stromech s neutrální borkou a mění složení lišejníkůvých druhů ve prospěch nitrofilních společenstev více než u stromů s kyselou borkou, kde není tento posun až tak zřetelný.

Obrázek 24 – Mapa rozdílů hodnot LDV mezi duby a jasanými s použitím metody IDW



### 6.5.3 VLIV FAKTORŮ PROSTŘEDÍ NA HODNOTU LDV

Zobecněné lineární modely testující vliv proměnných na počet druhů a hodnoty LDV prokázaly, že všechny proměnné mají signifikantní vliv na hodnotu LDV, zatímco počet druhů je signifikantně ovlivněn pouze druhem dřeviny a expozicí.

## Terms added sequentially (first to last)

### GLM LDV

	Df	Deviance	Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL				199	1938.2	
zastavba	1	181.843		198	1756.4	< 2.2e-16 ***
expozice	1	59.839		197	1696.5	1.029e-14 ***
borka	2	57.721		195	1638.8	2.925e-13 ***
drevina	1	65.013		194	1573.8	7.441e-16 ***
prumer	1	5.264		193	1568.5	0.02177 *

### GLM počet druhů

Analysis of Deviance Table

Model: poisson, link: log

Response: pocet

Terms added sequentially (first to last)

	Df	Deviance	Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL				199	169.04	
drevina	1	7.0127		198	162.02	0.008093 **
expozice	1	5.8759		197	156.15	0.015349 *

---

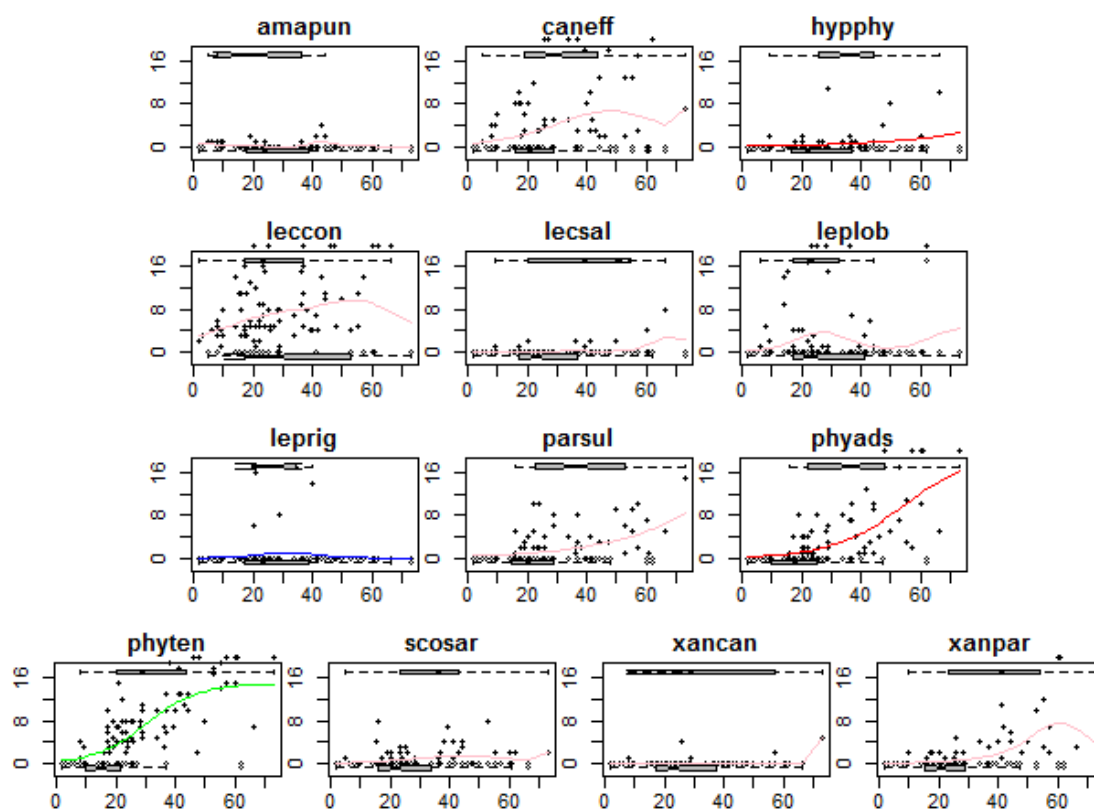
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Křivky vztahu (Obrázek 25) jednotlivých druhů na dubech k hodnotám LDV (osa x), abundance druhů (osa y), graf je doplněn krabicovým grafem hustoty rozdělené abundance jednotlivých druhů na gradientu LDV, bodově jsou znázorněny jednotlivé výskyty druhů, křivky ukazují trendy odpovědí druhů na proměnnou LDV, zobrazeny pouze druhy s frekvencí vyšší než 5.

Abundance druhů na dubech vzhledem k hodnotě LDV stoupala především u nitrofilních druhů *Physcia adscendens* a *Physcia tenella*. U acidofilního *Lecanora conizaeoides* křivka stoupá k hodnotě LDV 50, při vyšších hodnotách klesá a dokazuje tak ústup nitrofilním druhům.



Obrázek 25 – Křivky vztahu výskytu jednotlivých druhů k hodnotám LDV – duby

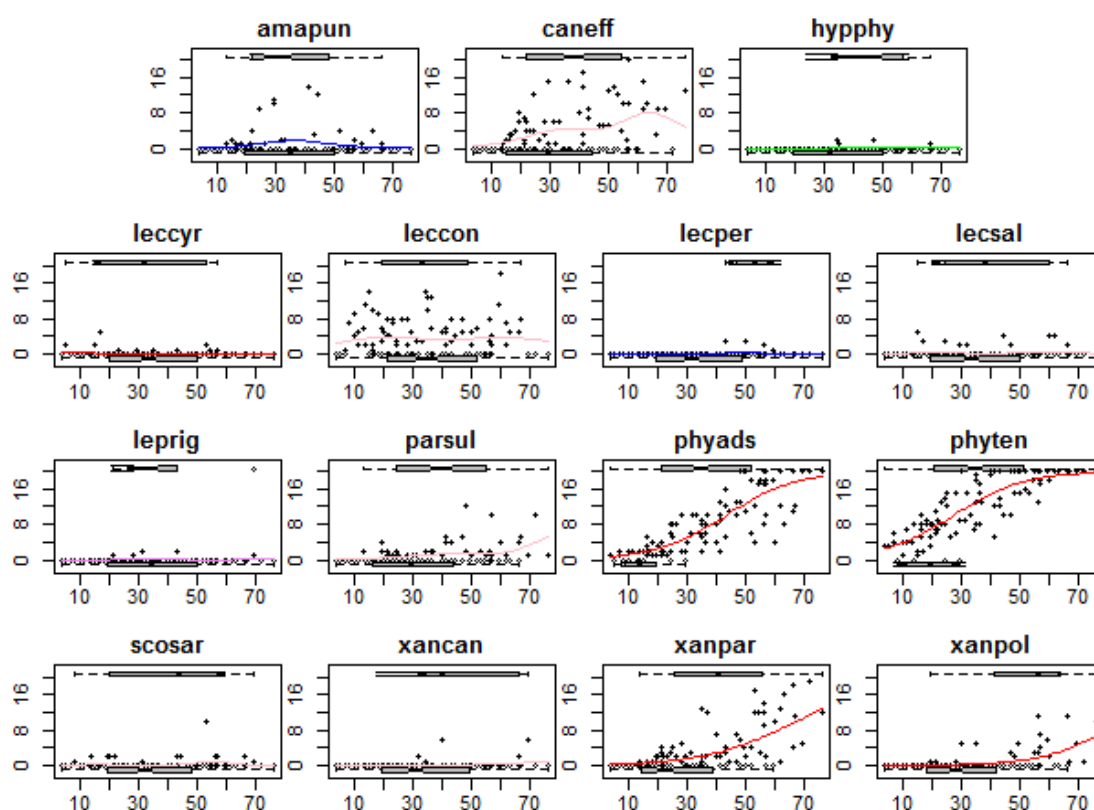


Zdroj: vlastní zpracování

Křivky vztahu (Obrázek 26) jednotlivých druhů na jasaněch k hodnotám LDV (osa x), abundance druhů (osa y), graf je doplněn krabicovým grafem hustoty rozdělení abundance jednotlivých druhů na gradientu LDV, bodově jsou znázorněny jednotlivé výskyty druhů, křivky ukazují trendy odpovědí druhů na proměnnou LDV, opět byly zobrazeny pouze druhy s frekvencí vyšší než 5.

Křivky vztahů abundance jednotlivých druhů vzhledem k hodnotám LDV na jasaněch stoupá stejně jako u dubů především u nitrofilních druhů *Physcia adscendens*, *Physcia tenella*, *Xanthoria parietina* a *Xanthoria polycarpa*. Abundance acidofilního *Lecanora conizaeoides* s vyšší hodnotou LDV nestoupá. Lze tedy konstatovat, že čím vyšší byla četnost lišejníkových druhů na jednotlivých kmenech a jejich abundance, tím pravděpodobněji se mezi nimi vyskytovaly druhy nitrofilní.

Obrázek 26 – Křivky vztahu výskytu jednotlivých druhů k hodnotám LDV – jasaný



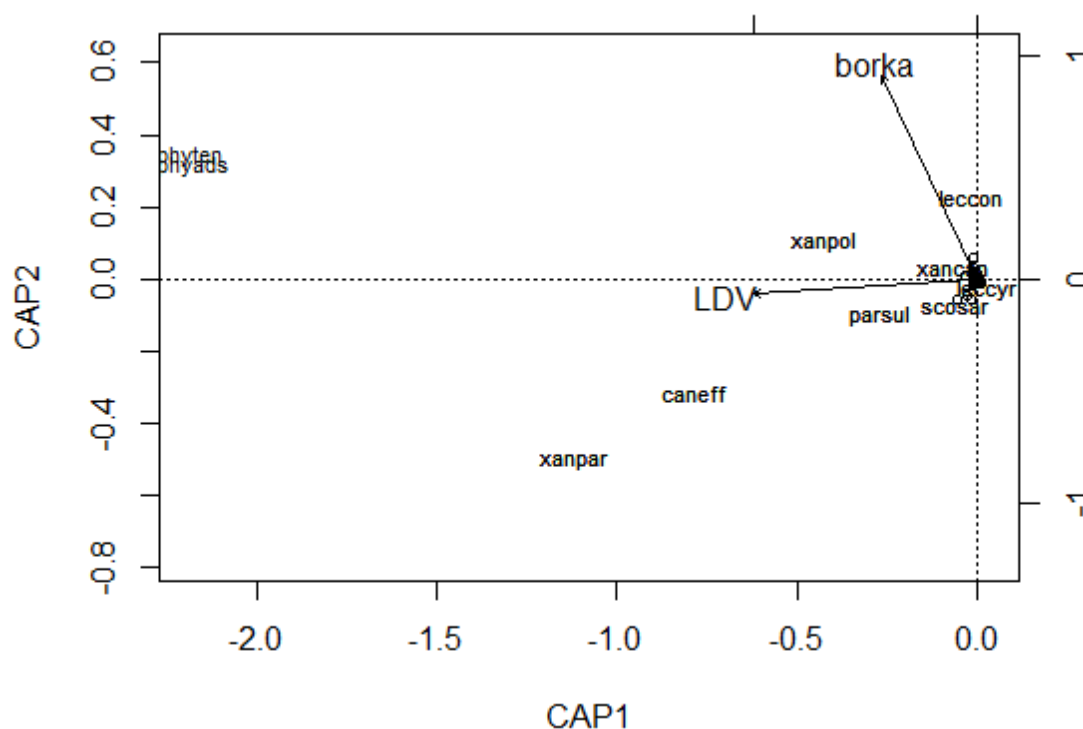
Zdroj: vlastní zpracování

Redundanční analýza s Bray-Curtisovou nepodobností ukázala signifikantní vliv na druhové složení pouze u LDV a druhu dřeviny. Vliv LDV na druhové složení na dubech v samostatné analýze vysvětlil 12 % celkové variability ( $p < 0.001$ ), ostatní proměnné nebyly signifikantní. U jasanů se kromě vlivu LDV (čistý vliv 18,82 %,  $p < 0.001$ ) projevil také signifikantní vliv stáří borky (čistý vliv 1,76 %,  $p < 0.05$ ). Porovnání obou dřevin z hlediska výskytu druhů (Tabulka 5) je diskutováno dále.

Ordinační diagram z db-RDA na jasaněch (Obrázek 27) zobrazuje pouze druhy vykazující zřetelný vztah k proměnným.

Vzhledem k častému výskytu vzácných druhů je rozdíl ve výskytu lišejníků na obou typech dřeviny uveden i výčtem v kapitole 6.2 – Seznam nalezených druhů a v kapitole 6.4. – Porovnání jednotlivých druhů lišejníků podle četnosti výskytu.

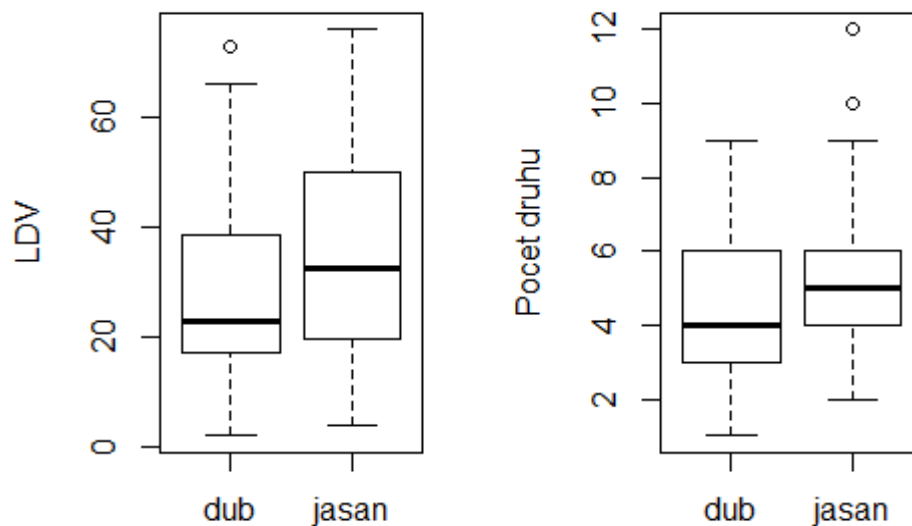
Obrázek 27 – Ordinační diagram RDA – jasan



Zdroj: vlastní zpracování

Krabicové diagramy (Obrázek 28) znázorňují vliv druhu dřeviny na počet lišejníkových druhů a vliv druhu dřeviny na hodnotu LDV. Druh dřeviny signifikantně ovlivňuje hodnotu LDV i počet druhů. Obě hodnoty jsou vyšší u jasanů.

Obrázek 28 – Krabicové diagramy znázorňující vliv druhu dřeviny na LDV a počet druhů

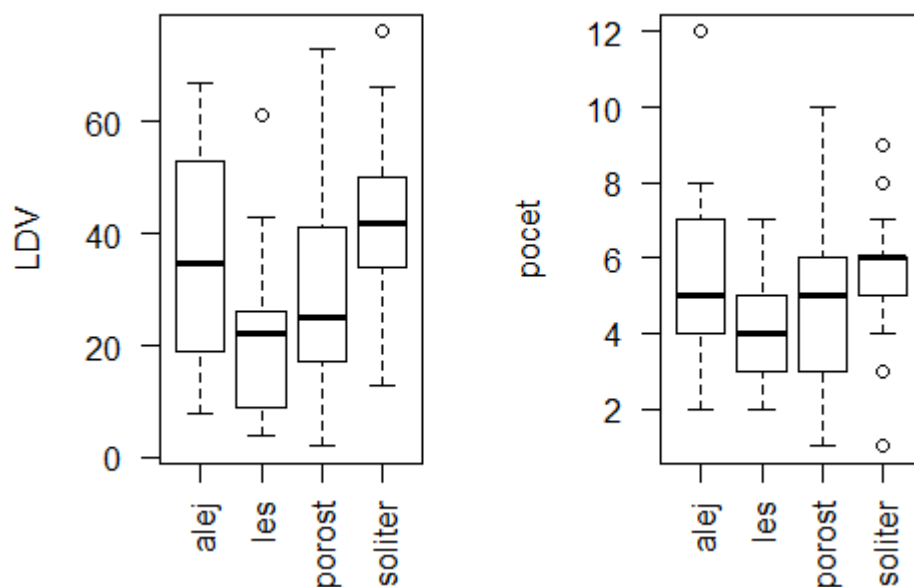


Zdroj: vlastní zpracování



Krabicové diagramy (Obrázek 29) znázorňují signifikantní vliv proměnné expozice na hodnotu LDV. Nejvyšší hodnoty LDV byly zjištěny u solitérních jedinců, nejnižší v lesních porostech a stejný vliv má proměnná expozice i na počet druhů.

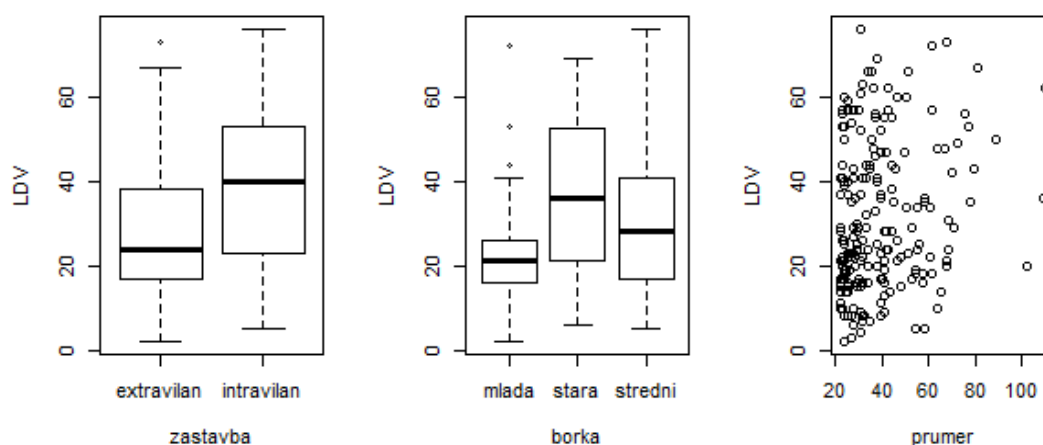
Obrázek 29 – Krabicové diagramy znázorňující vliv expozice na LDV a počet druhů



Zdroj: vlastní zpracování

Krabicové diagramy (Obrázek 30) znázorňují vliv proměnných na hodnoty LDV a proměnné zástavba, borka i průměr mají na hodnotu LDV signifikantní vliv. Vyšší hodnoty LDV byly zjištěny v intravilánech obcí a u kmenů se starou borkou.

Obrázek 30 – Krabicové diagramy znázorňující vliv proměnných na LDV



Zdroj: vlastní zpracování

## 6.6 VÝSKYT JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ

Komentáře k vybraným druhům jsou porovnáním excerpce z literatury a vlastního pozorování. Mapové výstupy byly pořízeny na podkladových mapách CENIA a zpracovány v programu ArcGIS 10.2.

### *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins et Scheid.

Korovitý lišejník, stélka je světlá, šedá, tmavě šedá až do zelena. Povrch je pokryt množstvím apothecií. Apothecia mají černou barvu a zpočátku jsou plochá, později vyklenutá. Lišejník je hojně rozšířen v Evropě i ČR a vyskytuje se v různých nadmořských výškách včetně vysokohorských poloh. Patří k nitrofilním druhům a dobře snáší eutrofizované substráty, odolává i vyšším koncentracím SO<sub>2</sub>. Ve studovaném území se nacházel na 20 % vybraných jasanů a 13 % dubů (Obrázek 31, Obrázek 32).

### *Anisomeridium polypori* (Ellis et Everh.) M. E. Barr

Nenápadný korovitý lišejník s bělavě nebo světle šedou stélkou, zřídka až do zelena. Roste především ve vlhčích místech – na hrubé borce jilmů a bezů, často také na jasanech. Je tolerantní k atmosférickému znečištění a bývá nalezen i v mírně znečištěných oblastech a je kosmopolitně rozšířen. Lišejník byl nalezen na 2 % vybraných jasanů a žádném z vybraných dubů (Obrázek 33).

### *Bacidina delicata* (Larbal. ex Leight.) V. Wirth et Vězda

Korovitý lišejník se světle zelenou stélkou, mírně sorediózní. Apothecia bývají bílá, béžová nebo světle oranžová. Vyskytuje se především na zastíněných stanovištích, na skalách a zdivech, na borce stromů spíše ojediněle. Je kosmopolitně rozšířen. Lišejník byl nalezen na žádném ze snímkovaných jasanů a na 1 % vybraných dubů (Obrázek 34).

### *Candelariella efflorescens* (R. C. Harris & W. R. Buck)

Korovitý lišejník se stélkou tvořenou žlutými nebo žluto-zelenými, hustě agregovanými granulemi. Bývá rozšířen na živinami obohacených substrátech. Ve sledovaném území se vyskytoval nejčastěji ve společnosti dalších nitrofilních druhů a většinou pokrýval celou snímkovanou plochu stromu. Apothecia nebyla zaznamenána. Nalezen byl na 54 % jasanů a 43 % dubů (Obrázek 35, Obrázek 36).

***Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau**

Lišejník žlutozelené nebo žluté barvy, s korovitou stélkou, roztroušeně nebo nahloučeně granulózní. Apothecia někdy chybějí. Často tvoří celé pruhy na borce stromů na dobře osvětlených stanovištích, především na javorech, jilmech a jasanech a především tam, kde je obohacení prostředí dusíkatými látkami slabší. Ve studované oblasti se nacházel na 2 % jasanů a žádném z vybraných dubů (Obrázek 37).

***Evernia prunastri* (L.) Ach.**

Zelenošedý až světle zelenožlutý lupenitý, někdy při přirůstání v jednom místě i keříčkovitý lišejník. Stélky mohou dorůstat až do 10 cm. Na atmosféricky znečištěných stanovištích bývají stélky malé, s pokroucenými laloky. Ve studovaném území byly nalezeny stélky jen do velikosti 2 cm. Druh je hojně kosmopolitně rozšířený, se širokou ekologickou amplitudou. Tento druh byl nalezen na 2 % snímovaných jasanů a 3 % dubů (Obrázek 38, Obrázek 39).

***Halecania viridescens* Coppins et P. James**

Korovitý lišejník se světle zelenou, zelenou až hnědou stélkou, velmi křehký. Apothecia se vyskytují zřídka. Vykytuje se na mírně živinami obohacených substrátech – na větvičkách, větvích i na borce stromů, nejčastěji v lesích nebo na vlhčích stanovištích. Ve studované oblasti se nacházel na 1 % snímovaných jasanů a žádném z vybraných dubů (Obrázek 40).

***Hypocenomyce scalaris* (Ach.) M. Choisy**

Lišejník se šupinatou stélkou šedavě zelené, olivově hnědé až tmavě hnědé barvy. Druh je kosmopolitně rozšířený, roste především na kyselých substrátech včetně dřeva a borky stromů, skal, náhrobních kamenů a cihel. Tento druh byl nalezen na žádném z vybraných jasanů a pouze na 1 % dubů (Obrázek 41).

***Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.**

Acidofilní lišejník s lupenitou stélkou, světle zelenošedé až tmavší zelené barvy. Spodní část lišejníků je bez rhizin, tmavě hnědé až černé barvy. Lišejník je velmi tvarově variabilní, laloky mohou být až ploché a jsou na povrchu lesklé. Lišejník roste na kyselých substrátech – na borce stromů, oumřelém dřevě, plotech apod. je tolerantní k atmosférickému znečištění kyselými imisemi. Ve sledovaném území byl zaznamenán epifytický výskyt zřídka, exempláře byly velmi málo sorediózní, bez

apothecií. Na studovaných forofytech byl zaznamenán hojný výskyt mimo snímkanou část stromu, především na odumřelých větvičkách. Lišejník byl v rámci použité metodiky zaznamenán na 4 % jasanů a 17 % dubů (Obrázek 42, Obrázek 43).

***Lecania cyrtella*** (Ach.) Th. Fr.

Korovitý lišejník s velmi tenkou, bílou až světle šedou stélkou i zelenošedou barvou. Vyskytuje se na živinami obohacené borce stromů, především ve společnosti lišejníků rodu *Xanthoria* na bezech, javorech a jasanech. Ve studované oblasti se nacházel na 10 % jasanů a 3 % dubů (Obrázek 44, Obrázek 45).

***Lecania naegelii*** (Hepp) Diederich et Van den Boom

Korovitý lišejník se světle žlutou až žlutobílou stélkou. Vyskytuje se převážně na živinami obohacených substrátech – větvích a borce stromů, ve společnosti lišejníků rodu *Xanthoria*- Tento druh byl nalezen na 2 % studovaných jasanů a 1 % dubů (Obrázek 46, Obrázek 47).

***Lecidella elaeochroma*** (Ach.) M. Choisy

Korovitý lišejník s hladkou a rovnou stélkou, na jasně osvětlených místech se žlutošedou až žlutozelenou barvou. Ve stínu může barva přecházet do šedozele. Stejně variabilní je i barva apothecií, která přechází podle míry osvětlení od modré po černou. Druh je kosmopolitně rozšířený a je mírně tolerantní k atmosférickému znečištění. Ve studované oblasti se lišejník nacházel pouze na 1 % jasanů a na žádném ze zkoumaných dubů (Obrázek 48).

***Lecanora conizaeiodes*** Nyl. ex Cromb.

Korovitý acidofilní lišejník se stélkou šedozele barvy. Je velmi odolný proti atmosférickému znečištění a hojně rozšířený po celé Evropě, ve Středomoří vzácný. Nyní ustupuje nitrofilním druhům. Ve studovaném území byl nalezen na 59 % snímovaných jasanů a 82 % dubů (Obrázek 49, Obrázek 50).

***Lecanora chlarotera*** (Nyl).

Korovitý lišejník s krémovou, světle šedou stélkou a hojnými apothecií tmavě hnědé barvy s výraznými okraji. Rozšířený a běžný na hladkých, bohaté na živiny bohatých borkách stromů. Je charakteristickým raným kolonizátorem mladých, vysazených stromů v městském prostředí. Ve studovaném území tvořil lišejník vypouklé kolonie. Nalezen byl na 2 % jasanů a 3 % dubů (Obrázek 51, Obrázek 52).

***Lecanora leptyroides* (Nyl.) Degel.**

Korovitý lišejník se světlou a šedou stélkou. Ve studované oblasti se nacházel na 2 % jasanů a na žádném z vybraných dubů (Obrázek 53).

***Lecanora persimilis* (Th. Fr.) Nyl.**

Korovitý lišejník s nepravidelnou, světle až tmavě šedou stélkou, spíše vtroušený mezi ostatní korovité druhy. Vyskytuje se především na neutrálních substrátech, na větvích a borkách jilmů, jasanů a bezů, v remízcích a na okrajích porostů. Tento druh byl nalezen na 4 % vybraných jasanů a na žádném z vybraných dubů (Obrázek 54).

***Lecanora pulicaris* (Pers.) Ach.**

Na rozdíl od předešlého druhu má tento korovitý lišejník kontinuální, jasně ohraničenou žlutošedou stélku. Je široce rozšířen a roste především na dřevě a borce listnatých i jehličnatých stromů. Ve studované oblasti se nacházel na 1 % jasanů a žádném ze snímkovaných dubů (Obrázek 55).

***Lecanora saligna* (Schrad.) Zahlbr.**

Korovitý lišejník se žlutošedou nepravidelnou stélkou. Malá apothecia se světle nebo tmavě červenohnědými disky a časté jsou též červeno-hnědé až černé pyknidie. Acidofilní druh, dává přednost kůře jehličnanů. Přesto byl ve zkoumaném území tento druh nalezen na 10 % jasanů a 9 % dubů (Obrázek 56, Obrázek 57).

***Lecanora subsaligna* M. Brand et Van den Boom**

Korovitý, dosud málo prozkoumaný lišejník rostoucí na kůře stromů. Pro tuto oblast se jedná o první sběr. Ve studované oblasti se nacházel na žádném ze snímkovaných jasanů a na 1 % dubů (Obrázek 58).

***Lepraria cf. incana* (L.) Ach.**

Korovitý lišejník s tenkou až práškovitou stélkou světle šedé až modrošedé barvy. Nejčastěji se vyskytuje na zastíněných místech na kyselějších substrátech. Ve studované oblasti se nacházel shodně na 1 % snímkovaných jasanů a 1 % dubů (Obrázek 59, Obrázek 60).

***Lepraria lobificans* auct.**

Korovitý druh s difuzní nebo jen neznatelně ohraničenou stélkou jasně světle zelené, namodrale bílé až světle modro-šedé barvy, měkké a houbovité textury. Jde

o kosmopolitní druh, který se vyhýbá velmi kyselým substrátům a lze jej nalézt na široké škále horninových substrátů, na dřevě a na borce stromů. Tento druh byl nalezen na 2 % jasanů a 27 % snímkovaných dubů (Obrázek 61, Obrázek 62).

***Lepraria rigidula*** (de Lesd.) Tønsberg

Korovitý lišejník s granulozní stélkou, trčící hyfy lze vidět pod lupou. Je silně sorediózní. Stélka může mít bělavěšedou, modrošedou až šedo zelenou barvu. Je kosmopolitně rozšířen, lze jej nalézt na borce různých stromů. Ve studované oblasti se nacházel na 5 % vybraných jasanů a 4 % dubů (Obrázek 63, Obrázek 64).

***Melanelixia glabra*** (Schaer.) O. Blanco et al.

Lupenitý lišejník s přisedlými nebo odstávajícími laloky, olivově zelené až tmavě olivově hnědé barvy, někdy nažloutlý nebo načervenalý, hladký někdy ale až pomačkané struktury. Druh je kosmopolitně rozšířen, lze jej nalézt především na borce stromů, zřídka na skalách. Tento druh byl nalezen na 1 % jasanů a na žádném ze zvolených dubů (Obrázek 65).

***Melanelixia subaurifera*** (Nyl.) O. Blanco et al.

Lišejník se stélkou růžicovitého tvaru, zelenohnědé až lehce načervenalé barvy, zcela přitisklý nebo se široké a ploché laloky na okrajích mohou zvedat. Ve studované oblasti se nacházel na 1 % dubů a na žádném ze snímkovaných jasanů (Obrázek 66).

***Micarea micrococca*** (Kørb.) Gams ex Coppins

Korovitý lišejník s granulozní světle zelenou, světle až tmavě šedo – zelenou stélkou. Lze jej nalézt na kyselějších substrátech – borce stromů a keřů, na pařezech, na odumřelém dřevě především v jehličnatých porostech. Tento druh byl nalezen na 1 % zvolených jasanů a 3 % dubů (Obrázek 67, Obrázek 68).

***Parmelia saxatilis*** (L.) Ach.

Neutrofilní druh s lupenitou stélkou dorůstající ve vhodných podmínkách značné velikosti. Od ostatních zástupců rodu *Parmelia* ho odlišují bílé sítě žil a četnost černých isidií na povrchu stélky. Ve studovaném území nebyla na lišejníku zaznamenána žádná apothecia. Vyskytoval se velmi výjmečně a to na 1 % snímkovaných jasanů a na žádném z dubů (Obrázek 69).

***Parmelia sulcata*** (Taylor).

Lišejník s lupenitou, modro-šedou a u starých jedinců až bronzovou stélkou, s výraznými, bílá **pseudocyphella** tvořit síť lalůček na povrchu. Na starších stélkách se mohou rozvinout do nepravidelných, laminárních soralií. Lupenité stélky tohoto druhu lišejníku byly největší ze všech zaznamenaných druhů. Druh je rozšířený a běžný na větvích a kmenech stromů, méně často na skalách. Tento druh byl nalezen na 41 % jasanů a 36 % dubů (Obrázek 70, Obrázek 71).

***Phaeophyscia nigricans*** (Harm.) Moberg

Lupenitý lišejník nepravidelně zaoblenou stélkou, šedohnědé nebo hnědé barvy (světlehnědá je vzácná). Vyskytuje se na borce stromů, méně často i na skalách. Lišejník byl nalezen na 3 % ze zvolených jasanů a 1 % dubů (Obrázek 72, Obrázek 73).

***Phaeophyscia orbicularis*** (Neck.) Moberg.

Nitrofilní lišejník s kruhovitou stélkou. Světlešedé, tmavěšedé a v případě, kdy je mokrá i zelenohnědé barvy. Bývá řásto nalezen ve společnosti lišejníků rodu *Xanthoria* a *Physcia* a dokazuje tak spolu s nimi prostředí obohacené dusíkem. Všechny nálezy bez apothecií. Lišejník se nacházel se na 2 % jasanů a na žádném z dubů (Obrázek 74).

***Phlyctis argena*** (Spreng.) Flot.

Lišejník s korovitou stélkou, většinou hladkou a tenkou, pokud je stélka silnější, bývá hrubá a popraskaná. Mívá světle zelenou, bílou nebo šedo-zelenou barvu. Apothecia jsou vzácná. Tento druh byl nalezen na 1 % jasanů a na žádném ze snímkaných dubů (Obrázek 75).

***Physcia adscendens*** (Fr.) H. Olivier.

Lupenitý nitrofilní lišejník šedé až modrošedé barvy s brvami černé barvy. Lalůčky bývají nafouklé. Ve studovaném území patřil k nejhojnějším lišejníkům a vyskytoval se ve společnosti zástupců rodu *Xanthoria* a druhu *Physcia tenella*, se kterou se často mísil a je tak jedním z ukazatelů obohacení prostředí dusíkem. Ve studovaném území vždy bez apothecií, ale poměrně sorediozní. Vyskytoval se na 92 % z vybraných jasanů a na 50 % dubů (Obrázek 76, Obrázek 77).

***Physcia tenella* (Scop.) DC.**

Také se jedná o malý, lupenitý nitrofilní lišejník s tmavými brvami na konci laloků, šedavé barvy. Oproti *P. adscendens* je méně robustní a na koncích laloků plošší. *Physcia tenella* byl nejčtetnějším lišejníkem ve studovaném území – vyskytoval se na 96 % ze všech snímkovaných jasanů a na 72 % ze všech snímkovaných dubů (Obrázek 78, Obrázek 79). Byl dominantním lišejníkem v městských oblastech a spolu s lišejníky rodu *Xanthoria*, druhu *Phaeophyscia orbicularis* a *Physcia ascendens* je indikátorem obohacení substrátu dusíkem.

***Ramalina* sp.**

Ramalina je rod keříčkovitých lišejníků. Jenotlivé druhy těchto lišejníků jsou různě citlivé na atmosférické znečištění. Vzhledem k velikosti nálezu nemohl být druh přesně určen. Zástupce byl nalezen na 1 % dubů a na žádném z jasanů (Obrázek 80).

***Scoliciosporum sarothamni* (Vain.) Vězda**

Korovitý lišejník s nekontinuální stélkou šedožluté až šedé barvy. Vyskytuje se na větvích a borce stromů různých druhů. Tento druh byl nalezen na 14 % vybraných jasanů a 29 % dubů. Ve čtverci č. 7 byl druh zjištěn jako plodný (Obrázek 81, Obrázek 82).

***Strangospora pinicola* (A. Massal.) Körb.**

Korovitý lišejník s tenkou stélkou světle až tmavě šedé nebo šedo-hnědé barvy. Výskyt je častý na borce listnatých stromů, zejména bezů nebo jasanů, často v blízkosti pozemních komunikací nebo v otevřených stanovištích, zřídka na jehličnatých stromech a lokálně ve znečištěných oblastech. Ve studované oblasti se nacházel na 1 % snímkovaných jasanů a 0 % dubů (Obrázek 83).

***Usnea* sp.**

Rod *Usnea* je rod keříčkových lišejníků, velmi citlivých na atmosférické znečištění. Vzhledem k malé velikosti nálezů nemohl být druh přesně určen. Ve studované oblasti se nacházel na 2 % snímkovaných jasanů a 1 % dubů (Obrázek 84, Obrázek 85).

***Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr.**

Lupenitý lišejník s drobnými žlutooranžovými laloky, rhiziny většinou chybí. Roste na dobře osluněných místech, preferuje substráty bohaté na živiny, roste na kmenech,



skalách, odumřelém dřevě. Nálezy bez apothecií, stélka tvoří vztyčené shluky. Ve studované oblasti se vyskytoval velmi zřídka, pouze na 5 % jasanů a 5 % dubů (Obrázek 86, Obrázek 87).

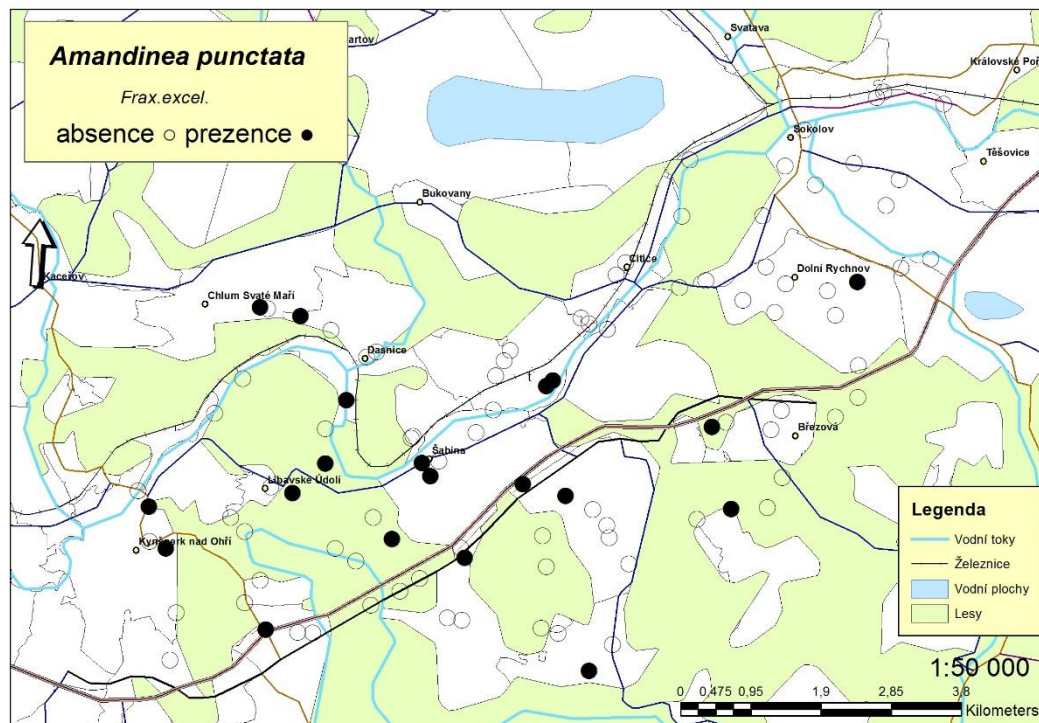
***Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.**

Žlutý až žlutooranžový lupenitý lišejník. Apothecia ve tvaru oranžových disků byla nalezena na většině jedinců. V zastíněných místech intenzita barvy lišejníku klesala. Ve společnosti ostatních nitrofilních druhů je také indikátorem obohacení prostředí dusíkem. Ve studované oblasti se nacházel na 56 % jasanů a 31 % dubů (Obrázek 88, Obrázek 89).

***Xanthoria polycarpa* (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber**

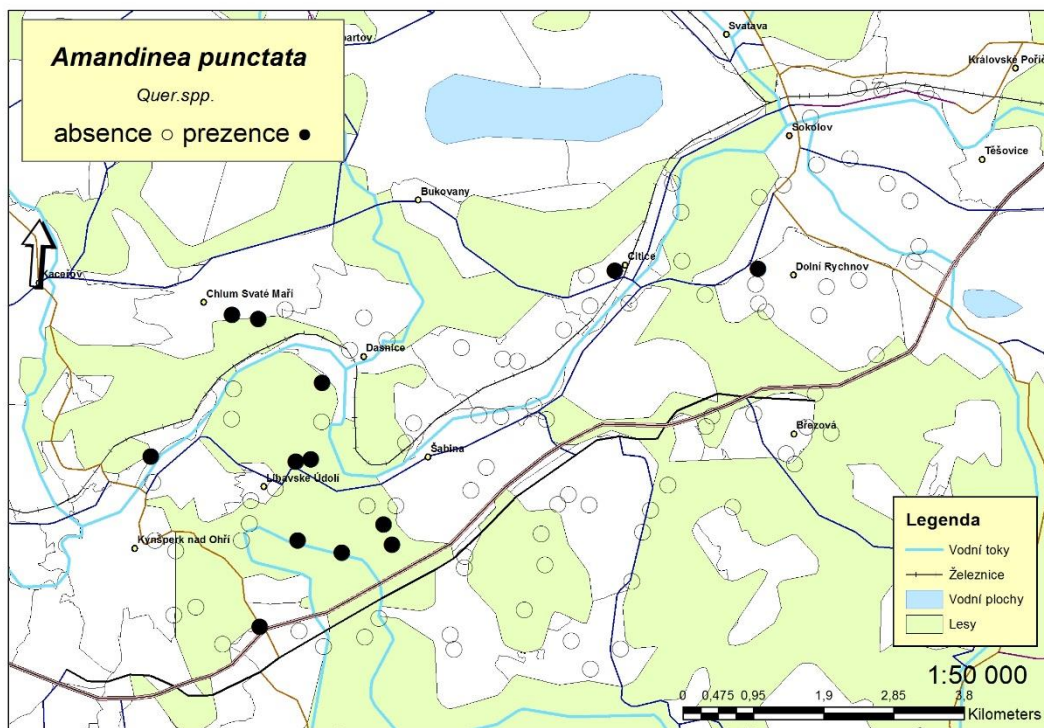
Také lupenitý nitrofilní lišejník výrazné žluté až žlutooranžové barvy. Méně častý než *X. parietina*. Apothecia jsou na lišejníku hojná a také výrazně oranžová. Stélky nedorůstaly větších velikostí. Ve studované oblasti se nacházel na 20 % jasanů a nenacházel se na žádném z dubů (Obrázek 90).

Obrázek 31 – Výskyt lišejníku *Amandinea punctata* na vybraných jasanech ve studovaném území



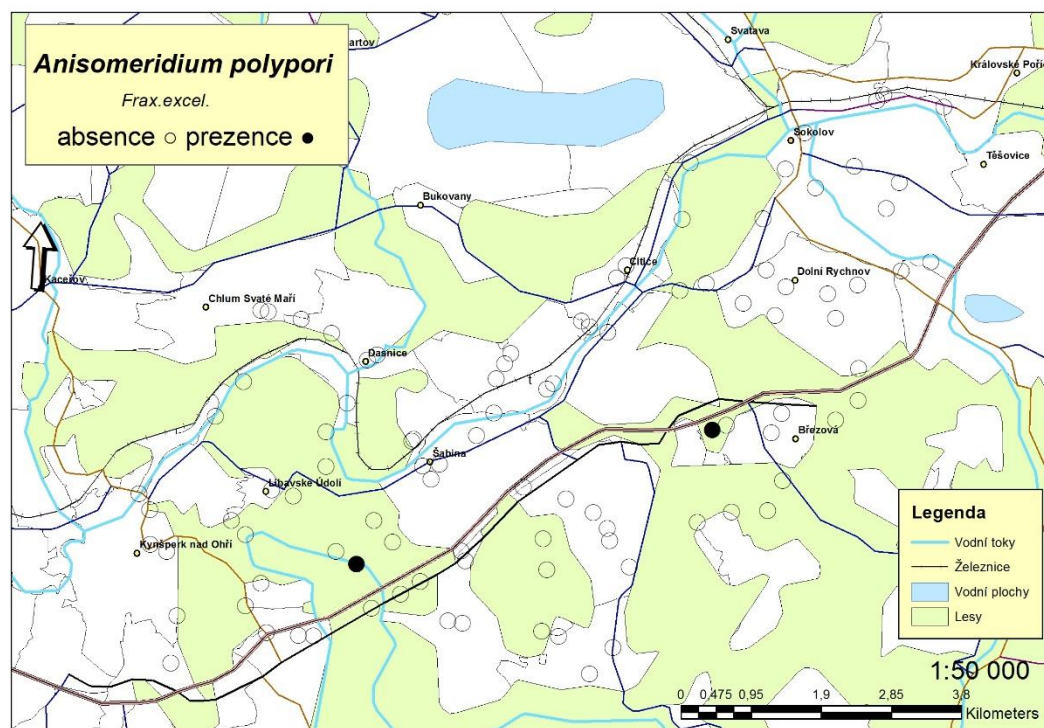
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 32 – Výskyt lišejníku *Amandinea punctata* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

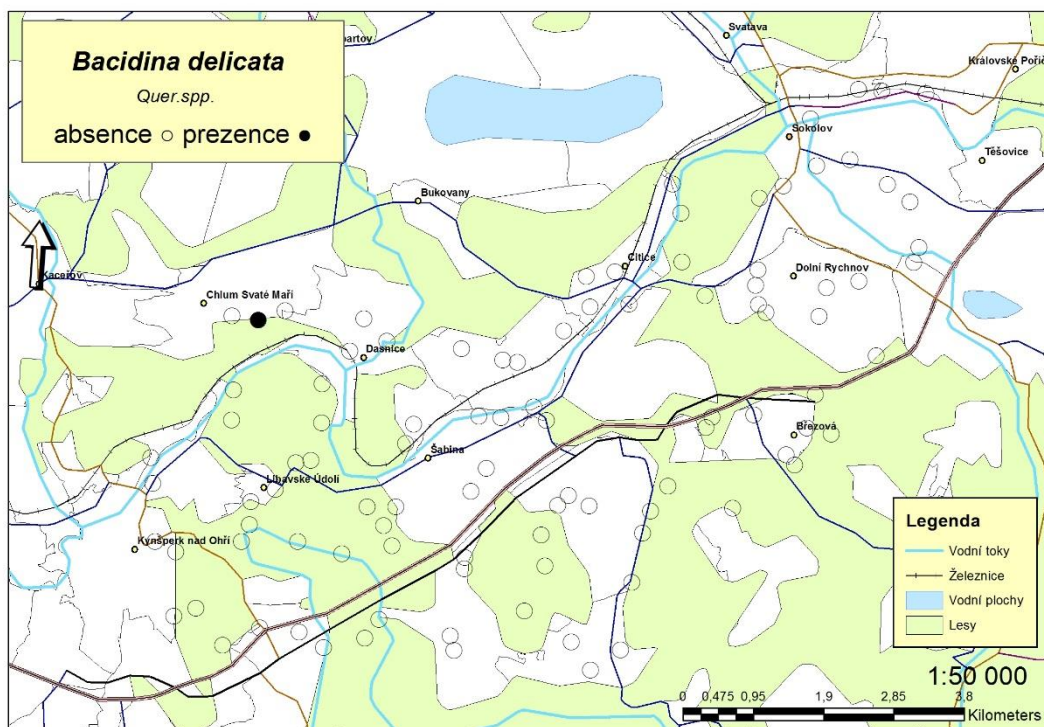
Obrázek 33 – Výskyt lišejníku *Anisomeridium polypori* na vybraných jasaněch ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

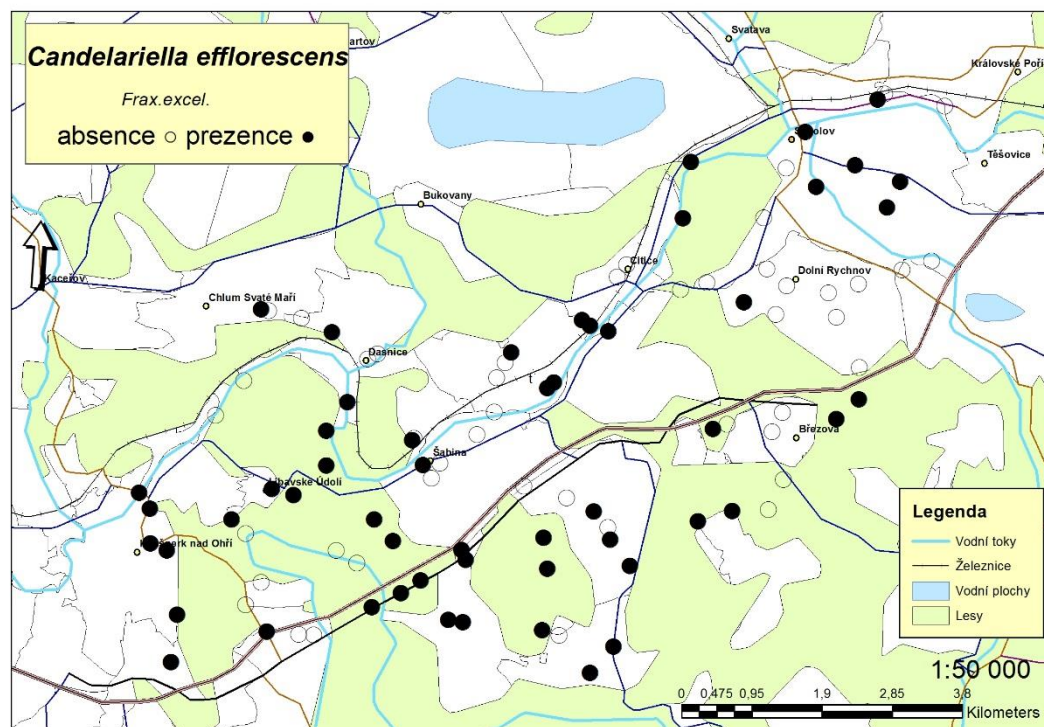


Obrázek 34 – Výskyt lišejníku *Bacidina delicata* na vybraných dubech ve studovaném území



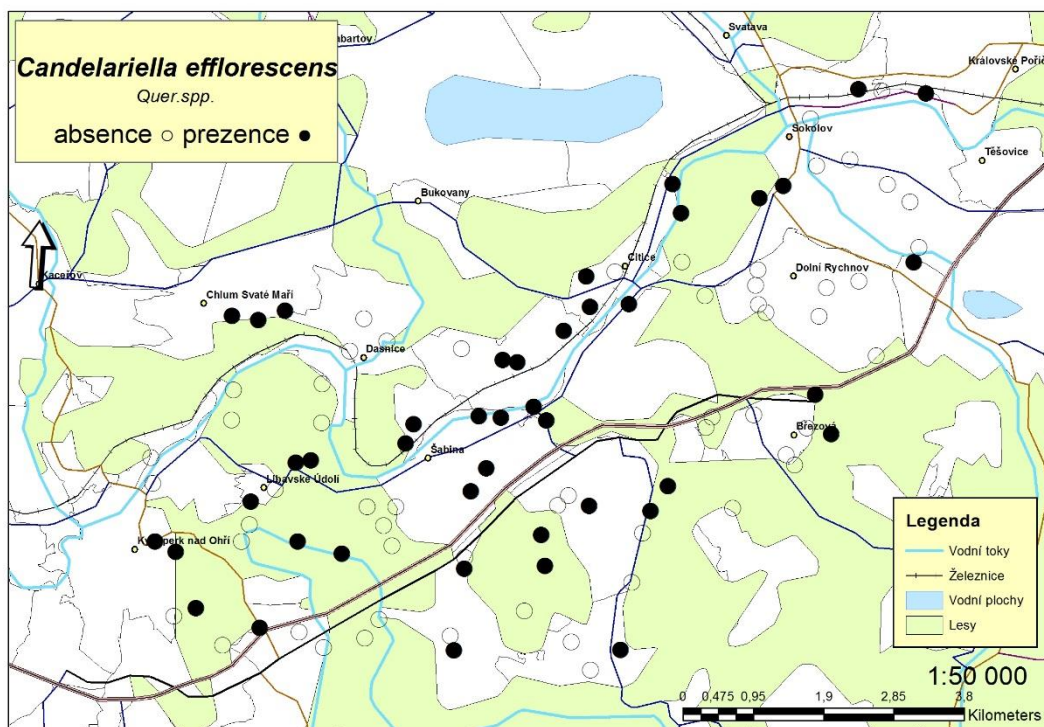
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 35 – Výskyt lišejníku *Candelariella efflorescens* na vybraných jasaněch ve studovaném území



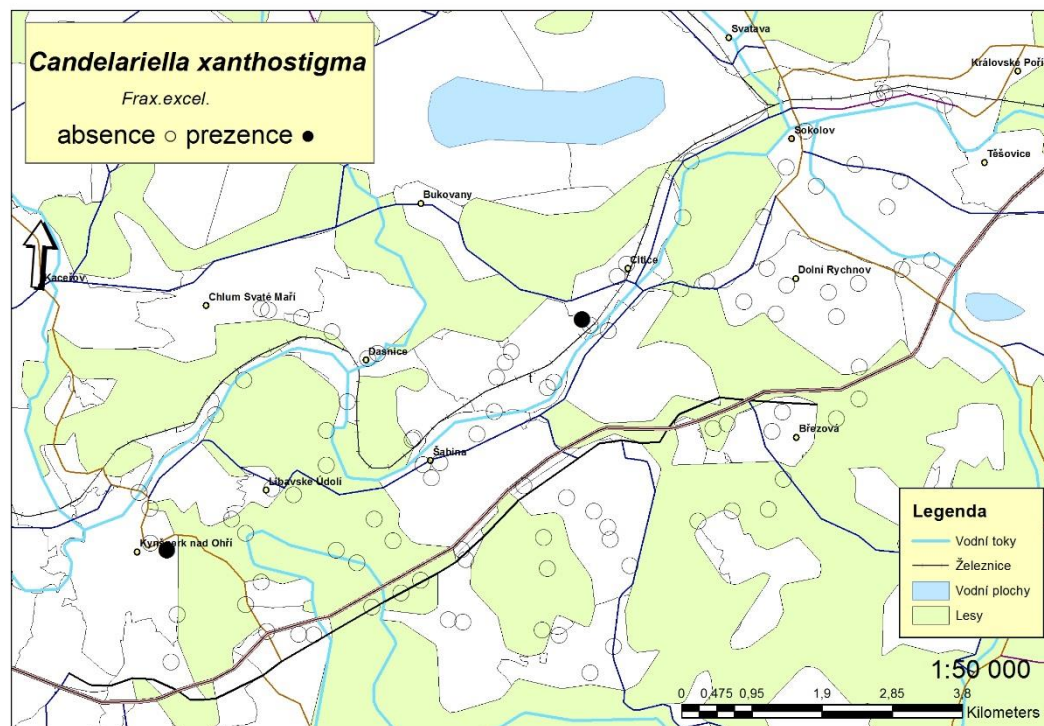
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 36 – Výskyt lišejníku *Candelariella efflorescens* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

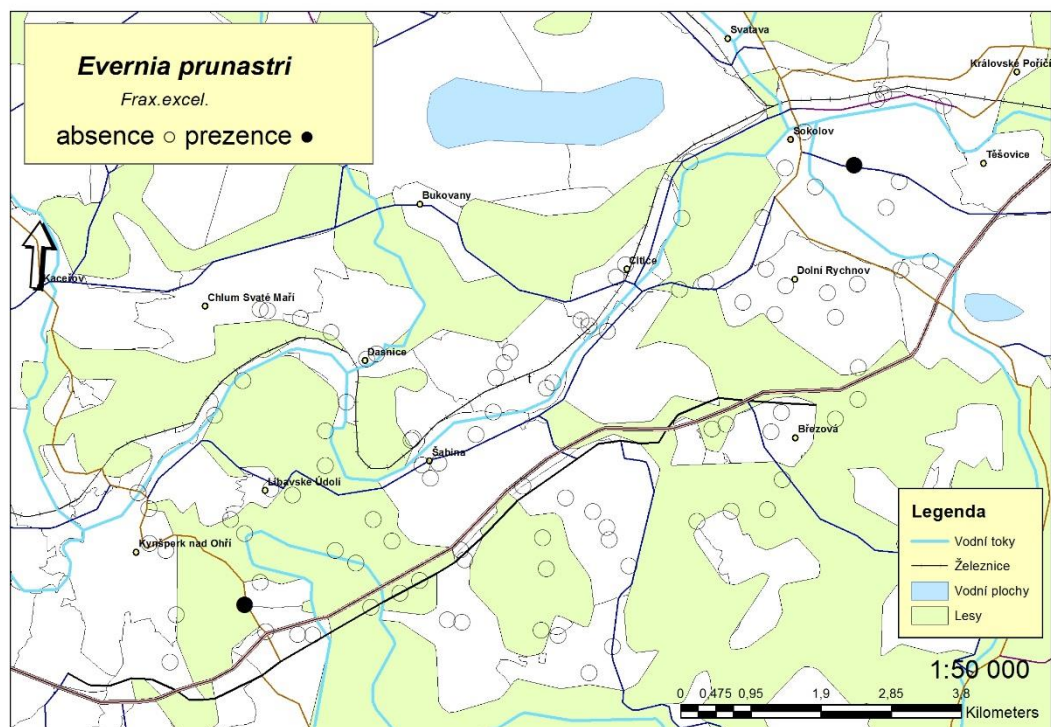
Obrázek 37 – Výskyt lišejníku *Candelariella xanthostigma* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

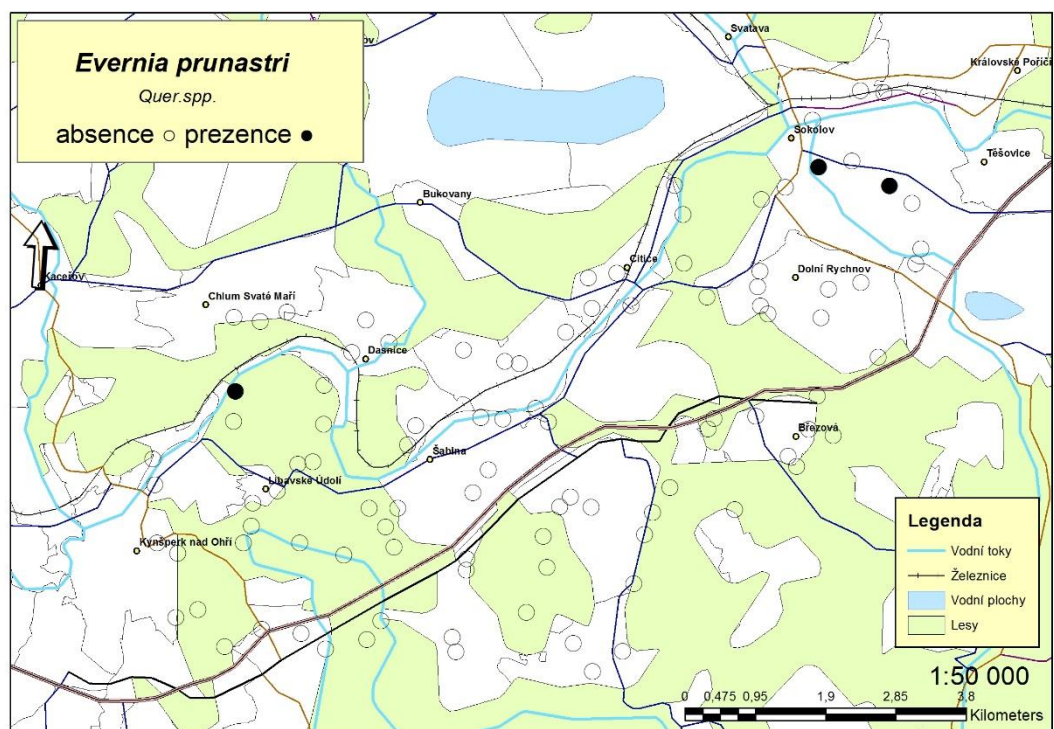


Obrázek 38 – Výskyt lišejníku *Evernia prunastri* na vybraných jasanech ve studovaném území



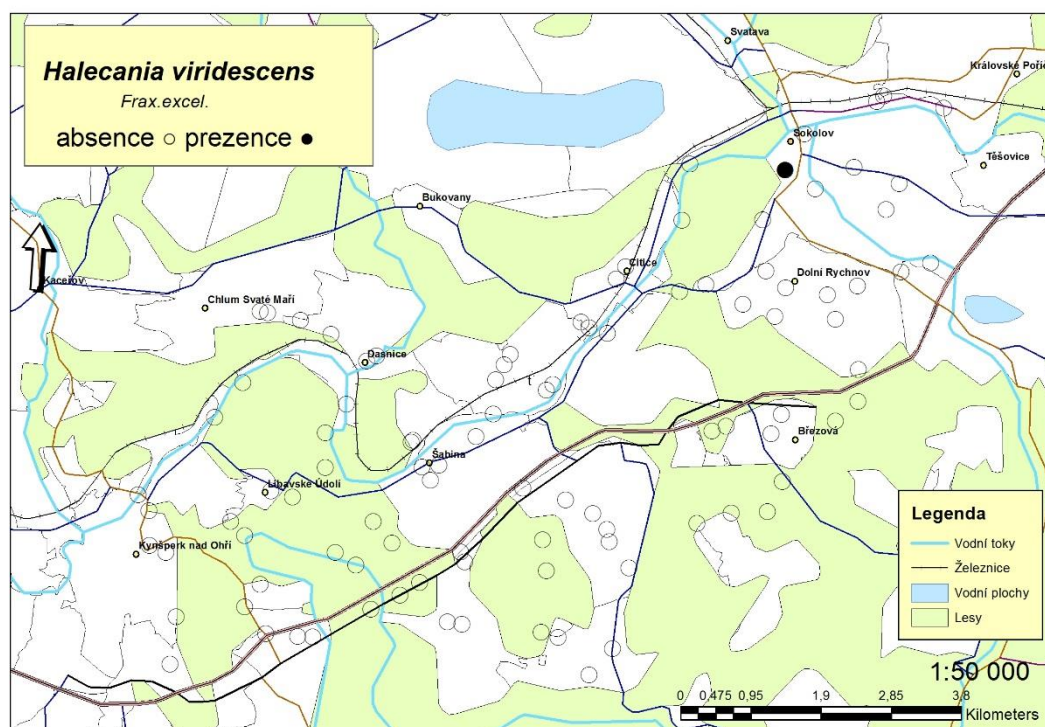
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 39 – Výskyt lišejníku *Evernia prunastri* na vybraných dubech ve studovaném území



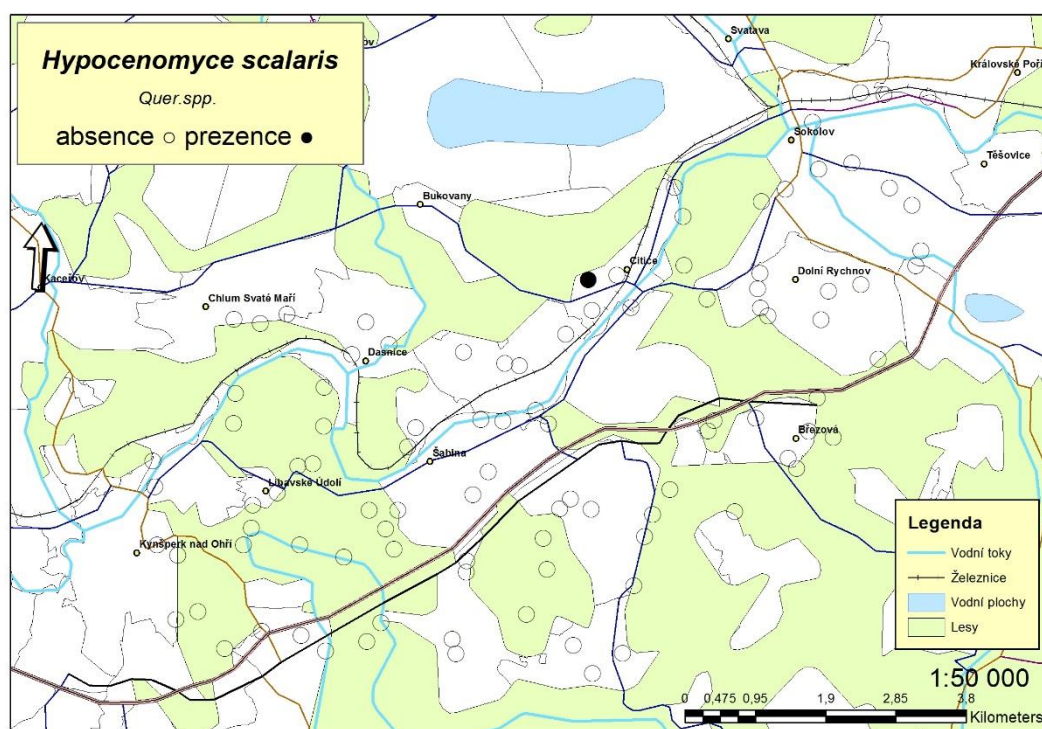
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 40 – Výskyt lišejníku *Haleciana viridescens* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

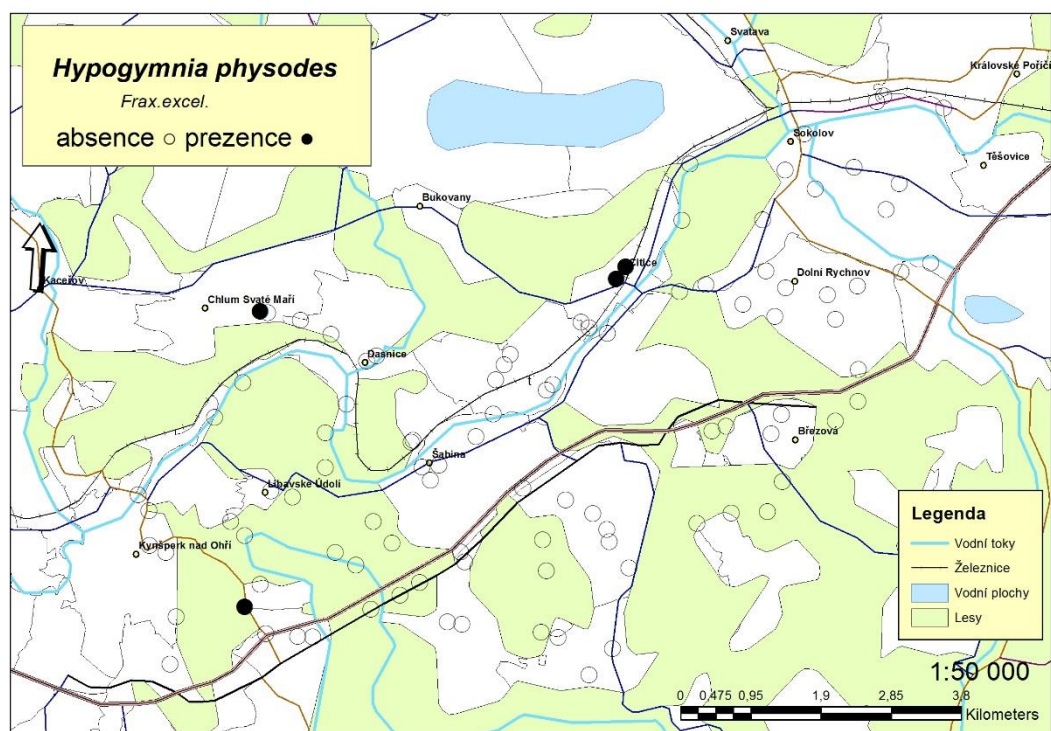
Obrázek 41 – Výskyt lišejníku *Hypocenomyce scalaris* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

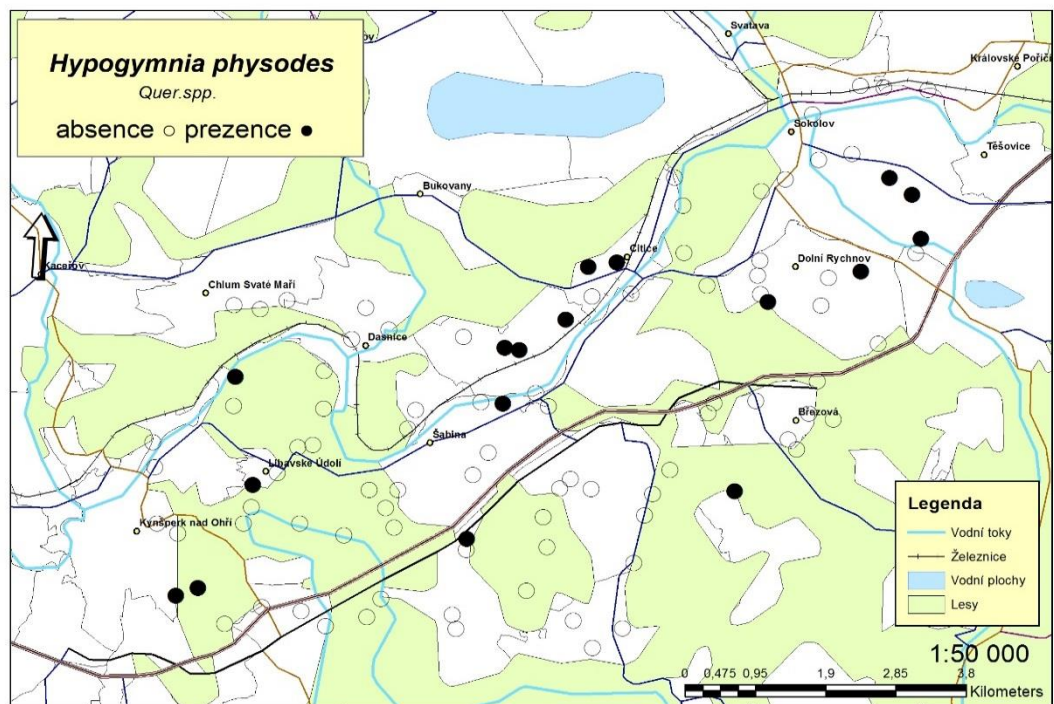


Obrázek 42 – Výskyt lišejníku *Hypogymnia physodes* na vybraných jasanech ve studovaném území



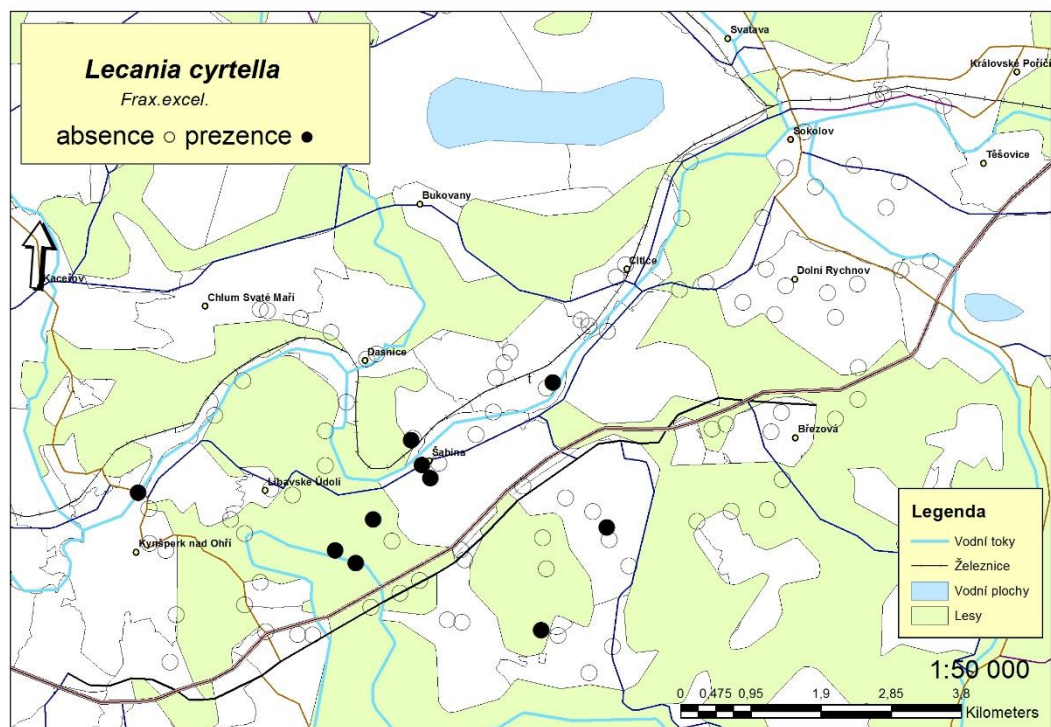
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 43 – Výskyt lišejníku *Hypogymnia physodes* na vybraných dubech ve studovaném území



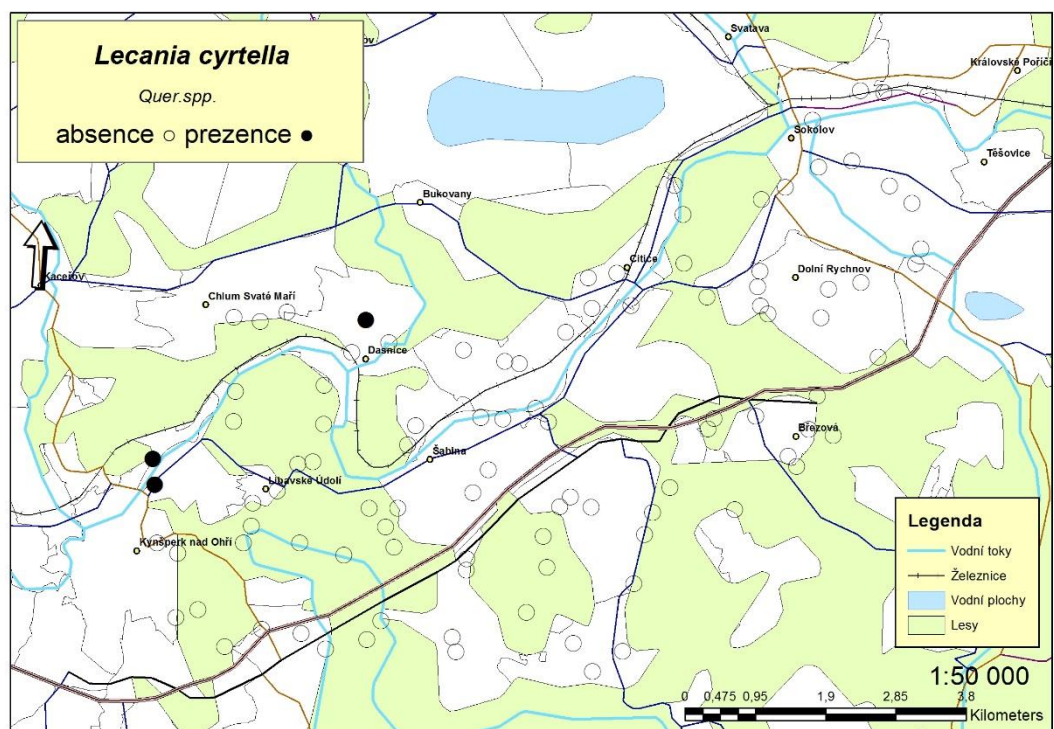
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 44 – Výskyt lišejníku *Lecania cyrtella* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

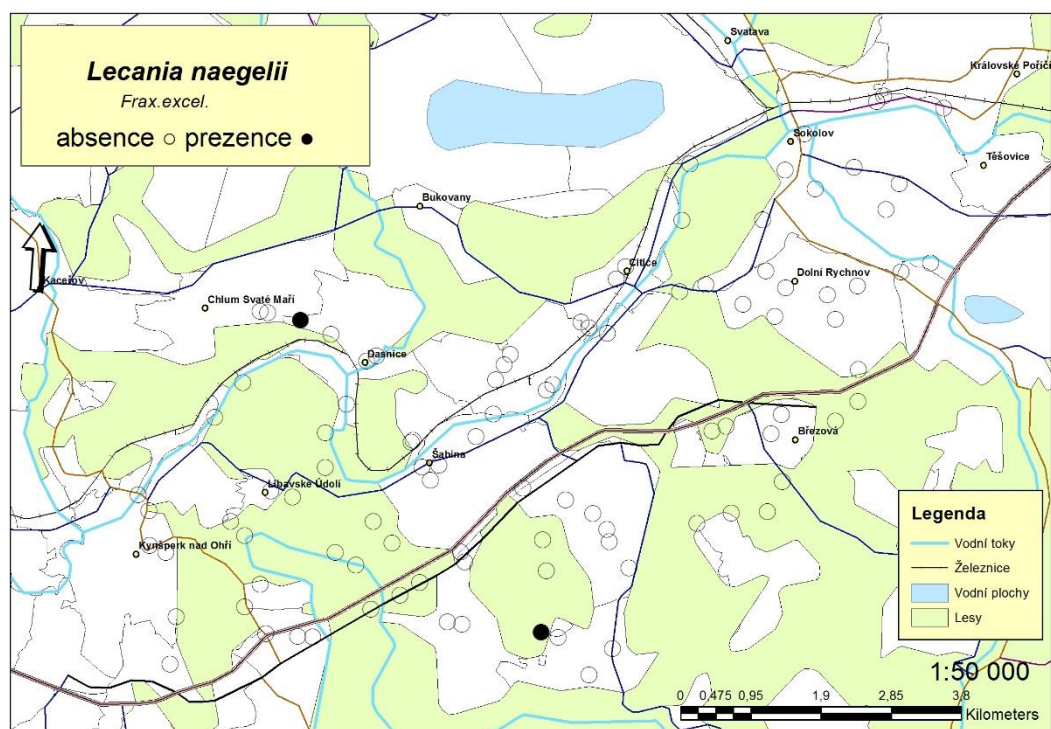
Obrázek 45 – Výskyt lišejníku *Lecania cyrtella* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

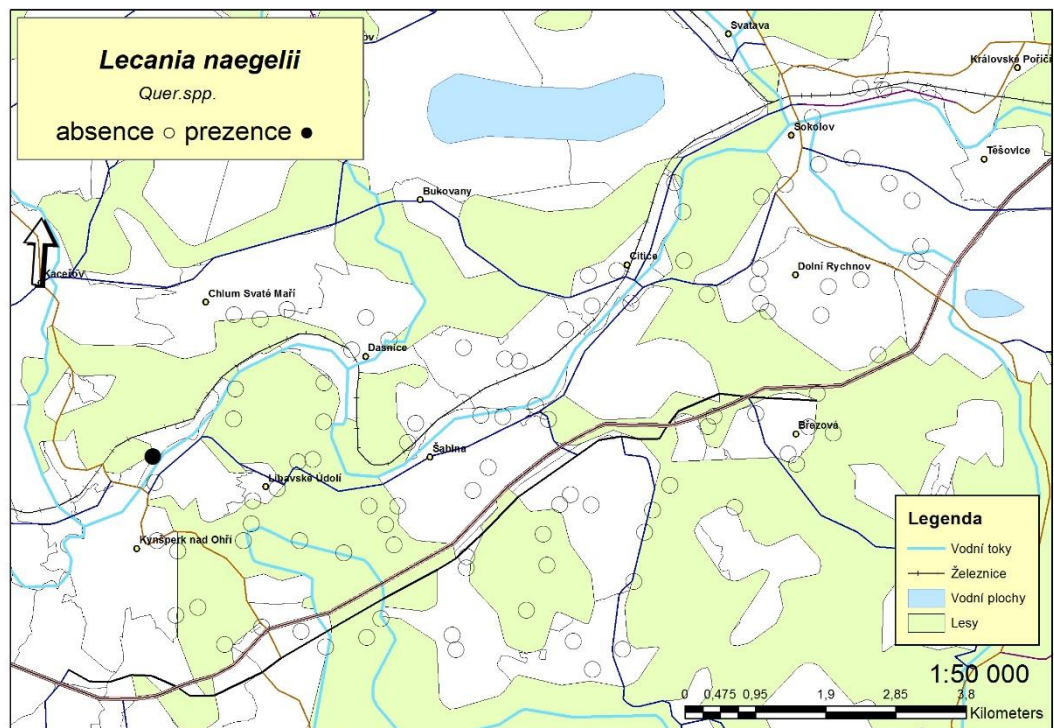


Obrázek 46 – Výskyt lišejníku *Lecania naegelia* na vybraných jasanech ve studovaném území



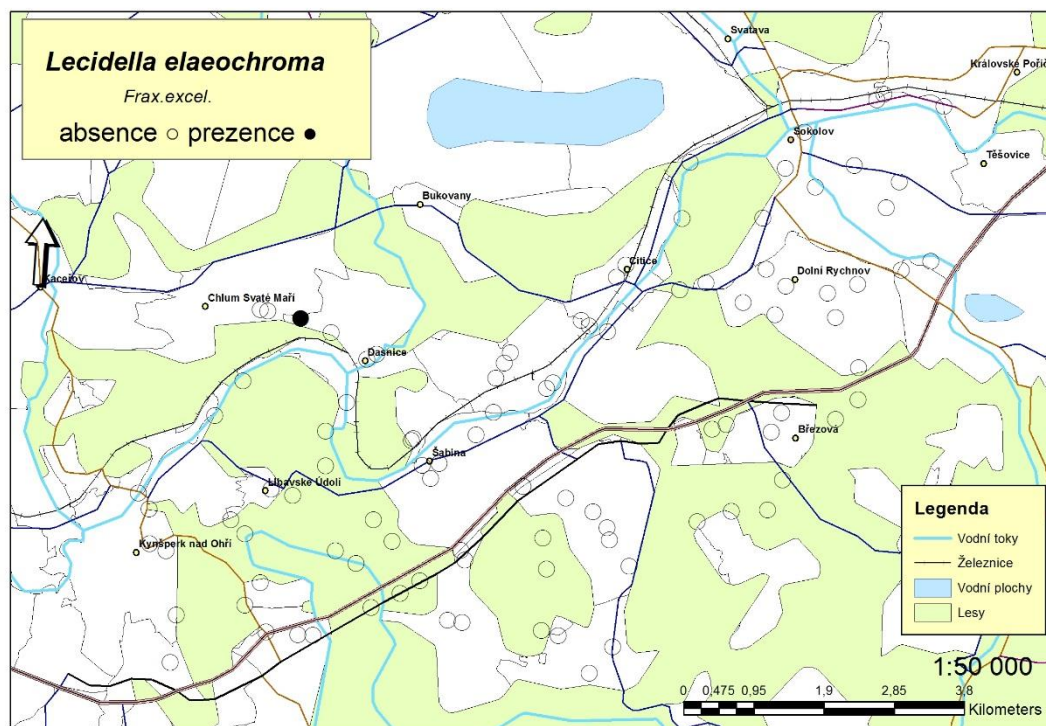
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 47 – Výskyt lišejníku *Lecania naegelia* na vybraných dubech ve studovaném území



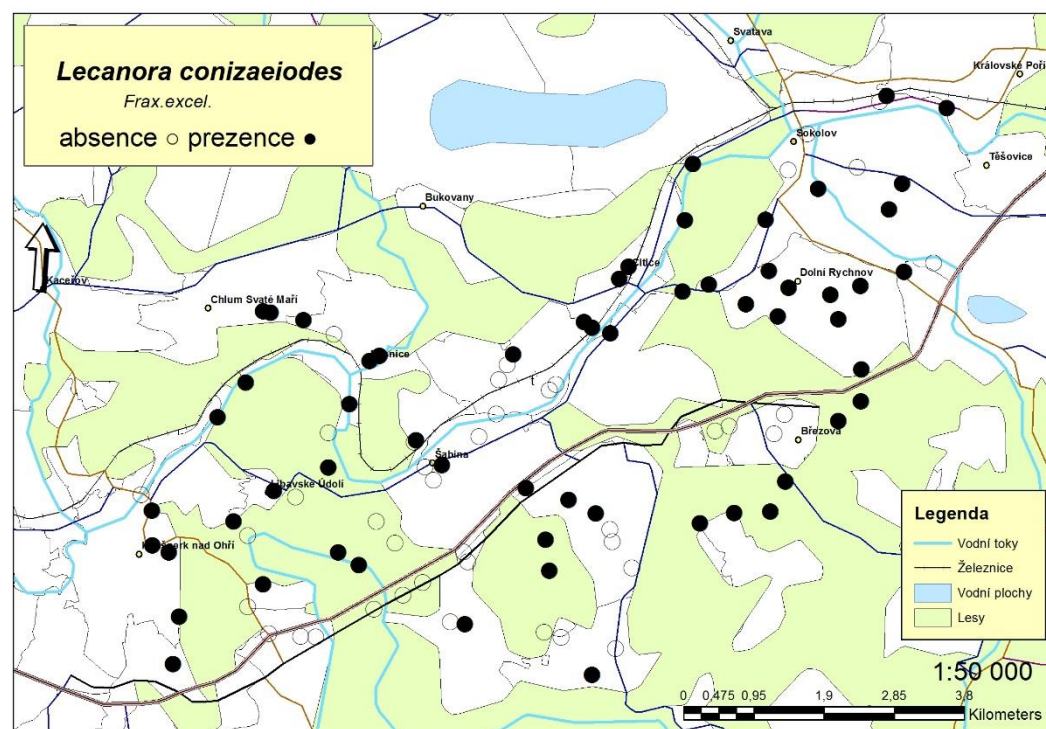
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 48 – Výskyt lišejníku *Lecidella elaeochroma* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

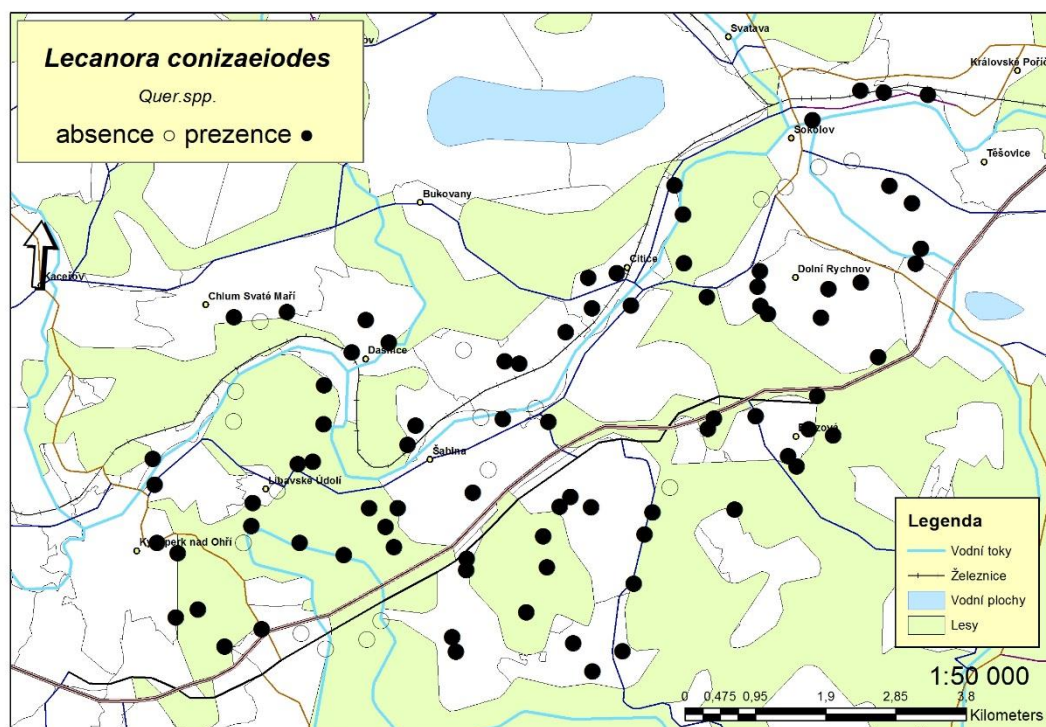
Obrázek 49 – Výskyt lišejníku *Lecanora conizaeioides* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

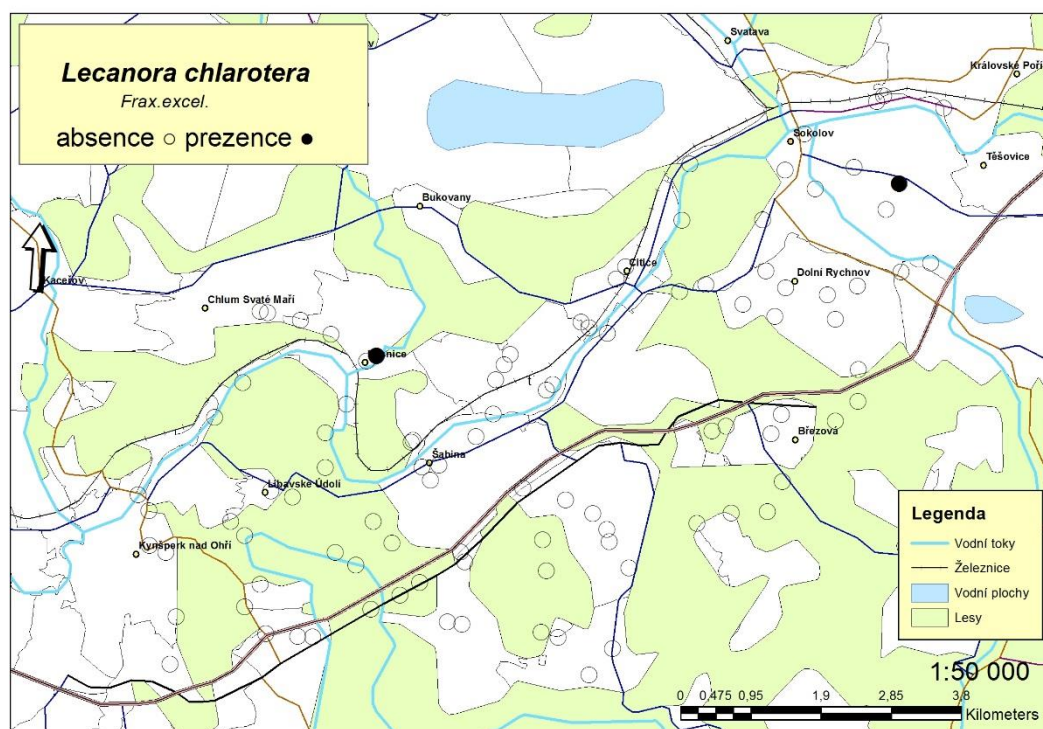


Obrázek 50 – Výskyt lišejníku *Lecanora conizaeioides* na vybraných dubech ve studovaném území



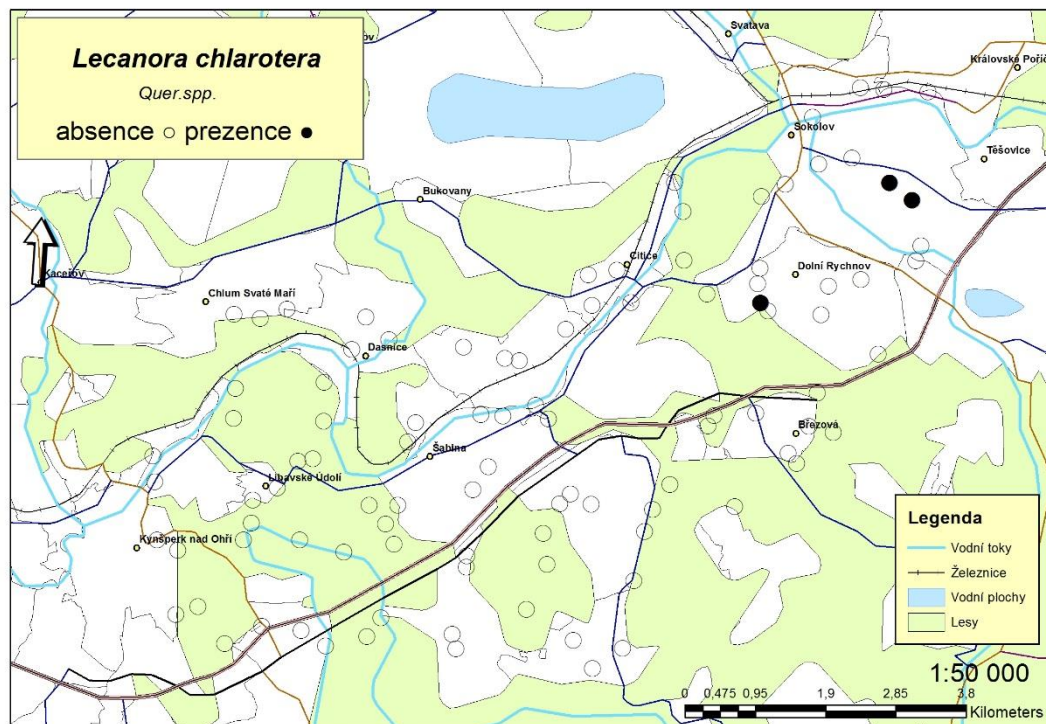
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 51 – Výskyt lišejníku *Lecanora chlarotera* na vybraných jasaněch ve studovaném území



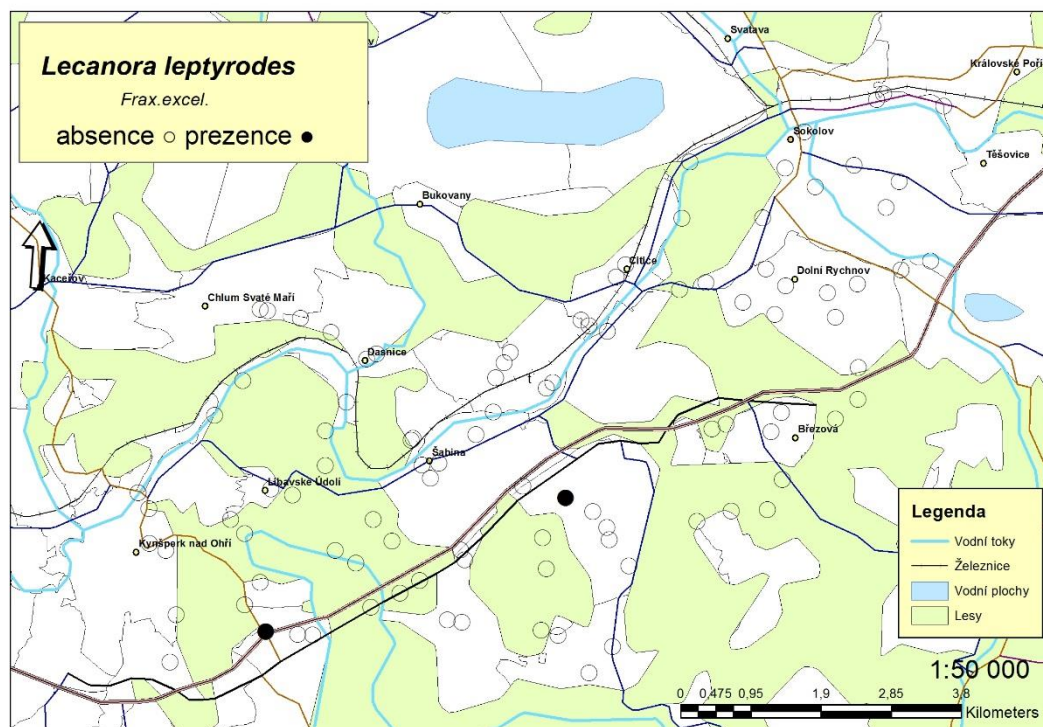
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 52 – Výskyt lišejníku *Lecanora chlarotera* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

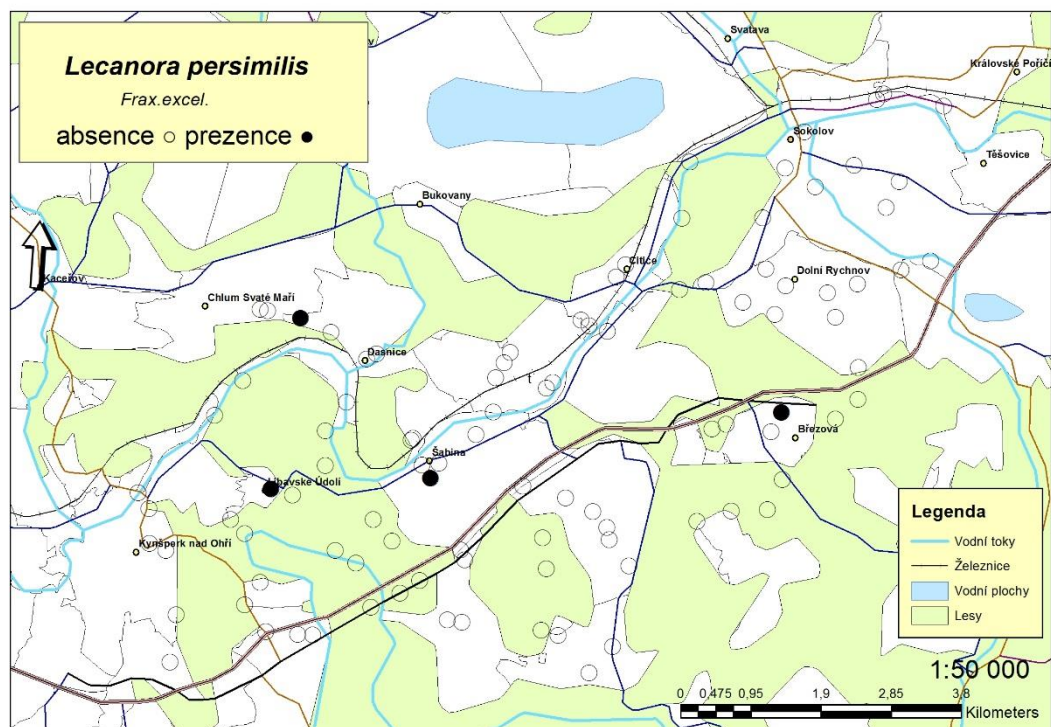
Obrázek 53 – Výskyt lišejníku *Lecanora leptyroides* na vybraných jasaněch ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

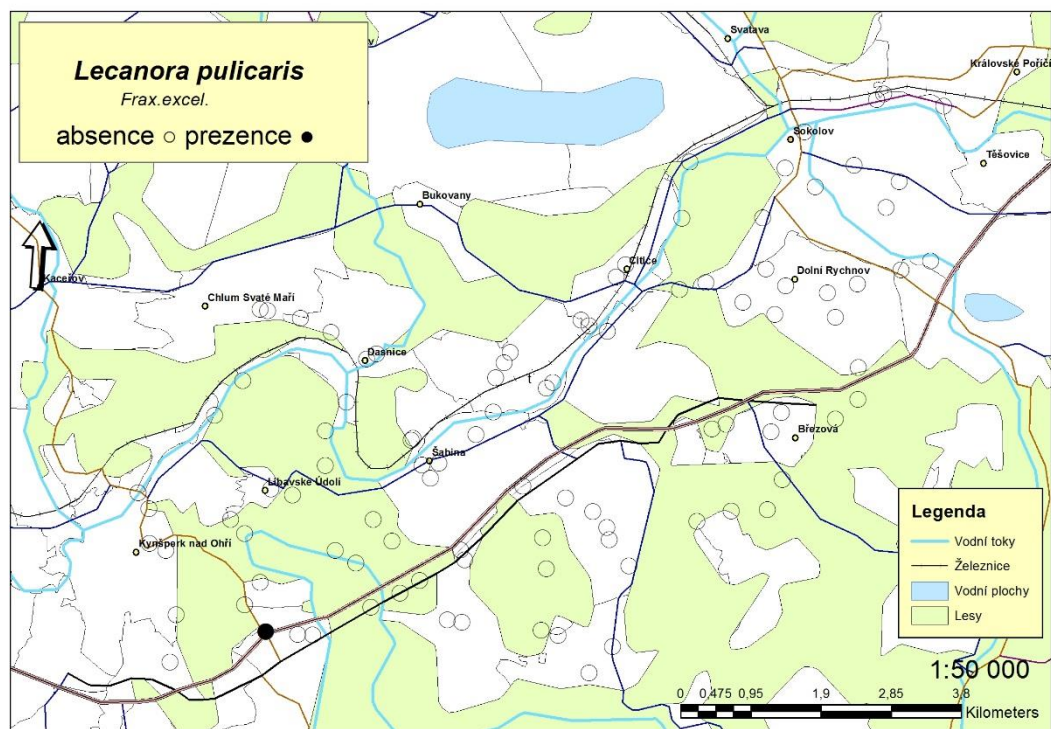


Obrázek 54 – Výskyt lišejníku *Lecanora persimilis* na vybraných jasanech ve studovaném území



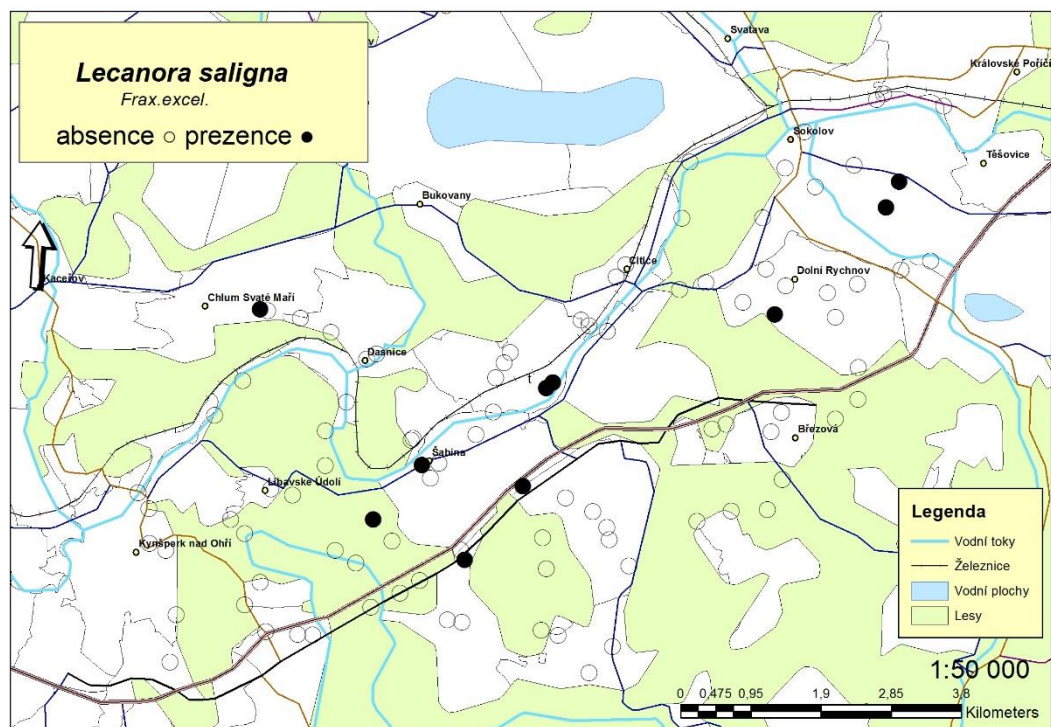
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 55 – Výskyt lišejníku *Lecanora pulicaris* na vybraných jasanech ve studovaném území



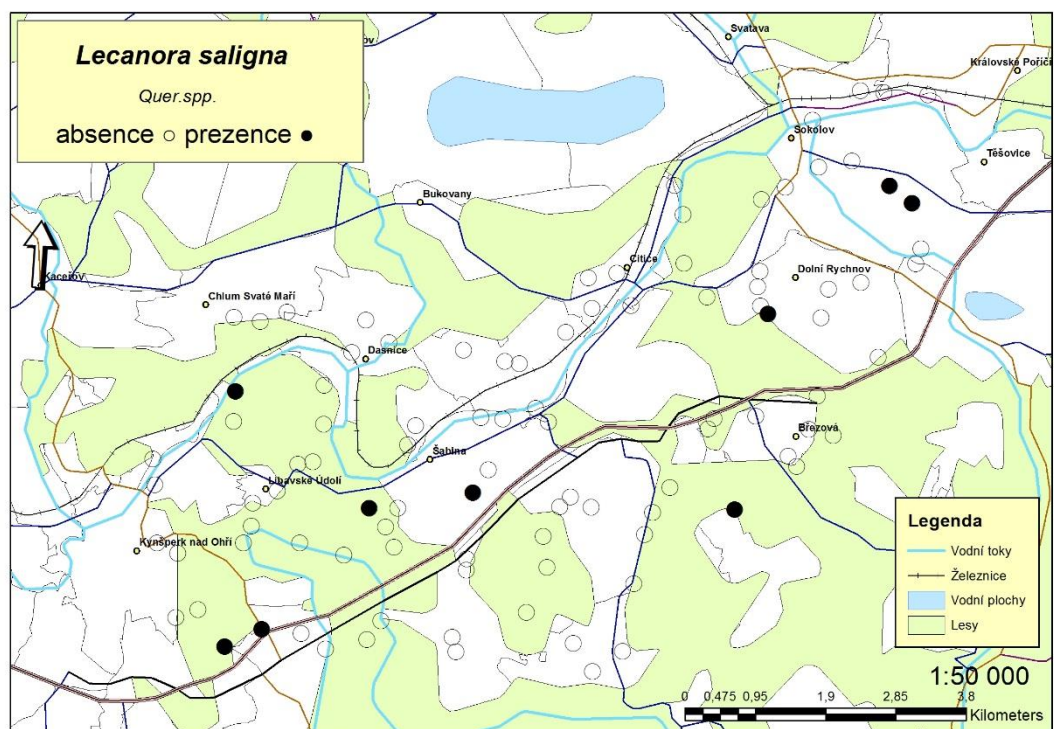
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 56 – Výskyt lišejníku *Lecanora saligna* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

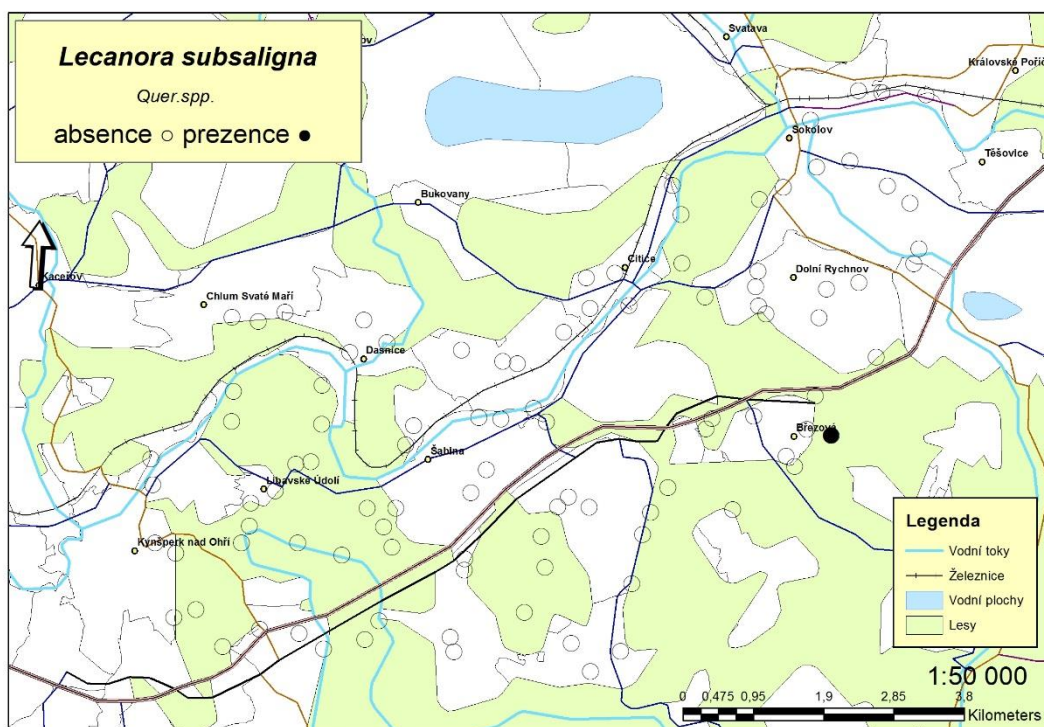
Obrázek 57 – Výskyt lišejníku *Lecanora saligna* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

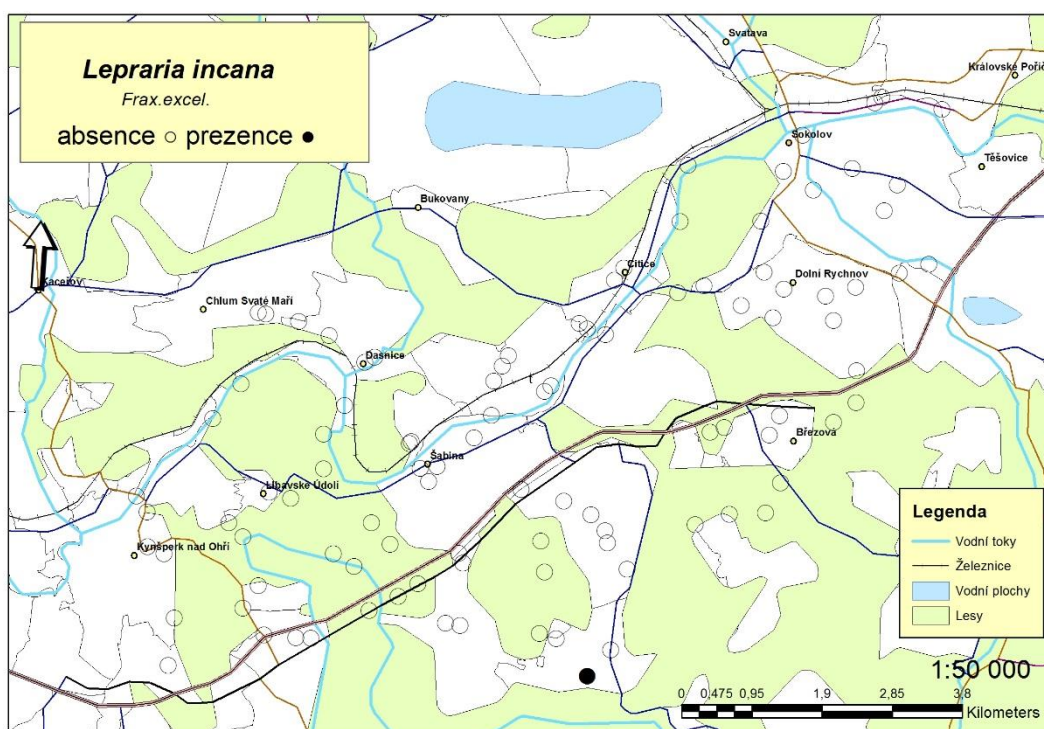


Obrázek 58 – Výskyt lišejníku *Lecanora subsaligna* na vybraných dubech ve studovaném území



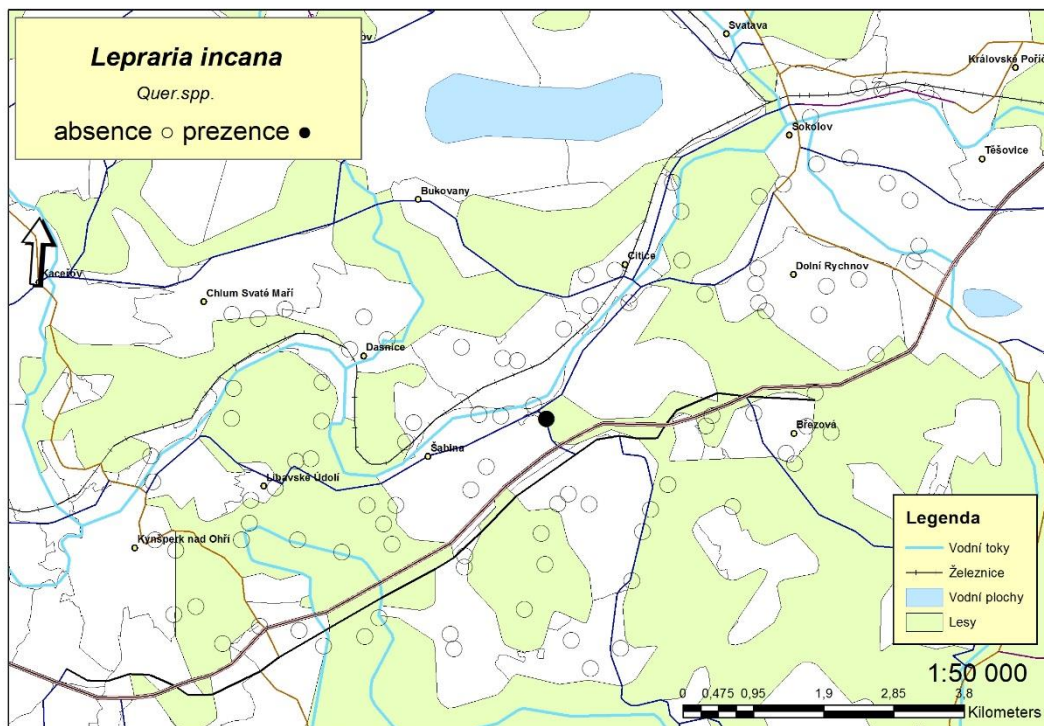
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 59 – Výskyt lišejníku *Lepraria cf. incana* na vybraných jasaních ve studovaném území



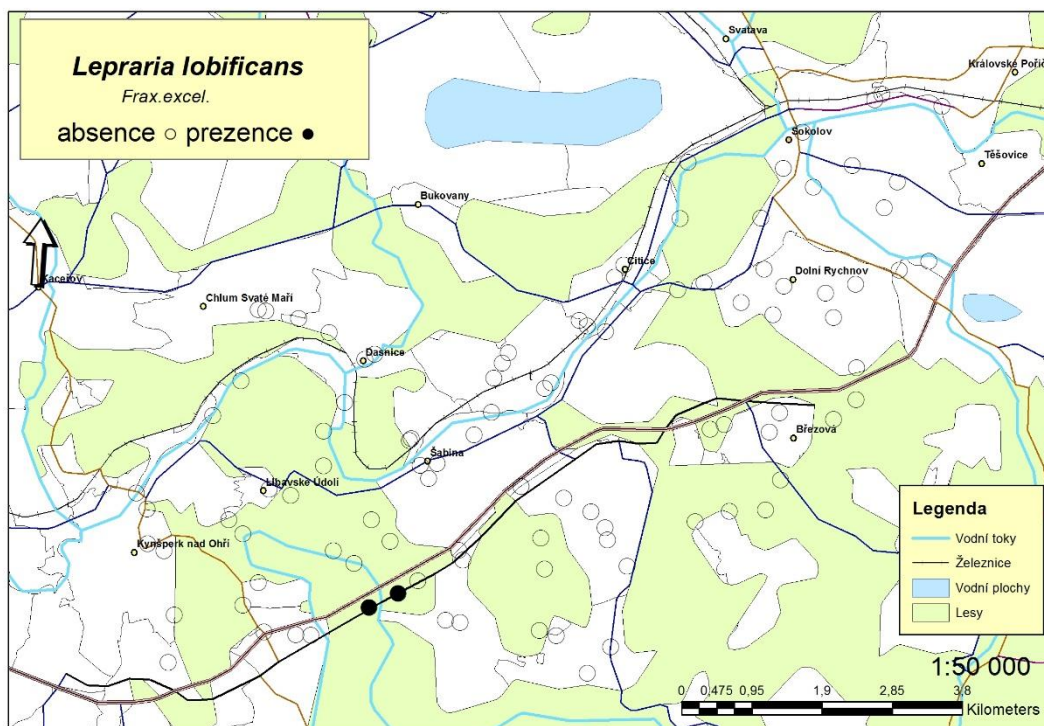
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 60 – Výskyt lišejníku *Lepraria cf. incana* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

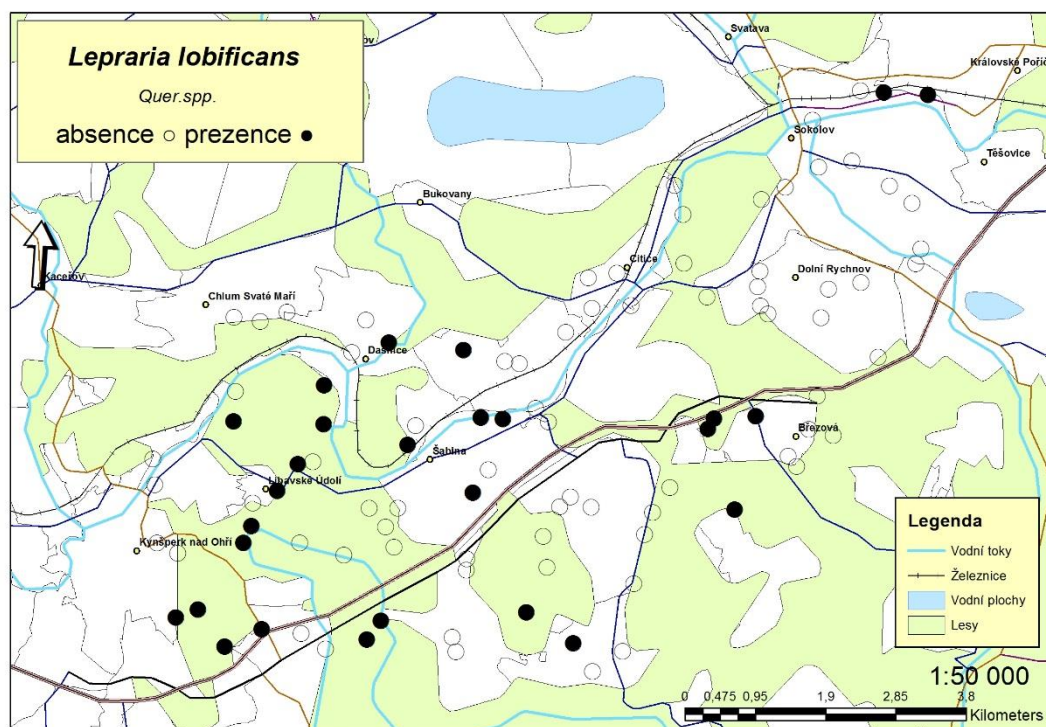
Obrázek 61 – Výskyt lišejníku *Lepraria lobificans* na vybraných jasaněch ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

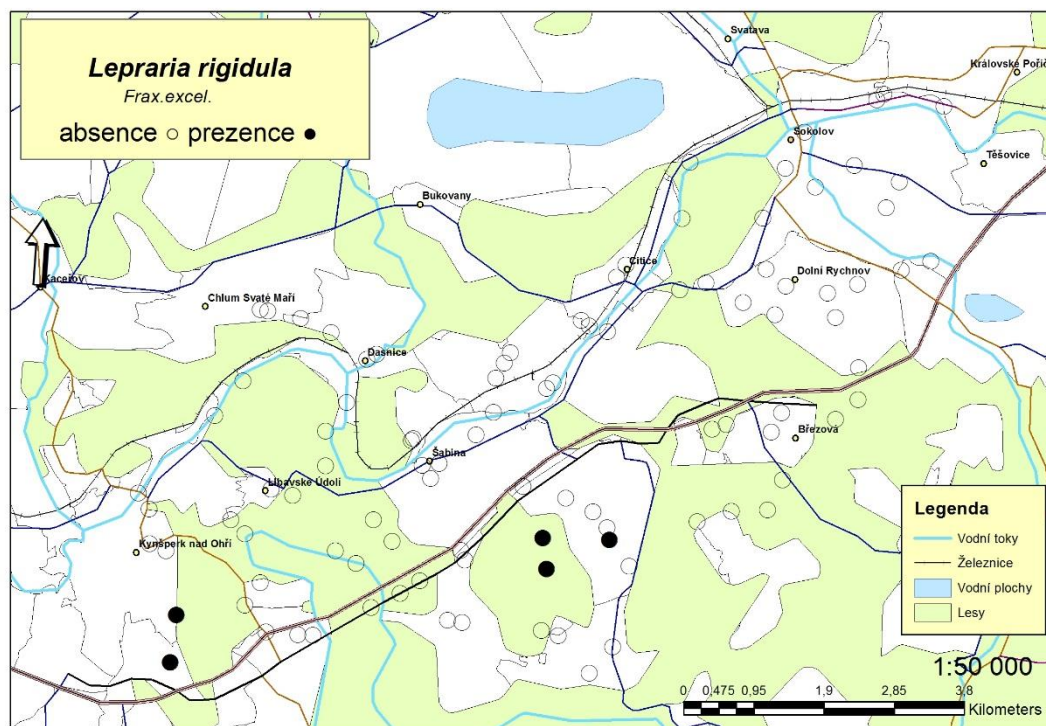


Obrázek 62 – Výskyt lišejníku *Lepraria lobificans* na vybraných dubech ve studovaném území



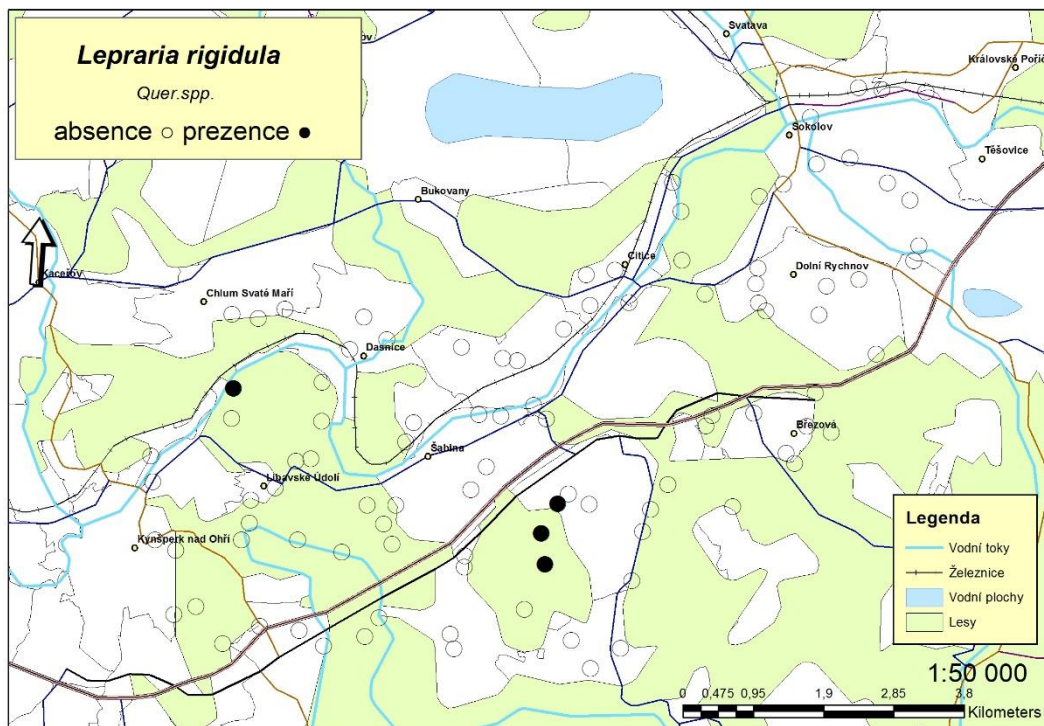
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 63 – Výskyt lišejníku *Lepraria rigidula* na vybraných jasanech ve studovaném území



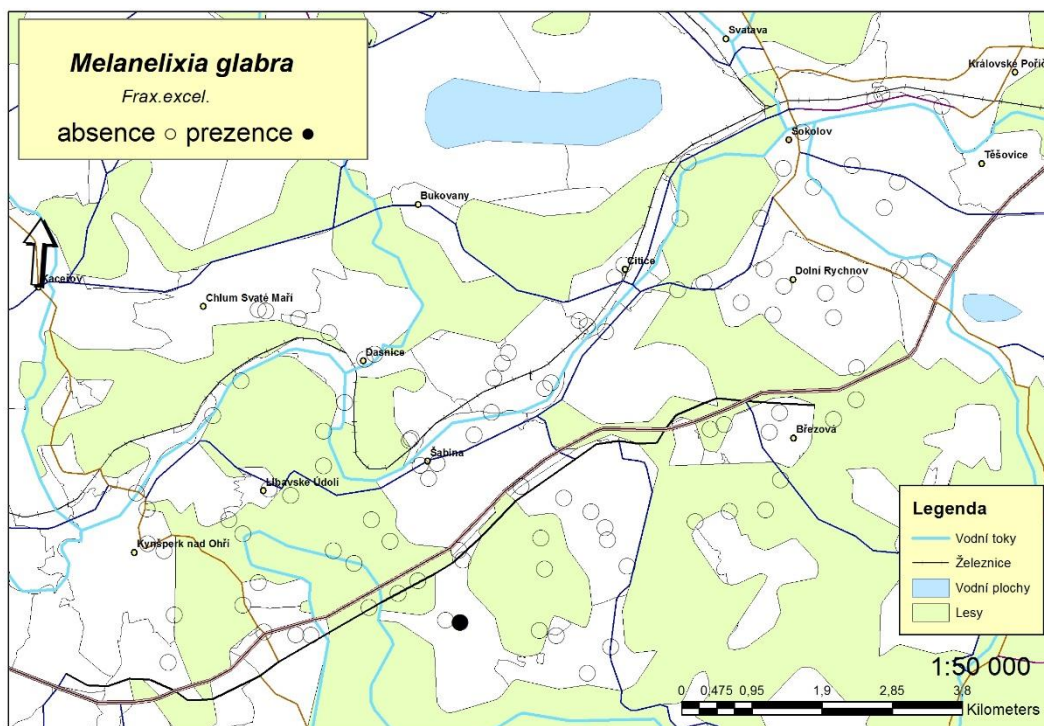
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 64 – Výskyt lišejníku *Lepraria rigidula* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

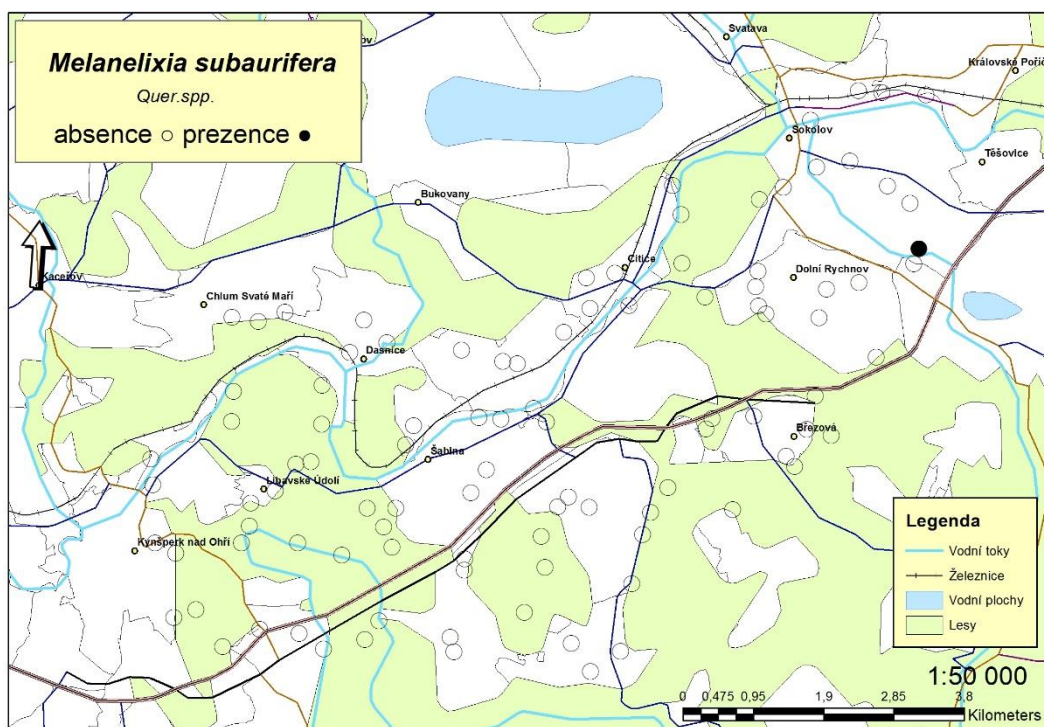
Obrázek 65 – Výskyt lišejníku *Melanelixia glabra* na vybraných jasaněch ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

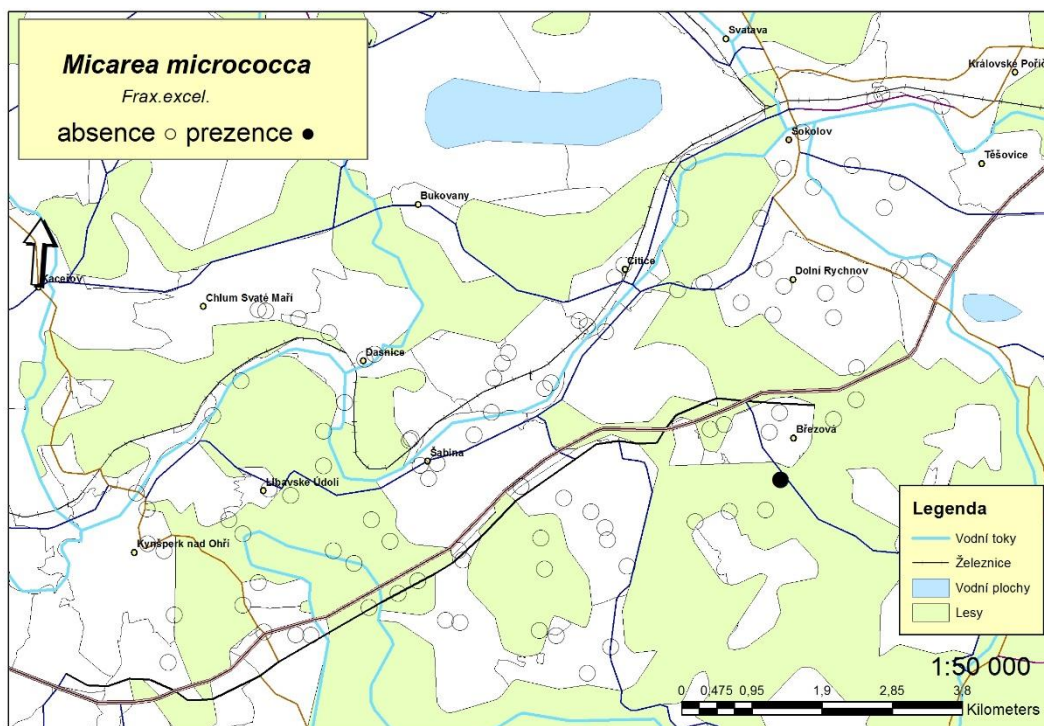


Obrázek 66 – Výskyt lišejníku *Melanelixia subaurifera* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 67 – Výskyt lišejníku *Micarea micrococca* na vybraných jasanech ve studovaném území



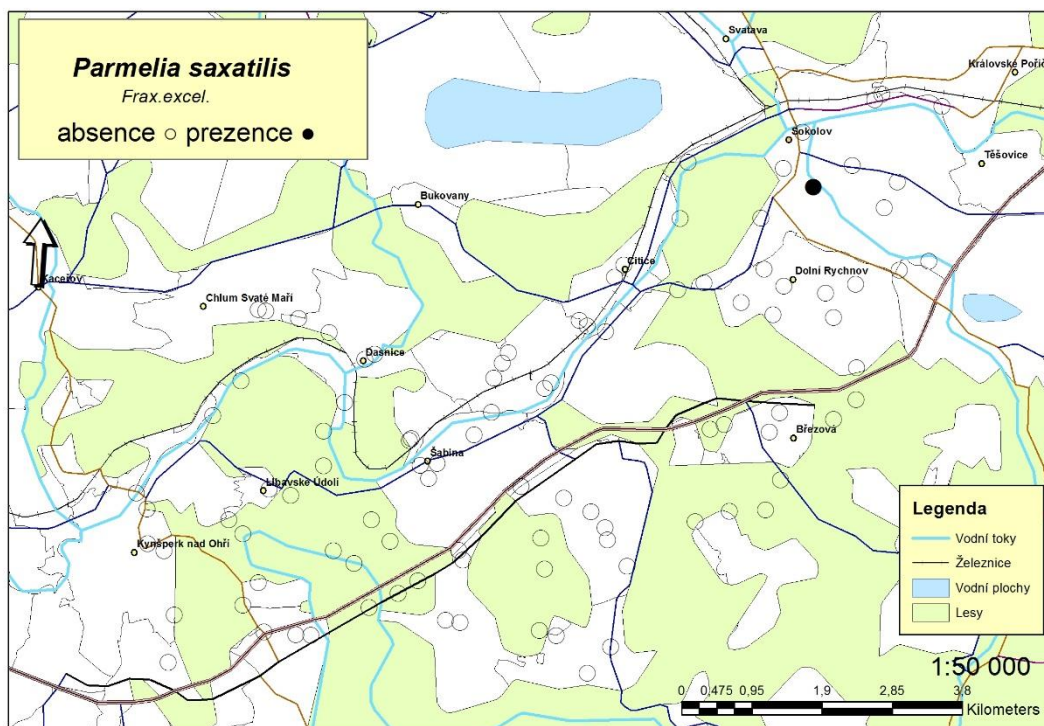
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 68 – Výskyt lišejníku *Micarea micrococca* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

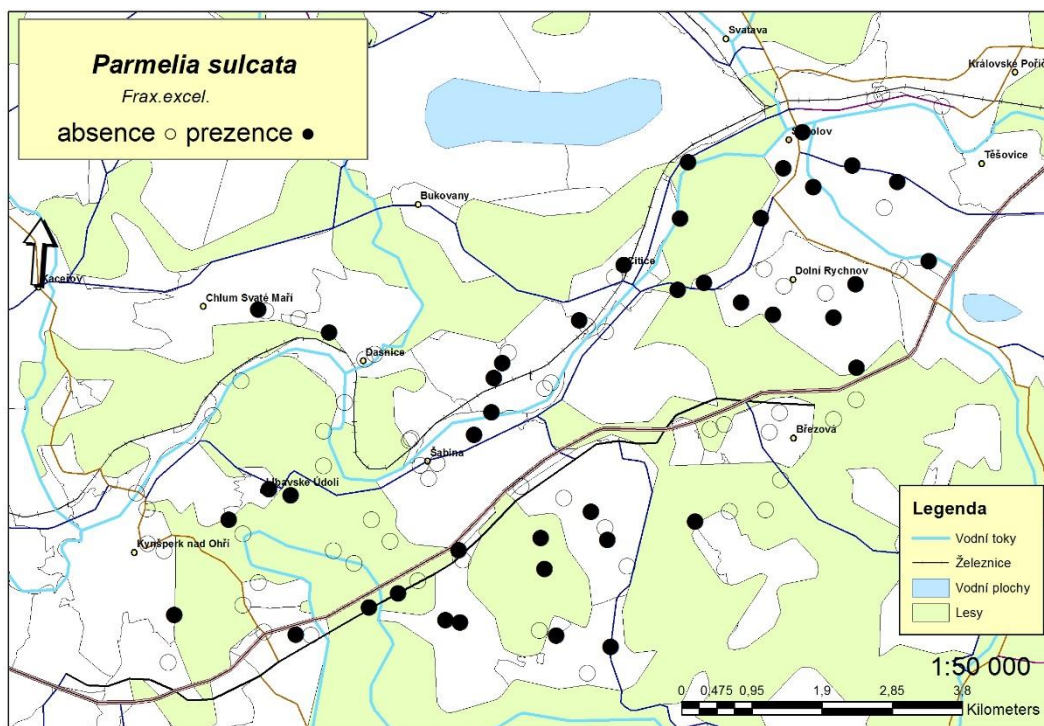
Obrázek 69 – Výskyt lišejníku *Parmelia saxatilis* na vybraných jasaněch ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

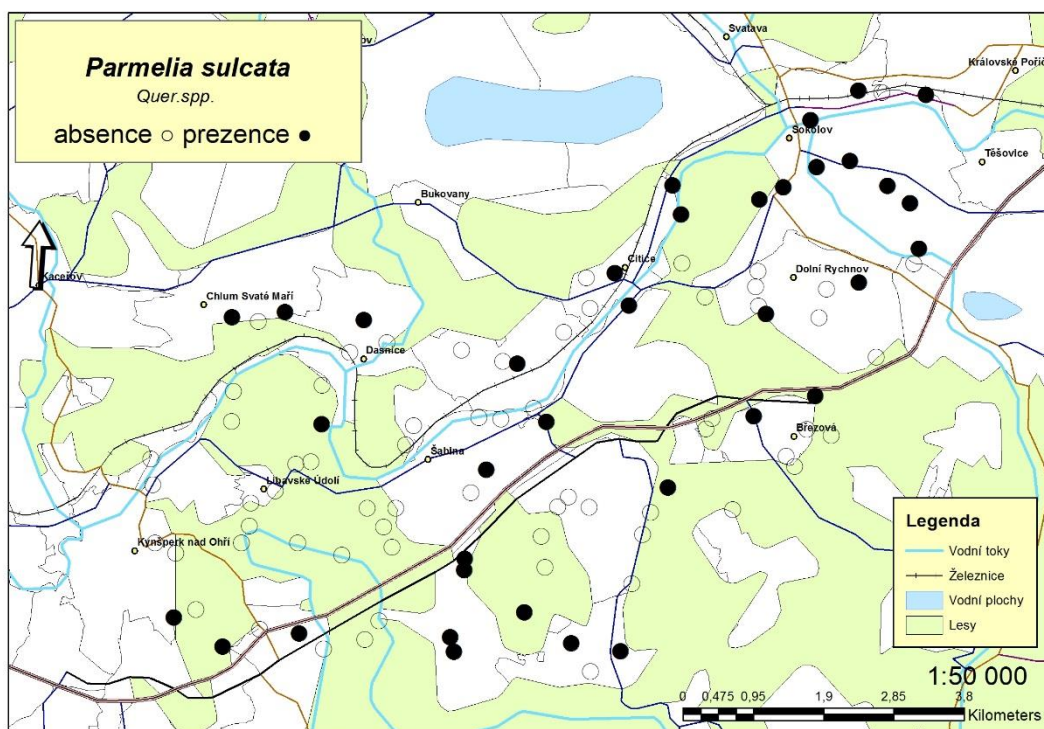


Obrázek 70 – Výskyt lišejníku *Parmelia sulcata* na vybraných jasanech ve studovaném území



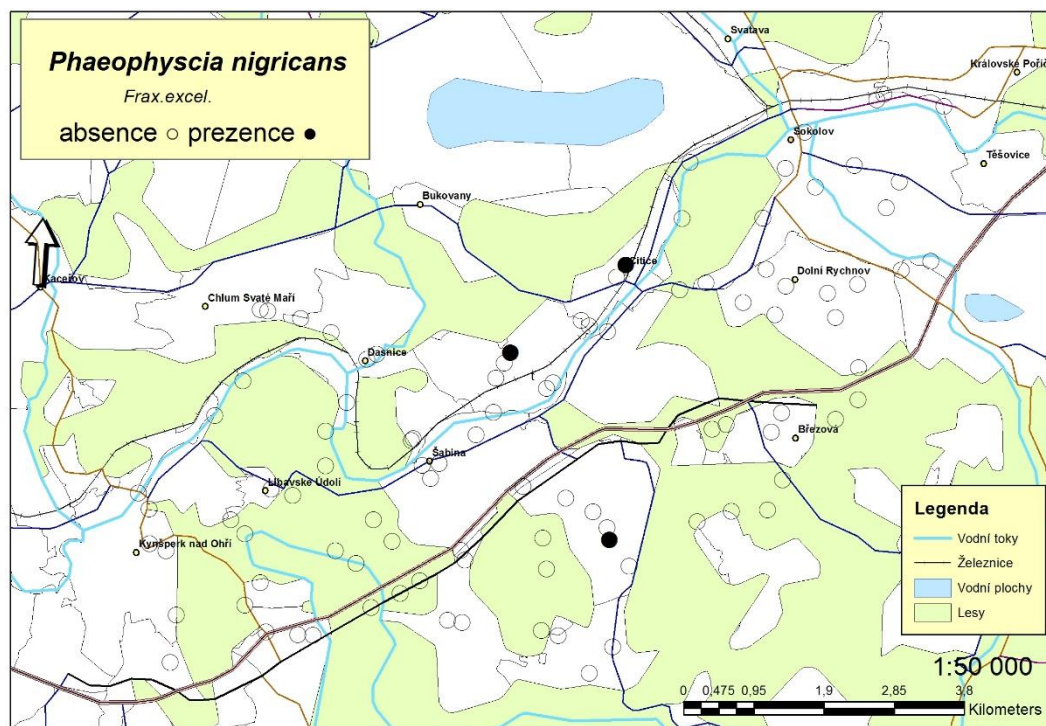
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 71 – Výskyt lišejníku *Parmelia sulcata* na vybraných dubech ve studovaném území



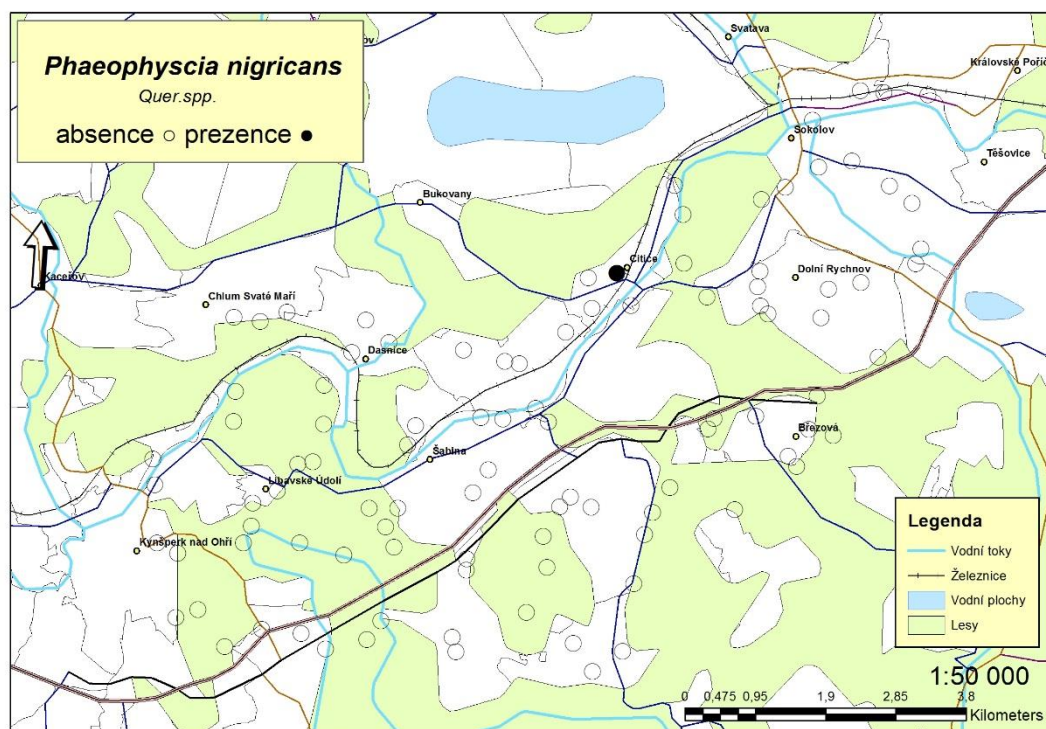
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 72 – Výskyt lišejníku *Phaeophyscia nigricans* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

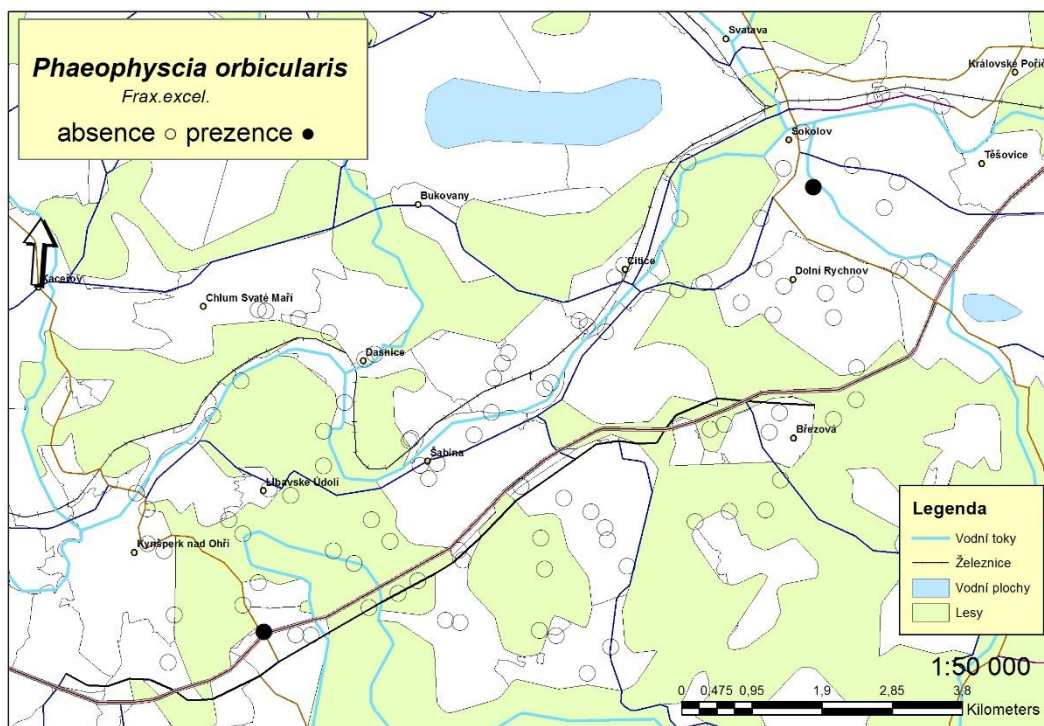
Obrázek 73 – Výskyt lišejníku *Phaeophyscia nigricans* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

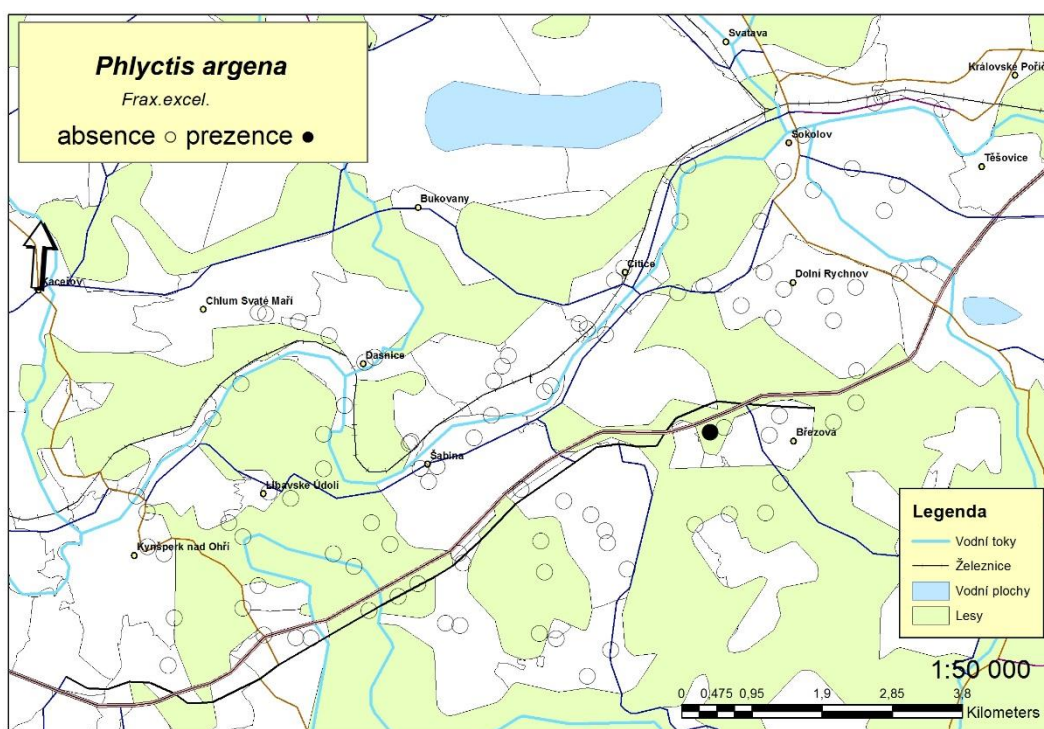


Obrázek 74 – Výskyt lišejníku *Phaeophyscia orbicularis* na vybraných jasanech ve studovaném území



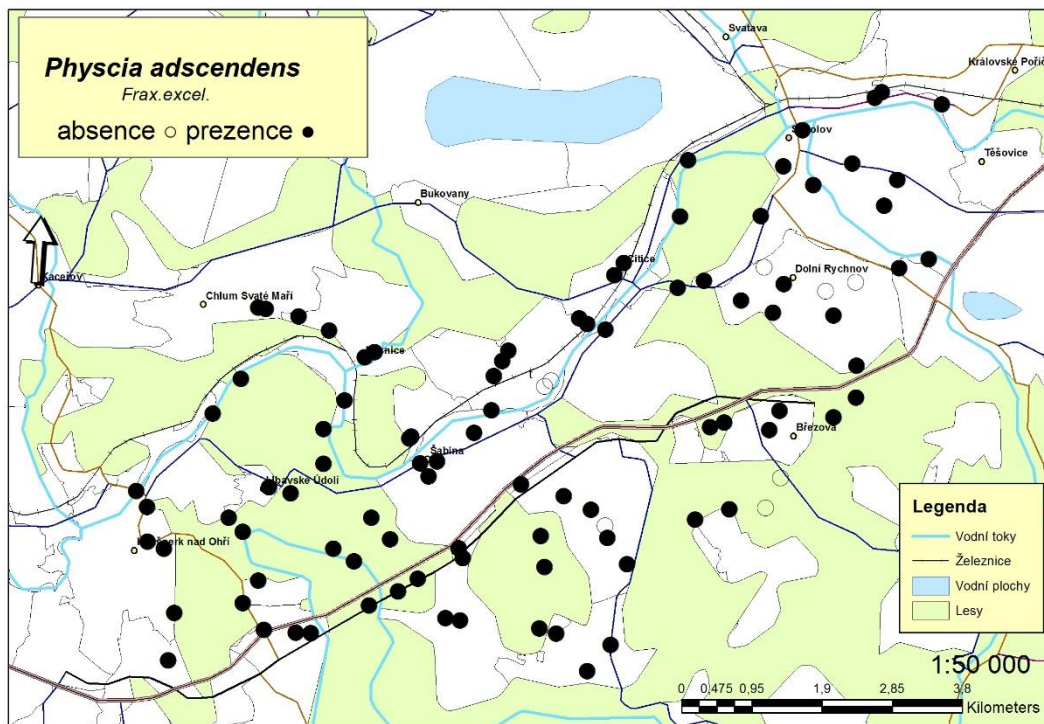
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 75 – Výskyt lišejníku *Phlyctis argena* na vybraných jasanech ve studovaném území



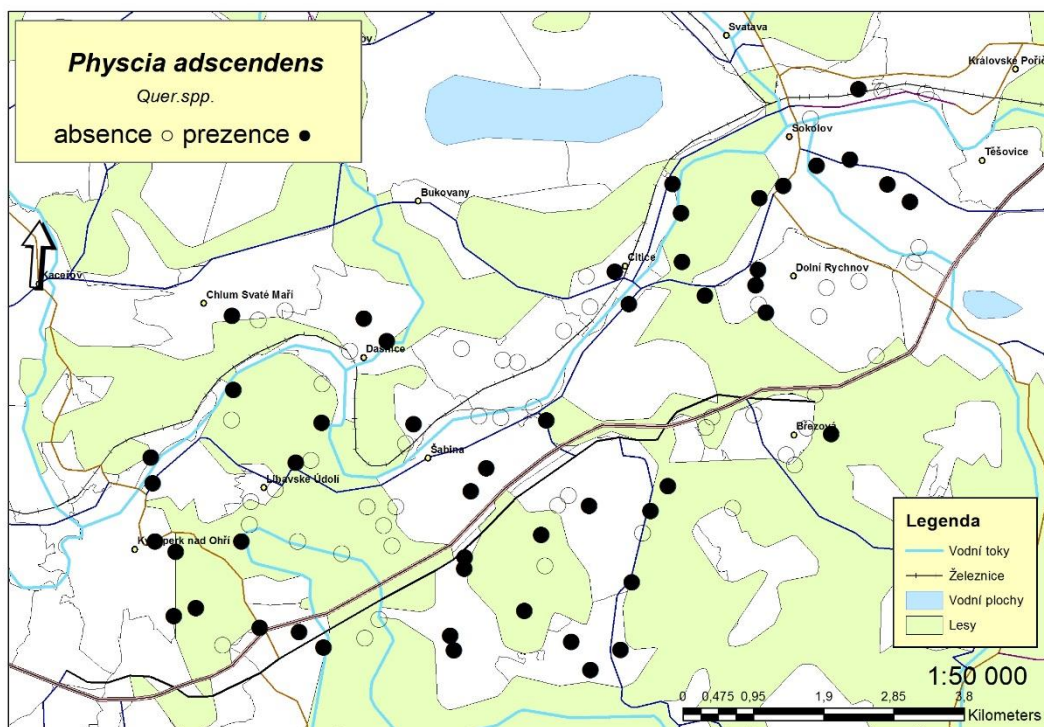
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 76 – Výskyt lišejníku *Physcia adscendens* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

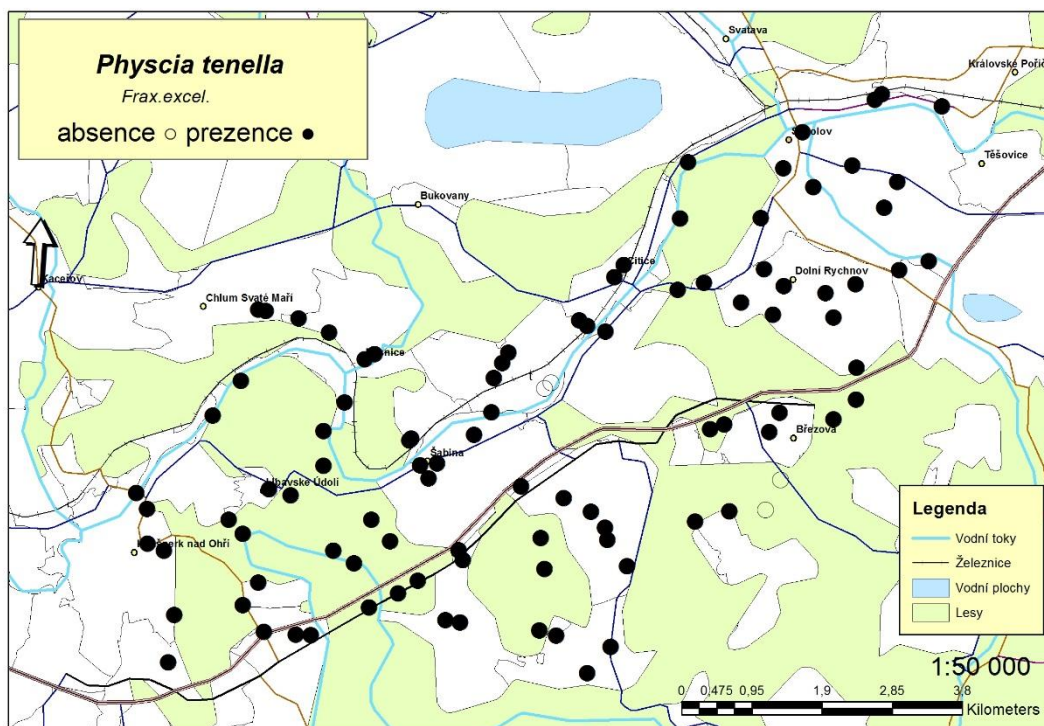
Obrázek 77 – Výskyt lišejníku *Physcia adscendens* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

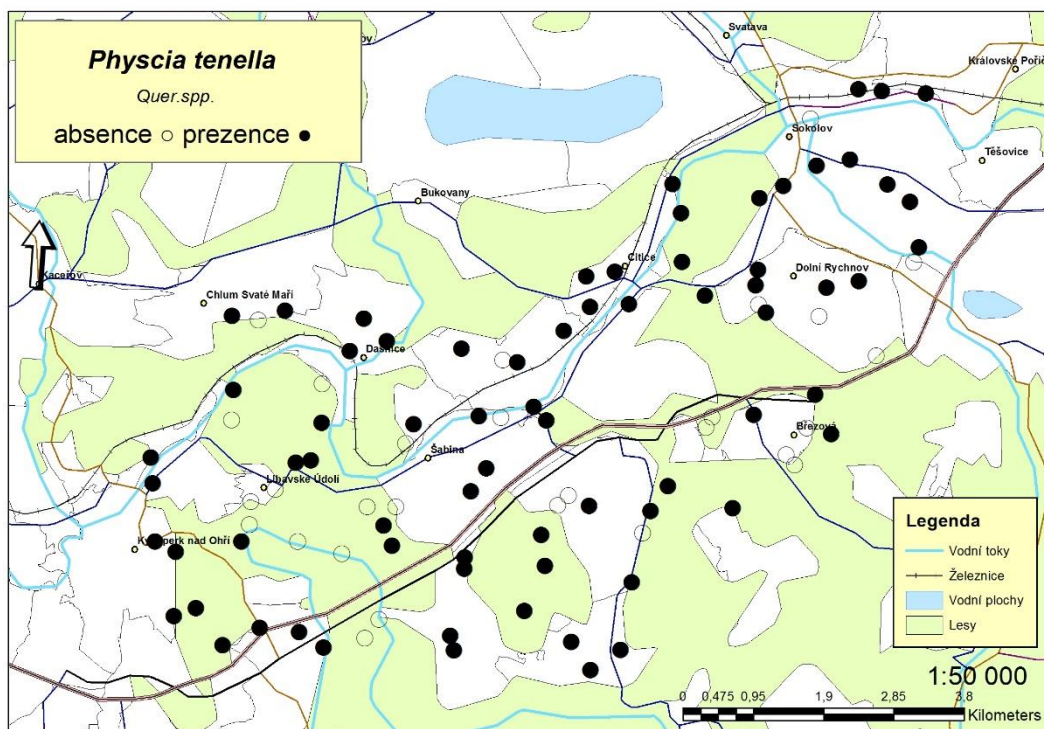


Obrázek 78 – Výskyt lišejníku *Physcia tenella* na vybraných jasanech ve studovaném území



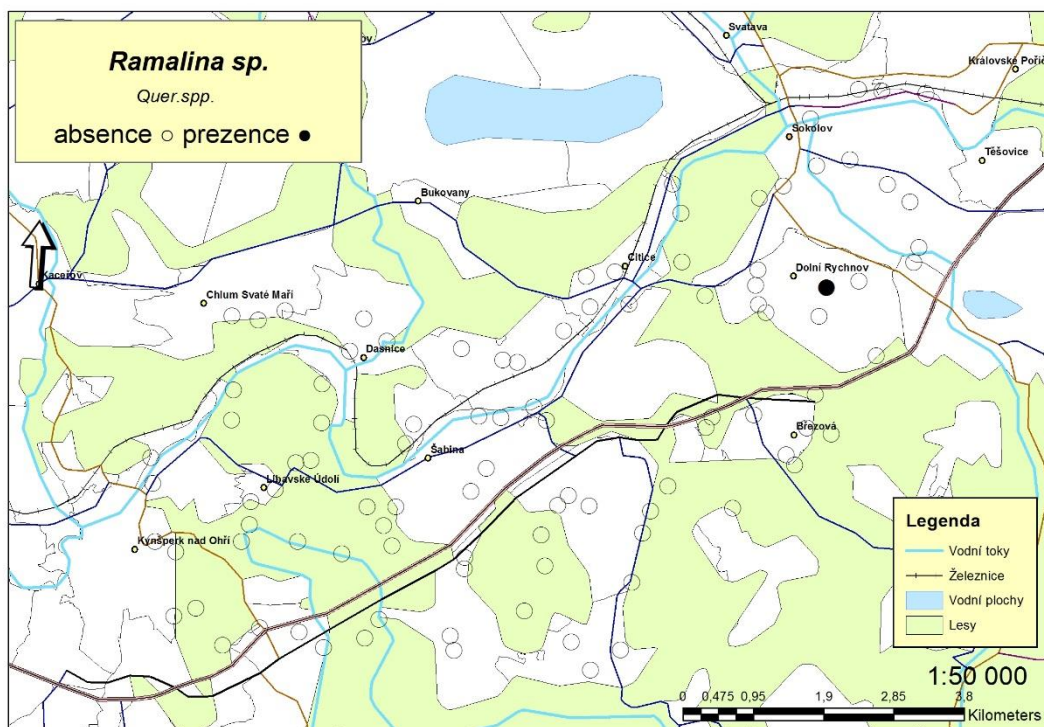
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 79 – Výskyt lišejníku *Physcia tenella* na vybraných dubech ve studovaném území



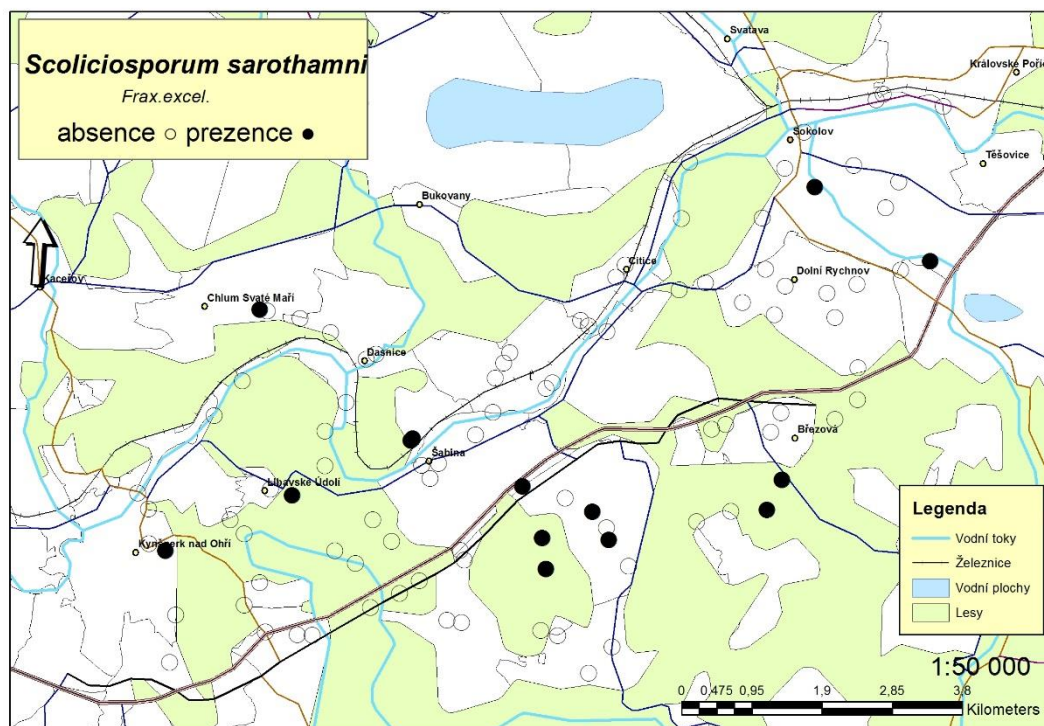
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 80 – Výskyt taxonu *Ramalina* sp. na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

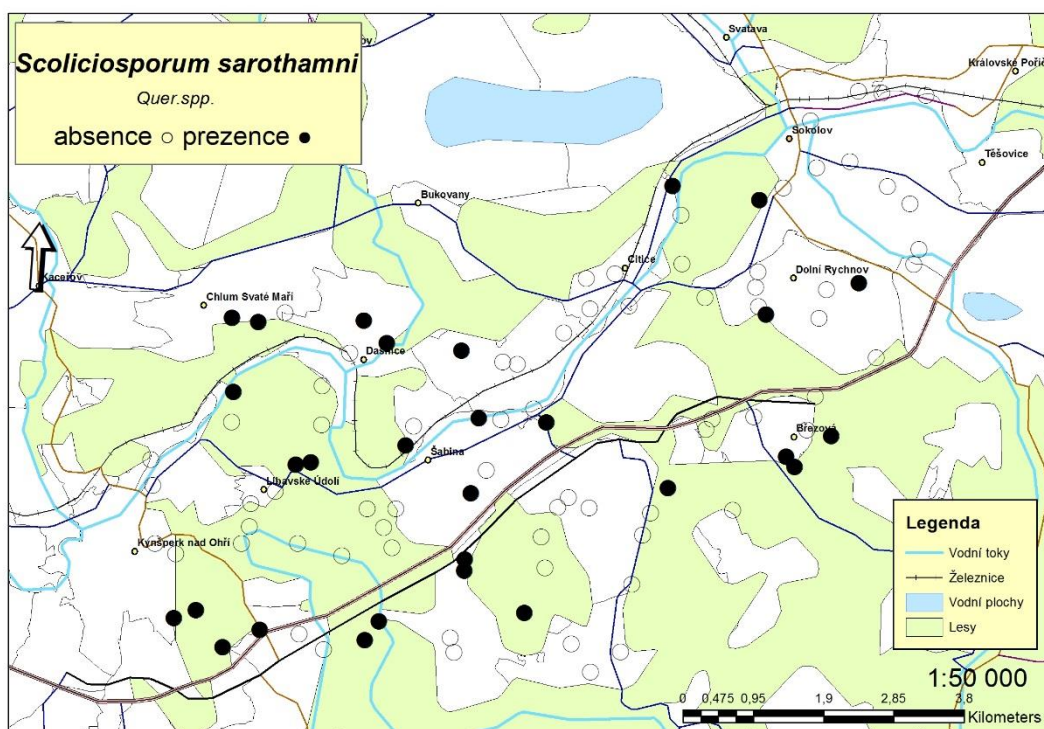
Obrázek 81 – Výskyt lišejníku *Scoliciosporum sarothamni* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia



Obrázek 82 – Výskyt lišejníku *Scoliciosporum sarothamni* na vybraných dubech ve studovaném území



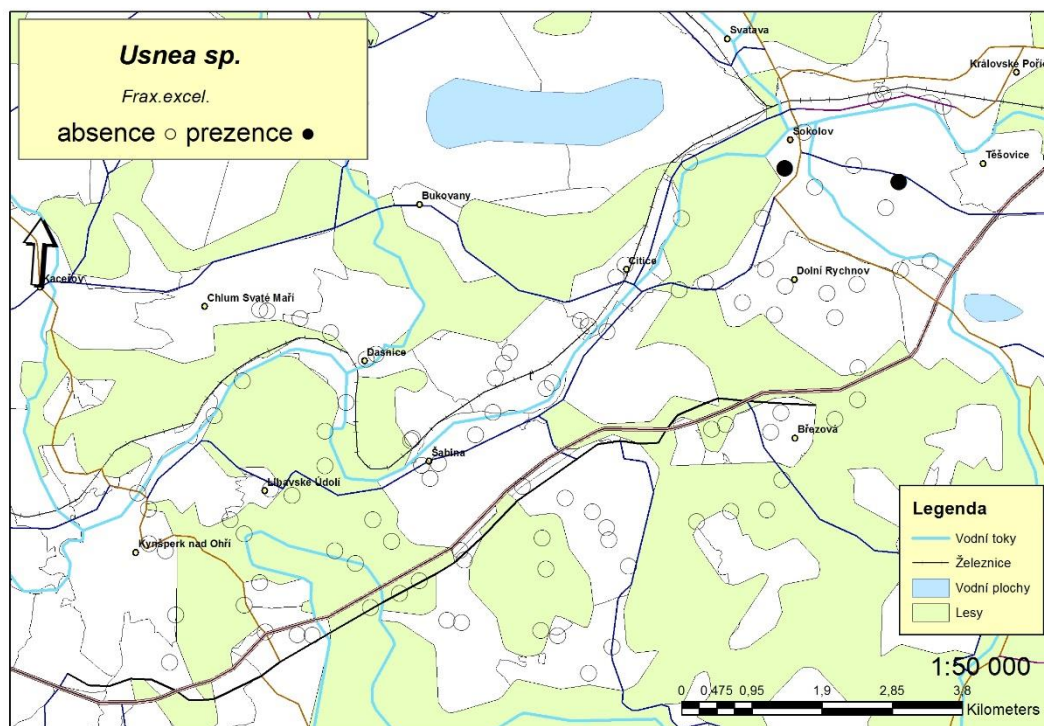
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 83 – Výskyt lišejníku *Strangospora pinicola* na vybraných jasaněch ve studovaném území



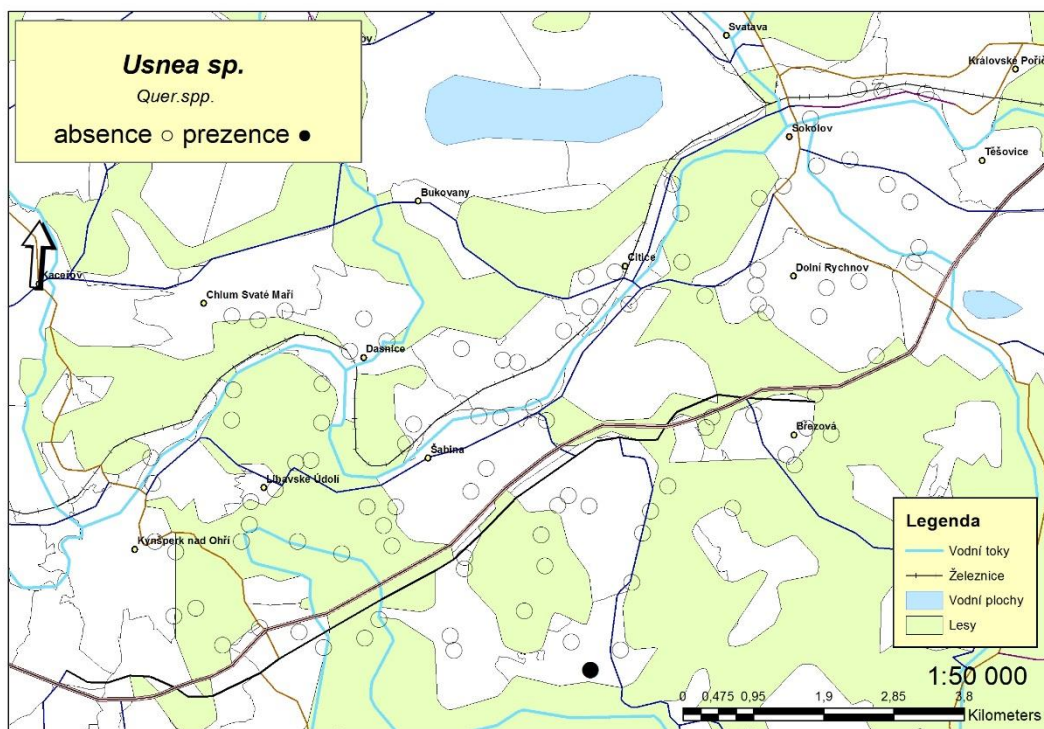
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 84 – Výskyt taxonu *Usnea* sp. na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

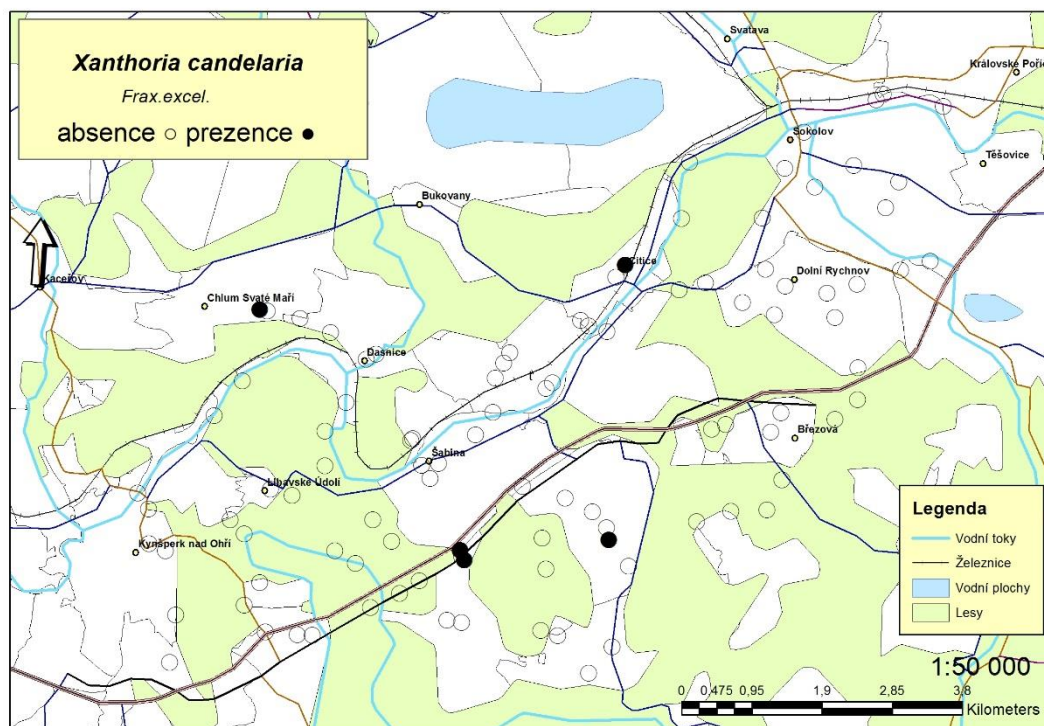
Obrázek 85 – Výskyt taxonu *Usnea* sp. na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

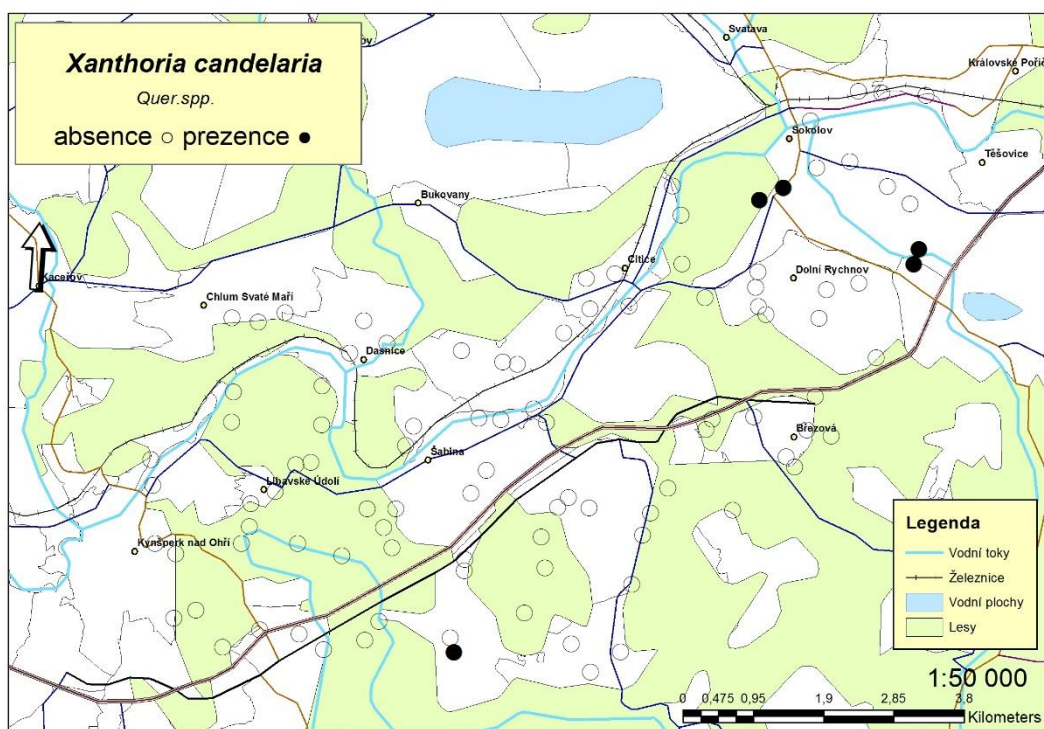


Obrázek 86 – Výskyt lišejníku *Xanthoria candelaria* na vybraných jasanech ve studovaném území



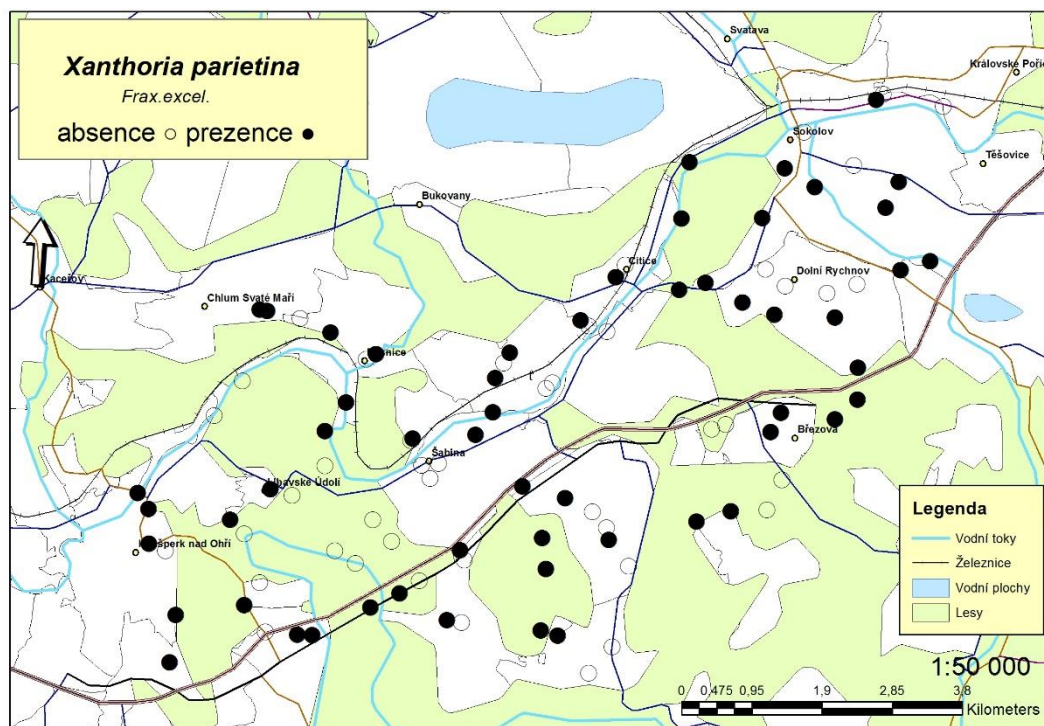
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 87 – Výskyt lišejníku *Xanthoria candelaria* na vybraných dubech ve studovaném území



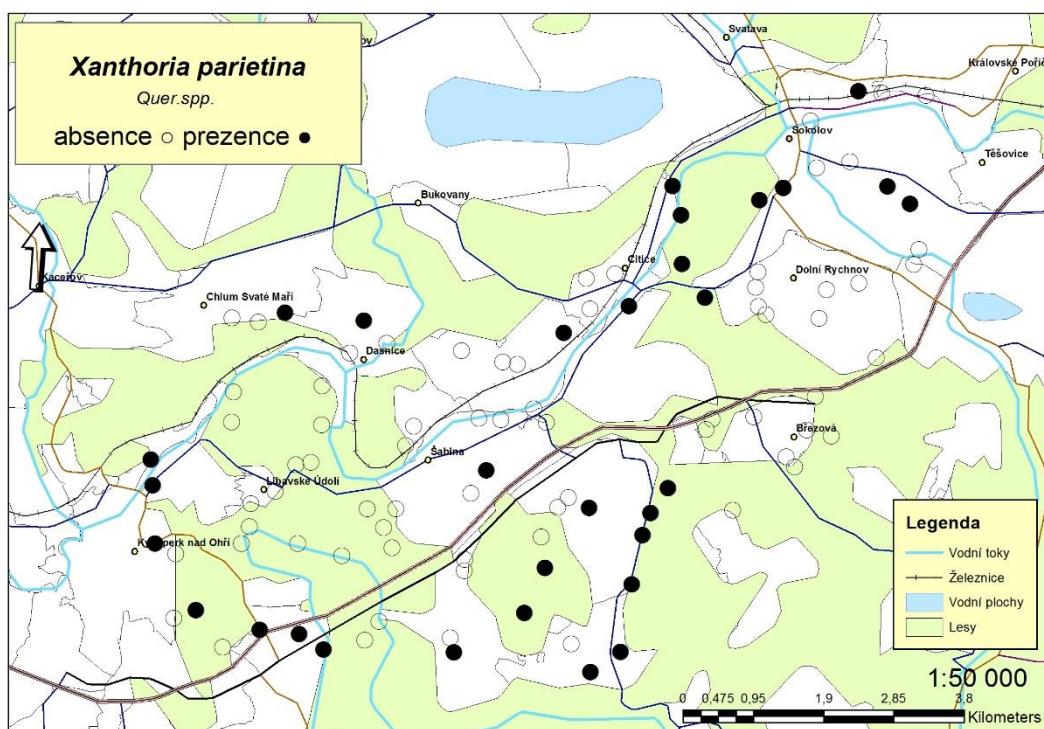
Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

Obrázek 88 – Výskyt lišejníku *Xanthoria parietina* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

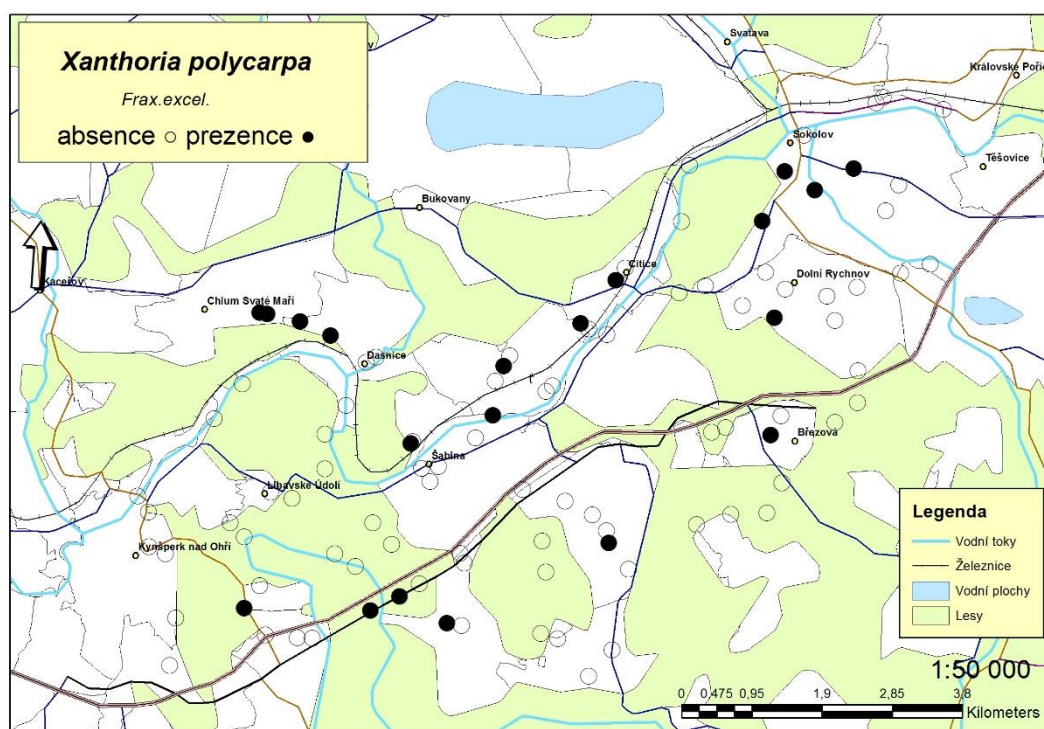
Obrázek 89 – Výskyt lišejníku *Xanthoria parietina* na vybraných dubech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia



Obrázek 90 – Výskyt lišejníku *Xanthoria polycarpa* na vybraných jasanech ve studovaném území



Zdroj: vlastní zpracování, zpracováno v prostředí ArcGIS 10.2 na podkladových mapách Cenia

## 7. DISKUSE

### 7.1 EPIFYTICKÉ LIŠEJNÍKY SOKOLOVSKA

V rámci terénních průzkumů bylo nalezeno celkem 39 epifytických druhů a nižších taxonomických jednotek z celkového počtu bylo 34 druhů nalezeno na jasanech a 26 druhů na dubech. 21 druhů lišejníků bylo shodných pro oba typy forofytů. Lišejníky tvoří na borce stromů běžná společenstva s podobnými ekologickými nároky, v naprosté převaze jsou společenstva nitrofilní s typickými zástupci druhů *Physcia tenella*, *P. adscendens* a rodu *Xanthoria*.

Mezi druhy se sice řídce, ale přesto objevily i druhy vysoce citlivé k atmosférickému znečištění jako jsou *Usnea* spp., *Ramalina* spp. a *Evernia prunastri*. V kontextu 40 let od výroku o lišejníkové poušti (KRIESL 1978b) a 15 let od dokončení odsiřovacích procesů hlavních znečišťovatelů v území (viz kapitola 5.6 – Historie a současnost antropogenních vlivů na životní prostředí Sokolovska), lze tento fakt považovat za překvapivě dobrý. Při srovnání výsledků terénního průzkumu s podobnými pracemi zabývajícími se metodou LDV (Tabulka 11) a sledujícími v rámci metodiky

lichenoflóru na jasanech (ČÁP 2013, KADOUN 2012, LIPOWSKI 2012), je na Sokolovsku druhová diverzita lišejníků větší.

Tabulka 11 – Srovnání druhové diverzity vybraných lokalit

Počet jedinců <i>Fraxinus excelsior</i> , na kterých byl druh nalezen				
Celkový počet zkoumaných forofytů v každé lokalitě – 100	Praha-západ I.	Litoměřicko	Praha-západ II.	Sokolovsko
<b>Počet nalezených druhů celkem</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>34</b>
<i>Amandinea punctata</i>	4	2	4	20
<i>Anisomeridium polypori</i>	–	–	–	2
<i>Canderaliella reflexa</i> ( <i>C. efflorescens</i> )	44	1	44	54
<i>Candelariella xanthostigma</i>	–	–	–	2
<i>Evernia prunastri</i>	–	–	–	2
<i>Halecania viridescens</i>	–	–	–	1
<i>Hypogymnia physodes</i>	–	2	–	4
<i>Lecania cyrtella</i>	–	–	–	10
<i>Lecania naegelii</i>	–	–	–	2
<i>Lecidella elaeochroma</i>	–	–	–	1
<i>Lecanora conizaeoides</i>	44	–	13	59
<i>Lecanora expallens</i>	–	1	4	–
<i>Lecanora chlarotera</i>	2	–	–	2
<i>Lecanora leptyroides</i>	–	–	–	2
<i>Lecanora persimilis</i>	–	–	–	4
<i>Lecanora pulicaris</i>	–	–	–	1
<i>Lecanora saligna</i>	–	–	1	10
<i>Lepraria cf. incana</i>	–	8	2	1
<i>Lepraria lobificans</i>	–	–	–	2
<i>Lepraria rigidula</i>	–	–	–	5
<i>Melanelixia glabra</i>	–	–	–	1
<i>Micarea micrococca</i>	–	–	–	1
<i>Parmelia saxatilis</i>	18	5	5	1
<i>Parmelia sulcata</i>	17	4	11	41

<i>Parmeliopsis ambigua</i>	1	–	–	–
<i>Phaeophyscia nigricans</i>	–	–	–	3
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	9	16	28	2
<i>Phlyctis argena</i>	–	–	–	1
<i>Physcia adscendens</i>	99	15	59	92
<i>Physcia stellaris</i>	5	–	–	–
<i>Physcia tenella</i>	98	57	88	96
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	–	10	–	–
<i>Scoliciosporum sarothamni</i>	–	–	–	14
<i>Strangospora pinicola</i>	–	–	–	1
<i>Usnea</i> sp.	–	–	–	2
<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>	1	–	–	–
<i>Xanthoria candelaria</i>	6	–	7	5
<i>Xanthoria parietina</i>	81	4	41	56
<i>Xanthoria polycarpa</i>	35	1	10	20

Zdroj: KADOUN 2012, ČÁP 2013, LIPOWSKI 2012, vlastní zpracování

Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami mohou být způsobeny několika faktory. Při mnoha studích bylo prokázáno, že konkrétní klimatické a orografické podmínky srovnávaných lokalit mohou ovlivnit složení lišejníkových společenstev a jejich diverzitu i při odlišné míře atmosférického znečištění (SCERBO et al. 2002). Vzhledem k tomu, že se jedná o studentské práce, mohlo dojít a také jistě docházelo k přehlédnutí některých druhů a to především u mikrolíšejníků. U makrolíšejníků by vzhledem k použité metodice (využití mřížky) k přehlédnutí mohlo dojít jen zřídka. Dalšími důvody pro rozdílnost výsledků by mohly být faktory ovlivňující rekolonizaci lišejníků, jako jsou klimatické podmínky oblastí a samotná schopnost konkrétních lišejníků se šířit.

Velmi výrazný rozdíl ve výskytu je zaznamenán u korovitého lišejníku *Lecanora conizaeoides*. Zatímco v oblasti Litoměřicka nebyl zaznamenán ani v jednom výskytu, v oblasti Praha-západ byl tento lišejník u jedné studie zaznamenán na jasaněch ve 14 případech a ve druhé ve 39 případech. Na Sokolovsku byl oproti tomu zaznamenán jeho výskyt na 59 jasaněch ze sta. Příčinou může být sídelní struktura oblasti, kdy na Sokolovsku byl výzkum prováděn v oblasti s převahou venkovského typu osídlení a s tím souvisí i způsob vytápění. Po přerušení programu Zelená úsporám (podzim

2010 – podzim 2013), který podporoval energeticky úsporné rekonstrukce rodinných domů, bytových domů a jeho hlavním cílem bylo zlepšení stavu životního prostředí snížením produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (především emisí CO<sub>2</sub>), mohlo dojít k přechodnému zvýšení lokálních koncentrací SO<sub>2</sub> a tím k podpoře přežívání silně toxitoleratního *Lecanora conizaeoides*.

V souvislosti s rozdílnými výsledky ve studovaných oblastech by jistě bylo zajímavé více posoudit otázku potenciálních refugií v jednotlivých lokalitách. Substrát jako poslední důležitý faktor pro rekolonizaci lišejníků není třeba zohledňovat, je pro všechny studie stejný. Další studie podobného typu (LDV metoda) prováděná D. Svobodou v Českém krasu (SVOBODA 2003) byla prováděná na několika druzích stromů s podobným pH borky a neuvádí konkrétní výčet jednotlivých druhů lišejníků nalezených na zkoumaných jedincích *Fraxinus excelsior*.

## 7.2 NITROFILNÍ A ACIDOFILNÍ SPOLEČENSTVA

Neúměrné převládnutí několika druhů je znakem porušené biologické rovnováhy epifytické lišejníkové vegetace (KRIESL 1978). Při svých výzkumech během sedmdesátých let minulého století na Sokolovsku označil Kriesl (KRIESL 1978) za nejpočetnější druhy *Lecanora conizaeoides* (na 81 % všech snímkaných stromů) a *Hypogymnia physodes* (76,9 %), s větším odstupem co do pokryvnosti *Lepraria* sp. a *Parmelia sulcata*. Pokryvnost více než 10 % mělo i těchto šest druhů: *Tuckermannopsis chlorophylla* (sub. *Cetraria chlorophylla*) (28,7 %), *Lepraria* sp. (20,5 %), *Parmeliopsis ambigua* (18,7 %), *Pseudevernia furfuracea* (16,9 %), *Lecanora chlorotera* (sub. *Lecanora subfusca*) (11,8 %) a *Candelariella xanthostigma* (11 %). Převažovaly tak jednoznačně acidofilní druhy co do početnosti, tak i z hlediska pokryvnosti. V současné době se situace změnila a početnější jsou nitrofilní druhy. S frekvencí vyšší než 10 % (výskyt na více jak deseti procentech zkoumaných stromů bez ohledu na pokryvnost) byly na jednotlivých jasaněch zaznamenány tyto druhy: nitrofilní *Physcia tenella* (96 %), *Physcia adscendens* (92 %), *Xanthoria parietina* (56 %), *Candelariella efflorescens* (54 %), *Xanthoria polycarpa* (20 %), *Amandinea punctata* (20 %), neutrofilní *Parmelia sulcata* (41 %) a *Scoliciosporum sarothamni* (14 %) a jako jediný zástupce acidofilních lišejníků *Lecanora conizaeoides* (59 %). Posun k nitrofilním společenstvím je tedy zřejmý.

Na dubech je ve zkoumané oblasti největší výskyt acidofilního druhu *Lecanora conizaeoides* (82 %), teprve dále je výskyt nitrofilních druhů *Physcia tenella* (72 %), *P. adscendens* (50 %), *Candelariella efflorescens* (43 %), *Xanthoria parietina* (31 %), *Amandinea punctata* (13 %), neutrofilní *Parmelia sulcata* (36 %), *Lepraria lobificans* (27 %) a *Scoliciosporum sarothamni* (29 %) a opět acidofilní *Hypogymnia physodes* (17 %). Posun k nitrofilním společenstvím u dubů již není tak jednoznačný. Nízká míra rekolonizace citlivých lišejníků je zapříčiněna pravděpodobně vyšší kyselostí borky dubů a vysokou koncentrací dusíkatých látek (BATES et al. 2001). Společenstva jsou často smíšená do druhů, preferujících jiné ekologické podmínky, tento jev může být způsoben na stanovištích, kde ještě nebylo dosaženo stabilní rovnováhy způsobené mezidruhovou kompeticí (LANGE et al. 2005).

Otázka není zdaleka tak jednoduchá, a zatímco někteří autoři tvrdí, že ústup *Lecanora conizaeoides* je způsoben snížením imisí SO<sub>2</sub>, objevují se i názory, že ústup tohoto vysoce toxitolerního lišejníku je způsoben zvyšující se hodnotou dusíkatých látek v prostředí (VAN HERK 2001) a naopak jediné, co požadují nitrofilní lišejníky ke svému rozmachu, je dostatek dusíkatých látek bez ohledu na přítomnost kyselých imisí (VAN HERK 2001).

### 7.2.1 POSUN VE VÝSKYTU LIŠEJNÍKU *LECANORA CONIZAEOIDES*

Acidofilní korovitý lišejník *Lecanora conizaeoides* byl v druhé polovině 20. století jedním z nejhojnějších lišejníků i na Sokolovsku (P. UHLÍK in verb, VII. 2014) a pokrýval všechny dostupné substráty, přitom na počátku století a ještě i v padesátých letech byl v Čechách i jiné poměrně vzácný (KRIESL 1978b, WIRTH 1995). Do roku 1965 byl *Lecanora conizaeoides* publikován pouze ze dvou míst chomutovské části Krušných hor a po roce 1980 již nálezy uvádí pět autorů (BESPERÁTOVÁ 2013).

Během několika let po odsíření tento lišejník ustupuje a je možné se domnívat, že jeho velká tolerance ke koncentraci SO<sub>2</sub> v ovzduší a s tím související kompetiční výhoda oproti ostatním druhům nebyla jedinou příčinou jeho masového rozšíření v uplynulých letech a že pravděpodobně tento druh vyžaduje pro úspěšný růst zvýšené vstupy SO<sub>2</sub>, případně jiné související chemické faktory (BATES et al. 2001) a na druhé straně postupem času začalo být velice pravděpodobné, že ústup či vymizení *Lecanora conizaeoides* je způsobeno následkem zvýšení pH borky stromů zapříčiněného kombinací poklesu emisí SO<sub>2</sub> a nárůstu emisí NH<sub>3</sub> (MASSARA et al. 2009).



Tento názor podporují i vlastní pozorování ve studovaném území, kdy na některých kmenech neprobíhá kompetice s jinými druhy, *Lecanora conizaeoides* byl jediným druhem na zkoumaném forofytu a přesto nepokryval výraznou část kmene. Zároveň s ústupem *Lecanora conizaeoides* bylo pozorováno rozšíření lišejníku *Lepraria incana*, ačkoli patří mezi druhy velmi tolerantní ke koncentracím SO<sub>2</sub>. Jeho rozšíření může mít souvislost se zvýšením koncentrací dusíkatých látek v městském prostředí. Stejně tak je pozorován i nízký výskyt dříve hojného *Hypogymnia physodes*.

### 7.3 VYHODNOCENÍ ROZDÍLŮ MEZI DUBY A JASANY

Rozdíly v druhovém složení lišejníků na dubech a na jasaněch jsou z výsledků biomonitoringu zřejmé a jako signifikantní pro menší průměrný počet druhů na dubech byl prokázán vliv proměnné dřeviny (Obrázek 28). A tato proměnná signifikantně vysvětlila i menší průměrné hodnoty LDV na dubech. Jednoznačným důvodem pro rozdíly v diverzitě lišejníkových druhů na jasaněch a dubech je tedy rozdílné pH borky, které je u dubu nižší než u jasanu. Jasan je řazen ke stromům s neutrální borkou, dub ke stromům s borkou mírně kyselou. K těmto závěrům se připojuje i terénní pozorování, kdy v některých čtvercích byly snímkovány stromy stojící v těsné blízkosti a přesto se lichenoflóra na nich druhovým složením lišila.

### 7.4 REKOLONIZACE

Rekolonizace lišejníků v oblastech zasažených atmosférickým znečištěním probíhá v několika fázích a je ovlivněna několika významnými faktory. Prvním a nejdůležitějším předpokladem je eliminace polutantů. Dalšími faktory, kterými je rekolonizace ovlivněna, jsou typ substrátu, klimatické podmínky oblasti a sama schopnost šíření jednotlivých druhů ((HAWKSWORTH & McMANUS 1989, LANGE et al. 2005, VAN DOBBEN & DE BAKKER 1996).

Absence citlivějších druhů je pravděpodobně způsobena i kratší dobou průběhu rekolonizace, než by byla pro tyto citlivé lišejníky potřebná. Přesto je předpoklad, že právě tyto druhy budou rekolonizovat oblasti zasažené emisemi SO<sub>2</sub> v korelaci s klesajícími koncentracemi polutantu (OTTE et al. 2014), vyvrácen i fenoménem, který je nazýván „zone-skipping“

#### 7.4.1 „ZONE-SKIPPING“

„Zone-skipping“ je jev související s rychlostí, s jakou klesá obsah znečišťujících látek v ovzduší, ale který naznačuje, že při rekolonizaci oblastí zasažených atmosférickým

znečištěním nedochází k návratu lišejníkových druhů v takové reverzní posloupnosti, v jaké lišejníky z oblasti mizely, ale že některé velmi citlivé lišejníky mají schopnost objevit se a uchytit mezi prvními (HAWKSWORTH & McMANUS 1989).

V rámci zonace dané citlivostí lišejníků ke koncentracím SO<sub>2</sub> (HAWKSWORTH & ROSE 1970) tak bylo zajímavým zjištěním, že se v určitých oblastech po snížení koncentrací SO<sub>2</sub> objevily dříve citlivější lišejníky ze zón 6 až 7 oproti méně citlivým druhům zón 4 a 5 (HAWKSWORTH & McMANUS 1989). Tento jev je na jedné straně vysvětlen konkrétní schopností určitých druhů rychle se šířit a na druhé straně je zde možný nízký konkurenční tlak v nově osidlovaném území a to umožňuje i konkurenčně slabým druhům, byť možná dočasně, v osidlovaném území prospívat (LANGE et al. 2005).

#### 7.4.2 DISTRIBUČNÍ POTENCIÁL DRUHŮ

Po deseti letech od poklesu koncentrací SO<sub>2</sub> ze 130 µg.m<sup>-3</sup> na méně než 60 µg.m<sup>-3</sup> dochází i v hustě osídlených městských oblastech k opětovnému šíření citlivých druhů, jako jsou keříčkovité *Evernia prunastri* a *Ramalina farinacea* a celkově může dojít až k návratu dříve vymizelých druhů (HAWKSWORTH & McMANUS 1989).

Podle Lange et al. (LANGE et al. 2005) převládá v iniciační fázi rekolonizace vedle korovitých lišejníků i rekolonizace *Physcia tenella*, *P. adscendens* společně s *Hypogymnia physodes* a později nastupuje *Evernia prunastri* (LANGE et al. 2005). Ferry a Lodge (FERRY & LODGE 1996) v závěru své práce o distribuci a sukcesi lišejníků na trnce obecně řadí mezi první kolonizátory na mladých keřích korovitý lišejník *Lecanora confusa* a keříčkovitý druh *Evernia prunastri* s tím, že tyto druhy přetrvávají i na starších keřích. *Xanthoria polycarpa* kolonizuje mladé větve poměrně brzy, ale s narůstajícím věkem keře mizí pravděpodobně z důvodu preferencí malých větviček. Následuje *Hypogymnia physodes*, *Parmelia glabratula* a *P. subaurifera* posléze *Parmelia sulcata* a konečně *Usnea subfloridana*. Je ale potřeba dodat, že Ferry a Lodge se ve své práci nezabývají rekolonizací oblastí zasažených atmosférickým znečištěním, ale sledují všeobecné distribuční modely. Degelius (DEGELIUS 1964, 1978) popisuje lišejník *Xanthoria polycarpa* jako běžný na větvičkách listnatých stromů, včetně jasanu. Sami Ferry a Lodge ve své práci uvádějí, že jejich pozorování a stanovení lišejníku *Evernia prunastri* jako raného kolonizátora a *Parmelia sulcata*

jako kolonizátora pozdějších stádií, je v rozporu s údaji poskytnutými minimálně dalšími třemi autory.

Pohlavní forma rozmnožování je evidentně v časných stádiích rekolonizace pro lišejníky nevýhodou, zejména kvůli obtížím s nalezením vhodného fotobionta (BECK et al. 1998, LANGE 2005). V lišejníkových společenstvech podobného složení, jaké bylo zjištěno na studovaných forofytech na území Sokolovska (*Physcietum adscendentis*) není výjimkou, že řasa v *Xanthoria parietina* je morfologicky i geneticky odlišná od řas v *Physcia adscendens* a *Phaeophyscia orbicularis*, i když zde byl původní předpoklad, že *X. parietina* řasu od zmíněných lišejníků rodu *Physcia* přebírá (BECK et al. 1998). V případě nepohlavního rozmnožování je výhodou eliminace podmínky přítomnosti fotobionta na novém stanovišti, lišejníky s tou formou rozmnožování se ale hůře šíří na velké vzdálenosti. I za předpokladu, že malé a lehké spory umožňují snadné šíření i na větší vzdálenosti, je lišejník podmínkou přítomnosti fotobionta v šíření omezen (FRITZ et al. 2008).

#### 7.4.3 VLIV REFUGIÍ NA PROCES REKOLONIZACE

Na dobrém výsledku mají jistě nezanedbatelný podíl i blízká kvalitní refugia mnohých druhů, kterými byly porosty Slavkovského lesa a pravděpodobně i úspěšné šíření původních druhů z německé strany, z pohoří Fichtelberg, případně ze západní části Krušných hor, která byla plošně devastace na konci 20. století ušetřena. Šíření pravděpodobně probíhalo a stále probíhá díky převládajícímu severozápadnímu a západnímu proudění větrů. Nelze ale pominout fakt, že oproti Krušným horám a Slavkovskému lesu, které jsou dobře provětrávány, postihují oblast Sokolovské pánve časté inverze (QUITT 1971). Protože ze studovaného území nejsou žádné podrobné lichenologické záznamy kromě již zmíněného výroku (KRIESL 1978b) o lišejníkové poušti a tak se lze jen domnívat, jak přesně vypadalo složení lišejníkových společenstev před degradací kyselými imisemi a zda jsou nalezené druhy původní. Vzhledem k tomu, že všechny nalezené druhy jsou ubikvitní, je možné předpokládat, že se na území vyskytovaly již dříve, což následně dokazují i nálezy ze sedmdesátých let minulého století z blízkého Slavkovského lesa (KRIESL 1978b).

#### 7.4.4 VLIV SUBSTRÁTU NA PROCES REKOLONIZACE

Na úspěch a průběh rekolonizace má podstatný vliv i vhodnost substrátu pro návrat lišejníků. Rozdíl mezi výskytem lišejníků na kmenech s kyselou a neutrální borkou

je popsán v kapitole 7.3 – Vyhodnocení rozdílu mezi duby a jasanů. Jednoznačným důvodem pro rozdíly v diverzitě lišejníkových druhů na jasaněch a dubech je rozdílné pH borky. Rozdíly v hodnotě LDV jsou signifikantně (Obrázek 30) vysvětleny i vlivem proměnné borky (stará, střední a mladá) a hodnota LDV byla nejvyšší na kmenech se starou borkou. Je možno vycházet z předpokladu, že mladší forofyty nebyly vystaveny takovým koncentracím polutantů a jejich borka má vyšší pH než borka starých stromů. Tento předpoklad potvrzují i Seaward (SEAWARD 1997) a Kricke (KRICKE 2003), kteří uvádí, že velmi nízké pH borky přetrvává značně dlouho i po eliminaci znečištění. Toto tvrzení by mohlo potvrdit výsledky analýzy, kdy nižší pH borky u starších kmenů znesnadňuje masový nástup nitrofilních lišejníků a umožňuje tak acidofilním druhům určitou kompetiční výhodu a jejich přežívání zvyšuje v konečném důsledku biodiverzitu a tím i hodnotu LDV. Oproti tomu van Herk (VAN HERK 1999) uvádí, že vliv kyselých imisí na pH borky nelze vysledovat a ovlivnit pH borky může pouze vliv amoniaku.

Všeobecně vhodnějším substrátem pro rekolonizaci lišejníků se jeví spíše keře než stromy (SYROVÁTKOVÁ 2009) a to hned z několika důvodů. Hypotéza o mladším substrátu tedy i jeho vyšším pH je zmíněna výše a dalším důvody může být i vyšší hustota větvení a tím pádem vyšší schopnost zachycovat drobné spory lišejníků i akumulovat přízemní vlhkost (SYROVÁTKOVÁ 2009).

Dalším důvodem pro rozdílnost lichenoflóry mladých a starých stromů se zdá být jev pozorovaný i při vlastní terénní práci a to, že na hladké borce mladých jasanů ulpívají stélky keříčkových lišejníků jen zřídka a pokud, tak na prasklinách a jizvách v borce. Vliv proměnné borky na nižší biodiverzitu a hodnotu LDV opět prokázaly signifikantně zobecněné lineární modely (Obrázek 30), hodnota LDV byla u kmenů s mladou borkou nejnižší. Barkmann ve shodě s předešlým tvrzením také uvádí, že především u jasanu se lichenoflóra na mladých stromech s hladkou borkou značně lišila od lichenoflóry na stromech s borkou hrubou a popraskanou. (BARKMANN 1958). Starší kmeny mají také lepší schopnost držet vodu a tím zlepšit svou vhodnost pro epifytické lišejníky.

#### 7.4.5 VLIV KLIMATU NA PROCES REKOLONIZACE

Klimatickým poměrům studované oblasti se věnuje kapitola 5.5 – Klimatické poměry studovaného území. V krátkosti lze uvést, že mezoklima Sokolovské pánve ovlivnila

těžba nerostných surovin, především pak těžba hnědého uhlí a s ní spojená ztráta vegetačního pokryvu. Potřebnou vlhkost by do studovaného území mohla alespoň zčásti dodávat středem území protékající řeka Ohře. Vzhledem k tomu, že lišejníky jako poikilohydrické organismy (NASH 2008) na vzdušné vlhkosti závisejí, bude vzhledem k mírnému klimatu oblasti právě voda determinatem jejich nikterak hojného výskytu a relativně pomalé rekolonizace. Přesto byly nalezeny velmi malé a ojedinělé stélky lišejníků druhu *Evernia prunastri*, rodů *Usnea* a *Ramalina*, které preferují vlhké klima (LANGE et al. 2005). Klima konkrétních oblastí může být důležitým faktorem pro růst lišejníkových stélek a může ovlivnit průběh celého procesu rekolonizace. Nálezy z Doupovských hor (SYROVÁTKOVÁ 2009), kde byly na keřích zjištěny stélky lišejníků rodu *Usnea* o délce až 15 cm a mohou se jen stěží rovnat s nálezy ze Sokolovska. Zde velikost stélek rodu *Usnea* nepřekročil 1 cm, stejně tak malá byla stélka u jediného nálezu jedince rodu *Ramalina* i dvou zástupců druhu *Evernia prunastri*. Posledně jmenovaný lišejník byl o něco větší, ale délka neřesahovala 3 cm. Vysvětlení lze nalézt mimo jiné v lepších klimatických podmínkách Doupovských hor, především v přítomnosti častých mlh (SYROVÁTKOVÁ 2009).

## 7.5 ZHODNOCENÍ LDV METODY A JEJÍCH VÝSLEDKŮ

Biomonitoring pomocí lišejníků bývá postup poměrně jednoduchý, finančně málo náročný a při použití správných metod i spolehlivý. Metoda Lichen diversity value patří k moderním metodám biomonitoringu a je úzce vázána na dostatek vhodných forofytů ve sledovaném území. Výsledky, ke kterým došla tato diplomová práce, byly očekávané a rozdíly v hodnotách mezi duby a jasanů byly předpokládány také. Rozdíly v hodnotách LDV u proměnných druh dřeviny a borka jsou diskutovány v předešlých kapitolách. Signifikantní vliv na hodnotu LDV (Obrázek 29, Obrázek 30) byl prokázán i u proměnných expozice a zástavba. Nejvyšší hodnoty LDV byly zjištěny u soliterně rostoucích jedinců a nejmenší hodnoty u stromů v lesních porostech. Soliterně rostoucí forofyty byly snímkovány především v zastavěných oblastech a v souvislosti s tím vyšší hodnoty LDV významně vysvětluje i proměnná zástavba. Obě proměnné mají tedy kladný vliv na vyšší hodnoty LDV. Vysvětlení je možné najít v kombinaci obohacení prostředí imisemi z dopravy ve městech a obcích a zároveň působením imisí SO<sub>2</sub> z lokálních topenišť.

Ačkoli biodiverzita většiny území byla vyhodnocena při použití obou forofytů jako narušená, rozdíly mezi jednotlivými forofyty nebyly zanedbatelné. Proto je při



aplikování této metody potřeba dbát na výběr forofytů, ideálně používat stromy s neutrální borkou, případně dodržovat přesné počty stromů s různými pH borky v jednotlivých čtvercích. Jako další nedostatek této metody je nutno zmínit příliš široké rozpětí metodikou povoleného obvodu zkoumaných stromů. Především u jasanů byla lichenoflóra stářím stromu a v souvislosti s tím i strukturou borky velmi ovlivněna.

Diskutabilní je ale možnost zpřísnění metodiky a stanovení pouze minimální odchylky v obvodu zkoumaných stromů, protože vzhledem k malému zastoupení jasanů ve studovaném území by za takových podmínek nemohla být metoda biomonitoringu pomocí metody LDV provedena vůbec. Dále je nutno dodat, že počet dvou stromů na čtverec považují za nízký a je potřeba provést snímkování na větším počtu forofytů. Vzhledem k přísné metodice by tak opět byla snížena možnost provádět tuto metodu v mnoha dalších územích.

## 8. ZÁVĚR

Vzhledem k minimu historických záznamů o složení lišejníkových společenstev v oblasti nelze dělat jasné a faktické závěry v ohledu na příčinnou souvislost rozdílů mezi historicky doloženou a současnou lichenoflorou. Jedná se o kombinaci několika vlivů a více než pravděpodobný je antropogenní vliv současně s postupnou změnou klimatu v oblasti. Změny ve složení lišejníkových společenstev jsou způsobeny snížením koncentrací SO<sub>2</sub> a současným zvýšením koncentrací dusíkatých látek a tento jev je příčinou dominance nitrofilních druhů. Rychlost změn ve složení lichenoflóry odpovídá poklesu koncentrací SO<sub>2</sub> v posledních letech. Podle zjištěné biodiverzity lišejníkových společenstev na Sokolovsku je jednoznačné, že se tato společenstva dosud vyrovnávají s působením environmentálního stresu. Za velký přínos svojí práce považují po dlouhé době jediné zmapování lichenoflóry Sokolovska včetně nálezu nedokonale známého druhu *Lecanora subsaligna*, jehož nález byl pro tuto oblast první. Za další přínos své práce považují zjištění, že i v centru největšího města studovaného území dochází k návratu citlivých keříčkových lišejníků a dále „znovuobjevení“ práce A. Kriesla, která je zřejmě jediným důkladným lichenologickým průzkumem na Sokolovsku (vyjma blízkých Krušných hor) v minulém století. Doporučuji tedy především zopakování průzkumů v lokalitách studovaných A. Krieslem a to s použitím metody IAP, kterou zmiňovaný lichenolog aplikoval. Výsledky srovnání současného stavu lišejníkové diverzity se stavem ze sedmdesátých let minulého století by byly jistě přínosné a zajímavé.

## 9. PŘEHLED POUŽITÝCH ZDROJŮ

### LITERÁRNÍ ZDROJE

- AHMADJIAN V. (1993): *The Lichen Symbiosis*. – John Wiley & Sons, New York. [250 pp.].
- ANDĚL P. (1981): Využití lišejníků při kvantitativním hodnocení imisní zátěže krajiny. – In: ŠEBEK S. (ed.): *Bioindikační význam lišejníků a jejich ochrana*. Československá vědecká společnost pro mykologii při ČSAV Praha. 11–15.
- ANDĚL P. (2011): *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitring*. – Evernia, Liberec. [265 pp.].
- ARDNT U., NOBEL W. & SCHWEIZER B. (1987): *Bioindikatoren Möglichkeiten, und neue Erkenntnisse*. – Ulmer, Stuttgart. [396 pp.].
- ARNOLD F. (1891): *Zur Lichenenflora in München. Erste Abtheilung. Aufzählung der Arten*. – *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 1: 1–147.
- ARNOLD F. (1897): *Zur Lichenenflora von München*. – *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 8: 1–24.
- ASTA J., ERHARDT W., FERRETTI M., FORNASIER F., KIRSCHBAUM U., NIMIS P. I., PURVIS O. W., PIRINTSOS S., SCHNEIDEGGER C., VAN HALUWYN C., & WIRTH W. (2002): *European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress*, – British Lichen Society. [19 pp].
- ASTA J., ERHARDT W., FERRETTI M., FORNASIER F., KIRSCHBAUM U., NIMIS P. I., PURVIS O. W., PIRINTSOS S., SCHNEIDEGGER C., VAN HALUWYN C., & WIRTH V. (2002): *Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality*. – In: NIMIS P. L., SCHEIDEGGER C. & WOLSELEY P. A. (eds): *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. – Nato Science Series. IV. Earth and Environmental Sciences, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 273–279.
- BAČKOR M. & LOPPI S. (2009): *Interactions of lichens with heavy metals*. – *Biologia Plantarum* 53: 14–222.
- BALABANOVA B., STAFILOV T., SAJN R. & BAËEVA K. (2012): *Characterisation of Heavy Metals in Lichen Species Hypogymnia physodes and Evernia prunastri due to Biomonitoring of Air Pollution in the Vicinity of Copper Mine*. – *International Journal of Environmental Research and Public Health* 6: 779–794.
- BARKMAN J. J. (1958): *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes*. – *Van Gorcum et C° N. V., Assen* [628 pp.].
- BATES J. W. (1992): *Influence of chemical and physical factors on Quercus and Fraxinus epiphytes at Loch Sunart, western Scotland: a multivariate analysis*. – *Journal of Ecology* 80: 163–179.
- BATES J. W. & BELL J. N. (1981): *Epiphyte differentiation between Quercus petraea and Fraxinus excelsior trees in a maritime area of South West England* – *Planet ecology* 48: 61–70.

- BATES J. W., BELL J. N. & MASSARA A. C. (2001): Loss of *Lecanora conizaeoides* and other fluctuations of epiphytes on oak in S. E. England over 21 years with declining SO<sub>2</sub> concentrations. – *Atmospheric environment* 35: 2557–2568.
- BATIČ F. (2002): Bioindication of sulphur dioxide pollution with lichens. – In: KRANNER I. C., VARMA A. K. & BECKETT R. P. (eds): *Protocols in Lichenology*. – Springer, Berlin – Heidelberg. 483–507.
- BAYEROVÁ Š., HALDA J., LIŠKA J., & UHLÍK P. (2004a): Příspěvek k poznání lichenoflóry Krušných hor (Česká republika). – *Bryonora* 33: 28–35.
- BAYEROVÁ Š., HALDA J., LIŠKA J. & UHLÍK P. (2004b): *Rhizocarpon ridescens* a *Verrucaria ochrostoma* – dva nové druhy lišejníků pro Českou republiku. – *Bryonora* 33: 26–27.
- BECK A., FRIEDL T. & RAMBOLD T. (1998): Selectivity of photobiont choice in a defined lichen community: inferences from cultural and molecular studies. – *New Phytologist* 139: 709–720.
- BERTUZZI S., DAVIES L., POWER S. A. & TRETIAK M. (2013): Why lichens are bad biomonitors of ozone pollution? – *Ecological Indicators* 34: 391–397.
- BESPERÁTOVÁ L. (2013): Literární rešerše lišejníků Krušných hor. – Ms. [Bakalářská práce, depon in Česká zemědělská univerzita, Praha][148 pp.].
- BÍNA J. & DEMEK J. (2012): Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. – Academia, Praha. [343 pp.].
- BOOM VAN DEN P. P. G. & PALICE Z. (2006): Some interesting lichens and lichenicolous fungi from the Czech republic. – *Czech Mycology* 58: 105–116.
- CULEK M., GRULICH V. & POVOLNÝ D. (1996): Biogeografické členění České republiky. – Enigma, Praha. [347 pp.].
- CULEK M., BUČEK A., GRULICH V., HARTL P., HRABICA A., KOCIÁN J., KYJOVSKÝ Š. & LACINA J. (2005): Biogeografické členění České republiky II. díl. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. [589 pp.].
- ČÁP M. (2013): Biomonitoring kvality ovzduší pomocí epifytických lišejníků v oblasti Litoměřicka. – Ms. [Diplomová práce, depon. in Česká zemědělská univerzita, Praha] [82 pp.].
- DARRAL N. M. (1989): The effect of air pollutants on physiological processes in plants. – *Plant, Cell & Environment* 12: 1–30.
- DEGELIUS G. (1964): Biological studies of the epiphytic vegetation on twigs on *Fraxinus excelsior*. – *Acta Horti Gothoburgensis*. – Meddelanden från Göteborgs botaniska trädgård 27: 11–55.
- DEGELIUS G. (1978): Further studies on the epiphytic vegetation of twigs. – *Botanica Gothoburgensis* 7: 1–58.
- DEMEK J. (ed.) (1987): *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. – Academia, Praha. [584 pp.].

- DE SLOOVER J. & LE BLANC F. (1968): Mapping of atmospheric pollution on the basis on lichen sensitivity. – In: MISRA E. & GOPAL B. (eds): Proceedings of the Symposium in Recent Advances in Tropical Ecology. – International Society for Tropical Ecology. Baranas Hindu University, Varanasi. 42–56.
- DU RIETZ G. E. (1945): Om fattigbark- och rikbarksamhällen. – Svensk Botanisk Tidskrift 39: 147–150.
- ELLIS CH. J. (2012): Lichen epiphyte diversity: A species, community and trait – based review. – Perspectives in plant ecology, evolution and systematics 14: 131–152.
- FERRY B. W., BADDELEY M. S. & HAWKSWORTH D. L. (1973): Air pollution and lichens. – University of London, The Athlone Press London. [389 pp.].
- FORMAN R. T. T. & GODRON M. (1993): Krajinná ekologie. – Akademie věd ČR ve spolupráci s MŽP ČR, Praha. [583 pp.].
- FRITZ Ö., GUSTAFSSON L. & LARSSON K. (2008): Does forest continuity matter in conservation?: A study of epiphytic lichens and bryophytes in beech forests of southern Sweden. – Biological conservation 3: 655–658.
- GILBERT O. L. (1973): Lichens and Air Pollution. – In: AHMADJIAN V. & HALE M. E. (eds): The Lichens. – Academic Press, New York. 443–469.
- GILBERT O. L. (1986): Field evidence for an acid rain effects on lichens. – Environmental Pollution Ser. A: Ecological and Biological 40: 227–231.
- GOMBERT S., ASTA J. & SEAWARD M. R. D. (2004): Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). – Science of the Total Environment 324: 183–199.
- GOPPEL C. (1976): Verbreitung und Ökologie von Rindenflechten im Stadtgebiet von Regensburg – ihr Zeigerwort für Stadtklima und Luftverschmutzung. – Hoppea 35: 5–102.
- GOTTARDINI E., CRISTOFOLINI F. & CRISTOFORI A. (2004): Monitoring epiphytic lichen biodiversity in a subalpine Norway spruce woodland at Lavazè Pass and in a thermophilous pubescent oak woodland at Pomarolo, Trentino, North Italy. – Acta Biologica 81: 245–251.
- GRINDON L. H. (1859): The Manchester Flora. – William White, London. [579 pp.].
- HALLINGBÄCK T. & HODGETTS N. (eds) (2000): Mosses, Liverworts, and Hornworts.: Status survey and conservation action plan for bryophytes. – Cambridge, Gland. [106 pp.].
- HÄLLGREN J. E. & HUSS K. (1975): Effects of SO<sub>2</sub> on Photosynthesis and Nitrogen Fixation. – Physiologia Plantarum. 34: 171–176.
- HAUCK M. (2005): Epiphytic lichen diversity on dead and dying conifers under different levels of atmospheric pollution. – Environmental pollution 135: 111–119.
- HAUCK M. (2008): Metal homeostasis in *Hypogymnia physodes* is controlled by lichen substances. – Environmental Pollution 153: 304–308.

- HAUCK M. (2011): Eutrophization threatens the biochemical diversity in lichens. – *The lichenologist* 43: 147–154.
- HAUCK M., BÖNING J., JACOB M., DITTRICH S., FEUSSNER I. & LEUSCHNER CH. (2013): Lichen substance concentrations in the lichen *Hypogymnia physodes* are correlated with heavy metal concentrations in the substratum. – *Environmental and Experimental Botany* 85: 58–65.
- HAUCK M., JÜRGENS S. R., BRINKMANN M. & HERMINGHAUS S. (2008): Surface hydrophobicity causes SO<sub>2</sub> tolerance in lichens. – *Annals of Botany*, 101: 531–539.
- HAUCK M., JÜRGENS S. R. & LEUSCHNER C. (2010): Norstictic acid: correlations between its physicochemical characteristics and ecological preferences of lichens producing this depsidone. – *Environmental and Experimental Botany* 68: 309–313.
- HAWKSWORTH D. L. & ROSE F. (1970): Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. – *Nature* 227:145–148.
- HAWKSWORTH D. L. (1973). Mapping studies. – In: FERRY B. W., BADDELEY M. S. & HAWKSWORTH D. L. (eds): *Air pollution and lichens*. – Athlone Press, London. 38–76.
- HEJNÝ S. & SLAVÍK B. (eds) (1990): *Květena české republiky 2*. – Academia, Praha. [544 pp.].
- HUISMAN J., OLFF H. & FRESCO L. F. M. (1993): A hierarchical set of models for species response analysis. – *Journal of Vegetation Science* 4: 37–46.
- JOHANSSON O., PALMQVIST K. & OLOFSSON J. (2012): Nitrogen deposition drives lichen community changes through differential species responses. – *Global Change Biology* 18: 2626–2635.
- KADOUN J. (2012): Monitoring vybraných epifytických lišejníků v nejvýhodnější části Křivoklátské vrchoviny. – Ms. [Diplomová práce, depon. in Česká zemědělská univerzita, Praha ] [82 pp].
- KALINA T. & VÁŇA J. (2005): *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. – Univerzita Karlova v Praze, Karolinum, Praha. [606 pp.].
- KIRSCHBAUM U. & WIRTH V. (1997): *Les lichens bio-indicateurs*. – Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart. [128pp.].
- KOCOURKOVÁ-HORÁKOVÁ J. (1998a): Distribution and ecology of the genus *Telocarpon* (Lecanorales, Telocarpaceae) in Czech republic. – *Czech Mycol.* 50: 271–302.
- KOCOURKOVÁ-HORÁKOVÁ J. (1998b): Records of new, rare or overlooked lichens from the Czech republic. – *Czech Mycol.* 50: 223–239.
- KRÁL R., KRÝŽOVÁ L. & LIŠKA J. (1984): Rostlinné bioindikátory. – *Arnika* 7: 241–244.
- KRICKE R. (2003): Modellvorschlag zum Verlauf der Wiederbesiedelung ehemalsflechtenfreier Räume. – *Bibliotheca Lichenologica* 86: 381-392.



- KRICKE R. & FEIGE G. B. (2004): Bioindication with lichens in the Ruhr Basin. – In: KLUMPP A., ANSEL W. & KLUMPP G.: Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness. – Cuvillier Verlag, Göttingen. 81–88.
- KRIESL A. (1978a): Bioindikace vlivu imisí sokolovské průmyslové oblasti. - Acta Bot. Slov. Acad. Sci. Slovaca, ser. A 4: 419–424.
- KRIESL A. (1978b): Indikace znečištění ovzduší vybraných oblastí Čech pomocí lišejníků. – Ms. [etapa dílčí záv. zprávy C – 16 – 331 – 102 – 11 – Sledování vývoje poškození porostů v hlavních oblastech znečištěného ovzduší, depon in: VÚLHM, Jíloviště-Strnady][61].
- KRUPA S. V. (2003): Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review. – Environmental Pollution 124: 179–221.
- KVASŇOVSKÝ P. (2014): Biodiverzita a sukcese lišejníků na Velké loketské výsypce na Sokolovsku. – Ms. [Diplomová práce, depon. in Česká zemědělská univerzita, Praha ][87 pp].
- LANGE O. L., TÜRK R. & ZIMMERMANN D. G. (2005): Neufunde der boreal-montanen Flechte *Evernia divaricata* im trocken-warmen Main-Tauber-Gebiet und ihre Begleiter. – Herzogia 18: 51–62.
- LEGENDRE P. (2008): Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis. – Journal of Plant Ecology 1: 3– 8.
- LE BLANC F. & DE SLOOVER J. (1970): Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses. – Montreal Canadian Journal of Botany 48: 1485–1496.
- LIPOWSKI P. (2012): Monitoring epifytických lišejníků ve vybraném území Praha-západ. – Ms. [Diplomová práce, depon. in Česká zemědělská univerzita, Praha] [96. pp.].
- LIŠKA J., PALICE Z. & SLAVÍKOVÁ Š. (2008): Checklist and Red List of lichens of the Czech Republic. Seznam a Červený seznam lišejníků České republiky. – Preslia 80: 151–182.
- LIŠKA J. & PALICE Z. (2010): Červený seznam lišejníků České republiky. – Příroda, Praha 29: 3–66.
- LOPPI S., GIOIRDANI P., BRUNIALTI G., ISOCRONO D. & PIERVITTORI R. (2002): Identifying deviations from naturalness of lichen diversity for bioindication purposes. – In: NIMIS P. L., SCHLEIDEGGER C. & WOLSELEY P. A. (eds): Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 280–284.
- LÖBEL S., SNÄLL T. & RYDIN H. (2006): Species richness patterns and metapopulation processes – evidence from epiphyte communities in boreo-nemoral forests. – Ecography 29:169–82.
- MALHOTRA S. S. & HOCKING D. (1976): Biochemical and cytological Effects of Sulphur Dioxide on Plant Metabolism. – New phytologist 76: 227–237.
- MASSARA A. C., BATES J. W., & BELL J. N. V. (2009): Exploring causes of the decline of the lichen *Lecanora conizaeoides* in Britain: effects of experimental N and S applications. – The Lichenologist 41: 673–681.

- MATERNA J. (1975): Vliv znečištění ovzduší na lesní porosty v zájmovém území Sokolovské pánve 1. a 2. – Ms. [Dílčí závěr. zpr. úkolu no. P – 16 – 056 – 12; depon. in: Knihovna VÚLHM Jiloviště-Strnady].[38 pp.].
- MATERNA J., JIRGLE J., KUČERA J. & KRIESL A. (1971): Vliv elektrárenských exhalací na porosty Slavkovského lesa. – Ms. [podklad pro průběžné oponentní řízení, úkol č. R VII – 30, depon in: VÚLHM, Zbraslav – Strnady].[31 pp.].
- MATERNA J., JIRGLE J., KUČERA J. & KRIESL A. (1972): Vliv elektrárenských exhalací na porosty Slavkovského lesa. – Ms. [závěrečná zpráva, úkol č. R VII – 30, depon in: VÚLHM, Zbraslav – Strnady] [57 pp.].
- MOORE C. C. (1974): A Modification of the „Index of Atmospheric Purity“ Method for Substrate Differences. – *The Lichenologist* 6: 156–157.
- NASH III. T. H. (1989). Metal tolerance in lichens. – In: SHAW A. J. (ed.): *Heavy metal tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. – CRC Press, Boca Raton. 119–130.
- NASH III. T. H. (2008a): *Introduktion*. – In: Nash III. T. H. (ed.): *Lichen Biology (Second edition)*. – Cambridge University Press, Cambridge. 1–8 .
- NASH III. T. H. (2008b): Lichen sensitivity to air pollution. – In: Nash III. T. H. (ed.): *Lichen Biology (Second edition)*. – Cambridge University Press, Cambridge. 299–314.
- NASH III. T. H. (2008c): Nutrient, elemental accumulations and mineral cycling . – In: Nash III. T. H. (ed.): *Lichen Biology (Second edition)*. – Cambridge University Press, Cambridge. 234–251.
- NASH III. T. H. & WIRTH V. (eds) (1988): *Lichens, Bryophytes and Air Quality*. – J. Cramer, Berlin. [297 pp.].
- NEUHÄUSLOVÁ Z. (ed.), (1998): *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky*. – Academia, Praha. [341 pp.].
- NIEBOER E., RICHARDSON D. H. S. & TOMASSINI, F. D. (1978): Mineral uptake and release by lichens: an overview. – *Bryologist* 81: 226–246.
- NYLANDER W. (1866): *Les lichens du Jardin du Luxembourg*. – *Bulletin de la Société Botanique de France* 13: 364–372.
- OLIVIER J. G. J. BOUWMAN, A. F. VAN DER HOOK, K. W. & BERDOWSKI J. J. M. (1998): Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O. – *Environmental Pollution* 102:135–148.
- ORANGE A., JAMES P. W. & WHITE F. J. (2001): *Microchemical methods for the identification of lichens*. – British Lichen Society, London. [101 pp.].
- OTTE V., DIEDRICH K. & BECK U. (2014): *Umweltmonitoring mit Flechten in der Euroregion Neiß*. – *Peckiana* 9: 49–57.
- PIRINTSOS S. A., MUNZI S., LOPPI S. & KOTZABASIS K. (2009): Do polyamines alter the sensitivity of lichens to nitrogen stress? – *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 1331–1336.
- PIŠŮT I. (1984): *Záhadný zelený lišajník*. – Mladé letá, Bratislava. [100 pp.].

- PIŠŮT I. & LISICKÁ E. (1985): A study of cryptogamic epiphytes on an oak trunk in the vicinity of Bratislava in the years 1973–1983. – *Ekologia ČSSR* 4: 225–234.
- PLHÁK F. (2000): Vliv rostlin na ovzduší. – *Vesmír* 79: 448.
- PUJMANOVÁ L. & SOLDÁN Z. (1985): Lichenofloristická a bryofloristická studie SPR Jezerka v Krušných horách. – *Severočeskou přírodou* 17: 29–39.
- QUITT E. (1971): Klimatické oblasti Československa. – Academia, Praha. [73 pp.].
- RAO D. N. & LE BLANC F. (1966): Effects of Sulfur Dioxide on the Lichen Alga, with Special Reference to Chlorophyll. – *The Bryologist*. 69: 69–75.
- RIDDELL J., NASH T. H. & PADGETT P. (2008) The effect of HNO<sub>3</sub> gas on the lichen *Ramalina menziesii*. – *Flora* 203: 47–54.
- RUISI S., ZUCCONI L., FORNASIER F. PAOLI L., FRATI L. & LOPPI S. (2005): Mapping environmental effects of agriculture with epiphytic lichens. – *Israel Journal of Plant Sciences* 53: 115–124.
- SCERBO R., RISTORI T., POSSENTI L., LAMPUGNANI L., BARALE R. & BARGHIGIANI C. (2002): Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy). – *The Science of the Total Environment* 241: 27–40.
- SCERBO R., POSSENTI L., LAMPUGNANI L., RISTORI T., BARALE R. & BARGHIGIANI C. (1999): Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Pisa Province (Tuscany, Italy). – *The Science of the Total Environment* 286: 91–106.
- SEAWARD M. R. D. (1997): Urban deserts bloom: a lichen renaissance. – *Bibliotheca Lichenologica* 67: 297–309.
- SEAWARD M. R. D. (2008): Environmental role of lichens. – In: NASH III. T. H. (ed.): *Lichen Biology* (Second edition). – Cambridge University Press, Cambridge. 274–298.
- SERNANDER J. R. (1926): *Stockholms Natur*. — Almquist & Wiksells, Uppsala, In: SEAWARD M. R. D. (1993): *Lichens and sulphur dioxide air pollution: field studies*. – *Environ. Rev.* 1:73–91.
- SLAVÍK B. (ed.) (1997): *Květena České republiky* 5. – Academia, Praha. [566 pp.].
- SKYE E. (1968). Lichens and air pollution: a study of cryptogamic epiphytes and environment in the Stockholm region. – *Acta Phytogeographica Suecica* 52: 8–23.
- SMITH C. W., APTROOT A., COPPINS B. J., FLETCHER A., GILBERT O. L., JAMES P. W., & WOLSELEY P. A. (eds) (2009): *The Lichens of Great Britain and Ireland*. – The British Lichen Society, London. [1046 pp.].
- SPRIBILLE, T., THOR G., BUNNELL F. L., T. GOWARD T. & BJÖRK C. R. (2008): Lichens on dead wood: species – substrate relationships in the epiphytic lichen floras of the Pacific Northwest and Fennoscandia. – *Ecography* 31: 741–750.
- SCHMULL M., HAUCK M., VANN D. R., JOHNSON A. H. & RUNGE M. (2002): Site factors determining epiphytic lichen distribution in a dieback-affected

- spruce-fir forest on Whiteface Mountain, New York: stemflow chemistry. – *Canadian Journal of Botany* 80: 1131–1140.
- STOKLASA J. (1923): Die Beschädigungen der Vegetation durch Rauchgase und Fabriksexhalationen. – Urban & Schwarzenberg, Berlin. [487 pp].
- SVOBODA D. (2003): Lišejníky Českého krasu: Diversita lišejníků v údolí řeky Berounky v CHKO. Bioindikace znečištění v centrální části Krasu. – Ms. [Diplomová práce, depon. in: Univerzita Karlova, Praha] [165 pp.].
- SYROVÁTKOVÁ L. (2009): Návrat epifytických lišejníků na území Doupovských hor po snížení znečištění ovzduší. – Ms.[Diplomová práce, depon in: Univerzita Karlova, Praha] [75 pp.].
- TER BRAAK C. J. & SMILAUER P. (2012). Canoco Reference Manual and User's Guide: Software for Ordination (version 5.0). – Microcomputer Power, Ithaca. [496 pp.].
- TOBRMANOVÁ H. (1979): Využití citlivosti lišejníků ke stanovení poškození lesních porostů kouřovými škodami v CHKO Slavkovský les. – *Arnika* 11: 4–9.
- TRASS H. (1968): Indeks samblikuruhmituste kasutamiseks ohu saastatuse maaramisel. – *Eesti Loodus* 11:622–628.
- TRASS H. (1973): Lichen sensitivity to the air pollution and index of poleotolerance (I. P.). – *Folia Cryptog Estonica* 3: 19–22.
- TÜRK R. & WIRTH V. (1975): The pH dependence of SO<sub>2</sub> damage to lichens. – *Oecologia* 19: 285–291.
- UHLÍK P. (2013): Lišejníky v kraji kolem Ohře. – *Arnika. Přírodou a historií Karlovarského kraje* 1: 27–29.
- UHLÍK P. (2005): Lišejníky. – In: MELICHAR V. (ed.) (2005): *Koncepce ochrany přírody a krajiny*. – Krajský úřad karlovarského kraje, Karlovy Vary. 289–291.
- UHLÍK P. (2007): K historii lichenologického výzkumu v Krušných horách ve 20. a 21. století. – In: FARKAČ J.: *Příroda Kraslicka*. – Praha. 37–44.
- VAN DOBBEN H. F. & DE BAKKER A. J. (1966): Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in The Netherlands: effects of decreasing SO<sub>2</sub> and increasing NH<sub>3</sub>. – *Acta Botanica Neerlandica* 45: 55–71.
- VAN HERK C. M. (2001): Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. – *The Lichenologist* 33: 419–442.
- VÁŇA J. (2006): *Obecná bryologie*. – Karolinum, Praha. [188 pp.].
- VĚZDA A. & LIŠKA J. (1999): *Katalog lišejníků České republiky*. – Botanický ústav AV ČR, Průhonice. [283 pp.].
- WEBB J., MENZI H., PAIN B. F., MISSELBROOK T. H., DÄMMGEN U., HENDRIKS H. & DÖHLER H. (2005): Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. *Environmental Pollution* 135: 399–406.
- WIRTH V. (1995): *Die Flechten Baden-Württembergs, Teil 1,2 (2. Aufl.)* – Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart. [1006 pp.]

- WIRTH V. (1998): Phytosociological approaches to air pollution monitoring with lichens. – In NASH T. & WIRTH V. (eds): Lichen, Bryophytes and Air Quality. – Bibliotheca Lichenologica 30: 91–107.
- WIRTH V. & BRINCKMANN B. (1977): Staistical analysis of the lichen vegetation of an avenue in Freiburg (south – west Germany), with regard to injurious anthropogenous influences. – Oekologia 28: 87–101.
- WIRTH V., HAUCK M. & SCHULTZ M. (2013): Die Flechten Deutschlands. – Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. [1244 pp.].
- WIRTH V. & OBERHOLLENZER H. (1995): Epiphytische Flechten. – Umweltwissenschaften und Schadstoff – Forschung. – Springer Verlag 7: 179–181.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006): Air Quality Guidelines: Global Update 2005 : Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, – WHO regional office for Europe, Copenhagen, [484 pp].
- ZAHRADNICKÝ J. & MACKOVČIN P. (eds) (2004): Plzeňsko a Karlovarsko. – In: MACKOVČIN P. & SEDLÁČEK M. (eds): Chráněná území ČR, svazek XI. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Ekocentrum Brno, Praha. [588 pp].

## INTERNETOVÉ ZDROJE

- URL č. 1: ARNIKA (2014), Praha, online:  
[http://arnika.org/soubory/dokumenty/toxicke-latky/IRZ/IRZ\\_Zebricky\\_nejvetsich\\_znecistovatelu\\_v%20CR\\_2012.pdf](http://arnika.org/soubory/dokumenty/toxicke-latky/IRZ/IRZ_Zebricky_nejvetsich_znecistovatelu_v%20CR_2012.pdf), cit 17. 6. 2014.
- URL č. 2: ATLAS HNÍZDNÍHO ROZŠÍŘENÍ PTÁKŮ ČR 2014–2017, online:  
[http://birds.cz/avif/atlas\\_sq\\_alloc.php](http://birds.cz/avif/atlas_sq_alloc.php), cit. 10. 4. 2015.
- URL č. 3: ČEZ a.s. (2014), online: [www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/uhelne-elekrarny/cr/tisova.html](http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/uhelne-elekrarny/cr/tisova.html), citováno 19. 8. 2014.
- URL č. 4: GEOPORTÁL, online: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>, cit. 22. 2. 2015.
- URL č. 5: ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav (2014), Praha, online:  
[http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/plants/karlovarsky\\_CZ.html](http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/karlovarsky_CZ.html), cit. 17. 6. 2014.
- URL č. 6: OSTATNICKÁ J. & MATOUŠKOVÁ L. (eds) (2013): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012, – ÚOČO ČHMÚ, online:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/obsah.html>, cit. 21. 8. 2014.
- URL č. 7: SOKOLOVSKÁ UHELNÁ, právní nástupce, a. s. (2008–2010), online:  
<http://www.suas.cz/article/show/id/261>, citováno 19. 8. 2014.
- URL č. 8: SOKOLOVSKÁ UHELNÁ, právní nástupce, a. s. (2008–2010), online:  
<http://www.suas.cz/article/show/id/501>, cit. 9. 2. 2014.
- URL č. 9: VELKOLOM JIŘÍ, online: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lom\\_Jiří](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lom_Jiří), cit. 22. 2. 2015.



## LEGISLATIVA

[1]: Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, v platném znění.

[2]: Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění.

## OSTATNÍ ZDROJE

VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1 (1995): Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten: Flechtenkartierung. – VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Bd. 1, Beuth-Verlag, Berlin.

VDI – Richtlinie 3957 Blatt 13 (2005): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen mit Flechten (Bioindikation) – Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator für Luftgüte, Bd. 1, Beuth-Verlag, Berlin.

## 10. PŘÍLOHY

PŘÍLOHA č. 1: Seznam stromů a jejich souřadnic zaznamenaných přístrojem GPS v souřadnicovém systému WGS-84.

Jasany:

Duby:

1	50°09'47"	12°36'47"	101	50°09'42"	12°36'42"
2	50°09'41"	12°36'42"	102	50°09'38"	12°36'23"
3	50°09'01"	12°35'39"	103	50°08'56"	12°35'46"
4	50°09'20"	12°36'23"	104	50°09'13"	12°36'14"
5	50°09'17"	12°36'42"	105	50°09'29"	12°36'55"
6	50°09'18"	12°36'29"	106	50°09'25"	12°36'29"
7	50°08'51"	12°36'11"	107	50°08'33"	12°36'12"
8	50°08'48"	12°36'07"	108	50°08'38"	12°36'02"
9	50°08'17"	12°34'43"	109	50°08'13"	12°34'40"
10	50°08'16"	12°34'42"	110	50°08'22"	12°34'43"
11	50°08'23"	12°35'25"	111	50°08'31"	12°35'41"
12	50°08'34"	12°35'34"	112	50°08'30"	12°35'26"
13	50°08'08"	12°35'03"	113	50°08'08"	12°35'37"
14	50°08'01"	12°34'59"	114	50°07'57"	12°35'29"
15	50°07'39"	12°34'35"	115	50°07'45"	12°34'40"
16	50°08'06"	12°34'52"	116	50°07'43"	12°34'21"
17	50°07'29"	12°32'49"	117	50°07'44"	12°33'17"
18	50°07'45"	12°33'13"	118	50°07'37"	12°33'02"
19	50°07'31"	12°34'40"	119	50°07'28"	12°34'42"
20	50°07'16"	12°35'03"	120	50°07'36"	12°34'34"
21	50°07'19"	12°34'18"	121	50°07'23"	12°33'38"
22	50°07'23"	12°34'03"	122	50°07'21"	12°34'09"
23	50°07'78"	12°33'47"	123	50°07'57"	12°33'28"

24	50°07'44"	12°33'28"	124	50°07'59"	12°33'38"
25	50°08'28"	12°33'54"	125	50°08'16"	12°33'41"
26	50°08'14"	12°33'43"	126	50°08'33"	12°33'37"
27	50°07'24"	12°33'00"	127	50°07'19"	12°33'00"
28	50°07'04"	12°33'16"	128	50°07'27"	12°33'6"
29	50°09'02"	12°32'46"	129	50°08'56"	12°32'29"
30	50°09'02"	12°32'51"	130	50°08'56"	12°32'47"
31	50°09'01"	12°33'14"	131	50°08'49"	12°33'52"
32	50°08'57"	12°33'36"	132	50°09'02"	12°33'04"
33	50°08'30"	12°32'42"	133	50°08'24"	12°32'38"
34	50°08'13"	12°32'27"	134	50°08'11"	12°32'40"
35	50°08'56"	12°35'36"	135	50°08'56"	12°35'36"
36	50°08'49"	12°35'32"	136	50°08'58"	12°35'07"
37	50°06'43"	12°33'25"	137	50°06'43"	12°33'22"
38	50°06'53"	12°33'08"	138	50°06'33"	12°32'59"
39	50°06'45"	12°33'57"	139	50°06'44"	12°33'49"
40	50°06'44"	12°33'47"	140	50°06'39"	12°34'07"
41	50°07'28"	12°35'31"	141	50°07'28"	12°35'32"
42	50°07'32"	12°35'27"	142	50°07'23"	12°35'33"
43	50°08'48"	12°34'03"	143	50°09'04"	12°33'58"
44	50°08'51"	12°34'09"	144	50°08'56"	12°34'16"
45	50°07'01"	12°37'20"	145	50°06'48"	12°37'09"
46	50°06'48"	12°37'07"	146	50°06'59"	12°37'27"
47	50°07'01"	12°35'26"	147	50°06'53"	12°35'31"
48	50°07'01"	12°35'36"	148	50°06'47"	12°35'35"
49	50°07'58"	12°36'52"	149	50°08'01"	12°37'32"
50	50°07'52"	12°37'03"	150	50°07'59"	12°36'50"
51	50°07'47"	12°37'06"	151	50°07'29"	12°37'27"
52	50°07'37"	12°37'22"	152	50°07'51"	12°37'29"
53	50°11'16"	12°39'18"	153	50°11'02"	12°38'37"
54	50°10'57"	12°38'33"	154	50°11'18"	12°39'06"
55	50°07'34"	12°31'44"	155	50°07'49"	12°31'50"
56	50°07'28"	12°31'53"	156	50°07'38"	12°31'54"
57	50°08'54"	12°38'48"	157	50°08'50"	12°38'31"
58	50°08'45"	12°38'43"	158	50°08'48"	12°39'08"
59	50°09'55"	12°39'25"	159	50°09'55"	12°39'27"
60	50°09'49"	12°39'06"	160	50°09'50"	12°39'06"
61	50°09'49"	12°38'37"	161	50°09'46"	12°38'18"
62	50°09'55"	12°38'22"	162	50°09'53"	12°38'18"
63	50°08'55"	12°39'25"	163	50°08'47"	12°39'25"
64	50°09'05"	12°39'38"	164	50°09'03"	12°39'10"
65	50°08'42"	12°38'03"	165	50°08'46"	12°38'03"
66	50°08'45"	12°38'12"	166	50°08'41"	12°37'60"
67	50°08'08"	12°38'25"	167	50°08'08"	12°38'27"
68	50°08'01"	12°38'03"	168	50°08'13"	12°37'41"

69	50°07'13"	12°31'57"	169	50°07'10"	12°32'17"
70	50°07'11"	12°32'09"	170	50°07'13"	12°32'02"
71	50°06'44"	12°32'23"	171	50°06'47"	12°32'37"
72	50°06'23"	12°32'24"	172	50°06'42"	12°32'23"
73	50°07'01"	12°34'33"	173	50°06'46"	12°34.56"
74	50°07'09"	12°34'51"	174	50°06'55"	12°34'41"
75	50°08'25"	12°38'56"	175	50°08'35"	12°38'57"
76	50°08'11"	12°38'49"	176	50°08'31"	12°39'04"
77	50°10'11"	12°37'20"	177	50°10'24"	12°37'11"
78	50°10'36"	12°37'19"	178	50°10'12"	12°37'20"
79	50°10'17"	12°38'14"	179	50°10'24"	12°38'11"
80	50°10'40"	12°38'24"	180	50°10'31"	12°38'26"
81	50°09'45"	12°37'43"	181	50°09'51"	12°37'26"
82	50°09'40"	12°37'26"	182	50°09'38"	12°37'45"
83	50°09'36"	12°38'33"	183	50°09'35"	12°38'28"
84	50°09'39"	12°38'10"	184	50°09'38"	12°38'22"
85	50°09'19"	12°39'35"	185	50°09'37"	12°39'04"
86	50°09'39"	12°39'14"	186	50°09'24"	12°39'47"
87	50°10'34"	12°38'46"	187	50°10'42"	12°38'46"
88	50°10'46"	12°39'10"	188	50°10'47"	12°39'08"
89	50°10'42"	12°39'42"	189	50°10'39"	12°39'36"
90	50°10'30"	12°39'36"	190	50°10'33"	12°39'53"
91	50°10'10"	12°40'12"	191	50°10'14"	12°40'04"
92	50°10'04"	12°39'53"	192	50°10'07"	12°40'02"
93	50°11'19"	12°39'22"	193	50°11'19"	12°39'22"
94	50°11'18"	12°40'04"	194	50°11'21"	12°39'52"
95	50°08'02"	12°36'32"	195	50°07'57"	12°36'29"
96	50°08'04"	12°36'02"	196	50°08'02"	12°36'35"
97	50°07'30"	12°36'27"	197	50°07'30"	12°36'27"
98	50°07'43"	12°36'21"	198	50°07'43"	12°36'21"
99	50°07'02"	12°36'42"	199	50°06'59"	12°36'53"
100	50°07'03"	12°36'30"	200	50°07'09"	12.36'18"

PŘÍLOHA č. 2: Kvalitativní stupnice pro odhad atmosférického znečištění v Anglii a Walesu pomocí epifytických lišejníků

Kvalitativní stupnice pro odhad atmosférického znečištění v Anglii a Walesu pomocí epifytických lišejníků:

ZÓNA	Neutrofizovaná borka	Eutrofizovaná borka	SO <sub>2</sub> (µg . m <sup>-3</sup> )
<b>0</b>	Epifyty nepřítomné.	Epifyty nepřítomné.	<b>?</b>
<b>1</b>	<i>Desmococcus viridis</i> s.l. přítomen, ale s omezením pouze na bázi kmene.	<i>Desmococcus viridis</i> s.l. rozšířen po celém kmeni.	<b>&lt;170</b>
<b>2</b>	<i>Desmococcus</i> s.l. po celém kmeni; <i>Lecanora conizaeoides</i> přítomna, ale s omezením na bázi kmene.	<i>Lecanora conizaeoides</i> hojná; <i>Lecanora expallens</i> příležitostně na bázi kmene.	<b>&lt;150</b>
<b>3</b>	<i>Lecanora conizaeoides</i> po celém kmeni; <i>Lepraria incana</i> častá na bázi kmene.	<i>Lecanora expallens</i> a <i>Buellia punctata</i> hojně; objevuje se <i>Buellia canescens</i> .	<b>&lt;125</b>
<b>4</b>	<i>Hypogymnia physodes</i> a/nebo <i>Parmelia saxatilis</i> nebo <i>Parmelia sulcata</i> se objevují na bázi kmene, nahoru po kmeni se nerozšiřují. <i>Lecidea scalaris</i> , <i>Lecanora expallens</i> et <i>Chaenotheca ferruginea</i> jsou často přítomny.	<i>Buellia canescens</i> běžná; objevuje se <i>Physcia adscendens</i> a <i>Xanthoria parietina</i> na bázi kmene; <i>Physcia tribacia</i> (J).	<b>&lt;70</b>
<b>5</b>	<i>Hypogymnia physodes</i> nebo <i>P. saxatilis</i> v rozmezí od 2 – 5 metrů i více; objevují se <i>P. glabratula</i> , <i>P. subrudecta</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> a <i>Lecanora chlorotera</i> ; <i>Calicium viride</i> , <i>Lepraria candelaris</i> , <i>Pertusaria amara</i> se mohou také vyskytovat.; <i>Ramalina farinacea</i> a <i>Evernia prunastri</i> omezeny pouze na bázi kmene; <i>Platismatia glauca</i> může růst na horizontálních větvích.	<i>Physconia grisea</i> , <i>P. farrea</i> , <i>Buellia alboatra</i> , <i>Physcia orbicularis</i> , <i>P. tenella</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Haematomma coccineum</i> var. <i>porphyrium</i> , <i>Schismatomma decolorans</i> , <i>Xanthoria candelaria</i> , <i>Opegrapha varia</i> a <i>O. vulgata</i> se vyskytují; <i>Buellia canescens</i> a <i>X. parietina</i> časté; <i>Parmelia acetabulum</i> se objevuje na V.	<b>&lt;60</b>
<b>6</b>	<i>Parmelia caperata</i> přítomna alespoň na bázi kmene, hojně se vyskytuje <i>Pertusaria</i> ( <i>P. albescens</i> , <i>P. hymenea</i> ) a <i>Parmelia</i> ( <i>P. revoluta</i> (kromě JV), <i>P. tiliacea</i> , <i>P. exasperatula</i> (S) <i>Graphis elegans</i> ; <i>Pseudevernia furfuracea</i> a <i>Alectoria fuscescens</i> přítomné v horských oblastech.	<i>Pertusaria albescens</i> , <i>Physconia pulverulenta</i> , <i>Physciopsis adglutinata</i> , <i>Arthopyrenia alba</i> , <i>Caloplaca luteoalba</i> , <i>Xanthoria polycarpa</i> a <i>Lecania cyrtella</i> přítomny; <i>Physconia grisea</i> , <i>Physcia orbicularis</i> , <i>Opegrapha varia</i> a <i>O. vulgata</i> se objevují hojně.	<b>&lt;50</b>
<b>7</b>	<i>Parmelia caperata</i> , <i>P. revoluta</i> (kromě JV), <i>P. tiliacea</i> , <i>P. exasperatula</i> (na S) se šíří po kmeni; objevuje se <i>Pertusaria hemisphaerica</i> , <i>Usnea subfloridana</i> , <i>Rinodina roboris</i> (na J) a <i>Arthonia impolita</i> (na V).	<i>Physcia aipolia</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Bacidia rubella</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> , <i>Candelaria concolor</i> , <i>Arthopyrenia biformis</i> se objevují.	<b>&lt;40</b>

<b>8</b>	<i>Usnea ceratina</i> , <i>Parmelia perlata</i> či <i>P. reticulata</i> (J a Z) se objevují; rozšiřuje se <i>Rinodina roboris</i> (J); <i>Normandina pulchella</i> a <i>U. rubigena</i> (J) jsou obvykle přítomné.	<i>Physcia aipolia</i> častá; <i>Anaptychia ciliaris</i> s plodnicemi; <i>Parmelia perlata</i> , <i>P. reticulata</i> (J a Z); <i>Gyalecta flotowii</i> , <i>Ramalina obtusata</i> , <i>R. pollinaria</i> a <i>Dezmaiera evernioides</i> se objevují.	<b>&lt;35</b>
<b>9</b>	<i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>L. amplissima</i> , <i>Pachyphiale cornea</i> , <i>Dimerella lutea</i> či <i>Usnea florida</i> přítomny; pokud tyto chybějí, tak jsou korovité druhy velmi dobře vyvinuty a na větších, dobře osluněných stromech jich je i více než 25 druhů.	<i>Ramalina calicaris</i> , <i>R. fraxinea</i> , <i>R. subfarinacea</i> , <i>Physcia leptalea</i> , <i>Caloplaca aurantiaca</i> a <i>C. cerina</i> .	<b>&lt;30</b>
<b>10</b>	<i>Lobaria amplissima</i> , <i>L. scrobiculata</i> , <i>Sticta limbata</i> , <i>Pannaria</i> ssp., <i>Usnea articulata</i> , <i>U. filipendula</i> nebo <i>Teloschistes flavicans</i> . místně hojně.	Shodně se zónou 9	<b>čistý vzduch</b>

Zdroj: HAWKSWORTH & ROSE 1970, vlastní zpracování. Ponechána původní nomenklatura.

### PŘÍLOHA č. 3: Vybrané zdroje znečištění ovzduší v zájmovém území za rok 2012

Vybrané zdroje znečištění ovzduší v zájmovém území za rok 2012

Název	Obec	Tuhé emise (t)	Oxid siřičitý (t)	Oxidy dusíku (t)	Oxid uhelnatý (t)
Alligard s.r.o.	<i>Libavské Údolí</i>	0,858	0,000	0,354	0,452
A.S.A s.r.o.	<i>Tisová u Sokolova</i>	0,019	0,370	<b>2,950</b>	1,850
Bohemia asphalt s.r.o.	<i>Sokolov</i>	0,002	1,333	1,330	0,724
Cemex Czech Republic s.r.o.	<i>Dolní Rychnov</i>	0,002	0,000	0,009	0,002
ČEZ a.s. Elektrárny Hodonín, Poříčí a Tisová	<b><i>Tisová</i></b>	<b>74,689</b>	<b>3 657,534</b>	<b>1 440,890</b>	<b>348,979</b>
Dehonit – Falke s.r.o.	<i>Sokolov</i>	1,303	1,945	1,157	0,123
Immogard s.r.o.	<i>Libavské Údolí</i>	0,000	0,000	0,961	0,004
Konig – porzellan Sokolov s.r.o.	<i>Dolní Rychnov</i>	0,042	0,062	0,226	0,133
Momentive Specialty Chemicals a.s.	<i>Sokolov</i>	10,830	<b>245,520</b>	<b>84,690</b>	<b>189,845</b>
Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s. zpracovatelská část	<b><i>Vřesová</i></b>	<b>168,417</b>	<b>3 588,640</b>	<b>3 870,706</b>	<b>429,685</b>
Správa majetku Kynšperk n. Ohří s.r.o.	<i>Kynšperk nad Ohří</i>	0,000	0,000	0,032	0,008
Stax Metal Fibers s.r.o.	<i>Dasnice</i>	<b>7,820</b>	0,118	0,099	0,011

Střední škola živnostenská Sokolov	<i>Kynšperk nad Ohří</i>	0,000	0,000	0,017	0,017
Vězeňská služba ČR	<i>Kynšperk nad Ohří – Zlatá</i>	0,012	0,006	0,030	0,012
Wieland Electric s.r.o.	<i>Sokolov</i>	0,031	0,001	0,126	0,017

Zdroj: ČHMÚ, [URL č. 5], vlastní zpracování