

Universita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí

Diplomová práce

**Makrozoobentos dlouhodobě sledovaných toků s různým
stupněm ovlivnění atmosférickou acidifikací**

Jan Rucki

České Budějovice, září 2007

školitel: RNDr. Jakub Horecký, PhD.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kdo radou, poznámkou či podporou přispěli ke zdárnému dokončení diplomové práce. A nebylo jich málo.

Děkuji zvláště RNDr. Jakubovi Horeckému, PhD. za jeho příkladné vedení, ochotu a podporu poskytovanou v průběhu zpracovávání zvoleného tématu. Byl statečným a zodpovědným školitelem.

Děkuji Doc. RNDr. Evženu Stuchlíkovi, CSc. za cenné rady a komentáře.

Děkuji MUDr. Viktorii Jančušové za psychickou a fyzioterapeutickou podporu zvláště v průběhu dokončování diplomové práce.

Děkuji paní Editě Šípkové za precizní chemickou analýzu odebraných vzorků vody.

Děkuji RNDr. Janu Špačkovi, PhD. za přesnou determinaci nemalého počtu larev pošvatek a revizi larev jepic, Mgr. Natálii Lapšanské a Mgr. Martinu Fikáčkovi za zasvěcení do determinace larev pakomárů do podčeledí a do determinace vodních brouků a Mgr. Pavlu Chvojkovi a Mgr. Petru Pařilovi za ochotu a revizi larev chrostíků a dvoukřídých.

Děkuji Martině Jíchové, Kateřině Kolaříkové, Renátě Štenclové a Anně Benočkové za kolegiální pomoc a společné sdílení nelehkého údělu pisatele diplomové práce.

Děkuji i všem ostatním.

A na závěr bych chtěl poděkovat také Róbertovi Snopčokovi z Lučence. Zásahu na práci žádnou nemá, ale slíbil jsem mu to.

Tato práce byla finančně podpořena MŽP ČR zdroji z projektu 6. RP EU Eurolimpacs, číslo kontraktu GOCE-CT-2003-505540 a grantem GAČR 103/04/0214.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejeté) informace budou řádně citovány.

3. září 2007

Jan Rucki

ABSTRAKT

V návaznosti na téměř desetiletý limnologický výzkum v Brdech a dlouhodobý výzkum malých povodí ve Slavkovském lese a Jizerských horách byla v letech 2004-2006 provedena studie zaměřená na strukturu makrozoobentosu sledovaných lokalit. Vzorky pro stanovení chemických parametrů vody a vzorky pro analýzu makrozoobentosu byly odebrány v každé oblasti na dvojici potoků - jednom silně acidifikovaném ($\text{pH} < 4,6$, $\text{R-Al} > 500 \mu\text{g l}^{-1}$) a druhém referenčním, acidifikací méně ovlivněném ($\text{pH} > 5$, $\text{R-Al} < 250 \mu\text{g l}^{-1}$).

Zatímco silně acidifikované lokality lze charakterizovat larvami pošvatek *Leuctra nigra*, *Nemurella pictetii* a *Protonemura auberti*, pakomárů Chironominae, Orthoclaadiinae, Tanyptodinae a Corynoneurinae, chrostíků *Plectrocnemia conspersa*, muchniček *Simulium* sp. a brouky *Agabus* sp., na referenčních lokalitách se navíc vyskytovaly jepice Baetidae, Leptophlebiidae, Ameletidae a Siphonuridae, chrostíci Rhyacophilidae, *Drusus annulatus* a *Sericostoma personatum*, měkkýš *Pisidium casertanum* a další méně acidotolerantní bentické organizmy.

Tato práce je součástí české účasti v projektech ICP Waters a ICP IM (monitoring vlivu acidifikace). Zjištěné výsledky budou poskytnuty do databázi těchto projektů a umožní sledovat případný proces zotavování společenstva makrozoobentosu na silně acidifikovaných potocích.

ABSTRACT

In association with nearly a decade of limnological research in the Brdy Mts and long-term monitoring of the headwaters in the Slavkov Forest and the Jizera Mts, a hydrobiological study aimed at the macroinvertebrate community structure of these sites was performed. Samples of water for chemical analysis and samples of macroinvertebrates were sampled from two streams in each region: one of them was strongly acidified (pH < 4,6, R-Al > 500 $\mu\text{g l}^{-1}$), and one was a less-acidified reference site (pH > 5, R-Al < 250 $\mu\text{g l}^{-1}$).

Characteristic macroinvertebrate organisms in the strongly acidified streams were larvae of the stoneflies *Leuctra nigra*, *Nemurella pictetii* and *Protonemura auberti*, chironomids of the subfamilies Chironominae, Orthocladiinae, Tanypodinae and Corynoneurinae, the caddis fly *Plectrocnemia conspersa*, blackflies *Simulium* sp. and water-beetles *Agabus* sp.. In the reference streams, the mayflies Baetidae, Leptophlebiidae, Ameletidae and Siphonuridae, caddis flies Rhyacophilidae, *Drusus annulatus* and *Sericostoma personatum*, the mollusc *Pisidium casertanum* and other less acid-tolerant benthic organisms were also found.

This study is part of the Czech participation in the ICP Waters and ICP IM projects (monitoring of acidification). Results will be added to their databases, and will support future monitoring of the biological recovery of the macroinvertebrate community in strongly acidified streams.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	2
Proces acidifikace a jeho působení na oživení vod s důrazem na makrozoobentos tekoucích vod	2
3. METODIKA	6
Výběr lokalit	6
Odběry vody a biologického materiálu v terénu	6
Laboratorní zpracování odebraných vzorků	7
Zpracování výsledků	8
4. POPIS SLEDOVANÝCH LOKALIT	10
4.1. Brdy	10
Lokalita Litavka-pravostranný přítok (v publikacích též Litavka-krmelec či Litavka-rain fed branch)	12
Lokalita Litavka-hlavní větev (v publikacích též Kormundka či Litavka-spring fed branch)	13
4.2. Slavkovský les	14
Lokalita Lysina	14
Lokalita Pluhův Bor	15
4.3. Jizerské hory	16
Lokalita Jeřice	17
Lokalita Jizerka	18
5. VÝSLEDKY	20
5.1. Chemismus sledovaných toků	20
Silně acidifikované lokality (Jeřice, Litavka-p.p., Lysina)	20
Referenční lokality (Jizerka, Litavka-h.v., Pluhův Bor)	21
5.2. Makrozoobentos sledovaných toků	23
5.2.1. Brdy	24
Makrozoobentos na lokalitě Litavka-pravostranný přítok	24
Makrozoobentos na lokalitě Litavka-hlavní větev	25
Brdy - rozdíly ve složení makrozoobentosu mezi silně acidifikovanou a referenční lokalitou	26
5.2.2. Slavkovský les	27
Makrozoobentos na lokalitě Lysina	28
Makrozoobentos na lokalitě Pluhův Bor	28
Slavkovský les - rozdíly ve složení makrozoobentosu mezi silně acidifikovanou a referenční lokalitou	30
5.2.3. Jizerské hory	30
Makrozoobentos na lokalitě Jeřice	30
Makrozoobentos na lokalitě Jizerka	32
Jizerské hory - rozdíly ve složení makrozoobentosu mezi silně acidifikovanou a referenční lokalitou	33
5.2.4. Srovnání silně acidifikovaných a referenčních lokalit	34
5.3. Mnohorozměrná analýza získaných dat	38
6. DISKUZE	41
7. ZÁVĚRY	48
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
9. PŘÍLOHY	56

1. ÚVOD

Hlavním tématem předkládané diplomové práce je makrozoobentos slabě mineralizovaných malých horských potoků v oblastech zasažených antropogenní atmosférickou acidifikací. Na takových potocích jsou u nás dlouhodobě sledovány především hydrochemické a geochemické parametry (monitorovací síť GEOMON), zatímco údaje o oživení chybějí nebo jsou pouze orientační. Makrozoobentosem podobných lokalit se na našem území zabývalo jen několik autorů. Růžičková (1998), Scheibová a Helešic (1999), Horecký a kol. (2002, 2006) a Horecký (2003), na jehož práci o oživení acidifikovaných horských potoků navazují.

Ve vybraných oblastech jsem se zabýval makrozoobentosem vždy na dvou lokalitách - na jedné silně acidifikované a na druhé méně postižené, resp. neacidifikované. **Cílem předložené práce** bylo získat chybějící biologická data na dlouhodobě sledovaných malých horských potocích, případně pokračovat v již probíhajícím hydrobiologickém výzkumu, poukázat na hlavní rozdíly v oživení mezi ovlivněnými a méně ovlivněnými toky a na základě zjištěných rozdílů naznačit možný směr předpokládaného biologického zotavení silně acidifikovaných lokalit. Tato práce je součástí české účasti v mezinárodních projektech ICP Waters a ICP IM (monitoring vlivu acidifikace) a výsledky budou poskytnuty do databází těchto projektů.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

Proces acidifikace a jeho působení na oživení vod s důrazem na makrozoobentos tekoucích vod

Nízké pH povrchových vod může být způsobeno přírodními procesy, důsledky lidské činnosti nebo jejich spolupůsobením. Přírozená kyselost vod je často způsobena vysokým obsahem organických kyselin, ale i toky s jejich nízkým obsahem mohou být přirozeně kyselé, pokud leží na citlivých horninách. pH takových toků se pohybuje mezi 5 a 6, ale může být i nižší (Dangles a kol. 2004, Hardekopf a kol. 2007).

Přirozeně kyselé vody se vyskytují převážně v oblastech, jejichž geologické podloží obsahuje malé množství uhličitánů a hydrogenuhličitánů, jež jsou mírou neutralizační kapacity daného ekosystému. Důležité je také klima oblasti, které ovlivňuje jak intenzitu zvětrávání (rychlost s jakou jsou uvolňovány neutralizující bazické ionty z podloží), tak i charakter vegetačního pokryvu, tedy faktory prostředí z hlediska acidifikace významné, mající přímý vliv na neutralizační kapacitu. Neutralizační kapacitou prostředí rozumíme schopnost daného prostředí (systém hornina-půda-voda) eliminovat přísun okyselujících částic do té míry, že nedochází k výrazným změnám v chemismu půd a vod (Braukmann 2001). Typické přirozeně kyselé lokality najdeme nejčastěji na silikátových horninách (např. granity) v oblastech s chladným a vlhkým klimatem. Takové vody jsou v Evropě četné ve Skandinávii či Skotsku, boreální zóně Severní Ameriky, ale i na Novém Zélandě (Dangles a kol. 2004, Winterbourn a McDiffet 1996). Ve středoevropských podmínkách bychom takové toky či jezera našli v horských oblastech či v oblastech s výskytem rašelinišť.

Zatímco proces přirozeného okyselování vod probíhá od poslední doby ledové (Renberg a kol. 1993) a jeho projevy nemají na vodní ekosystémy negativní vliv (Dangles a kol. 2004), antropogenní atmosférická acidifikace se výrazně projevila až ve 20. století a způsobila výrazné změny v ekosystémech tekoucích i stojatých vod (Muniz 1991). Nejvýznamnější příčinou antropogenní acidifikace povrchových vod je kyselá atmosférická depozice vodíku, oxidů síry a dusíku a amoniaku. Takto postiženy byly jak oblasti v bezprostřední blízkosti zdrojů těchto látek, tak prostřednictvím dálkového atmosférického transportu i území od zdrojů značně vzdálené a dosud antropogenní činností málo ovlivněné (Stuchlík 2003, Raddum a Fjellheim 2003). Antropogenní atmosférická acidifikace nejvíce zasáhla již přirozeně kyselé povrchové vody s nízkou mineralizací a tudíž i malou neutralizační kapacitou. U těchto vod došlo velmi záhy k překrytí přirozené acidity aciditou

antropogenní (Stuchlík a kol. 1997), poklesu pH a významným změnám v chemismu vody a rozpadu ekosystému (Psenner a Catalan 1994). Vedle kyselé atmosférické depozice přispívá k antropogenní atmosférické acidifikaci také intenzivní lesnictví (Weatherley a kol. 1989). V lesním porostu dochází díky tzv. „vyčesávání“ ke zvýšené mokré horizontální i suché depozici. Nejvýraznější je to u jehličnatých monokultur, v nichž může být depozice několikanásobně vyšší oproti původnímu listnatému či smíšenému lesu (Wilpert a kol. 1996). Navíc stromy odčerpávají z půdy bazické kationty výměnou za ionty vodíku, což se nejvíce projevuje opět u jehličnanů (Weatherley a kol. 1989). Antropogenní acidifikace povrchových vod může být způsobena rovněž důlní činností (Winterbourn a McDiffet 1996).

Zvýšený přísun okyselujících látek do prostředí se ve vodních ekosystémech, alespoň v počátcích projevuje zvýšenou koncentrací bazických kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+}). S postupným vyčerpáváním neutralizační kapacity dochází k poklesu alkality a růstu koncentrací H^+ iontů. Ty jsou samy o sobě pro mnohé vodní organismy ve vyšších koncentracích toxické. S klesajícím pH se navíc zvyšuje mobilita mnoha kovových prvků – Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Pb, Mn nebo Be (Lampert a Sommer 1997). Toxické účinky zvýšených koncentrací kovů závisí na formě jejich výskytu a mohou být omezeny vyššími koncentracemi huminových kyselin (Kullberg 1992, Stuchlík 2003) nebo vyšší koncentrací iontů ve vodě (Winterbourn a McDiffet 1996). Nejvýznamnějším toxickým prvkem v antropogenně acidifikovaných vodách je hliník a především ve své iontové formě Al^{3+} je pro organismy silně toxický (Hermann 1987). Při poklesu pH pod 4,5 je tato forma uvolňována i z komplexů a hliník začíná působit jako hlavní pufrací systém a proto pH acidifikovaných vod zřídka klesá pod 4. Zvýšená mobilita hliníku rovněž způsobuje vysrážení fosforu a přispívá tak k oligotrofizaci, což se projevuje zvláště ve stojatých vodách (Hořická a kol. 2006).

Změny v chemismu vod postižených antropogenní atmosférickou acidifikací mají zásadní dopad na společenstva organismů ve všech trofických úrovních, což bylo dokázáno jak prostým sledováním acidifikovaných vod (Økland a Økland 1986, Muniz 1991, Havas a Rosseland 1995) tak i experimentálně prováděnými acidifikacemi (Ormerod a kol. 1987). Celková biomasa organismů zůstává často beze změny, ale kvůli vymizení acidosenzitivních taxonů, dochází k narušení a zjednodušení potravních řetězců (Hendrey a Wright 1976). Snižování druhové diverzity se obvykle začne projevovat při poklesu pH pod 6. Ve vodách s nízkým pH dochází k pomalejší mineralizaci detritu, což je způsobeno ochuzením a sníženou aktivitou mikrobiální složky společenstva (Hendrey a Wright 1976). Častým projevem acidifikace je rozvoj zelených vláknitých řas a může ovlivnit i společenstva mechů a vyšších rostlin (Thiébaud a Muller 1999). S poklesem pH a oligotrofizací dochází ke snížení

počtu druhů, ale také biomasy a primární produkce fytoplanktonu. Úbytek fytoplanktonu má výrazný vliv na zooplankton. Planktonní koryši vedle negativního vlivu nízkého pH a zvýšené koncentrace reaktivního hliníku strádají také hladověním. To může vést i k jejich úplnému vyhynutí. (Fott a kol. 1994). Stejně tak se v silně acidifikovaných vodách nevyskytují ryby a acidifikace nepřímo ovlivňuje též populace vyder nebo vodních ptáků (Mason 1991).

Antropogenní atmosférická acidifikace výrazně ovlivňuje také makrozoobentos. Zatímco pokles druhové bohatosti v antropogenně acidifikovaných vodách je obecným jevem, vztah mezi poklesem pH a početností či biomasou těchto živočichů tak prokazatelný není (Hermann a kol. 1993). Zvýšené koncentrace iontů vodíku a kovů, zvláště hliníku a kadmia, negativně ovlivňují iontovou rovnováhu, schopnost výživy či respiraci bezobratlých organismů. Objevují se u nich morfologické deformace a změny chování (Hermann a kol. 1993). V postižených vodách dochází k vymizení celých skupin bentických organismů. Nejcitlivějšími jsou jepice (Ephemeroptera), koryši (Crustacea) a měkkýši (Mollusca), kteří se až na výjimky nevyskytují ve vodách s pH nižším než 5 (Muniz 1991). Také v ostatních taxonomických skupinách dochází ke změnám. Ubývají acidosenzitivní taxony (např. Perlodidae, Goeridae) a zvyšují se početnosti a biomasa druhů acidotolerantních (Nemouridae, Leuctridae, Polycentropodidae) (Szczęsny 1998). Některé skupiny bentických živočichů profitují z absence ryb. Dravé čeledi ploštic, brouků nebo vážek se stávají v silně acidifikovaných vodách vrcholovými predátory, což může vést na takových lokalitách k jejich zvýšenému výskytu. Změny lze rovněž pozorovat ve struktuře makrozoobentosu s ohledem na trofickou orientaci druhů – v acidifikovaných vodách ubývají seškrabávači a spásači (grazers), tedy živočichové žijící na povrchu substrátu nebo vodních rostlin (tzv. epifauna). Naopak nejméně ovlivněny jsou organismy vyskytující se v sedimentu (tzv. infauna) – drtiči (shredders) a sběrači (detritivores), kde jsou vhodnější chemické podmínky (Mullholland a kol. 1992). Makrozoobentos je pro své vhodné bioindikační vlastnosti často používáno pro hodnocení a výzkum antropogenní atmosférické acidifikace tekoucích vod (Weatherley a kol. 1989, Guérold a kol. 1995, Winterbourn a McDiffet 1996, Szczęsny 1998). Nejčastěji autoři hodnotí působení acidifikace na základě druhového složení a zastoupení jednotlivých taxonů. Pro srovnání zasažení toků antropogenní atmosférickou acidifikací mezi různými oblastmi či pro sledování dlouhodobých trendů ve vývoji acidifikace lze využít metody acidifikačních indexů, jež ovšem mají svá regionální omezení (Raddum a Fjellheim 1988). Systém hodnocení acidifikace slabě mineralizovaných tekoucích vod na základě makrozoobentosu vypracoval také Braukmann (2001).

Antropogenní atmosférická acidifikace a jejím působením vyvolané změny nejsou, alespoň do určité míry, trvalé. Ve druhé polovině 80. let došlo, zvláště ve střední Evropě, k obrovskému poklesu emisí oxidů síry a o něco menšímu poklesu emisí oxidů dusíku (Kopáček a kol. 2002), snížení kyselé atmosférické depozice a následnému nastartování procesu zotavení vod z antropogenní acidifikace (Raddum a Fjellheim 2003, Stuchlík a kol. 2005). Přes pozitivní imisní trendy je zřejmé, že důsledky acidifikace se budou projevovat ještě dlouho, neboť za období zvýšené kyselé depozice došlo k nahromadění velkého množství síry v půdním horizontu. V současnosti je tato zásoba postupně vyplavována (Alewell 2000) a dochází tak jen k nepatrnému růstu pH a poklesu koncentrací iontové formy hliníku. Tento fakt potvrzují i výsledky dynamického modelování vývoje antropogenní acidifikace (Hruška a kol. 2002, Hardekopf a kol. 2007). Přes výše popsané zpomalení zotavování vod z antropogenní atmosférické acidifikace byl již na některých zasažených lokalitách zaznamenán návrat a růst početnosti některých citlivých organismů (Tipping a kol. 2002, Stuchlík 2003) a alespoň částečné zotavení bentické části společenstva lze očekávat při zachování současné úrovně kyselé depozice v budoucnosti i na našem území.

3. METODIKA

Výběr lokalit

Pro účely diplomové práce byly v každém zájmovém území zvoleny 2 odběrové místa, a to vždy na potoce silně acidifikovaném a na potoce antropogenní atmosférickou acidifikací ovlivněném méně nebo vůbec (referenční lokalita). Silně acidifikované lokality v jednotlivých pohořích byly již v minulosti vybrány jako vhodné ke studiu vlivu zvýšené kyselé atmosférické depozice na oživení toků a to na základě těchto kritérií – pH pod 4,6; koncentrace TOC pod 10 mg l^{-1} ; specifická vodivost (SC_{20}) pod $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ a minimální lidské vlivy v povodí vyjma antropogenní atmosférické acidifikace (Horecký a kol. 2006). Lokality referenční byly vybrány tak, aby se co nejvíce podobaly silně acidifikovaným lokalitám s výjimkou kritéria hodnoty pH (pH větší než 5; co nejnižší obsah rozpuštěných i nerozpuštěných látek a bez zásahů v povodí). V potaz byla brána též skutečnost, zda jsou dané lokality dlouhodoběji sledované v rámci určitého monitoringu (ICP IM, GEOMON) a tedy jsou-li k dispozici hydrochemická data pro danou lokalitu a chybějí-li data o oživení.

Odběry vody a biologického materiálu v terénu

Na všech lokalitách byly odebrány nejméně tři vzorky vody a makrozoobentosu. Jedenkrát na jaře (duben), v létě (červenec) a na podzim (říjen), většinou v roce 2005. Na lokalitách ve Slavkovském lese (léto) a v Brdech (pozdní léto) byl proveden i jeden odběr v roce 2006. Ten byl ve Slavkovském lese doplněn o odběr kukelních svleček pakomárů. Odběr vody vždy předcházel odběru biologického materiálu.

Vzorky vody pro chemickou analýzu v laboratoři byly odebírány v těsné blízkosti měrného přelivu a přímo na místě filtrovány přes tkaninu z uhelonu o velikosti ok $40 \mu\text{m}$. Odběrové PET lahve od nesyčené stolní vody byly před odběrem vymyté horkou ultračistou vodou z přístroje AlfaQ (Milipore, USA), aby se zamezilo jejich kontaminaci. Po odběru byly vzorky uloženy v lednici až do zpracování. Abychom mohli vyloučit vlivy vzniklé skladováním vzorků, proběhlo stanovení chemických parametrů, především pH, alkality a specifické vodivosti obvykle následující den po odběru.

Vzorky makrozoobentosu byly odebírány metodou kicking (Frost a kol. 1971) ve 100 metrovém úseku nad instalovaným přelivem (příp. místem odběru vzorků vody), pomocí síta o světlosti ok $500 \mu\text{m}$, srovnatelným lovným úsilím při jednotlivých odběrech. V daném úseku bylo vždy náhodně zvoleno šest habitatů (peřej, tůň, písčná lavice ad.) a každý byl

odebírán po 30 sekund. Celková doba odběru tedy byla tři minuty. Aby byl vzorek co nejrepresentativnější byla v rámci každého habitatu věnována dostatečná pozornost všem mikrohabitátům a síto bylo pravidelně vyprazdňované. Nasbíraný materiál ze všech habitatů byl sloučen do jednoho vzorku, dekantován, abychom se zbavily větších kamenů a písku, a proprán od drobného sedimentu na sítu 300 μm . Dekantovaný materiál byl ještě před vyhozením prohlédnut, zda v něm nezůstali schránkatí chrostíci či jiné těžší organismy. Takto připravený vzorek byl na místě fixován 80% denaturovaným etanolem. Následující den byl každý vzorek ještě prefixován stejným způsobem. Odebírán byl i dvacetiminutový kvalitativní vzorek individuálním sběrem z kamenů a dalších ponořených předmětů.

Kukelní svlečky pakomárů byly odebrány z hladiny na vhodných místech na celém 100 metrovém úseku pomocí planktonní sítě. I tento vzorek byl fixován 80% etanolem.

Laboratorní zpracování odebraných vzorků

Laboratorní analýzy odebraných vzorků vody probíhaly v laboratoři Hydrobiologické stanice Univerzity Karlovy Velký Pálenec pod vedením Doc. RNDr. Evžena Stuchlíka, CSc. a na jejich provedení se kromě něj podíleli zejména Edita Šípková a Mgr. David Hardekopf. Velká pozornost byla věnována kontrole kvality jednotlivých stanovení prostřednictvím používání tzv. laboratorního standardu a každoroční účastí stanice v mezinárodních interkalibracích např. v rámci programu ICP Waters (NIVA, Norsko). Analýzy obsahu těžkých kovů byly provedeny v laboratoři ICP-MS na PřF UK pod vedením RNDr. Martina Mihaljeviče, CSc.

Hodnota pH byla měřena pomocí systému skleněné elektrody pHG201 (Radiometer, Francie) a referentní velkoobjemové elektrody firmy Russel (UK) připojené k automatickému titrátoru TIM 900 (Radiometer, Francie) ve vzorcích ponechaných přes noc při laboratorní teplotě blízké 20 °C. Měřicí systém byl vždy kalibrován dvěma certifikovanými pufrý (pH 7 a 4) a kontrolován laboratorním standardem s vlastnostmi podobnými vzorkům (specifická vodivost menší než 20 $\mu\text{S cm}^{-1}$, pH \approx 5,5).

Alkalita byla analyzována po měření pH pomocí Granovské titrace (MacKereth a kol. 1978) za použití 0,01 M HCl taktéž s pomocí automatického titrátoru TIM 900. Ke kontrole stanovení byl používán identický laboratorní standard jako pro měření pH.

Hodnota specifické vodivosti byla stanovována konduktometrem CDM 210 (Radiometer, Francie) s teplotní korekcí ve vzorcích vytemperovaných přibližně na 20 °C a za stejných podmínek jako pH a alkalita.

Anionty (F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) i kationty (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) byly analyzovány metodou iontové chromatografie s konduktometrickou nebo UV detekcí.

Koncentrace reaktivního hliníku (R-Al) byly stanoveny spektrofotometricky metodou s pyrokatecholovou violetí podle Driscolla (1984).

Koncentrace celkového organického uhlíku (TOC) byly stanoveny na automatickém analyzátoru Shimadzu.

Koncentrace těžkých kovů byly stanoveny ve vzorcích konzervovaných kyselinou dusičnou speciální čistoty metodou ICP-MS.

Organismy jsem vybíral kvantitativně na Petriho misce vždy z celého odebraného vzorku. Ploštěnky, měkkýši, korýš a larvy i imága vodního hmyzu s výjimkou některých čeledí dvoukřídlých byly určeny až na druhovou či rodovou úroveň. Máloštětinatci byli před vlastní determinací pod mikroskopem odvodněni a prosvětleni pomocí glycerolu a spolu s některými obtížnými skupinami dvoukřídlého hmyzu určeni jen do úrovně čeledí nebo podčeledí (např. Chironomidae). K determinaci byla využita následující literatura – Reynoldson (1978), Richoux (1982), Rozkošný (1980), Losos (1996), Reusch a Oosterbroek (1997), Waringer a Graf (1997), Beran (1998), Krno (1998), Bauernfeind a Humpesch (2001), Schenková a Pižl (2002), Kohl (2003), Rozkošný a Vaňhara (2004), Kment (epublikováno) a Špaček (nepublikováno).

Na určování makrozoobentosu se determinaci či revizí materiálu též podíleli: RNDr. Jan Špaček, Ph.D. (Povodí Labe, Hradec Králové) – jepice, pošvatky; Mgr. Natália Lapšanská (Povodí Vltavy, Praha) – pakomáři; RNDr. Pavel Chvojka (Národní Muzeum, Praha) - chrostíci; Mgr. Petr Pařil (PřF MU, Brno) – dvoukřídlí; Mgr. Martin Fikáček (PřF UK, Praha) – brouci a RNDr. Jakub Horecký, Ph.D. (Povodí Vltavy, Praha). Vzorky s kukelnými svlečkami pakomárů zpracoval a determinoval Prof. RNDr. Peter Bitušík, CSc. (Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica).

Určení jedinci byli dle taxonů a lokalit rozděleni do skleněných epruvet naplněných 96% etanolem a jsou uloženi v depozitáři Ústavu pro životní prostředí UK.

Zpracování výsledků

Pro základní zhodnocení, výpočty a grafické zobrazení výsledků jsem využíval programy MICROSOFT OFFICE 2000 a STATISTICA 6.

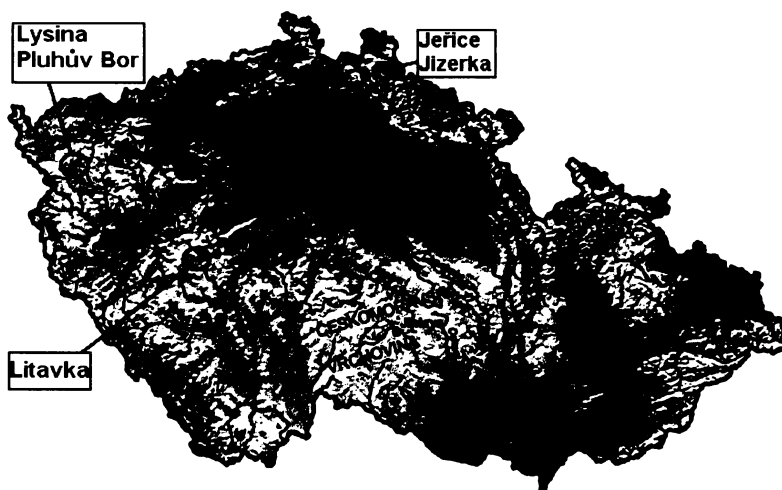
Simpsonův index dominance a Shannon-Wienerův index diverzity jsem vypočetl pomocí vzorců uvedených v Kokešovi a kol. (1999). Rozdělení taxonů do funkčních skupin jsem provedl dle Mooga (2002).

Pro zobrazení vztahů mezi jednotlivými parametry prostředí a celosezónním druhovým složením v získaném souboru dat jsem využil mnohorozměrné analýzy pomocí programu CANOCO 4.5 a jeho grafické nástavby CANODRAW 4.0. Nejprve jsem testem pomocí DCA (Detrended Correspondence Analysis) zjistil, že nejdelší gradient je kratší než hodnota doporučovaná pro techniky unimodální (ter Braak a Šmilauer 2002) a rozhodl se pro analýzu využít techniku lineární, konkrétně nepřímou ordinaci metodou analýzy hlavních komponent (PCA). Průkaznost vlivu jednotlivých nejvýznamnějších parametrů prostředí jsem testoval randomizačním testem (Monte Carlo) dostupným v metodě RDA (Redundancy Analysis; Herben a Münzbergová 2001). Vzhledem k tomu, že metoda PCA je poměrně citlivá na odlehlé hodnoty použitých proměnných, bylo nutné provést transformaci některých vstupních dat. Chemické parametry vody jsem, kromě hodnot pH, transformoval logaritmicky. Druhová data sloučená do celosezónních součtů jednotlivých lokalit jsem převedl na procentuální zastoupení a tyto hodnoty transformoval čtvrtou odmocninou. Geografické a morfometrické parametry jsem netransformoval.

4. POPIS SLEDOVANÝCH LOKALIT

Malé horské potoky jsou nejčastěji acidifikovanými vodami na našem území. Veselý a Majer (1998) provedli v 90. letech 20. století podrobné hydrochemické mapování České republiky a zjistili, že povrchové vody postižené antropogenní atmosférickou acidifikací se vyskytují převážně ve vyšších polohách pohraničních pohoří Českého masivu od Jeseníků přes Krkonoše a Krušné hory až po Šumavu a Novohradské hory. Ve vnitrozemí jsou postiženy pouze dvě oblasti - Brdy a Žďárské vrchy.

V rámci diplomové práce byly studovány toky ve třech pohořích. Pramenné části řeky Litavky v Brdech: Litavka-pravostranný přítok a Litavka-hlavní větev, potoky Lysina a Pluhův Bor ve Slavkovském lese a Jeřice a pravostranný přítok Jizerky v osadě Jizerka v Jizerských horách.



Obr. 4.1: Vyznačení sledovaných lokality v Brdech (Litavka-pravostranný přítok, Litavka-hlavní větev), Slavkovském lese (Lysina, Pluhův Bor) a Jizerských horách (Jeřice, Jizerka).

4.1. Brdy

S nejvyšší nadmořskou výškou 865 m n.m. jsou Brdy, táhnoucí se na 70 km jihozápadně od Prahy, naším nejvyšším vnitrozemským pohořím a zároveň představují největší zalesněné území středních Čech. Svým charakterem a řídkým či úplně chybějícím osídlením nápadně připomínají sudetská pohoří a stejně jako v mnoha pohraničních horstvech jsou povrchové vody Brd zasaženy antropogenní atmosférickou acidifikací (Pivnička a kol. 1993, Horecký a kol. 2002).

Podloží Brd je z velké části tvořeno kambrickými pískovci, slepenci a křemenci, tedy horninami kyselými, s velmi nízkým obsahem vápníku a dalších bazických iontů. Půdy

vznikající na těchto horninách jsou mělké a chudé hnědozemě, ve vyšších polohách přecházející v půdy zrašelinělé. Bohatší půdy jsou vytvořeny jen místně v severozápadní části pohoří, kde k povrchu vystupují variské granodiority a diabasy (Havlíček a Štorch 1986, Straka a kol. 2002). Klimaticky patří nejvyšších partie Brd do chladné oblasti s větším množstvím srážek, podhůří zasahuje do oblasti mírně teplé (Quitt 1971). Území je z 90 % zalesněno smrkovými lesy hospodářsky využívanými, v nižších polohách se ojediněle zachovaly původní smíšené či bukové lesy (Čáka 1998). Podél vodotečí se místně vyskytují podmáčené olšiny (Pivnička a kol. 1993). Brdy jsou Chráněnou oblastí přirozené akumulace vod a krom mnoha pramenů, potoků a bystrin se na území nachází též několik vodních ploch využívaných jako zdroje pitné vody. Vody jsou převážně xeno- až oligosaprobni s přirozeně nízkou alkalitou a průměrnou hodnotou pH často pod 5,5 (Pivnička a kol. 1993, Horecký a kol. 2002). Vezmeme-li v úvahu charakter zalesnění, horské klima a citlivé podloží, byla tato oblast, zejména ve druhé polovině 20. století, výrazně zasažena vysokými depozicemi oxidů síry a dusíku.

Vzhledem k tomu, že na území Brd je již od roku 1929 vyhlášen vojenský výcvikový prostor, existuje poměrně málo údajů o oživení a chemismu vod před nástupem vrcholné acidifikace. První zmínky o vodních organismech Brd nacházíme v práci Roubala a Štorchána (1924). Podrobnější výzkum jepic, pošvatek a chrostíků v nižších partiích pohoří byl proveden na konci 50. let 20. století (Křelinová 1962). Pivnička a kol. (1993) provedli hydrobiologickou studii zaměřenou na malé toky centrální části pohoří. Byly zjištěny nízké hodnoty pH (4,2-7), velmi nízké hodnoty alkality a absence citlivých živočichů na acidifikovaných lokalitách. V roce 1997 byla provedena na významných tocích Brd pilotní studie makrozoobentosu (Horecký a kol. 2002) a na základě výsledků byla zvolena vhodná lokalita pro dlouhodobé detailní studium antropogenní atmosférické acidifikace. Od roku 1998 probíhá v pramenném úseku řeky Litavky komplexní limnologický výzkum zaměřený na sledování antropogenní atmosférické acidifikace a jejího vlivu na chemismus a oživení tekoucích vod.

Obě studované lokality se nacházejí v jihovýchodním cípu Vojenského újezdu Brdy, přibližně 4 kilometry severozápadně od obce Láz. Řeka Litavka zde pramení jako několik drobných vodotečí a po 3 kilometrech vtéká do vodárenské nádrže Láz. Mapy odběrových míst a jejich fotodokumentace je v Příloze 8.

Lokalita Litavka-pravostranný přítok (v publikacích též Litavka-krmelec či Litavka-rain fed branch)

Povodí pravostranného přítoku Litavky (dále jen Litavka-p.p.) vymezuje z jižní strany vrch Plešec (786 m n.m.), ze západu Malý Tok (844 m n.m.) a Hradiště (840 m n.m.). Povodí má přibližný tvar obdélníku o délce 1310 m a šířce 650 m, severovýchodní orientaci a průměrný sklon 8,6 % . Plocha povodí je 1,84 km² a jeho průměrná nadmořská výška 770 m (Bracínková 2003). Podloží je tvořeno sedimentárními horninami (kambrické pískovce, slepence) a deluviálními sedimenty (Straka a kol. 2002). Půdní pokryv sledované oblasti tvoří silně kyselá kambizemě, místy se stopami oglejení a zrašelinělé půdy (Hardekopf a kol. 2007). Průměrná roční teplota je 6 °C a průměrný roční srážkový úhrn v dané oblasti činí 700 - 800 mm (Cílek a kol. 2005). V místě uzávěrového profilu ve výšce 695 m n.m. a vzdálenosti 1 km od prameniště je vybudován měrný přeliv. Odběry vzorků proběhly ve 100m úseku nad tímto přelivem. Voda pravostranného přítoku pochází především přímo ze srážek, což má za následek značně nevyrovnané průtoky. Průměrný průtok se pohybuje okolo 1 l s⁻¹, avšak při povodňových stavech může dosahovat i více než 100 l s⁻¹ (Horecký 2003); maximální zaznamenaný průtok po osazení přelivu automatickým čidlem v roce 2006 byl 88 l s⁻¹. Naopak v obdobích s nedostatkem srážek koryto zcela vysychá. Teplota vody v letním období může přesáhnout i 15 °C, v zimě tok může zcela vymrznout (Horecký 2003).

Lokalita i celé povodí je zalesněno z velké části smrkovou monokulturou, ojediněle se ve vyšších partiích vyskytuje buk (*Fagus sylvatica*), dub (*Quercus* sp.) či líska (*Corylus avellana*). Stáří lesa v povodí je 80 – 90 let. Zhruba 10 % území pokrývají mýtiny s vysazeným smrkem ztepilým (*Picea abies*) (Bracínková 2003). Šířka toku na lokalitě se pohybuje v rozmezí 0,4 - 1,0 m, hloubka za normálních průtoků od několika centimetrů do 0,6 m v tůních. Dno je kamenitopísčité, sezónně porostlé mechem a vláknitými řasami. Místa jsou do toku napadané smrkové větve, břehy jsou strmé a porostlé trávou. Ryby v toku žádné nežijí. Nejbližší populace se vyskytují v Lázké nádrži, zhruba 1,5 km pod přelivem, a to přirozeně střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*) a vysazený okoun říční (*Perca fluviatilis*) (Fischer a kol. 2005).

Litavka-pravostranný přítok je od roku 1999 intenzivně studovanou lokalitou. První podrobné informace o oživení jsou popsány v práci Horeckého a kol. (2002). Chemismem a hydrologickým režimem povodí se zabývali např. Kulina (2000), Bracínková (2003), Pehal (2004) a Benočková (2007). Hardekopf a kol. (2007) využil modelování v programu MAGIC k rekonstrukci historického vývoje chemismu a naznačení budoucího trendu zotavování toku

z antropogenní atmosférické acidifikace. Od roku 2004 je tato lokalita sledována v rámci projektu ICP Waters a ICP – IM. V roce 2005 byla navíc zařazena do monitorovací sítě malých horských povodí GEOMON (Stuchlík a kol. 2006).

Lokalita Litavka-hlavní větev (v publikacích též Kormundka či Litavka-spring fed branch)

Odběrový profil na Litavce-hlavní větev (dále jen Litavka-h.v.) se nachází několik set metrů severně od Litavky-p.p. a obě povodí jsou oddělena jen nízkým zalesněným hřbetem. Povodí této větve je orientováno jihovýchodně a má tvar trojúhelníku s vrcholy na kótách Hradiště (840 m n.m.) a Brdce (839 m n.m.) a je o něco menší (~ 0,9 km²). Geologické složení podloží, půdní poměry i klimatická charakteristika jsou totožné s Litavkou-p.p. Odlišný je ovšem zdroj vody - Litavka-h.v. je zásobována vodou z pramene. To má za následek daleko vyrovnanější průtoky (průměr cca 1 l s⁻¹) v průběh celého roku (Hardekopf a kol. 2007) a to, že nevysychá ani v obdobích s nedostatkem srážek. Odběry v roce 2005 byly prováděny v okolí lesní cesty, jež přetíná vodoteč těsně nad křížením toku se zpevněnou cestou. Nadmořská výška tohoto místa je 700 m. V roce 2006 byl, z důvodu vykácení lesa a devastace koryta toku (těžkou technikou rozježděné koryto, olejové skvrny v tůňkách) v a nad odběrovým úsekem, přesunut profil cca 250 m proti proudu. Zde byl vybudován měrný přeliv a instalován automatický hloubkoměr.

V místě původního profilu byla vegetace tvořena prosvětleným vzrostlým smrkovým lesem, zčásti smrkovým mlázím a pod cestou protékal potok malou pasekou s porosty rašeliníku. Koryto bylo užší než na Litavce-p.p. a ve spodní části s výskytem rašeliníku byly hlubší tůňky (40 cm). V toku nebyly přítomny velké kameny a v místě křížení lesní cesty a těsně pod ní byla vytvořena drobná písková lavice (hloubka do 5 cm). Na nynějším odběrovém místě (740 m n.m., 400 m od pramene) rostou rozvolněně mladé smrky (do 5 m výšky), s příměsí stejně vysokých modřínů (*Larix decidua*). Podrost je silně podmáčen, tvořen převážně rašeliníkem (*Sphagnum* sp.), ale vyskytují se zde i ostrůvky vřesu (*Calluna vulgaris*) a sítin (*Juncus* sp.). Koryto potoka je úzké (20 – 50 cm), místy se ztrácí pod břehovými porosty rašeliníku, a relativně hluboké (až 50 cm). Ani na jednom místě nebyly zaznamenány vláknité řasy.

Litavka-h.v. nebyla tak podrobně studována jako její pravostranný přítok. První odběry makrozoobentosu a vody byly provedeny až v roce 2005 pro účely této práce.

4.2. Slavkovský les

Území Slavkovského lesa je z pohledu hydrologického či spíše hydrogeologického velmi významným územím, především jako zdrojová oblast velkého množství minerálních pramenů využívaných v mnoha okolních lázních. Proto je Slavkovský les již po více než tři desetiletí chráněnou krajinou oblastí a také chráněnou oblastí přirozené akumulace vod. Přesto jsou některé části území silně postižené antropogenní atmosférickou acidifikací.

Geologické složení Slavkovského lesa je pestré. Podloží je tvořeno především granity a amfibolity, ale na okrajích nalezneme i ortoruly a místně terciérní vyvřeliny. Významný je několikakilometrový pás prekambriických vyvřelin – hadců, táhnoucí se jižně od Bečova nad Teplou (Schovánek a kol. 1998, Tonika 1998). Půdy jsou řazeny mezi kambizemě typické, dystrické a pseudoglejové a nejvyšší partie pokrývají podzoly kambizemní (Zahradnický a kol. 2004). Pouze polohy nad 750 - 800 m náleží do chladné klimatické oblasti s delší zimou a vlhkým létem, nižší polohy patří do mírně teplé oblasti s mírně chladným a mírně suchým létem (Quitt 1971). Přirozenou potencionální vegetací Slavkovského lesa jsou v nejnižších polohách dubohabřiny a acidofilní doubravy, s rostoucí nadmořskou výškou přecházející v jedliny a bučiny a nejvyšší partie porůstaly klimaxové a podmáčené smrčiny. Na extrémních lokalitách (hadce) se vyskytovaly reliktní bory a v říčních údolích olšové luhy. Dnes les pokrývá 53 % plochy území a mnohde byly původní dřeviny nahrazeny smrkem (Zahradnický a kol. 2004).

Antropogenní acidifikace Slavkovského lesa úzce souvisí s těžbou a spalováním hnědého uhlí v podhůří, která byla započata již v druhé polovině 19. století. Nejvyšší emise okyselujících částic byly zaznamenány na počátku 80. let minulého století. Od té doby došlo k jejich výraznému poklesu a k růstu pH srážek (Hruška a kol. 2002). Zotavování prostředí z antropogenní atmosférické acidifikace je sledováno ve Slavkovském lese na dvou experimentálních povodích a makrozoobentos pramenných úseků toků zde dosud zkoumán nebyl (P. Řepa – osobní sdělení).

Mapy sledovaných lokalit ve Slavkovském lese a jejich fotodokumentace je v Příloze 9.

Lokalita Lysina

Studovaný potok najdeme v jihozápadní části CHKO Slavkovský les necelý kilometr severně od osady Kladská. Povodí je situováno na severovýchodním svahu vrchu Lysina

(982 m n.m.). Od ostatních drobných vodotečí stékajících z Lysiny je odděleno na severu kótou Vlčinec (871 m n.m.), na západě kótami 914 m n.m. a 949 m n.m. a nevýrazným hřbetem na jihu. Povodí zabírá plochu 0,27 km² s průměrným sklonem 11,5 % a severovýchodní orientací (Hruška a kol. 2002). Povodí dosahuje do výšky 949 m n.m. a uzávěrový profil, v němž je vybudován měrný přeliv je v 829 m n.m. Potok pramení přibližně 900 m nad tímto přelivem a několik metrů pod ním se vlévá do malé vodní nádrže. Průměrný průtok se pohybuje pod 0,5 l s⁻¹ (Krám a kol. 1997). Podloží je tvořeno střednězrnnými až hrubozrnnými leucogranity s nízkým obsahem biotitu (Tonika 1998). Půdy vznikající na těchto horninách jsou mělké podzoly kambizemní (Hruška a kol. 2002). Klima je chladné a vlhké s průměrnou teplotou 5 °C a průměrným ročním srážkovým úhrnem 900 mm. Většina plochy povodí (70 %) je pokryta hospodářsky využívanou stejnověkou asi padesátiletou monokulturou smrku s ojediněle se vyskytujícími buky. Zbytek je zarostlý mlazinou smrku nebo trávou (*Calamagrostis villosa*) (Hruška a kol. 2002).

Odběry makrozoobentosu byly provedeny v úseku 100 m nad instalovaným přelivem. V horní polovině úseku protéká potok mlázím, tok je zde široký až 90 cm, nepříliš hluboký s většími kameny a napadanými větvemi. Ve spodním úseku, nad přelivem, potok meandruje v porostech trávy a rašeliníku. Koryto je zde užší a více zařízlé do terénu.

Studium procesu antropogenní acidifikace povodí má na Lysině poměrně dlouhou historii. Již v roce 1989 se začaly systematicky sbírat data, především o chemismu vody a srážek a dnes je součástí sítě GEOMON. Výsledky výzkumu, včetně zpracování modelů vývoje chemismu v programu MAGIC, byly publikovány v několika článcích (Krám a Hruška 1994, Hruška a kol. 2002, Hruška a Krám 2003). První orientační odběry makrozoobentosu proběhly v roce 2000. Od roku 2004 jsou odebírány každoročně v rámci projektu ICP Waters (Stuchlík a kol. 2004).

Lokalita Pluhův Bor

Lokalita Pluhův Bor je vzdálená necelých 7 kilometrů od Lysiny. Nachází se 2,5 km severně od obce Mnichov, v těsné blízkosti NPR Pluhův Bor. Povodí drobného potoka se rozkládá na východním svahu kopce V Boru (804 m n.m.) na ploše 0,216 km². Nejvyšším bodem povodí, orientovaném jihovýchodně, je vrchol jmenovaného vrchu, nejnižším pak uzávěrový profil těsně nad lesní cestou, kde je vybudován měrný přeliv (690 m n.m.). Střední nadmořská výška povodí je 774 m. Povodí je o něco strmější než na Lysině s průměrným 13% sklonem, ale vodnost toku s průměrným průtokem okolo 0,25 l s⁻¹ je o něco nižší (Krám

a kol. 1997, Hruška a Krám 2003). Potok pramení zhruba 700 m nad přelivem a těsně pod ním se vlévá do říčky Kyselka. Hlavním rozdílem, který výrazně odlišuje obě slavkovské lokality, je geologická stavba podloží. Pluhův Bor se na rozdíl od Lysiny nachází na výchozu serpentinitu (hadec), tedy na ultrabazické vyvřelé hornině s vysokým obsahem hořčíku (Schovánek a kol. 1998). Půdy vznikající na takovém podloží jsou bohaté jemnozrnné kambizemě se značnou neutralizační kapacitou. Klima je podobné jako na Lysině – průměrná roční teplota 6 °C a průměrné roční srážky 850 mm (Krám a kol. 1997). Povodí je z 94 % zalesněno, smrkem (92 %) a borovicí lesní (*Pinus sylvestris*, 8 %). Průměrný věk stromů je 120 let. Zbytek plochy je zarostlý trávou a mladými smrkem do 20 let věku (Hruška a Krám 2003).

Makrozoobentos byl odebírán ve 100m úseku nad přelivem. Tok zde teče spíše přímo, bez větších meandrů, korytem širokým v průměru 50 cm s podemletými břehy s obnaženými kořeny stromů. Břehy jsou porostlé mechem a řídce trávou či kapradinami. Hloubka při normálním stavu je i v tůňkách malá, do 15 cm. V substrátu dna převažují kameny a balvany, větve v korytě napadané nebyly.

Pluhův Bor je stejně jako Lysina zařazen do monitorovací sítě GEOMON. Modelováním vývoje antropogenní atmosférické acidifikace a biogeochemickými cykly Pluhova Boru se zabývali Hruška a Krám (2003) a Shanley a kol. (2004). První vzorky makrozoobentosu byly odebrány až pro účely této práce v roce 2005.

4.3. Jizerské hory

Jizerské hory jsou součástí tzv. Černého trojúhelníku, tedy území které bylo ve střední Evropě antropogenní atmosférickou acidifikací postiženo vůbec nejvíc, a to přesto, že na jejich území je od roku 1968 vyhlášena chráněná krajinná oblast a od roku 1978 chráněná oblast přirozené akumulace vod (Mackovčín a kol. 2002). Základem geologické stavby pohoří je krkonošsko-jizerské krystalinikum. Jádrem oblasti je variský granodioritní masiv, místně se vyskytují holocénní sedimenty slatin a výchozy vulkanitů (Chaloupský a Králík 1988). Půdy jsou lehké se zvýšeným obsahem štěrku. Převážně se jedná o podzoly kambizemní a organozemní. Celé Jizerské hory náleží do chladné klimatické oblasti s průměrnou roční teplotou od 4 do 7 °C a jsou nejvlhčí oblastí České republiky (průměrné roční srážky > 1000 mm) (Mackovčín a kol. 2002). Územím probíhá hlavní evropské rozvodí mezi Severním a Baltským mořem a pramení zde několik významných toků (Jizera, Lužická Nisa).

Na počátku dvacátého století bylo na horských bystrinách, stékajících po jižních svazích hor, vybudováno několik přehrad z důvodů ochrany proti častým povodním. Dnes jsou využívány především jako zdroje pitné vody, stejně jako největší nádrž, Josefův Důl, dokončená roku 1982. Téměř výhradním přirozeným vegetačním typem Jizerských hor je les. V původních lesích dominoval buk, hojný byl i smrk a jedle (*Abies alba*). Nejvyšší partie byly porostlé klimaxovými smrčiny. Tyto lesy byly s výjimkou severních svahů nahrazeny v průběhu 20. století smrkovými monokulturami (Mackovčin a kol. 2002).

Vážné narušení povodí a výrazné změny v chemismu vod Jizerských hor způsobila kombinace několika faktorů: geologické podloží a mělké půdy s nízkou pufrací kapacitou, vykácení původních lesů a jejich nahrazení smrkovými monokulturami, nevhodné lesní hospodaření a s tím spojená silná eroze (Křeček a Hořická 2001). Již počátkem 50. let 20. století byla přirozená kyselost vod, způsobená vysokým obsahem huminových kyselin, na území Jizerských hor překryta antropogenní acidifikací, která vyvrcholila v průběhu 80. let, kdy došlo k rozsáhlému poškození smrkových porostů a jejich smýcení (Stuchlík a kol. 1997).

Výzkum vlivu antropogenní atmosférické acidifikace na prostředí probíhá v Jizerských horách na několika lokalitách (exp. povodí Uhlířská a Jizerka, nádrže Souš, Josefův Důl ad.) a je zaměřen zvláště na sledování hydrologických a hydrochemických změn způsobených změnou vegetačního pokryvu a změnou hospodaření v povodí (Křeček a Hořická 2001, Motl 2005). Údaje o oživení acidifikovaných nádrží nalezneme v pracích Hořické (1993) a Stuchlíka a kol. (1997), reintrodukcemi ryb do jizerskohorských nádrží se mimo jiné zabývá Křeček a Hořická (2001). Průzkumy makrozoobentosu na acidifikovaných tocích Jizerských hor dosud neproběhly s výjimkou práce Horeckého (2003). Bentos níže položených toků pohoří analyzovala Kulíšková (2006) a v současnosti probíhá mapování bentických živočichů i v pramenných úsecích jizerskohorských toků v rámci zpracování diplomové práce (T. Balej - osobní sdělení).

Mapy sledovaných lokalit v Jizerských horách a jejich fotodokumentace je v Příloze 10.

Lokalita Jeřice

Horská říčka Jeřice pramení několika větvemi v území mezi Poledníkem (864 m n.m.) a Olivetskou horou (886 m n.m.), které spojuje podkovovitý horský hřbet, a odtéká západním směrem k obci Oldřichov v Hájích (vzdálen cca 3,5 km vzdušnou čarou). Zájmové území se



nachází na levé pramenné větvi, v místě kde, tok kříží lesní cesta, která odbočuje z asfaltové silničky (Polednická cesta). Povodí sledovaného toku je malé (0,1 km²), orientované na severozápad s průměrným sklonem 9 % a nejvyšší nadmořskou výškou 886 m n.m. Prameniště v hustém smrkovém lese je od místa odběru vzdáleno 350 m. Průměrný průtok se ve sledovaném období pohyboval pod 1 l s⁻¹ a teplota vody kolísala od 7 do 13 °C. Podloží je tvořeno středně zrnitou porfyrickou žulou a v těsném okolí toku jsou také deluviální polygenetické sedimenty (Chaloupský a Králík 1988). Půdy jsou tvořeny kambizemními a organozemními podzoly a organozemními gleji. Klima je chladné (prům. teplota ~ 5 °C) a velmi vlhké (~ 1100 mm ročně) (Mackovčín a kol. 2002). Povodí je ze 70 % zalesněno přibližně čtyřicetiletým smrkovým lesem (*Picea abies*, *Picea pungens*).

Odběr byl prováděn nad křížením lesní cesty s tokem, který zde protéká korytem maximálně 0,75 m širokým. Hloubka mimo tůň se pohybuje do 5 cm. V korytě chybějí velké kameny, ale je tam mnoho smrkových větví a organického sedimentu. Mech ani vláknité řasy v toku zaznamenány nebyly. Břehy jsou mírně podemleté téměř bez vegetace. Makrozoobentos byl odebírán pouze v sezóně 1999/00 Jakubem Horeckým (Horecký 2003), jehož doplněná data byla využita i pro účel této práce.

Lokalita Jizerka

Lokalita Jizerka se nachází ve východní části CHKO Jizerské hory na Sklářském potoce vlévajícím se v osadě Jizerka do říčky Jizerky. Měrný přeliv je vybudován na toku zhruba 200 m jihozápadně od středu jmenované osady v nadmořské výšce 860 m n.m. Povodí sledovaného potoka zabírá plochu 1 km² (Křeček a Hořická 2001) a rozvodnice prochází přes dva vrcholy – nepojmenovanou kótu (986 m n.m.) a Bílé kameny (993 m n.m.). Ty jsou také nejvyšším bodem celého povodí, jež je orientováno severovýchodně a má sklon kolem 10 %. Potok pramení na úpatí Bílých kamenů (993 m n.m.), necelý kilometr nad měrným přelivem, který je umístěn na výtoku z malé nádržky napájené sledovaným potokem. Povodí je zalesněno jen ze 30 % a to především mladými smrkem (výška 5-8 m) s vtroušenou klečí (*Pinus mugo*). Zbylá plocha je porostlá travinnými společenstvy a rašeliníkem. Geologická stavba je velmi podobná lokalitě Jeřice. Opět převládají porfyrické granodiority a podél toku se vyskytují holocénní štěrkopískové náplavy (Mackovčín a kol. 2002). Stejně tak pedologická a klimatická charakteristika je shodná, snad jen srážek zde během roku spadne o něco více – v průměru 1476 mm (Mackovčín a kol. 2002).

Odběr makrozoobentosu proběhl v úseku 100 m nad vzduším nádržky. Potok je zde široký 30 až 200 cm a zhruba polovina protéká drobným lesíkem. Zbytek je zcela nezastíněn. Břehy jsou porostlé rašeliníkem, dno je šterkokamenité s minimálním množstvím organického sedimentu. Kameny jsou z části porostlé mechem i vláknitými řasami. V nádržce žijí ryby a v jeho okolí se vyskytují imága vážek (Anisoptera).

Již od roku 1982 zde probíhá hydrologický výzkum zaměřený na ekologické důsledky působení kyselé atmosférické depozice v podmínkách řízeného lesního managementu (Křeček a Hořická 2001). Výzkum makrozoobentosu na této lokalitě dosud proveden nebyl.

Tabulka 4.1: Shrnutí základní charakteristiky sledovaných toků

	Oblast	Sever. šířka	Východ. délka	Nadmořská výška povodí	Povodí	Sklon povodí	Orientace povodí	Vzdálenost od pramene	Plocha povodí
		°	°	m n.m.		%		km	km ²
Litavka p. přítok	Brdy	49,39	13,52	695 – 843	Berounka	8,6	SV	1,00	1,85
Litavka h. větev	Brdy	49,40	13,52	700 – 840*	Berounka	8,0*	JV	0,65*	0,90*
Lysina	Slav. les	50,02	12,40	829 – 949	Teplá	11,5	SV	0,90	0,27
Pluhův Bor	Slav. les	50,04	12,48	690 – 804	Teplá	13,0	JV	0,70	0,22
Jeřice	Jiz. hory	50,51	15,09	800 – 886	L. Nisa	9,0	SZ	0,35	0,10
Jizerka	Jiz. hory	50,49	15,21	860 – 993	Jizera	10,0	SV	0,95	1,00
	Geologie podloží v povodí						Hlavní zdroj vody	Dominantní vegetace v povodí	
Litavka p. přítok	pískovce, křemenné slepence, deluviální sedimenty						srážky	Smrk	
Litavka h. větev	pískovce, křemenné slepence, deluviální sedimenty						pramen	Smrk	
Lysina	leucogranit						srážky	Smrk	
Pluhův Bor	serpentinit						srážky	Smrk	
Jeřice	žula, deluviální sedimenty						srážky	Smrk	
Jizerka	žula, deluviální sedimenty						srážky	Trávy	

* údaje pro místo odběrů v roce 2005

5. VÝSLEDKY

5.1. Chemismus sledovaných toků

Silně acidifikované lokality (Jeřice, Litavka-p.p., Lysina)

Všechny naměřené hodnoty pH byly nižší než 4,6. Nejvyšší a nejvyrovnanější hodnoty jsem zaznamenal na Jeřici s průměrem 4,55 a směrodatnou odchylkou $\sigma = 0,03$. Nejkyselejší sledovanou lokalitou je Litavka-p.p. – průměr pH byl jen 4,15. Hodnoty pH na Lysině se pohybovaly mezi Litavkou-p.p. a Jeřicí a vyznačovaly se nejvyšší rozkolísaností ($\sigma = 0,16$). Nejkyselejší byly toky na jaře (tání sněhu) a nejméně kyselé naopak v období nejnižších průtoků, tedy na podzim. Hodnotám pH odpovídá alkalita, která se při všech měřeních pohybovala v záporných číslech (měřeno granovskou titrací).

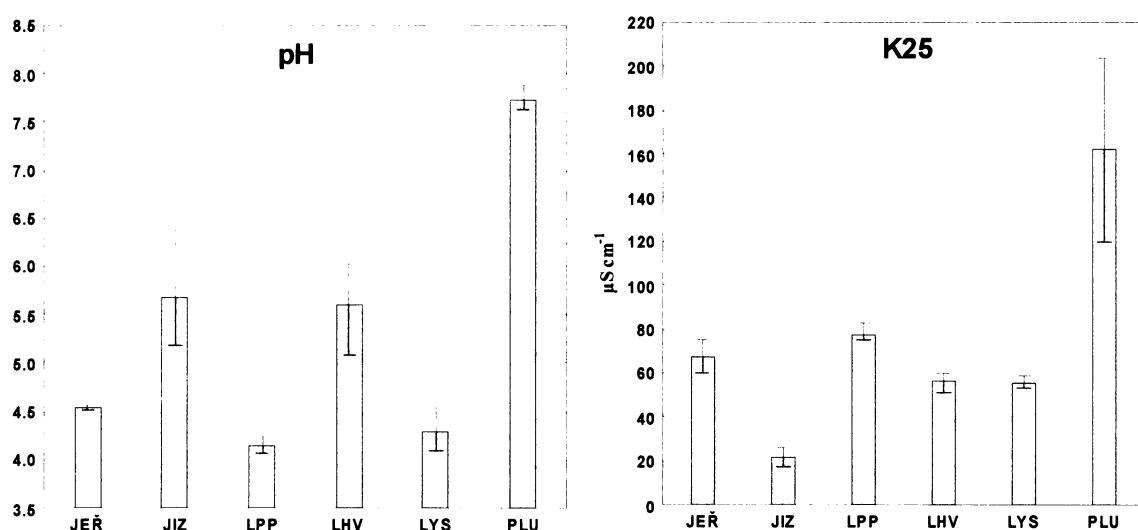
Naměřeny byly poměrně nízké hodnoty specifické vodivosti $50 - 80 \mu\text{S cm}^{-1}$. Horní hranici jen mírně překračoval jarní termín na Litavce-p.p. ($82,5 \mu\text{S cm}^{-1}$), která vykazovala také nejvyšší průměrnou hodnotu specifické vodivosti $77,2 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nejnižší průměrná specifická vodivost byla naměřena na Lysině ($55,7 \mu\text{S cm}^{-1}$). Naopak tomu bylo u obsahu celkového organického uhlíku (TOC), u nějž průměrné hodnoty na Lysině ($11,5 \text{ mg l}^{-1}$) více než dvojnásobně převyšovaly průměry na Litavce-p.p. ($4,1 \text{ mg l}^{-1}$) a Jeřici ($5,1 \text{ mg l}^{-1}$).

Z aniontů byly naměřeny nejvyšší koncentrace u síranů. Na Litavce-p.p. a Jeřici se pohybovaly mezi 300 a $440 \mu\text{eq l}^{-1}$, na Lysině byly nižší ($160 - 300 \mu\text{eq l}^{-1}$). Koncentrace dusičnanů byly velmi nízké, pouze u Jeřice přesahovaly $20 \mu\text{eq l}^{-1}$. Průměr jejich koncentrací na Litavce-p.p. byl jen $6,3 \mu\text{eq l}^{-1}$ a na Lysině $4,2 \mu\text{eq l}^{-1}$. To jsou menší hodnoty než byly naměřeny pro fluoridy (7 až $10 \mu\text{eq l}^{-1}$). Koncentrace chloridů se pohybovaly okolo $30 \mu\text{eq l}^{-1}$.

Vůbec nejvyšších hodnot ze všech sledovaných lokalit dosahovaly koncentrace iontů vápníku na Jeřici v Jizerských horách, v průměru $208,8 \mu\text{eq l}^{-1}$. Na kyselých lokalitách v Brdech a Slavkovském lese to byly koncentrace několikanásobně nižší ($47,8 \mu\text{eq l}^{-1}$ a $78,7 \mu\text{eq l}^{-1}$). Koncentrace hořečnatých iontů byly u Jeřice a Lysiny zhruba poloviční v porovnání s vápenatými, u Litavky-p.p. tomu bylo naopak. Přesto průměrné hodnoty naměřené na Jeřici byly nejvyšší ($96,5 \mu\text{eq l}^{-1}$). Koncentrace vodíkových iontů nabývaly hodnot v rozmezí 25 až $85 \mu\text{eq l}^{-1}$. Na Jeřici a Lysině byly významné i ionty sodíku, s průměrnými koncentracemi kolem $100 \mu\text{eq l}^{-1}$. Na Litavce-p.p. nebyla průměrná hodnota ani poloviční. Průměrné koncentrace draselných iontů se pohybovaly od 10 do $20 \mu\text{eq l}^{-1}$,

u amonných iontů to byly ještě nižší hodnoty s maximem v letním vzorku na Lysině ($6,2 \mu\text{eq l}^{-1}$).

Všechny tři silně acidifikované potoky měly výrazně zvýšené koncentrace reaktivního hliníku pohybující se nad hranicí $500 \mu\text{g l}^{-1}$. Extrémních hodnot dosahovaly tyto koncentrace na Litavce-p.p. (průměr – $1806 \mu\text{g l}^{-1}$, maximum – $2074 \mu\text{g l}^{-1}$). Na Litavce-p.p. byly naměřeny rovněž nejvyšší koncentrace dalších těžkých kovů : manganu $> 300 \mu\text{g l}^{-1}$, kobaltu $> 15 \mu\text{g l}^{-1}$, niklu $> 5 \mu\text{g l}^{-1}$, kadmia $> 0,87 \mu\text{g l}^{-1}$ a olova (průměr $2,85 \mu\text{g l}^{-1}$). Nejvíce železa a arsenu bylo v průměru naměřeno na Lysině ($781,7 \mu\text{g l}^{-1}$; $2,2 \mu\text{g l}^{-1}$) a zinku na Jeřici ($49,5 \mu\text{g l}^{-1}$).



Obrázek 5.1: Srovnání pH a hodnot specifické vodivosti (K25) silně acidifikovaných (JEŘ, LPP, LYS) a referenčních lokalit (JIZ, LHV, PLU). Pro každou lokalitu jsou znázorněny průměrné a krajní hodnoty. JEŘ=Jeřice, JIZ=Jizerka, LPP=Litavka-p.p., LHV=Litavka-h.v., LYS=Lysin, PLU=Pluhův Bor.

Referenční lokality (Jizerka, Litavka-h.v., Pluhův Bor)

Koncentrace látek, které indikují postižení acidifikací, byly na těchto lokalitách výrazně odlišné od lokalit popisovaných v předchozím odstavci.

Hodnoty pH zde neklesají pod 5. Nejnižší pH bylo naměřeno při jarních odběrech - 5,08 na Litavce-h.v. a 5,18 na Jizerce. Na těchto dvou lokalitách hodnoty pH výrazněji kolísaly. Více na Jizerce, kde maximální zjištěné pH bylo 6,38 ($\sigma = 0,51$), na Litavce-h.v. to bylo jen 6,08 ($\sigma = 0,4$). pH Pluhova Boru, stejně jako hodnoty některých dalších látek, bylo o něco vyšší a vyrovnané (průměr 7,73, $\sigma = 0,1$). Hodnoty alkality byly kladné, u Pluhova Boru velmi vysoké přesahující $1000 \mu\text{eq l}^{-1}$.

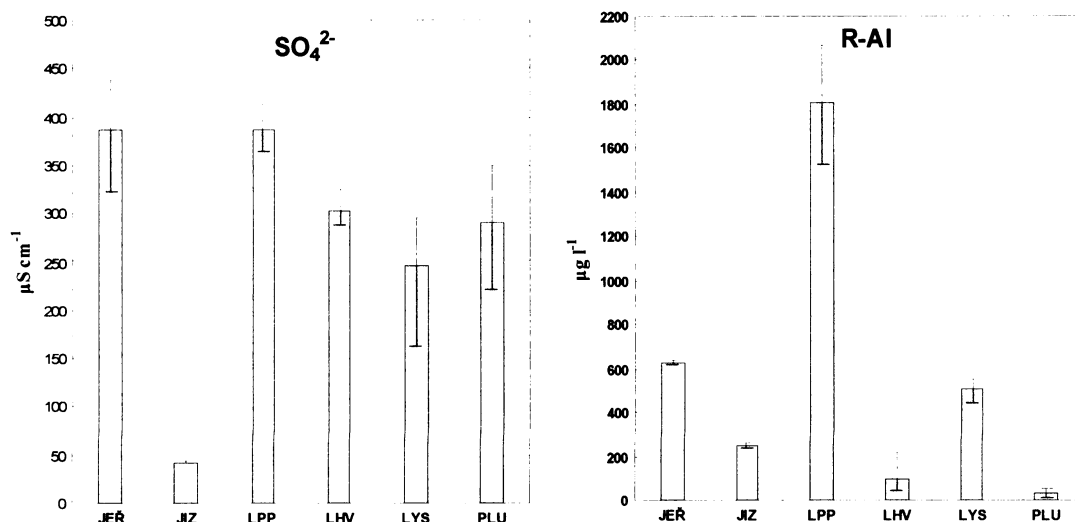
Průměrná specifická vodivost byla na Jizerce o něco nižší než u silně acidifikovaných lokalit ($21,5 \mu\text{S cm}^{-1}$), naopak u Pluhova Boru zhruba třikrát vyšší ($162 \mu\text{S cm}^{-1}$). Na Litavce-

h.v. specifická vodivost nabývala hodnot shodných s lokalitami silně acidifikovanými ($56,8 \mu\text{S cm}^{-1}$). Koncentrace celkového organického uhlíku (TOC) korespondovaly s hodnotami u silně acidifikovaných potoků. Nejvyšší byly ve Slavkovském lese na Pluhově Boru v průměru přes 10 mg l^{-1} , nejnižší na Litavce-h.v. ($2,8 \text{ mg l}^{-1}$).

Z aniontů jsem opět nejvyšší koncentrace zaznamenal u síranů. Na Pluhově Boru a Litavce-h.v. se hodnoty pohybovaly okolo $300 \mu\text{eq l}^{-1}$, na Jizerce to bylo jen v rozmezí $41 - 45 \mu\text{eq l}^{-1}$, tedy zhruba desetkrát méně než na Jeřici. Průměrné koncentrace dusičnanových iontů byly až desetinásobně vyšší než na silně acidifikovaných tocích v Brdech ($48,7 \mu\text{eq l}^{-1}$) a Slavkovském lese ($55,8 \mu\text{eq l}^{-1}$). V Jizerských horách byly na obou tocích vyrovnané ($\sim 20 \mu\text{eq l}^{-1}$). Množství chloridových aniontů bylo na všech lokalitách bez ohledu na pH stejné. Oproti tomu fluoridů bylo na referenčních lokalitách méně. Na Jizerce a Litavce-h.v. do $2 \mu\text{eq l}^{-1}$ a na Pluhově Boru až na jednu výjimku do $6 \mu\text{eq l}^{-1}$.

Na Litavce-h.v. byly koncentrace kationtů ve všech případech s výjimkou vodíkových iontů vyšší než na Litavce-p.p. Pro Pluhův Bor to neplatilo navíc pro sodné a draselné ionty. Na Jizerce ovšem dosahovaly koncentrace všech kationtů sotva polovičních hodnot než na Jeřici. Koncentrace iontů vápníku nabývaly u Jizerky hodnot kolem $60 \mu\text{eq l}^{-1}$, na zbylých dvou lokalitách to byly hodnoty od 120 do $180 \mu\text{eq l}^{-1}$. Extrémní lokalitou z hlediska koncentrací hořečnatých iontů je Pluhův Bor. Naměřena byla průměrná hodnota $1770 \mu\text{eq l}^{-1}$ s maximem v podzimním vzorku – téměř $3,5 \text{ meq l}^{-1}$. Na Litavce-h.v. byl hořčík taktéž nejvíce zastoupený kationt, ale jeho průměrná koncentrace převyšovala koncentraci vápenných iontů jen asi o třetinu. Koncentrace iontů sodíku se na všech třech lokalitách pohybovaly okolo $60 \mu\text{eq l}^{-1}$, draselných iontů bylo výrazně méně, nejvíce v podzimním vzorku z Litavky-h.v. ($25 \mu\text{eq l}^{-1}$). Koncentrace H^+ iontů byly zanedbatelné, stejně jako koncentrace NH_4^+ (do $5 \mu\text{eq l}^{-1}$). Jedinou výjimku tvořil letní odběr v roce 2006 z Pluhova Boru, kde bylo naměřeno $15 \mu\text{eq l}^{-1} \text{NH}_4^+$.

Koncentrace reaktivního hliníku byly na referenčních lokalitách jasně nižší než na silně acidifikovaných. Nejvíce ho bylo v průměru na Jizerce ($250 \mu\text{g l}^{-1}$), nejméně pak na Pluhově Boru ($32 \mu\text{g l}^{-1}$). Významně nižší než v silně acidifikovaných lokalitách byly vzhledem k vyšší hodnotě pH na těchto lokalitách i koncentrace jiných kovů. Pro Litavku-h.v. toto tvrzení platí bez výjimky, u Jizerky byly zvýšené koncentrace u železa ($340 \mu\text{g l}^{-1}$ oproti $172 \mu\text{g l}^{-1}$ na Jeřici), olova, jehož množství bylo nejvyšší po Litavce-p.p. ($\sim 2 \mu\text{g l}^{-1}$), arsenu a mědi. Pluhův Bor je díky odlišnému podloží v tomto směru specifickou lokalitou. Koncentrace mědi ($9 \mu\text{g l}^{-1}$) a zejména niklu ($83 \mu\text{g l}^{-1}$) byly na lokalitě Pluhův Bor až několikanásobně vyšší než ve všech ostatních lokalitách včetně Litavky-p.p.



Obrázek 5.2: Srovnání koncentrací síranů (SO_4^{2-}) a koncentrací reaktivního hliníku (R-Al) silně acidifikovaných (JEŘ, LPP, LYS) a referenčních lokalit (JIZ, LHV, PLU). Pro každou lokalitu jsou znázorněny průměrné a krajní hodnoty. JEŘ=Jeřice, JIZ=Jizerka, LPP=Litavka-p.p., LHV=Litavka-h.v., LYS=Lysina, PLU=Pluhův Bor.

5.2. Makrozoobentos sledovaných toků

Pro účel diplomové práce bylo provedeno na šesti sledovaných tocích celkem 24 odběrů makrozoobentosu. Na všech lokalitách byl odebrán jeden jarní vzorek v dubnu, jeden letní vzorek v červenci a jeden podzimní vzorek v říjnu. Na tocích zařazených do programu ICP-Waters navíc proběhl ještě jeden doplňující odběr v červenci ve Slavkovském lese a v září v Brdech. Údaje z doplňujících odběrů jsou obsaženy pouze v první části této kapitoly, v níž je popsáno složení makrozoobentosu na jednotlivých lokalitách, taxony zaznamenané jen v těchto odběrech jsou označeny **hvězdičkou** a z důvodu srovnatelnosti nebyly zahrnuty do výsledků prezentovaných v kapitolách 5.2.4. a 5.3. Do skupiny Ostatní, uvedené v grafech relativního zastoupení jednotlivých skupin vodních organismů, jsem zařadil, z důvodů jejich nízké početnosti, ploštěnky (Turbellaria), hlístice (Nematoda), mlže (Bivalvia), vodule (Hydracarina), koryše (Crustacea), vážky (Odonata), střechatky (Megaloptera) a vodní ploštice (Heteroptera). Procentuální údaje v závorkách za jednotlivými taxony, udávají, pokud není uvedeno jinak, relativní podíl jejich početnosti z celkového počtu organismů odebraných na dané lokalitě.

Celkem bylo odebráno 29 542 jedinců vodních organismů. Jednoznačně nejpočetnější skupinou byl hmyz (Insecta), reprezentovaný 8 řády (Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Heteroptera, Megaloptera, Trichoptera, Diptera a Coleoptera), tvořil téměř 95 % všech odebraných živočichů. Vedle juvenilních stádií taxonů ze všech jmenovaných řádů byla

zaznamenána i imága několika druhů brouků (Coleoptera) a ploštic. Z ostatních skupin se ve větším množství vyskytovali máloštětinatci (Oligochaeta, 4,7 %) a ploštěnky (0,5 %). Zástupci hlístic, mlžů, vodulí a koryšů byly nalezeny jen ojediněle a v počtu maximálně několika jedinců. Z běžněji se vyskytujících vodních živočichů tekoucích vod nebyly zaznamenány pijavky (Hirudinea) a plži (Gastropoda). V následujících kapitolách jsou prezentovány podrobnější výsledky týkající se nejprve složení makrozoobentosu na jednotlivých lokalitách a následně srovnání toků postižených kyselou atmosférickou depozicí s toky méně ovlivněnými. Závěrečná kapitola se zabývá mnohorozměrnou analýzou popisovaných výsledků.

5.2.1. Brdy

Ve čtyřech odběrech na obou brdských lokalitách jsem zaznamenal 13 059 jedinců náležejících do 27 čeledí hmyzu a čtyř dalších skupin vodních živočichů. Celkem se jednalo o 69 taxonů.

Makrozoobentos na lokalitě Litavka-pravostranný přítok

Litavka-pravostranný přítok byla početně nejbohatší lokalitou ze všech sledovaných. Dohromady bylo odebráno 9 613 jedinců, nejbohatší byl podzimní termín s 3 326 jedinci, nejchudší jarní s 1 722 jedinci. Z hlediska počtu taxonů se řadí naopak mezi chudší lokality – v jarním odběru bylo zaznamenáno jen 23 taxonů, nejbohatší byl letní s 33 určenými taxony. Celkem jsem jich zaznamenal 46.

Larvy pakomárů (Chironomidae, 65 %) významně početně dominovaly především díky obrovskému množství jedinců z podčeledi Chironominae (33,9 %). Hojně zastoupeny byly i zbylé zde se vyskytující podčeledi Orthocladiinae (19,7 %), Tanypodinae (4,8 %) a Corynoneurinae (4,3 %).

Z pošvatek (Plecoptera, 21%) se ve všech odběrech vyskytovala *Leuctra nigra* (Leuctridae, 6,6 %) a *Nemurella pictetii* (Nemouridae, 3,8 %). V jarním a letním termínu jsem zaznamenal i další druhy z čeledi Nemouridae – *Amphinemura sulcicollis* a *Protonemura auberti*.

Oživení chrostíky (Trichoptera, 6 %) je dosti chudé. Vedle dravých larev druhu *Plectrocnemia conspersa* (Polycentropodidae) se zde vyskytovala již jen čeleď

Limnephilidae. Pravidelně se ve vzorcích objevovala *Micropterna nycterobia* a v jarním odběru byla nalezena jedna larva druhu *Limnephilus coenosus*.

Máloštětinatce (3,7 %) zastupovaly roupice (Enchytraeidae, 2,5 %) a žížalice (Lumbriculidae, 1,2 %).

Z ostatních dvoukřídlých (Diptera, 2 %) jsem pravidelně nacházel muchničky *Simulium* sp. (Simuliidae), bahnomilky *Euphyllidorea* sp. (Limoniidae), *Pedicia* sp. (Pediciidae) a kroužilky *Wiedemannia* sp. (Empididae). Ojediněle se zde nacházelo dalších pět čeledí, z nichž zástupce Muscidae (cf. *Lispe* sp.) a rod *Hybomitra* (Tabanidae) jsem našel v rámci celé práce pouze zde.

Brouci (2 %) byli zastoupeni jak larvami, tak i dospělci potápníků (Dytiscidae). Hojný byl hlavně rod *Agabus* (1,6 %), ale našel jsem i několik jedinců druhu *Deronectes platynotus* a *Hydroporus ferrugineus*. Dále se vyskytovali i vodomilové (Hydrophilidae, rod *Anacaena*) a čeled' Hydraenidae (*Helophorus* sp., *Hydraena* sp.*).

Z ostatních skupin vodních živočichů jsem pravidelně v malých počtech nacházel slepé ploštěnky rodu *Dendrocoelum* (Turbellaria), larvy střechatek *Sialis fuliginosa* (Megaloptera) a ploštice. V podzimním odběru 2006 byly i dvě larvy vážek *Cordulegaster* sp.* (Odonata: Cordulegasteridae).

Makrozoobentos na lokalitě Litavka-hlavní větev

Odběry na této lokalitě nebyly tak početně bohaté, ale druhů jsem zaznamenal více než u pravostranného přítoku, dohromady 3 431 organismů a 50 taxonů. Nejbohatší byl letní termín s 1 536 organismy ze 36 taxonů a nejchudší podzimní odběr v roce 2006 - 539 organismů a 27 taxonů. Nejvíce jedinců patřilo mezi pošvatky (55 %), pakomáři byly zastoupeni 23 %, 9% byl podíl larev dvoukřídlých a 8% bylo zastoupení chrostíků.

Vedle pošvatek *Leuctra nigra* (Leuctridae, 17,1 %) a *Nemurella pictetii* (6,3 %) se ve všech odběrech objevila také *Diura bicaudata* (Perlodidae, 5,6 %) a *Protonemura auberti* (4,1 %). Pouze jednou larvou byl zastoupen druh *Leuctra pseudocingulata* (Leuctridae).

Z pakomárů opět dominovaly larvy podčeledí Orthocladiinae (9,6 %) a Chironominae (8 %) následované počeděmi Tanypodinae (4,8 %) a Corynoneurinae (0,3 %). V podzimním vzorku roku 2005 byla nalezena *Portharisia gaedi* z podčeledi Diamesinae.

Dvoukřídlý hmyz vedle pakomárů reprezentovaly nejhojněji larvy muchniček *Simulium* sp. (6,3 %), *Dicranota* sp. (Pediciidae, 1,7 %) a *Eloeophila* sp. (Limoniidae, 0,9 %). Pěkným nálezem je bahnomilka rodu *Scleroprocta* (Limoniidae).

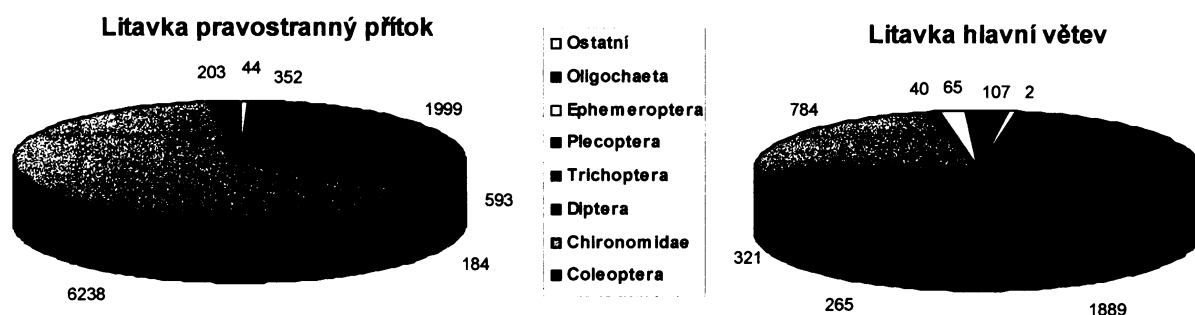
Na hlavní větvi Litavky se vyskytovali zástupci hned sedmi čeledí chrostíků. Jako na ostatních lokalitách tu byl rod *Plectrocnemia* (4,1 %) a larvy čeledi Limnephilidae (*Drusus annulatus*, *Chaetopteryx villosa* a *Potamophylax nigricornis*). Dravce zastupoval ještě druh *Rhyacophila polonica* (Rhyacophilidae). Za zmínku stojí i nález dvou larev nepříliš hojného rodu *Oxyethira* sp. (Hydroptilidae). Zbylé tři čeledi Sericostomatidae*, Brachycentridae* a Leptoceridae* byly zjištěny pouze při odběru v roce 2006.

Máloštětinatci byli zastoupeni nejvíce žížalicemi (2,6 %), a to hlavně druhem *Stylodrilus heringianus*. Nalezena byla také *Spirosperma felox* (Tubificidae).

Fauna brouků byla poměrně chudá, jen potápník *Agabus* sp. se vyskytoval pravidelně. Významný byl nález dvou larev jepic (Ephemeroptera) z čeledi Leptophlebiidae a také mlže hrachovky obecné (*Pisidium casertanum*, Sphaeriidae). Dalšími v malých počtech zaznamenanými vodními živočichy byly vodule*, hladinové ploštice *Velia caprai* (Veliidae) a larvy vážek *Cordulegaster boltoni* (Odonata: Cordulegasteridae).

Brdy - rozdíly ve složení makrozoobentosu mezi silně acidifikovanou a referenční lokalitou

Makrozoobentos dvou pramenných větví Litavky je značně rozdílný, a to jak z pohledu kvantitativního, tak i kvalitativního. Přehledně jsou tyto odlišnosti znázorněné na obrázku 5.3 a v tabulce 5.1. Zjevný je především rozdíl v procentuálním zastoupení pakomárů (dominantní na Litavce-p.p.) a pošvatek (dominantní na Litavce-h.v.). Při detailnějším pohledu na jednotlivé podčeledi pakomárů zjistíme, že na Litavce-h.v. bylo několikanásobně méně larev podčeledí Chironominae, Orthoclaadiinae i Corynoneurinae, kdežto podíl zástupců dravé podčeledi Tanypodinae byl na obou lokalitách stejný, přibližně 4,5%.



Obrázek 5.3: Zastoupení taxonomických skupin makrozoobentosu na lokalitách v Brdech. Čísla uvedená u jednotlivých výsečí udávají celkový počet zaznamenaných jedinců v dané skupině.

Druhově bohatší byla Litavka-h.v., v níž na rozdíl od Litavky-p.p., žili mlži, jepice a vodule*. Naopak ploštěnky a střechatky preferovaly Litavku-p.p. Zajímavý je pohled

na chrostíky z čeledi Limnephilidae, kdy na Litavce-p.p. se pravidelně vyskytovaly larvy druhu *Micropterna nycterobia*, zatímco na Litavce-h.v. byly tyto larvy nahrazeny druhy *Drusus annulatus*, *Chaetopteryx villosa* a *Potamophylax nigricornis*. Významná byla též absence pošvatky *Diura bicaudata* a bahnomilky *Dicranota* sp. na Litavce-p.p.

Tabulka 5.1: Srovnání taxonomického složení makrozoobentosu silně acidifikované Litavky-pravostranný přítok (LPP) s méně acidifikovanou Litavkou-hlavní větev (LHV) ve čtyřech odběrech z období 2005/2006. Zvýrazněné názvy představují taxony zastoupené více než 1%. * označuje taxony nalezené jen v odběru v roce 2006.

		Litavka-pravostranný přítok	Litavka-hlavní větev
Odlíšné	Turbellaria	<i>Dendrocoelum</i> sp.	–
	Mollusca	–	<i>Pisidium casertanum</i>
	Oligochaeta	–	<i>Stylodrilus heringianus</i> , <i>Spirosperma felox</i>
	Hydracarina	–	<i>Hydracarina</i> g.sp.
	Plecoptera	–	<i>Diura bicaudata</i> , <i>Leuctra pseudocingulata</i>
	Ephemeroptera	–	<i>Leptophlebia marginata</i> , <i>Habrophlebia lauta</i>
	Megaloptera	<i>Sialis fuliginosa</i>	–
	Trichoptera	<i>Limnephilus coenosus</i> , <i>Micropterna nycterobia</i>	<i>Drusus annulatus</i> , <i>Potamophylax nigricornis</i> , <i>Chaetopteryx villosa</i> , <i>Crunoecia irrorata</i> *, <i>Sericostoma personatum</i> *, <i>Rhyacophila polonica</i> , <i>Oxyethira</i> sp., <i>Adicella fillicornis</i> *
	Heteroptera	<i>Notonecta glauca</i> *, <i>Sigara nigrolineata</i>	–
	Diptera včetně Chironomidae	<i>Tipula</i> sp., <i>Euphyllidorea</i> sp., <i>Wiedemannia</i> sp., <i>Hybomitra</i> sp., Psychodidae g.sp., Muscidae g.sp.	<i>Dicranota</i> sp., <i>Scleroprocta</i> sp., <i>Eloeophila</i> sp., <i>Chelifera</i> sp., <i>Portharisia gaedi</i>
Coleoptera	<i>Deronectes platynotus</i> , <i>Hydroporus ferrugineus</i> , <i>Helophorus aquaticus</i> , <i>Hydraena</i> sp.*, <i>Anacaena lutescens</i>	–	
Společné	Oligochaeta	Enchytraeidae g.sp., Lumbriculidae g.sp., Stylodrilus brachystylus	
	Odonata	<i>Cordulegaster</i> sp. (LPP*)	
	Plecoptera	<i>Leuctra nigra</i>, <i>Amphinemura sulcicollis</i>, <i>Nemurella pictetii</i>, <i>Protonemura auberti</i>	
	Trichoptera	<i>Plectrocnemia conspersa</i>, Limnephilidae g.sp.juv.	
	Heteroptera	<i>Velia caprai</i>	
	Diptera včetně Chir.	<i>Pedicia</i> sp., Ceratopogonidae g.sp., <i>Simulium</i> sp., Tanypodinae g.sp., Orthoclaadiinae g.sp., Chironominae g.sp., Corynoneurinae g.sp.	
	Coleoptera	<i>Agabus guttatus</i> , <i>Agabus</i> sp.juv., <i>Anacaena globulus</i> , <i>Helophorus flavipes</i>	

5.2.2. Slavkovský les

Stejně jako v Brdech jsem na lokalitách ve Slavkovském lese odebral po čtyřech vzorcích na každé lokalitě. Vybral jsem a určil 10 843 živočichů do 72 taxonů, 31 čeledí a 3 dalších skupin vodních organismů.

Makrozoobentos na lokalitě Lysina

Na lokalitě Lysina jsem odebral 4 249 jedinců makrozoobentosu, které jsem určil do 36 taxonů. Početně nejbohatším odběrem byl jarní odběr se 1 621 zvířaty, nejméně jedinců bylo nalezeno v létě v roce 2006 - 755. Počet určených taxonů se pohyboval od 20 v podzimním vzorku po 28 v letním odběru. Lysina byla tak dle tohoto parametru nejchudší studovanou lokalitou.

Jednoznačně nejpočetnější skupinou živočichů byly larvy pošvatek tvořící 57 % všech nalezených organismů. Ve všech odběrech se vyskytovala *Leuctra nigra* (22 %) a *Nemurella pictetii* (10,6 %), v jarním vzorku byla výrazně zastoupena také *Protonemura* sp. (Nemouridae, 18,8 % z jarního odběru).

Druhově nejbohatší skupinou na Lysině byli dvoukřídlí (10 % bez pakomárů), z níž jsem zde našel jedince ze 7 čeledí. Hojně se vyskytovaly rody *Simulium* (8,2 %) a *Dicranota* (1,6 %), pravidelně jsem nacházel kroužilku *Wiedemannia* sp.

Specifickým rysem makrozoobentosu na Lysině bylo velmi nízké zastoupení larev pakomárů, především podčeledi Chironominae (0,8 %) a Orthoclaadiinae (1,3 %), které na ostatních lokalitách dominují. Výsledný 12% podíl pakomárů, je poněkud zkreslen letním odběrem v roce 2006, kdy bylo odebráno 285 jedinců podčeledi Corynoneurinae (37,7 % z odběru). Ve zbylých třech odběrech bylo jen 48 jedinců (1,4 %) této podčeledi. Zajímavý výsledek přinesla analýza kukelních svleček odebraných při letním odběru v roce 2006: nalezen byl druh *Krenosmittia borealpina* (Orthoclaadiinae) a jedná se o první nález tohoto druhu na českém území.

Z larev chrostíků (12 %) se ve všech odběrech a ve vysokých počtech (11,7 %) vyskytovala *Plectrocnemia conspersa*. Třemi taxony, z nichž *Chaetopteryx villosa** byl nalezen pouze v roce 2006, byla zastoupena také čeleď Limnephilidae.

Z brouků jsem nacházel pouze larvy i dospělce rodu *Agabus* sp. a druh *Anacaena globulus* (Hydrophilidae). Na lokalitě byli dále přítomni máloštětinatci (7 %), vzácně také larvy střechatek *Sialis fuliginosa*, 2 druhy vodních ploščic a ploščěnky rodu *Dendrocoelum*.

Makrozoobentos na lokalitě Pluhův Bor

Pluhův Bor je dosti bohatou lokalitou. Dokazuje to 6 594 odebraných živočichů a 63 určených taxonů. Početnost jedinců i taxonů v jednotlivých odběrech byla vyrovnaná a pohybovala se od 1 415 jedinců (letní vzorek 2006) do 1 976 jedinců (letní vzorek 2005) a od 37 (letní vzorek 2006) do 41 taxonů (jarní vzorek).

Nejhojnější skupinou bentických živočichů byli v Pluhově Boru pakomáři (48 %). Jako na většině ostatních lokalit převažovali zástupci podčeledi Chironominae (22,2 %), následováni podčeledí Tanypodinae (16,7 %). Také jsem zde našel 65 jedinců rodu *Pseudodiamesa* (1 %) z podčeledi Diamesinae. Stejně jako na Lysině byly odebrány kukelní svlečky pakomárů. Určeny byly celkem 3 druhy *Zavrelimyia signatipennis* (Tanypodinae), *Parametriocnemus boreoalpinus* (Orthoclaadiinae) a *Tanytarsus heusdensis* (Chironominae) – vše nové druhy pro Českou republiku.

Nejhojnějším druhem pošvatek (21 %) byla *Leuctra nigra* (14,3 %). Dále jsem našel zástupce čeledi Nemouridae - *Nemurella pictetii* (1,7 %), *Protonemura auberti* (1,3 %) a čtyři jedince rodu *Nemoura* sp.

Fauna dvoukřídlých (5 %) zde byla velmi bohatá. Vedle pakomárů se zde vyskytovalo dalších 11 čeledí z tohoto řádu. Více než jedno procento nalezených živočichů měly opět rody *Simulium* a *Dicranota* a také pakomáři podčeledi Ceratopogoninae. Pouze na této lokalitě se mimo jiné vyskytovali komáři *Dixa* sp. (Dixidae), kalužnatky *Thaumalea* sp. (Thaumaleidae) a pakomáři z podčeledi Forcipomyiinae - *Atrichopogon* sp.* (Ceratopogonidae).

Chrostíci (11 %) byli zastoupeni nejvíce juvenilními larvami čeledi Limnephilidae (5,1 %) a rodem *Plectrocnemia* sp. Vedle na všech lokalitách hojného druhu *Plectrocnemia conspersa* jsem zaznamenal i 27 jedinců nápadně připomínajících druh *Plectrocnemia geniculata*. Dalšími zvláštnostmi Pluhova Boru byly druhy *Tinodes rostocki* (Psychomyidae) a *Rhyacophila praemorsa* (Rhyacophilidae), který zde nahrazuje druh *Rhyacophila polonica* vyskytující se v ostatních studovaných oblastech. Pravidelně jsem nacházel i druh *Sericostoma personatum* (Sericostomatidae).

Oproti ostatním lokalitám byli na Pluhově Boru zastoupeni bohatě i brouci. Našel jsem 420 jedinců (6 %). *Elodes* sp. (Scirtidae) se vyskytoval hojně, stejně jako *Deronectes platynotus* (Dytiscidae) a *Limnius* sp. (Elmidae). Z rodu *Hydraena* sp. se vyskytovaly hned tři druhy - *Hydraena britteni*, *Hydraena gracilis* a *Hydraena riparia x bohémica* (u samiček nelze rozlišit).

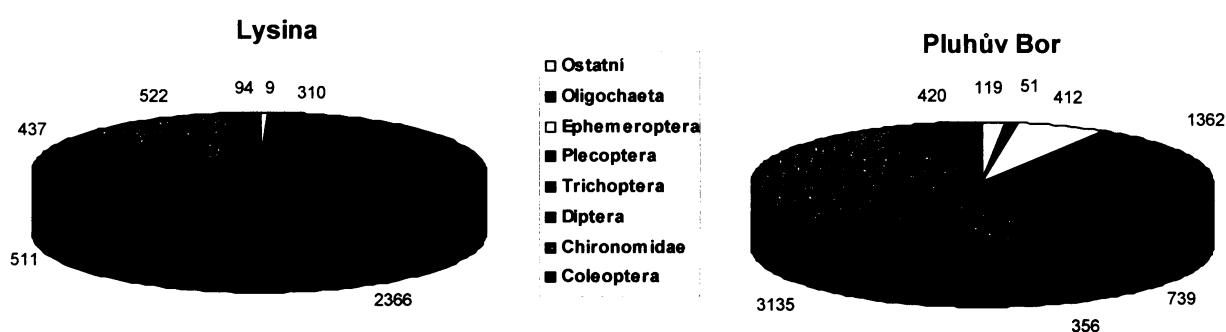
Jepice (6 %) byly zastoupeny téměř výhradně druhem *Centroptilum luteolum* (Baetidae), ale objevil jsem také tři druhy z rodu *Baetis* (Baetidae) a juvenilní jedince z čeledi Leptophlebiidae.

Z ploštěnek se pouze na této lokalitě vyskytoval relativně hojně druh *Polycelis felina* (1,8 %, Turbellaria). Máloštětinatce (0,77 %) reprezentovala hlavně čeleď roupicovitých (Enchytraeidae). Žížalicovité (Lumbriculidae)* jsem našel jen v letním odběru 2006.

Po jednom zástupci měla hrachovka *Pisidium* sp.* (Sphaeriidae) a *Velia caprai* ze skupiny hladinových ploštic (Gerromorpha).

Slavkovský les - rozdíly ve složení makrozoobentosu mezi silně acidifikovanou a referenční lokalitou

I na lokalitách ve Slavkovském lese jsou zřetelné rozdíly ve složení makrozoobentosu. Oproti Litavce ovšem převládali pakomáři na referenční lokalitě Pluhův Bor a pošvatky na silně acidifikované Lysině. Výrazný je i rozdíl v zastoupení máloštětinatců. Kvantitativní zastoupení jednotlivých skupin makrozoobentosu je znázorněno na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4: Zastoupení taxonomických skupin makrozoobentosu na lokalitách ve Slavkovském lese. Čísla uvedená u jednotlivých výsečí udávají celkový počet zaznamenaných jedinců v dané skupině.

Jepice, hojně na Pluhově Boru, jsem na Lysině nezaznamenal, stejně jako ploštěnky druhu *Polycelis felina* a několik čeledí chrostíků, dvoukřídlých a brouků. Na Lysině jsem našel jen 6 taxonů, které chyběly na Pluhově Boru. Všechny rozdíly jsou znázorněny v tabulce 5.2 na následující stránce.

5.2.3. Jizerské hory

V Jizerských horách proběhly na každé lokalitě tři odběry s celkovou abundancí 5 640 živočichů zastupujících 79 taxonů, 22 čeledí hmyzu a čtyři další skupiny vodních organismů.

Makrozoobentos na lokalitě Jeřice

Na lokalitě Jeřice bylo odebráno 2 642 živočichů náležejících do 39 taxonů. Nejvíce jedinců bylo v jarním odběru (955) a nejméně v podzimním (738). Počet taxonů se pohyboval od 22 do 28.

Tabulka 5.2: Srovnání taxonomického složení makrozoobentosu silně acidifikované Lysiny (LYS) s neacidifikovaným Pluhovým Borem (PLU) ve čtyřech odběrech z období 2005/2006. Zvýrazněné názvy představují taxony zastoupené více než 1%. * označuje taxony nalezené jen v odběru v roce 2006.

		Lysina	Pluhův Bor
Odlíšné	Turbellaria	<i>Dendrocoelum</i> sp.	<i>Polycelis felina</i>
	Mollusca	–	<i>Pisidium</i> sp.*
	Ephemeroptera	–	<i>Centroptilum luteolum</i>, <i>Baetis vernus</i>, <i>B. rhodani</i>, <i>B. alpinus</i>* , Leptophlebiidae g.sp.
	Plecoptera	<i>Amphinemura</i> sp. (<i>sulcicollis</i> *)	<i>Nemoura cambrica</i>
	Megaloptera	<i>Sialis fuliginosa</i>	–
	Trichoptera	–	<i>Sericostoma personatum</i> , <i>Potamophylax nigricornis</i> , <i>Rhyacophila praemorsa</i> , <i>Plectrocnemia</i> cf. <i>geniculata</i> , <i>Tinodes rostocki</i> , <i>Crunoecia irrorata</i>
	Heteroptera	<i>Sigara falleni</i>	–
	Diptera včetně Chironomidae	<i>Dolichopeza albipes</i> , <i>Wiedemannia</i> sp.	<i>Pedicia</i> sp., <i>Molophilus</i> sp., <i>Thaumalea</i> sp., <i>Dixa</i> sp., <i>Atrichopogon</i> sp.*, <i>Ceratopogoninae</i> g.sp. , cf. <i>Dolichopus</i> sp., <i>Chelifera</i> sp., Scathophagidae g.sp.*, <i>Pseudodiamesa</i> sp.
	Coleoptera	–	<i>Deronectes platynotus</i>, <i>Hydraena</i> sp., <i>H. britanni</i>, <i>H. gracilis</i>, <i>Limnebius</i> sp., <i>Elodes</i> sp., <i>Limnius</i> sp.
Společné	Oligochaeta	Enchytraeidae g.sp., Lumbriculidae g.sp. (PLU*)	
	Plecoptera	<i>Leuctra nigra</i>, <i>Nemoura</i> sp., <i>Nemurella pictetii</i>, <i>Protonemura auberti</i>	
	Trichoptera	<i>Plectrocnemia conspersa</i>, Limnephilidae g.sp.juv., <i>Chaetopteryx villosa</i> (LYS*), <i>Allogamus uncatus</i>, Glossosomatidae g.sp. (PLU*)	
	Heteroptera	<i>Velia caprai</i>	
	Diptera včetně Chir.	<i>Tipula</i> sp., <i>Dicranota</i> sp., <i>Eloeophila</i> sp., <i>Euphyllidorea</i> sp. (PLU*), Psychodidae g. sp., <i>Simulium</i> sp., Tanypodinae g.sp., Orthoclaadiinae g.sp., Chironominae g.sp., <i>Corynoneurinae</i> g.sp.	
	Coleoptera	<i>Agabus guttatus</i> , <i>Agabus</i> sp.juv., <i>Anacaena globulus</i>	

Dominantní skupinou na Jeřici byly jasně pošvatky, které tvořily téměř 60 % živočichů. Čeleď Leuctridae byla vedle nejpočetnější pošvatky *Leuctra nigra* (34,4 %) zastoupena dalšími třemi druhy, z nichž *Leuctra major* a *Leuctra pseudosignifera* byly nalezeny pouze zde. Druhou velmi četnou čeledí byly Nemouridae. V jarním termínu byly zaznamenány ve vysokém počtu larvy *Nemoura* sp. a *Protonemura* sp. Druh *Nemurella pictetii* (12,2 %) byl nejvíce zastoupen také v jarním odběru, ale vyskytoval se ve větších počtech i ve zbylých odběrech. Nalezeni byli i zástupci čeledi Capniidae (*Capnia vidua*) a Perlodidae (*Diura bicaudata*).

Pakomáři tvořili 16 % jedinců makrozoobentosu. Vyskytly se zde čtyři podčeledi, největší podíl zaujímaly Tanypodinae (7,2 %) a Orthoclaadiinae (4,4 %).

Velmi bohatě zastoupeni byli máloštětinatci (10 %). Z čeledi žížalicovitých se mi podařilo určit několik jedinců druhu *Stylodrilus brachystylus*. Dále jsem zde našel zástupce roupicovitých.

8 % odebraných živočichů patřilo mezi chrostíky, zastoupené pouze čtyřmi taxony. Z čeledi Limnephilidae byl vedle nerozlišených juvenilních larev nalezen pouze jeden druh – *Pseudopsilopteryx zimmeri*. Zbytek chrostíků byl z čeledi Polycentropodidae velmi pravděpodobně jen druhu *Plectrocnemia conspersa* (5,1 %).

O něco méně než larev chrostíků, 7 % z celku, bylo larev dvoukřídlého hmyzu. V jarním termínu se vyskytly larvy muchniček a to jak rodu *Simulium*, tak i rodu *Prosimulium*. Pravidelně jsem našel larvy *Dicranota* sp. a *Wiedemannia* sp. Zastoupeny byly též bahnomilky (Limoniidae) a tiplice (Tipulidae).

Z brouků byly chyceny jen larvy rodu *Agabus* sp. V jarním odběru byli i zástupci ploštěnek druhu *Phagocata vitta* (Turbellaria).

Makrozoobentos na lokalitě Jizerka

Lokalita Jizerka byla druhově nejbohatší studovanou lokalitou. 2 998 zvířat náleželo do 69 taxonů. Nejvíce živočichů bylo odebráno na jaře (1 086) nejméně na podzim (872). Tento odběr byl i nejhudší z pohledu taxonomického – na podzim bylo určeno 40 taxonů, v létě oproti tomu 53.

Nejbohatší skupinou bentických živočichů ve všech směrech byly pošvatky. Určeno bylo celkem 15 druhů z pěti čeledí v celkovém počtu 1 007 jedinců (34 %). Larvy *Siphonoperla torrentium* (Chloroperlidae) a *Brachyptera seticornis* (Taeniopterygidae) jsem našel pouze na této lokalitě. Stejně tak i dalších 5 druhů rodu *Leuctra* – *L. inermis*, *L. hippopus*, *L. digitata*, *L. aurita* a *L. teriolensis*. *Leuctra nigra* byla nalezena jen v podzimním odběru v počtu pouhých 39 jedinců (1,3 %). Čeleď Nemouridae (*Nemurella pictetii*, *Nemoura* sp., *Protonemura auberti*, *P. intricata*, *Amphinemura sulcicollis*) se vyskytovala hlavně v jarním a letním odběru.

Velmi bohatě zastoupeny byly na Jizerce i larvy chrostíků, celkem tvořily 22 % živočichů. Jako jinde se ve vzorcích vyskytoval druh *Plectrocnemia conspersa* a také další z dravých chrostíků, zástupci čeledi Rhyacophilidae (*Rhyacophila polonica*, *R. obliterata* a *R. fasciata*). Z čeledi Limnephilidae byl nejhojnější rod *Drusus* (*D. annulatus*, *D. discolor*, 8,9 %), pravidelně se vyskytovala *Apatania fimbriata* a *Chaetopteryx villosa*. Nalezeny byly také dva druhy rodu *Allogamus* (*A. auricolis*, *A. uncatius*) a *Chaetopterygopsis maclachlani*.

Příhodné podmínky mají na Jizerce i jepice (15 %), především v průběhu celé sezóny se vyskytující *Ameletus inopinatus* (Ameletidae). Dále jsem našel *Siphonurus lacustris* (Siphonuridae) a *Baetis vernus* (Baetidae).

Naopak zastoupení pakomárů bylo v porovnání s ostatními lokalitami relativně nízké, 13%. Vedle čtyř běžných podčeledí se zde vyskytoval i druh *Prodiamesa olivacea* (2,7 %) z podčeledi Prodiamesinae. Nejvíce bylo zástupců podčeledi Orthoclaadiinae (4,3 %).

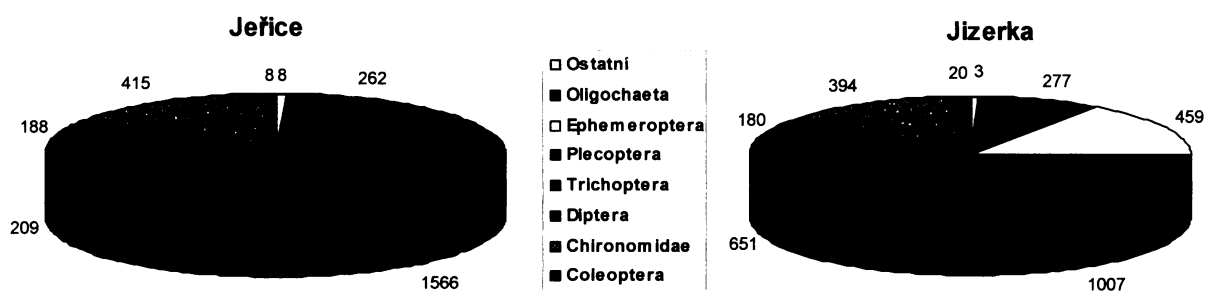
Mezi máloštětinatci bylo nejvíce jedinců z čeledi Lumbriculidae, především druhu *Stylodrilus heringianus*. Našel jsem i roupice a nitěnky (Tubificidae).

Fauna dvoukřídlých byla v porovnání s chrostíky či pošvatkami poměrně chudá. Nejvíce se vyskytovala larva *Dicranota* sp. (3,7 %) a muchnička *Simulium* sp. (1,4 %). Opět jen v jarním termínu jsem našel i další muchničku *Prosimulium tomosvaryi* (Simuliidae). Pouze několika jedinci byly zastoupeny bahnomilky, tiplice, pakomárci a kroužilky.

Z brouků jsem našel několik jedinců potápníků *Agabus* sp. a *Deronectes platynotus*, *Hydraena gracilis*, *Elodes* sp. a *Limnius* sp. Dále jsem našel jednu voduli, jednoho korýše (*Niphargus* sp., Gammaridae) a jednu hlístici.

Jizerské hory - rozdíly ve složení makrozoobentosu mezi silně acidifikovanou a referenční lokalitou

S výjimkou přítomnosti jepic a vysokého podílu chrostíků na Jizerce je zastoupení jednotlivých skupin bentických organismů podobné u obou toků (Obr. 5.5). Ve velmi malých počtech se v obou tocích vyskytovali brouci (Coleoptera).



Obrázek 5.5: Zastoupení taxonomických skupin makrozoobentosu na lokalitách v Jizerských horách. Čísla uvedená u jednotlivých výsečí udávají celkový počet zaznamenaných jedinců v dané skupině.

Nejvýznamnějšími rozdíly v taxonomickém složení byla absence jepic, chrostíků *Rhyacophila* sp., *Drusus* sp. a *Apatania fimbriata*, pošvatek *Siphonoperla torrentium* a *Brachyptera seticornis* a pakomárů *Prodiamesa olivacea* na Jeřici. Stejně jako ve Slavkovském lese se společně vyskytovaly *Pedicia* sp. a *Dicranota* sp. Také kroužilka *Wiedemannia* sp. se v Jizerských horách vyskytovala na obou lokalitách.

Tabulka 5.3: Srovnání taxonomického složení makrozoobentosu silně acidifikované Jeřice s méně acidifikovanou Jizerkou ve třech odběrech z období 1999/2000 (Jeřice) a 2004/2005 (Jizerka). Zvýrazněné názvy představují taxony zastoupené více než 1%.

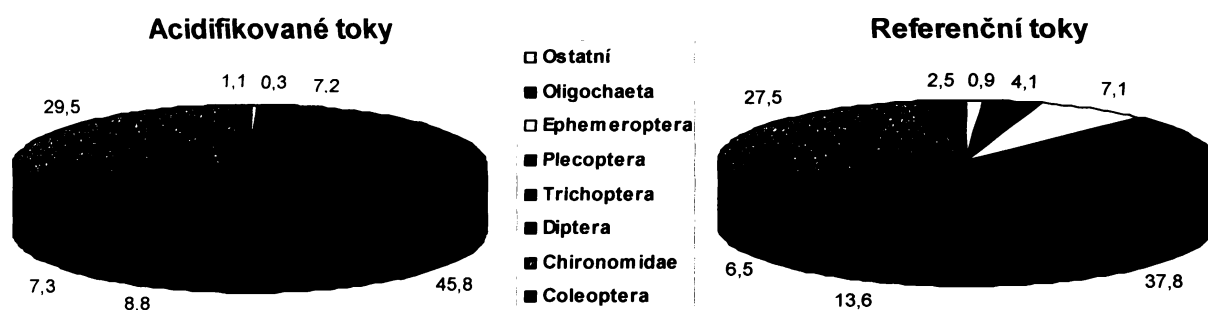
		Jeřice	Jizerka
Odlíšné	Turbellaria	<i>Phagocata vitta</i>	–
	Nematoda	–	Nematoda g.sp.
	Oligochaeta	<i>Stylodrilus brachystylus</i>	<i>Stylodrilus heringianus</i> , Tubificidae g.sp.
	Hydracarina	–	Hydracarina g.sp.
	Crustacea	–	<i>Niphargus</i> sp.
	Ephemeroptera	–	<i>Ameletus inopinatus</i> , <i>Baetis vernus</i> , <i>Siphonurus lacustris</i>
	Plecoptera	<i>Capnia vidua</i> , <i>Leuctra major</i> , <i>L. pseudosignifera</i>	<i>Siphonoperla torrentium</i> , <i>Brachyptera seticornis</i> , <i>Protonemura auberti</i> , <i>P. intricata</i> , <i>Leuctra inermis</i> , <i>L. hippopus</i> , <i>L. digitata</i> , <i>L. aurita</i> , <i>L. teriolensis</i>
	Trichoptera	–	<i>Rhyacophila</i> group <i>vulgaris</i> , <i>R. polonica</i> , <i>Apatania fimbriata</i> , <i>Drusus annulatus</i> , <i>D. discolor</i> , <i>Allogamus uncatus</i> , <i>A. auricolis</i> , <i>Chaetopterygopsis maclachlani</i> , <i>Chaetopteryx villosa</i> , <i>Potamophylax</i> sp.
	Diptera včetně Chironomidae	<i>Tricyphona</i> sp., <i>Molophilus</i> sp., <i>Chelifera</i> sp.	<i>Prodiamesa olivacea</i> , Ceratopogoninae g.sp., Tabanidae g.sp.
	Coleoptera	–	<i>Agabus guttatus</i> , <i>Deronectes platynotus</i> , <i>Hydraena gracilis</i> , <i>Elodes</i> sp., <i>Limnius</i> sp.
Společné	Oligochaeta	Enchytraeidae g.sp. , Lumbriculidae g.sp.	
	Plecoptera	<i>Leuctra nigra</i> , <i>L. pseudocingulata</i> , <i>Nemoura</i> sp., <i>Nemurella pictetii</i> , <i>Protonemura</i> sp. , <i>Amphinemura sulcicollis</i> , <i>Diura bicaudata</i>	
	Trichoptera	<i>Plectrocnemia conspersa</i> , Limnephilidae g.sp.juv. , <i>Pseudopsilopteryx zimmeri</i>	
	Diptera včetně Chir.	<i>Dolichopeza albipes</i> , <i>Tipula</i> sp., <i>Dicranota</i> sp., <i>Pedicia</i> sp., <i>Eloeophila</i> sp., <i>Prosimulium</i> sp., <i>Simulium</i> sp. , <i>Wiedemannia</i> sp., Tanypodinae g.sp. , Orthocladiinae g.sp. , Chironominae g.sp. , Corynoneurinae g.sp.	
	Coleoptera	<i>Agabus</i> sp.juv.	

5.2.4. Srovnání silně acidifikovaných a referenčních lokalit

Z důvodu pouze tří odebraných vzorků v Jizerských horách a změny odběrového místa při čtvrtém odběru na Litavce-h.v. jsem v této kapitole do srovnání nezahrnul odběry z roku 2006 (v textu označených hvězdičkou).

Pokud porovnáme počty odebraných živočichů na silně acidifikovaných a referenčních lokalitách, zjistíme, že jsou v rámci obou skupin dosti proměnlivé. Množství odebraných organismů kolísá od 738 do 3 446 na silně acidifikovaných lokalitách a s výjimkou jediného odběru na Litavce-h.v. (586 jedinců) se do daného intervalu vejdou i lokality referenční (773 – 1 976).

Taktéž rozdíly v relativním zastoupení jednotlivých skupin organismů mezi lokalitami silně acidifikovanými a referenčními jsou méně výrazné v porovnání s rozdíly v rámci jedné oblasti. Na silně acidifikované Litavce-p.p. a naopak na acidifikací výrazně nepostíženém Pluhově Boru jednoznačně dominovaly larvy pakomárů, na ostatních lokalitách to byly larvy pošvatek. Dominance těchto dvou skupin organismů byla výraznější na silně acidifikovaných lokalitách, na nichž reprezentovaly celkem 76 % všech organismů. Oproti tomu na lokalitách referenčních to bylo o 10 % méně. Také máloštětinatci byli výrazněji zastoupeni na silně acidifikovaných lokalitách – zhruba dvakrát více než na referenčních. Ostatní skupiny, s výjimkou larev dvoukřídlých, byly více zastoupeny na lokalitách referenčních, případně na silně acidifikovaných lokalitách chyběly úplně (jepice).



Obrázek 5.6: Zastoupení taxonomických skupin makrozoobentosu na silně acidifikovaných a referenčních lokalitách. Čísla uvedená u jednotlivých výsečí udávají procentuální zastoupení dané skupiny.

Na rozdíl od početnosti organismů jsou počty taxonů v jednotlivých odběrech poměrně vyrovnané a referenční lokality jsou v tomto ohledu bohatší než lokality silně acidifikované. Na nich jsem v jednom odběru povětšinou zaznamenal 20 až 28 taxonů, pouze u letního vzorku z Litavky-p.p. to bylo více než 30. Přesně opačná situace byla u lokalit referenčních. Kromě jediného odběru (podzimní Litavka-h.v.) jsem zaznamenal vždy více než 34 taxonů.

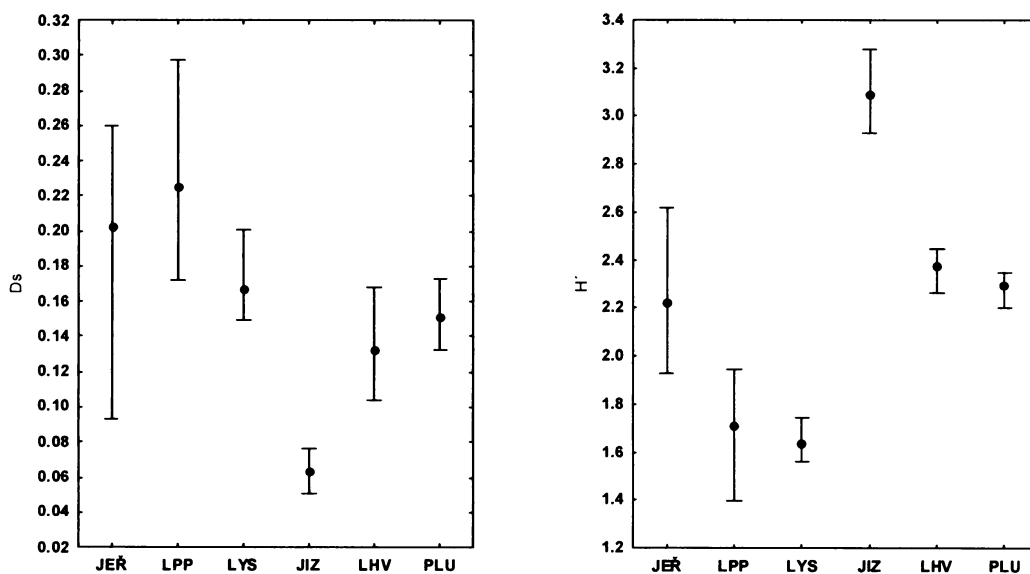
Také většina skupin vodních bezobratlých byla taxonomicky bohatší na referenčních lokalitách. Jen u střechatek, ploštic a ploštěnek, tedy skupin, jež byly reprezentovány jen malým počtem jedinců, jsem zaznamenal více druhů v silně acidifikovaných vzorcích. Nejvýraznější je rozdíl v počtu taxonů u chrostíků a jepic. Počty taxonů jednotlivých řádů hmyzu a ostatních skupin jsou uvedeny v tabulce 5.4 na následující stránce.

Rozdíly mezi silně acidifikovanými a referenčními lokalitami jsou viditelné také při hodnocení jednotlivých lokalit pomocí ekologických indexů, které kombinují údaje o početnosti jednotlivých druhů a o údaje počtu druhů.

Tabulka 5.4: Počty určených taxonů jednotlivých skupin bentických organismů ve třech odběrech (jaro, léto, podzim) na sledovaných lokalitách. Ve dvou posledních sloupcích jsou uvedeny počty všech tří silně acidifikovaných resp. referenčních lokalit. (NEM=Nematoda, HYD=Hydracarina, CRU=Crustacea).

	Jeřice	Litavka - p.p.	Lysina	Jizerka	Litavka - h.v.	Pluhův Bor	Acidif. toky	Referenční toky
Turbellaria	1	1	1	-	-	1	2	1
NEM, HYD, CRU	-	-	-	3	-	-	-	3
Mollusca	-	-	-	-	1	-	-	1
Oligochaeta	3	2	2	4	5	1	3	6
Ephemeroptera	-	-	-	3	2	4	-	8
Odonata	-	-	-	-	1	-	-	1
Plecoptera	13	7	7	20	9	7	14	21
Megaloptera	-	1	1	-	-	-	1	-
Heteroptera	-	2	2	-	1	1	3	1
Trichoptera	4	5	5	17	10	13	8	25
Diptera bez Chir.	12	10	8	10	8	12	17	18
Chironomidae	4	4	4	5	5	5	4	6
Coleoptera	1	8	3	6	4	11	8	12
CELKEM	38	40	33	68	46	55	60	103

Simpsonův index dominance je proporcionální počtu taxonů ve vzorku a poněkud přeceňuje hojně taxony, není však příliš závislý na velikosti vzorku. Ve vzorcích z jednotlivých lokalit nabýval index dominance průměrných hodnot od 0,06 na Jizerce po 0,23 na Litavce-p.p. Maximální hodnota byla při podzimním odběru na Litavce-p.p. (0,29), minimální v létě u Jizerky (0,05). Nejméně vyrovnané byly hodnoty na Jeřici. Při srovnání silně acidifikovaných a referenčních lokalit se hodnoty indexu dominance na lokalitách ve Slavkovském lese výrazně nelišily. V ostatních oblastech byly hodnoty indexu dominance vyšší na silně acidifikovaných tocích.



Obrázek 5.7: Srovnání Simpsonova indexu dominance (D_s) a Shannon-Wienerova indexu diverzity (H') silně acidifikovaných (JEŘ, LPP, LYS) a referenčních lokalit (JIZ, LHV, PLU). Pro každou lokalitu jsou znázorněny průměrné a krajní hodnoty z trojice odběrů (duben, červenec, říjen). JEŘ=Jeřice, JIZ=Jizerka, LPP=Litavka-p.p., LHV=Litavka-h.v., LYS=Lysina, PLU=Pluhův Bor.

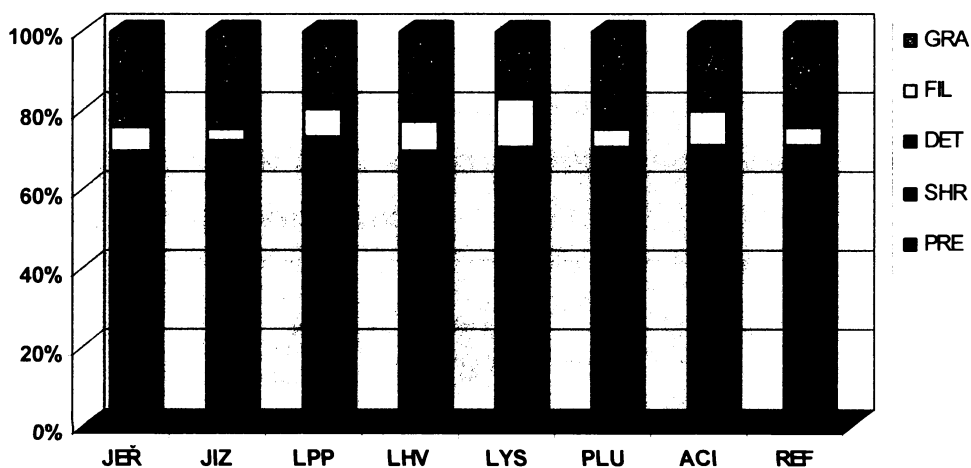
Shannon-Wienerův index diverzity v sobě zahrnuje jak druhovou pestrost tak vyrovnanost společenstva. Není citlivý na velikost vzorku a jen slabě je ovlivněn druhovou pestroostí. Nejvyšší průměrná hodnota byla na lokalitě Jizerka (3,09) a nejnižší na Lysině (1,63). Minimální hodnotu indexu jsem zjistil v podzimním odběru na Litavce-p.p. (1,40), maximum pak v létě na Jizerce (3,28). Index nabývá vyšších hodnot na referenčních tocích a také rozptyl těchto hodnot je menší.

Při bližším pohledu na taxonomické složení makrozoobentosu na sledovaných lokalitách zjistíme, že základ společenstva je na silně acidifikovaných a referenčních potocích dosti podobný. Hojně byli zastoupeni pakomáři podčeledí Chironominae, Orthocladiinae, Tanypodinae a Corynoneurinae, pošvatky *Leuctra nigra*, *Nemurella pictetii* a *Protonemura* sp., chrostíci *Plectrocnemia conspersa* a Limnephilidae g.sp.juv., muchnička *Simulium* sp. a bahnomilka *Dicranota* sp., larvy potápníka *Agabus* sp. (hlavně *Agabus guttatus*) a žížalice a roupice.

Většina taxonů vyskytujících se v silně acidifikovaných tocích jsem našel i v tocích referenčních. Taxony, které chyběly na referenčních lokalitách byly ve většině případů nalezeny jen ojediněle (pouze jeden odběr nebo > 3 jedinci). Výjimkou z tohoto pravidla je kupříkladu skupina nepigmentovaných ploštěnek (*Phagocata* sp. a *Dendrocoelum* sp.), které se vyskytovaly ve všech oblastech pouze v postižených tocích. Dalšími takovými taxony jsou střechatka *Sialis fuliginosa* a chrostík *Micropterna nycterobia*. Několik dalších taxonů se ojediněle vyskytovalo v tocích referenčních, kdežto v tocích silně acidifikovaných byly hojně např. bahnomilka *Euphyllidorea* sp., *Wiedemannia* sp. či *Stylodrilus brachystylus*.

Pouze na referenčních lokalitách se vyskytlo několikanásobně více taxonů, proto dále uvádím jen ty nejvýznamnější. Jedná se především o jepice z čeledí Baetidae, Leptophlebiidae, Siphonuridae a Ameletidae, které se vyskytovaly i ve velmi vysokých počtech a mlže rodu *Pisidium*. Zajímavý je pohled na máloštětinatce, kdy na silně acidifikovaných tocích chyběla čeleď Tubificidae a také druh *Stylodrilus heringianus*. Stejně tak chrostíci *Rhyacophila* sp., *Drusus* sp., *Apatania fimbriata*, *Potamophylax* sp. či *Sericostoma personatum* a pakomáři z podčeledí Diamesinae a Prodiamesinae. I mezi brouky jsem našel několik rodů, které jsem hojněji nacházel jen na referenčních lokalitách – *Elodes* sp. nebo *Limnius* sp. Další skupina taxonů jasně preferovala referenční toky, i když jsem je našel i ve vzorcích ze silně acidifikovaných toků. Sem patří např. pošvatka *Diura bicaudata*, pakomárci Ceratopogoninae g. sp., kroužilka *Chelifera* sp. (Empididae) nebo bahnomilka *Eloeophila* sp.

Jednotlivé taxony makrozoobentosu jsem rozdělil do funkčních skupin dle Mooga (2002) a z důvodu velkého množství nedostatečně determinovaných pakomárů (podčeledí) a jejich vysoké potravní různorodosti i v rámci jednotlivých podčeledí, jsem se rozhodl je do této analýzy nezahrnout. Jak je vidět na obrázku 5.8 relativní zastoupení potravních skupin makrozoobentosu je na jednotlivých lokalitách proměnlivé, přesto lze mezi silně acidifikovanými a referenčními lokalitami najít rozdíly. O něco více drtičů (shredders) a seškrabávačů/spásačů (grazers) se vyskytovalo na lokalitách referenčních, naopak sběračů (detritovores) a filtrátorů (active + passive filtrators) bylo více na lokalitách silně acidifikovaných. Zastoupení dravců (predators) na lokalitách kolísalo a ve výsledku mezi silně acidifikovanými a referenčními toky není téměř žádný rozdíl.



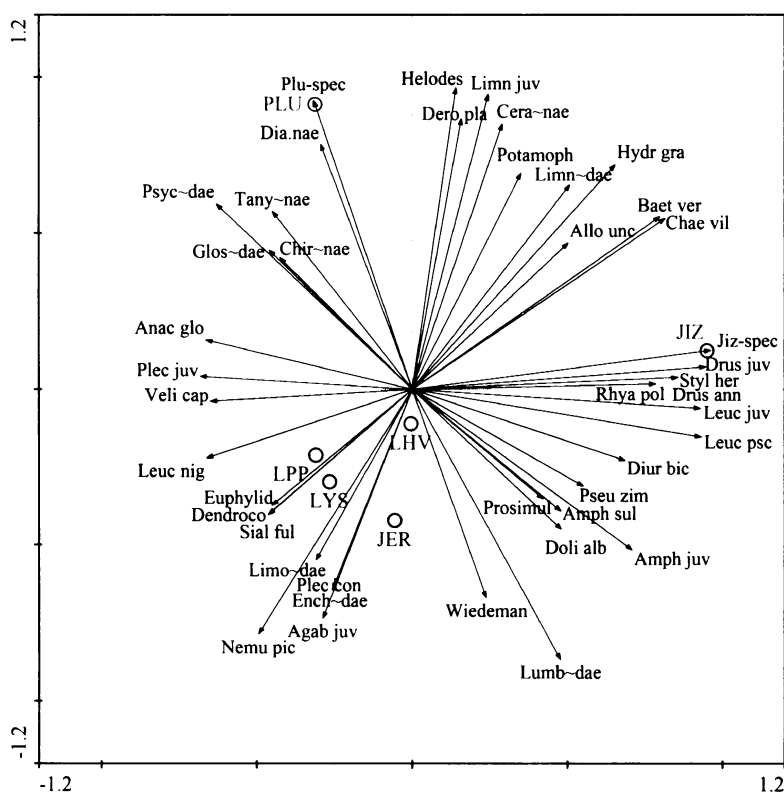
Obrázek 5.8: Zastoupení jednotlivých funkčních skupin makrozoobentosu na sledovaných lokalitách. Na ose x jsou uvedeny zkratky názvů lokalit (JEŘ=Jeřice, JIZ=Jizerka, LPP=Litavka-pravostranný přítok, LHV=Litavka hlavní větev, LYS=Lysina, PLU=Pluhův Bor). Poslední dva sloupce reprezentují data všech tří silně acidifikovaných (ACI) resp. referenčních toků (REF) dohromady. Legenda: GRA=seškrabávači/spásači, FIL=filtrátoři, DET=sběrači, SHR=drtiči, PRE=dravci.

5.3. Mnohorozměrná analýza získaných dat

S údaji o druhovém složení (relativní četnosti taxonů) transformovanými čtvrtou odmocninou jsem provedl analýzu hlavních komponent (PCA). Totéž jsem prostřednictvím nepřímé ordinace udělal i s parametry geograficko-morfologickými a s výsledky chemických analýz transformovanými logaritmičtě (log x).

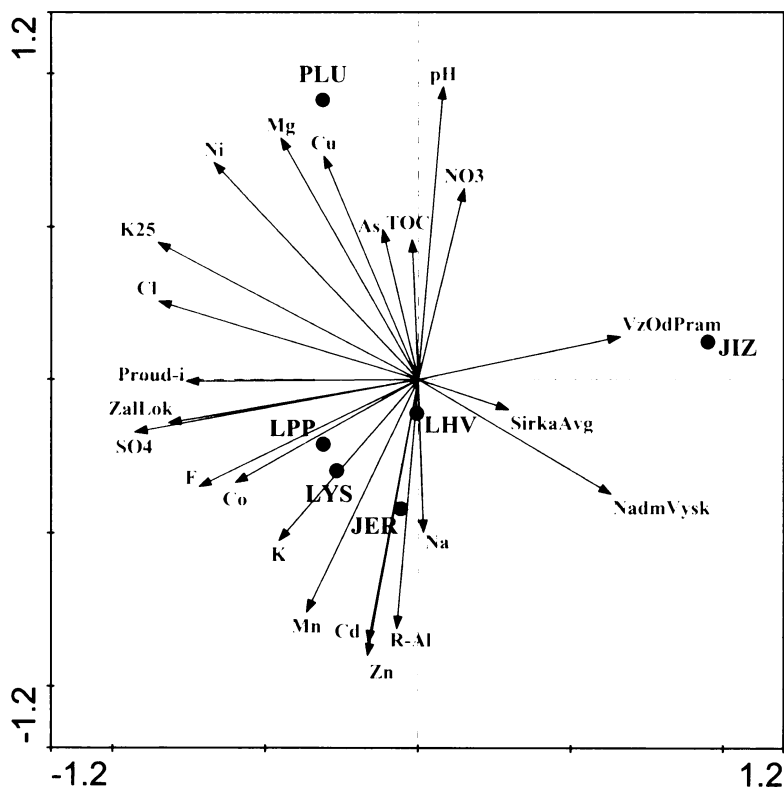
Pomocí čtyř nejvýznamnějších gradientů se zvolenou metodou podařilo vysvětlit 92 % variability oživení sledovaných lokalit. První gradient vysvětluje 40,9 % variability biologických dat, druhý 24,2 %, třetí 14,2 % a čtvrtý 12,6 %.

Z obrázku 5.9 je patrné, že oživení silně acidifikovaných lokalit si je velmi podobné oproti tomu referenční lokality jsou značně odlišné a především druhy vyskytující se pouze na Jizerce nebo pouze na Pluhově Boru představují hlavní respektive druhý nejvýznamnější gradient. Vedle druhů vyskytujících se pouze na Jizerce je hlavní gradient určen zejména přítomností chrostíků rodu *Drusus* sp., máloštětinatce *Stylodrilus heringianus* a pošvatek *Leuctra pseudocingulata* a *Leuctra* sp. juv. a absencí či nízkým zastoupením pošvatky *Leuctra nigra*, brouka *Anaceana globulus*, plošticí *Velia caprai* a také juvenilních jedinců chrostíka rodu *Plectrocnemia* sp. Obdobně druhý gradient je dán vedle druhů vyskytujících se pouze na Pluhově Boru, rozdíly v zastoupení některých rodů brouků (*Helodes* sp., *Limnius* sp., *Deronectes platynotus*, *Agabus* sp.juv.), pakomárů podčeledi Diamesinae g.sp. a pakomárců Ceratopogoninae g.sp., pošvatky *Nemurella pictetii*, chrostíka *Plectrocnemia conspersa*, kroužilky *Wiedemannia* sp. a máloštětinatci Lumbriculidae g.sp. a Enchytraeidae g.sp. Třetí gradient vytvářejí rozdíly v zastoupení pakomárů podčeledi Orthoclaadiinae, pošvatky *Nemoura* sp. a tiplic *Tipula* sp. a čtvrtý rozdílné zastoupení bahnomilky *Eloeophila* sp. a pakomárů podčeledi Corynoneurinae.



Obr. 5.9: Výsledky analýzy hlavních komponent – PCA: výsledky analýzy druhových dat. Škálování a centrování zaměřeno na druhy. Relativní četnosti celosezónních součtů jednotlivých taxonů byly před analýzou transformovány čtvrtou odmocninou. Zeleně jsou zobrazeny referenční lokality (JIZ=Jizerka, LHV=Litavka-h.v., PLU=Pluhův Bor) a modře lokality silně acidifikované (JER=Jeřice, LPP=Litavka-p.p., LYS=Lysina). Pod označení Jiz-spec/Plu-spec se skrývají taxony nalezené pouze na lokalitě Jizerka/Pluhův Bor. Kódování taxonů i s rozepsáním taxonů patřících do Jiz-spec/Plu-spec je uvedeno v Příloze 7.

Z výsledku analýzy lze usuzovat i o významnosti proměnných prostředí (Obr 5.10). S nejvýznamnějším gradientem nejsilněji koreluje charakter proudění, zalesnění lokality, koncentrace SO_4^{2-} a vodivost. Druhý gradient je korelován s pH a na něm závislými koncentracemi některých kovů (Al, Co, Zn, Mn). Pomocí randomizačních testů (Monte Carlo) provedených jednotlivě se všemi parametry prostředí byla signifikantnost výsledků vlivu těchto parametrů potvrzena jen v případě vodivosti, která vysvětluje 35,3 % variability ($F = 2,19$; $p = 0,02$) a pH vysvětluje 26,9 % variability ($F = 2,3$; $p = 0,026$).



Obr. 5.10: Výsledky analýzy hlavních komponent – PCA: zobrazení parametrů prostředí sledovaných toků nepřímou ordinací. Škálování a centrování zaměřeno na druhy. Chemické parametry byly před analýzou transformovány logaritmicky. Zeleně jsou zobrazeny referenční lokality (JIZ=Jizerka, LHV=Litavka-h.v., PLU=Pluhův Bor) a modře lokality silně acidifikované (JER=Jeřice, LPP=Litavka-p.p., LYS=Lysina). Kódování parametrů prostředí je uvedeno v Příloze 7.

6. DISKUZE

Ačkoli byly v rámci diplomové práce na každé lokalitě provedeny pouze tři, případně čtyři odběry vody na chemickou analýzu, hodnoty většiny stanovovaných parametrů nebyly příliš variabilní a výrazně se nelišily od hodnot získávaných na dlouhodobě sledovaných lokalitách pravidelným monitoringem (Hruška a Krám 2003, Horecký 2003, Stuchlík a kol. 2006). Lze je tedy považovat za vypovídající pro studované lokality.

Za nejdůležitější chemické parametry umožňující zhodnocení zasažení tekoucích vod atmosférickou antropogenní acidifikací jsou vedle pH považovány alkalita, koncentrace reaktivního hliníku a dalších těžkých kovů a koncentrace síranů (Braukmann 2001). Zároveň jsou to faktory, jež mají, s výjimkou síranů, přímý vliv na složení společenstva tekoucích vod (Hermann a kol. 1993). Na lokalitách Litavka-pravostranný přítok, Lysina a Jeřice se pH pohybovalo v rozmezí 4 - 4,6 a alkalita, tedy schopnost neutralizovat přísun kyselých iontů, byla záporná. To ukazuje na vyčerpanou neutralizační kapacitu. Takové toky jsou považované za trvale silně acidifikované (Braukmann 2001). Lokality Litavka-hlavní větev a Jizerka se vyznačovaly značnou fluktuací pH a na základě Braukmannovy klasifikace spadají do skupiny periodicky acidifikovaných toků s kyselými epizodami v obdobích tání sněhu nebo dlouhodobých intenzivních srážek. Poklesy bývají zřejmě silnější na Litavce-hlavní větev, a to díky daleko nižší alkalitě než na Jizerce. Pluhův Bor patří mezi toky nekyselé, pH se zde pohybuje v průměru mezi 7 a 7,5 a jen ojediněle klesá na hodnoty okolo 6,8 (P. Krám – osobní sdělení).

Významným důsledkem trvale nízkého pH jsou zvýšené koncentrace reaktivního hliníku (Hermann 1987). V porovnání s referenčními lokalitami jsem je zaznamenal ve všech třech silně acidifikovaných tocích. Koncentrace reaktivního hliníku v tocích jsou jednak úměrné pH (např. Kulina 2000), což je zřetelné i při srovnání hodnot dílčích odběrů na jednotlivých lokalitách, ale také jsou ovlivněny geologickým podmínkami v povodí (Horecký 2003), což vysvětluje rozdíly v koncentracích mezi jednotlivými lokalitami. Důležitým faktorem vlivu zvýšených koncentrací hliníku na oživení toku je forma, v jaké se hliník vyskytuje. Pokud je ve vodách dostatek rozpuštěného organického uhlíku, toxický iontový hliník je vyvázan do komplexů (Havas a Rosseland 1995) a dochází k podstatnému snížení jeho toxicity (Fott a kol. 1994). Na sledovaných lokalitách se tento proces nemohl výrazněji uplatnit, neboť i nejvyšší zaznamenané koncentrace DOC, respektive TOC byly nižší než uváděná hladina biotické odpovědi (Kullberg 1992).

Stejně jako u hliníku jsem zaznamenal na silně acidifikovaných tocích, v souladu s literaturou (např. Hermann a kol. 1993, Lampert a Sommer 1997), vyšší koncentrace i dalších toxických kovů (Mn, Co, Zn, Cd). Velmi vysoké koncentrace mědi a niklu na referenčním Pluhově Boru jsou způsobeny specifickými geologickými podmínkami této lokality. Podloží je zde tvořeno hadcem, tedy ultrabazickou vyvřelinou, tvořenou převážně křemičitanem hořečnatým s vyšší rychlostí zvětrávání a tedy rychlejším uvolňováním bazických iontů oproti odolnějším granitům (Hruška a Krám 2003). To vysvětluje i zde zaznamenané extrémně vysoké koncentrace hořčíku, tím pádem vysokou alkalitu a stabilní pH vyšší než 7.

Velmi nízké koncentrace síranů na Jizerce ve srovnání s ostatními lokalitami lze vysvětlit jako důsledek nízkého podílu lesa na ploše povodí daného potoka. Lesní porosty výrazně zvyšují mokrou horizontální i suchou depozici a tudíž i přísun síranových iontů do povodí (Wilpert a kol. 1996) a výrazně tak zpomalují či úplně zamezují procesu zotavování z acidifikace (Hruška a Krám 2003, Kopáček a kol. 2002). Povodí zbývajících toků jsou výrazněji zalesněna a koncentrace síranů ve vodě byly mezi těmito lokalitami vyrovnané.

Výzkum makrozoobentosu horských potoků v oblastech v minulosti zasažených zvýšenou kyselou atmosférickou depozicí potvrdil očekávané rozdíly v makrozoobentosu silně acidifikovaných a referenčních, acidifikací méně postižených, toků. Ve všech sledovaných oblastech jsem v referenčních tocích zaznamenal více taxonů makrozoobentosu. Tato skutečnost, tedy pokles druhové diverzity v acidifikovaných tocích, patří k základním projevům acidifikace tekoucích vod a je dobře dokumentován mnoha autory (Økland a Økland 1986, Muniz 1991, Szczygły 1998, Braukmann 2001). V postižených vodách se nevyskytují larvy jepic, koryši a měkkýši a mizí mnoho druhů i celých čeledí pošvatek, chrostíků a dalších skupin bentických živočichů. Závislost mezi početností organismů a nízkým pH vody již tak jednoznačně prokázána není (Hermann a kol. 1993), neboť v acidifikovaných tocích může dojít k růstu početností acidotolerantních druhů (Szczygły 1998), které se často vyznačují širokou ekologickou valencí a při vyšším pH jsou méně konkurenceschopné než druhy acidosenzitivní. Na značnou proměnlivost početnosti makrozoobentosu ve vztahu k acidifikaci ukázaly i získané výsledky. Zatímco ve Slavkovském lese byl makrozoobentos početnější na referenční lokalitě, v Brdech tomu bylo naopak. Hodnoty vypočtených ekologických indexů, které kombinují početnost jedinců a jejich druhovou pestrost, lze mezi různými studii jen těžko porovnávat, protože výsledek je

do značné míry ovlivněn úrovní determinace. Můžeme ale konstatovat, že potoky postižené acidifikací mají spíše vyšší index dominance než neacidifikované toky a naopak Shannon-Wienerův index diverzity bývá vyšší na neacidifikovaných lokalitách (Scheibová a Helešic 1999, Fricová 2005), stejně tomu bylo i u prezentovaných výsledků.

Základ makrozoobentosu všech sledovaných lokalit tvořily pošvatky *Nemurella pictetii* a *Leuctra nigra*, chrostík *Plectrocnemia conspersa*, pakomáři podčeledí Orthoclaadiinae, Chironominae, Tanypodinae a Corynoneurinae, bahnomilka *Dicranota* sp., muchnička *Simulium* sp. a brouk *Agabus* sp. Tyto taxony jsou známé svou širokou ekologickou valencí spojenou s tolerancí vůči nízkému pH a vysoké koncentraci reaktivního hliníku, a proto jsou hojně nacházené nejen v přirozeně či antropogenně acidifikovaných vodách, ale zároveň i v neacidifikovaných potocích. Toto tvrzení platí i pro naprostou většinu živočichů nalezených ve sledovaných antropogenně silně acidifikovaných potocích. Pouze v nich jsem mimo jiné našel střechatku *Sialis fuliginosa*, ale jak uvádí např. Horecký (2002), může se vyskytovat i v potocích s pH vyšším než 5,8.

Larvy jepic jsem zaznamenal pouze na referenčních lokalitách. Tento fakt vzhledem k jejich prokázané acidosenzitivitě (Raddum a kol. 1988, Hermann a kol. 1993) není překvapivý. Zajímavé je jejich vysoké zastoupení na lokalitě Jizerka v porovnání s Litavkou-hlavní větev. Druh *Ameletus inopinatus* se v Brdech pravděpodobně nevyskytuje, neboť osidluje toky od 750 m.n.m. (Soldán a kol. 1998). Absence ostatních dvou druhů by mohla spočívat ve vyšších hodnotách alkality na Jizerce. Ta bývá někdy považována za podobně významný parametr jako pH (Braukmann 2001).

Opačně než u jepic tomu bylo v případě jediného zaznamenaného měkkýše, mlže *Pisidium casertanum*, kterého jsem našel, s výjimkou jednoho jedince na Pluhově Boru, pouze v Litavce-hlavní větev. Tento druh je považován za nejvíce acidotolerantního měkkýše a vyskytuje se ve vodách s nízkým obsahem vápníku (Horsák a Hájek 2003). Koncentrace vápníku na lokalitě Jizerka jsou ovšem natolik nízké, že nedosahují ani minimální hladiny ($2,7 \text{ mg l}^{-1} \text{ Ca}$) při které je schopen přežít i tento do určité míry kalcifugní druh. Omezený výskyt měkkýšů, ale i absence korýšů rodu *Gammarus* (Gammaridae), kteří v lesních potocích s průměrným pH nad 7 často tvoří dominantní složku makrozoobentosu (např. Dangles a Guérol 2000), je na lokalitě Pluhův Bor způsoben zřejmě extrémními koncentracemi hořčíku. Ty mohou být, zvláště při současně nízkých koncentracích vápníku, pro bezobratlé organismy toxické (Camalleri a kol. 2003). To by vysvětlovalo také velmi nízkou diverzitu pošvatek na této lokalitě i ve srovnání s silně acidifikovanými toky.

Pošvatky obvykle tvoří v horských potocích, zvláště v těch acidifikovaných, dominantní skupinu (Guérol a kol. 1995, Szczęsny 1998). Tak tomu bylo na zbývajících potocích, na Litavce-pravostranný přítok byli sezónně významní i pakomáři. Vedle hojných zástupců čeledí Nemouridae a Leuctridae (zejména *Leuctra nigra*) je značně odolná vůči acidifikaci i dravá pošvatka *Diura bicaudata* (Braukmann 2001). Tu jsem ve shodě s výsledky Horeckého (2003) zaznamenal jen v odběrech s pH vyšším než 4,5.

Z chrostíků se vedle extrémně acidotolerantního druhu *Plectrocnemia conspersa* (Scheibová a Helešic 1999) v acidifikovaných tocích častěji vyskytují i zástupci čeledi Limnephilidae (Guérol a kol. 1995, Braukmann 2001). Zvláště některé druhy z tribu Chaetopterigini či Stenophylacini (např. *Pseudopsilopteryx zimmeri*, *Allogamus uncatus*) jsou velmi odolné vůči nízkému pH. Na druhou stranu jiné druhy (*Drusus annulatus*, *Apatania fimbriata*) jsem v trvale silně acidifikovaných vodách, podobně jako jiní autoři (Szczęsny 1998, Horecký 2003), nenalezl. Stejně tak i čeleď Rhyacophilidae se, přes uváděnou acidotoleranci (Braukmann 2001), vyskytovala jen v referenčních tocích. Na tyto chrostíky zřejmě nepříznivě působí kombinace malého množství rozpuštěných organických a anorganických látek a nízkého pH (Horecký 2003). Výskyt larvy *Micropterna nycterobia* na Litavce-pravostranný přítok by mohl být dokladem vysychání toku, neboť tento druh se často vyskytuje v periodických vodách (Rozkošný 1980). Velmi zajímavým nálezem jsou dvě larvy nehojného chrostíka *Oxyethira* sp. na Litavce-hlavní větev. U nás bylo doposud zjištěno pět druhů ve stojatých i tekoucích vodách, ale žádný nebyl zaznamenán v horských lesních potocích (P. Chvojka - osobní sdělení).

Na většině sledovaných lokalit tvořily významnou složku makrozoobentosu larvy pakomárů. Pakomáři reagují na změnu kyselosti vod změnou druhového složení (Orendt 1999), což ovšem při determinaci do podčeledí nelze zaznamenat. Za spíše acidosenzitivní jsou považováni zástupci podčeledi Prodiamesinae (Orendt 1999), které jsem, stejně jako zástupce podčeledi Diamesinae, nalezl jen na referenčních lokalitách. Analýzou kukelních svlečků byly na lokalitách ve Slavkovském lese zjištěny hned 4 nové druhy pro Českou republiku. To ukazuje na značnou neprozkoumanost zástupců této skupiny v tekoucích vodách horských oblastí ČR a fakt, že touto metodou nebyl nalezen jediný společný druh pro silně acidifikovanou a referenční lokalitu i na jejich potenciál jako vhodných indikátorů při posuzování stavu acidifikace v takových potocích.

Z brouků nejsou zvláště imága, vzhledem k tomu, že přijímají vzdušný kyslík a jsou chráněna pevnými krovkami, projevy acidifikace příliš zasažena (Havas a Rosseland 1995). Jejich distribuce v tocích je závislá spíše na potravní nabídce či vhodných habitatech

(M. Fikáček – osobní sdělení). Tím si vysvětlují bohatou faunu brouků na extrémně kyselé lokalitě Litavka-pravostranný přítok. Braukmann (2001) považuje za méně odolné rody *Elodes* a *Limnius*, mnou zaznamenané pouze na referenčních lokalitách, ale také druh *Deronectes platynotus*, jenž jsem zaznamenal jen na Litavce-pravostranný přítok.

Na základě znalosti individuálních potravních strategií jednotlivých taxonů (Moog 2002) jsem získal podrobnější obraz o funkčních skupinách studovaných společenstev. Překvapivé je nízké zastoupení skupiny drtičů (shredders) na silně acidifikovaných lokalitách a to i ve srovnání s referenčními toky, neboť drtiči jsou považováni za skupinu, která bývá acidifikací zasažena nejméně (Szczesny 1998, Dangles a Guérold 2000) a často tvoří dominantní potravní skupinu. Nižší zastoupení drtičů vyrovnávají na silně acidifikovaných lokalitách vyšším zastoupením sběrači (detritivores). Tyto skupiny se značně potravně překrývají a někdy jsou stejné taxony zařazeny do různých funkčních skupin. Moog (2002) řadí na sledovaných lokalitách velmi početné zástupce čeledí Nemouridae a Leuctridae ale i další druhy spíše mezi sběrače a seškrabávače/spásače (grazers), kdežto jiní autoři je považují za drtiče. Tím si vysvětlují výše zmíněné nízké zastoupení drtičů ve srovnání s jinými pracemi. Pokud pohlédneme na obě skupiny jako na jeden celek, reprezentují konzumenti odumřelého organického materiálu i více než 50 % společenstva. Rozdíly v zastoupení filtrátorů (active + passive filtrators) jsou způsobeny preferencí sledovaných silně acidifikovaných toků muchničkami *Simulium* sp., které jsou dominantními zástupci této skupiny. Seškrabávači/spásači jsou považováni za nejcitlivější vzhledem k působení acidifikace, přesto jsem výrazně nižší podíl v zastoupení zaznamenal jen v případě lokalit Slavkovského lesa. Na silně acidifikovaných lokalitách Jizerských hor a Brd je tato skupina dostatečně početně reprezentována zástupci čeledí Nemouridae a Leuctridae. Dravci (predators) byli více méně rovnoměrně zastoupeni. Nižší podíl u lokality Litavka-hlavní větev je způsoben nezapočítáním pakomárů. Převážně dravá podčeleď Tanypodinae zde byla, v porovnání s ostatními lokalitami, výrazněji zastoupena. Nelze tedy říci, že by v silně acidifikovaných tocích některá významná funkční skupina chyběla, pouze je ve srovnání s referenčními lokalitami patrné jejich taxonomické ochuzení.

Pro přehledné zobrazení získaných dat o oživení a naznačení možných vztahů s parametry prostředí jsem využil metodu nepřímé ordinace - analýzu hlavních komponent (PCA). Vzhledem k nízkému počtu studovaných lokalit a jejich výběru (kromě naznačeného gradientu pH narušeného vysokými hodnotami na Pluhově Boru není v souboru parametrů

prostředí žádný zřetelný gradient) se dalo předpokládat, že některé zobrazené závislosti budou způsobeny těmito skutečnostmi. Například nezanedbatelný vliv nadmořské výšky a vzdálenosti od pramene na oživení je způsoben právě výběrem lokalit – nejpestřeji oživená Jizerka se nachází v nejvyšší nadmořské výšce a zároveň daleko od pramene. Také vztah některých méně acidotolerantních druhů k pH je překrytý jinými faktory. Na druhou stranu lze vysledovat i některé obecně známé skutečnosti. Pošvatka *Nemurella pictetii* nebo chrostík *Plectrocnemia conspersa* jsou druhy s velmi širokou ekologickou valencí schopné přežívat i ve velmi kyselých vodách s vysokým obsahem reaktivního hliníku (Scheibová a Helešic 1999), což vyplývá i z mých výsledků. Rovněž je pěkně vidět výše zmíněná závislost zalesnění lokality a koncentrací síranů ve vodě. Druhy vyskytující se více na referenčních lokalitách jsou zobrazeny v horní a pravé části obrázku 5.9, šipky druhů preferujících ve vybraném souboru lokalit silně acidifikované toky směřují vlevo dolů.

Snížení kyselé atmosférické depozice vede k nastartování procesu zotavení vod z antropogenní atmosférické acidifikace. Na základě změn v chemismu vod, zvláště růstu pH a poklesu koncentrací reaktivního hliníku, dochází k postupnému návratu vymizelých acidosenzitivních druhů (Tipping a kol. 2002, Raddum a Fjellheim 2003). Na sledovaných silně acidifikovaných lokalitách jsou pozorovány zatím jen klesající koncentrace síranů a vápníku - hodnoty pH a koncentrace hliníku se dosud výrazně nezměnily, takže proces biologického zotavování zde prozatím nebyl započat (Stuchlík a kol. 2006). To potvrzují i výsledky analýzy makrozoobentosu. Na silně acidifikovaných lokalitách nebyly nalezeny žádné druhy považované za acidosenzitivní, jen minimum druhů řazených Braukmannem (2001) do skupiny částečně acidotolerantních (třetí třída kyselosti) a oproti referenčním tokům se zde nevyskytovaly ani některé silně acidotolerantní organismy (čtvrtá třída kyselosti). Také srovnání zjištěné struktury bentického společenstva na Litavce-pravostranný přítok, která je již delší období podrobena i hydrobiologickému výzkumu, s výsledky předcházejících studií (Horecký a kol. 2002, 2006) nenabízí žádné významné rozdíly. Nově byly sice nalezeny některé taxony (např. *Notonecta glauca*, *Hybomitra* sp., *Anacaena lutescens*), ale jedná se o druhy, jejichž výskyt rozhodně nelze považovat za důkaz zotavování společenstva z acidifikace. Oproti tomu se lze důvodně domnívat, že k zotavení makrozoobentosu ze zasažení atmosférickou acidifikací došlo v nedávné minulosti na lokalitě Jizerka. Ještě v roce 1984 bylo průměrné pH tohoto toku 4,4, ale následkem odlesnění a výrazného poklesu kyselé atmosférické depozice došlo v relativně krátké době k nárůstu pH na 5,5 (Černý a Pačes 1995). Druhy jako jepice *Baetis vernus* nebo *Ameletus inopinatus* či pošvatky

Siphonoperla torrentium a *Brachyptera seticornis* ale i další taxony zde nalezené, nepřežívají ve vodách s pH dlouhodobě nižším než 5 (Braukmann 2001, Raddum a kol. 1988, Scheibová a Helešic 1999) a musely tedy lokalitu Jizerka kolonizovat po nárůstu pH v 90. letech minulého století.

K naznačení původního oživení silně acidifikovaných toků, respektive cílového stavu zotavení makrozoobentosu těchto lokalit, můžeme využít výsledků získaných na referenčních lokalitách, i když v případě lokality Pluhův Bor je toto využití s ohledem na zcela výjimečné zastoupení hlavních kationtů a vysoké koncentraci některých kovů omezené. V případě růstu pH na sledovaných silně acidifikovaných lokalitách alespoň na hodnoty 4,5 - 5 lze očekávat návrat typických druhů slabě mineralizovaných horských toků, které byly nalezeny na referenčních lokalitách. Mezi takové patří především pošvatka *Diura bicaudata* a chrostíci *Drusus annulatus*, *Sericostoma personatum* a zástupci čeledi Rhyacophilidae. Jak naznačují výsledky dynamického modelování vývoje acidifikace, hodnoty pH při zachování současného způsobu lesního hospodaření a intenzity kyselé atmosférické depozice ani v delší časovém horizontu nepřekročí hranici (Hruška a Krám 2003, Hardekopf 2007) potřebnou pro návrat citlivějších druhů jako jsou jepice Baetidae či Siphonuridae, mlži rodu *Pisidium* nebo chrostík *Tinodes rostocki*.

7. ZÁVĚRY

1. Předkládaná práce se zabývá analýzou makrozoobentosu na dlouhodobě hydrochemicky sledovaných horských potocích ve třech oblastech silně zasažených kyselou atmosférickou acidifikací. Výzkum probíhal v Brdech, Slavkovském lese a Jizerských horách, pokaždé na dvou lokalitách. Jedna lokalita byla vždy na silně acidifikovaném potoce a druhá na potoce referenčním (méně acidifikovaném či neacidifikovaném). Na každé lokalitě byly provedeny minimálně tři odběry makrozoobentosu (duben, červenec, říjen) časově definovanou metodou „kicking“ doplněnou o individuální sběr. Odebrány byly vždy také vzorky vody na chemickou analýzu.
2. Silně acidifikované toky (Litavka-pravostranný přítok, Lysina, Jeřice) se vyznačovaly nízkým pH (< 4,5), zápornou alkalitou a vysokými koncentracemi reaktivního hliníku (> 500 $\mu\text{g l}^{-1}$) a dalších kovů. Na referenčních tocích (Litavka-hlavní větev, Pluhův Bor, Jizerka) jsem naměřil pH vždy vyšší než pět a kladné hodnoty alkality a koncentrace reaktivního hliníku (max. 261 $\mu\text{g l}^{-1}$) a většiny kovů byly nižší než na silně acidifikovaných tocích.
3. Makrozoobentos silně acidifikovaných toků byl ve srovnání s referenčními toky chudší co do počtu taxonů. Početnosti a relativní zastoupení jednotlivých skupin byly mezi jednotlivými lokalitami proměnlivé. Na obou typech potoků dominovaly pošvatky a pakomáři.
4. Na všech sledovaných lokalitách tvořily základ makrozoobentosu podobné taxony – pošvatky *Nemurella pictetii*, *Protonemura auberti* a *Leuctra nigra*; pakomáři Chironominae, Orthocladiinae, Tanypodinae a Corynoneurinae; chrostíci *Plectrocnemia conspersa* a čeled' Limnephilidae; muchničky *Simulium* sp. a bahnomilka *Dicranota* sp.; brouk *Agabus* sp. a máloštětinatci.
5. Pouze malý počet taxonů jsem našel **výhradně** v silně acidifikovaných tocích. Mezi ně patřily nepigmentované ploštěnky (*Dendrocoelum* sp. a *Phagocata vitta*), chrostík *Micropterna nycterobia* a střechatka *Sialis fuliginosa*. Dalších několik taxonů - bahnomilka *Euphyllidorea* sp., kroužilka *Wiedemannia* sp. nebo žízalice *Stylogdrilus brachystylus* silně acidifikované lokality výrazně upřednostňovalo a v referenčních tocích jsem je našel jen ojediněle.

6. Mnohem více taxonů se vyskytovalo **výhradně** v referenčních tocích. Mezi nejhojnější patřily jepice (Baetidae, Leptophlebiidae, Ameletidae, Siphonuridae), chrostíci *Rhyacophila* sp., *Drusus annulatus*, *Potamophylax* sp. a *Sericostoma personatum*, pakomáři podčeledí Diamesinae a Prodiamesinae, brouci *Elodes* sp. a *Limnius* sp., žížalice *Stylodrilus heringianus* a mlž *Pisidium casertanum*. Pošvatka *Diura bicaudata*, pakomárci Ceratopogoninae g. sp., kroužilka *Chelifera* sp. a bahnomilka *Eloeophila* sp. upřednostňovaly referenční lokality před silně acidifikovanými.
7. Na lokalitě Litavka-pravostranný přítok nedošlo za téměř desetiletý výzkum makrozoobentosu k žádnému posunu ve smyslu zotavení společenstva z acidifikace. Oproti tomu na lokalitě Jizerka je proběhnuvší biologické zotavení s ohledem na chybějící historické informace nanejvýš pravděpodobné.
8. Na žádné ze silně acidifikovaných lokalit nebyly zaznamenány acidosenzitivní druhy a oproti referenčním lokalitám se na nich nevyskytovaly ani některé taxony považované za acidotolerantní – *Rhyacophila* sp., *Drusus annulatus*, *Sericostoma personatum* a s výjimkou výskytu na silně acidifikované Jeřici *Diura bicaudata*. Návrat těchto taxonů do silně acidifikovaných toků bude jedním z prvních signálů začátku biologického zotavování silně acidifikovaných lokalit.



8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Alewell C., Mandescheid B., Meesenburg H. a Bittersohl J. 2000: Is acidification still an ecological threat?. *Nature* **407**: 856-857.
- Bauernfeind E. a Humpesch U. H. 2001: *Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie*. Wien: Verlag des Naturhistorischen Museums Wien, 239 s.
- Benčoková A. 2007: *Vliv sezónních a dlouhodobých klimatických výkyvů na odtokové poměry v lesním a alpínské povodí*. Diplomová práce. Praha: Universita Karlova v Praze. 66 s.
- Beran L. 1998: *Vodní měkkýši ČR*. Vlašim: ZO ČSOP, 113 s.
- Bracíníková R. 2003: *Studie experimentálního povodí v oblasti Brdské vrchoviny*. Diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze. 72 s.
- Braukmann U. 2001: Stream acidification in South Germany - chemical and biological assessment methods and trends. *Aquatic ecology* **35**: 207-232.
- Camilleri C., Hogan A., McCullough C. a van Dam R. 2003: Toxicity of magnesium sulphate to local tropical aquatic species: Derivation of a site-specific trigger value. S.: 62-66. In: Johnston A. (ed.): *Supervising Scientist Annual Report 2002-2003*. Darwin: Australian Government Department of the Environmental and Water Resources, 124 s.
- Cílek V. (ed.) 2005: *Střední Brdy*. Příbram: ČSOP Příbram, 376 s.
- Čáka J. 1998: *Střední Brdy: krajina neznámá*. Praha: Mladá Fronta, 157 s.
- Černý J. a Pačes T. (ed.) 1995: *Acidification in the Black Triangle Region*. Praha: ČGÚ, 97 s.
- Dangles O. J. a Guérol F. A. 2000: Structural and functional responses of benthic macroinvertebrates to acid precipitation in two forested headwater streams (Vosges Mountains, northeastern France). *Hydrobiologia* **418**. 25-31.
- Dangles O., Malmquist B. a Laudon H. 2004: Naturally acid freshwater ecosystem are diverse and functional: evidence from boreal streams. *Oikos* **104**: 149-155.
- Driscoll C. T. 1984: A procedure for the fractionation of aqueous aluminium in dilute waters. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* **16**: 93-104.
- Fischer D., Fischerová J. a Švátora M. 2005: Míhule a ryby. S.: 151-154. In: Cílek V. (ed.): *Střední Brdy*. Příbram: ČSOP Příbram, 376 s.
- Fott J., Pražáková M., Stuchlík E. a Stuchlíková Z. 1994: Acidification of lakes in Šumava (Bohemia) and in the High Tatra Mountains (Slovakia). *Hydrobiologia* **274**: 37-47.
- Fricová K. 2005: *Ekologie makrozoobentosu vybraných toků povodí Vydry a Křemelné*. Diplomová práce. Praha: Universita Karlova v Praze. 59 s.
- Frost S. 1971: Evaluation of kicking technique for sampling stream bottom fauna. *Can. J. Zool.* **49**: 167-173.
- Guérol F., Vein D., Jacquemin G. a Pihan J. C. 1995: The macroinvertebrate communities of streams draining a small granitic catchment exposed to acidic precipitations (Vosges Mountains, northeastern France). *Hydrobiologia* **300/301**: 141-148.

- Hardekopf D. W., Horecký J., Kopáček J. a Stuchlík E. 2007: Predicting long-term recovery of a strongly acidified stream using MAGIC and climate models (Litavka, Czech Republic). *Hydrology and Earth System Sciences*
- Havas M. a Rosseland B. O. 1995: Response of zooplankton, benthos, and fish to acidification: an overview. *Water, Air, and Soil Pollution* **85**: 51-62.
- Hendrey G. R. a Wright R. F. 1976: Acid precipitation in Norway: Effects on aquatic fauna. *Journal of Great Lakes Research* **2**: 192-207.
- Herben T. a Münzbergová Z. 2003: *Zpracování geobotanických dat v příkladech - Část I. Data o druhovém složení*. Praha: Universita Karlova v Praze, 118 s.
- Hermann J. 1987: Aluminium Impact on freshwater invertebrates at low pH: a review. S.: 157-175. In: Landner L. (ed.): *Speciation of Metals in Water, Sediment and Soil Systems*. Berlin: Springer-Verlag, 1987, 376 s.
- Hermann J., Degerman E., Gerhardt A., Johansson C., Lingdell P. a Muniz I. P. 1993: Acid-stressed Effects on Stream Biology. *Ambio* **22**: 298-307.
- Horecký J. 2003: *Zhodnocení vlivu kyselé atmosférické depozice na chemismus a oživení horských potoků v ČR*. Dizertační práce. Praha: Universita Karlova v Praze. 69 s.
- Horecký J., Stuchlík E., Chvojka P., Bitušík P., Liška M., Pšenáková P. a Špaček J. 2002: Effects of acid atmospheric deposition on chemistry and benthic macroinvertebrates of forest streams in the Brdy Mts (Czech Republic). *Acta Soc. Zool. Bohem.* **66**: 89-203.
- Horecký J., Stuchlík E., Chvojka P., Hardekopf D. W., Mihaljevič M. a Špaček J. 2006: Macroinvertebrate community and chemistry of the most atmospherically acidified streams in the Czech Republic. *Water, Air, and Soil Pollution* **173**: 261-272.
- Horsák M. a Hájek M. 2003: Composition and species richness of mollusc communities in relation to vegetation and water chemistry in the Western Carpathian spring fens: the poor-rich gradient. *J. Moll. Stud.* **69**: 349-357.
- Hořická Z., Stuchlík E., Hudes I., Černý M. a Fott J. 2006: Acidification and the structure of crustacean zooplankton in mountain lakes: The Tatra Mountains (Slovakia, Poland). *Biologia* **61**: 121-134.
- Hořická Z., Stuchlík E., Prchalová M. a Křeček J. 1993: Present state of acidification of reservoirs in the Jizera Mountains, Czech Republic. S.: 130-131. In: Černý J. (ed.): *Abstracts of Symposium on Ecosystem Behaviour*. Praha: ČGÚ Praha, 247 s.
- Hruška J. a Krám P. 2003: Modelling of long-term changes of streamwater chemistry in two catchments with contrasting vulnerability to acidification. *Hydrology and Earth System Sciences* **7**: 525-539.
- Hruška J., Moldan F. a Krám P. 2002: Recovery from acidification in Central Europe - observed and predicted changes of soil and streamwater chemistry in the Lysina catchment, Czech Republic. *Environmental Pollution* **120**: 261-274.
- Kment Petr. *Vodní plošnice: Heteromorpha: Nepomorpha, Gerromorpha*. nepublikováno, 25 s.
- Kohl S. 2003: *Určovací klíč exuvií evropských druhů vážek (Odonata) podřádu Anisoptera*. Vlašim: Český svaz ochránců přírody, 30 s.

- Kokeš J. a Vojtíšková D. 1999: *Nové metody hodnocení makrozoobentosu tekoucích vod. Výzkum pro praxi – sešit 39*. Praha: VÚV TGM v Praze.
- Kopáček J., Stuchlík E., Veselý J., Schaumburg J., Anderson I. C., Fott J., Hejzlar J. a Vrba J. 2002: Hysteresis in reversal of central european mountain lakes from atmospheric acidification. *Water, Air, and Soil Pollution Focus* **2**: 91-114.
- Krám P. a Hruška J. 1994: Influence of bedrock geology on elemental fluxes in two forested catchments affected by high acidic deposition. *Appl. Hydrogeol.* **2**: 50-58.
- Krám P., Hruška J., Wenner B. S., Driscoll C. T. a Johnson C. E. 1997: The biogeochemistry of basic cations in two acid-impacted forest catchments with contrasting lithology. *Biogeochemistry* **37**: 173-202.
- Krno I. 1998: Pošvatky (Plecoptera) Slovenska. S: 34-62 In: Makovinská J., Tóthová L., Elexová E. a Živičová Z. (eds.): *Zborník z hydrobiologického kurzu '98*. Bratislava: VÚVH v Bratislavě, 78 s.
- Křeček J. a Hořická Z. 2001: Degradation and recovery of mountain watersheds: the Jizera Mountains, Czech Republic. *Unasylva* **207**: 43-49.
- Křelinová E. 1962: *K poznání českých pošvatek (Plecoptera). Studie o bionomii a zoogeografii bentické české zvířeny*. Dizertační práce. Praha: Entomologický ústav AV ČR. 265 s.
- Kulina J. 2000: *Vliv antropogenní acidifikace na kvalitu povrchových vod v oblasti pohoří Brdy*. Praha: Universita Karlova v Praze. 59 s.
- Kulišková P. 2006: *Bentos jako potrava lososovitých ryb: potravní nabídka a její využití v horských potocích se společným a odděleným výskytem pstruha obecného a sivena amerického*. Praha: Universita Karlova v Praze. 122 s.
- Kullberg A. 1992: Benthic macroinvertebrate community structure in 20 streams of varying pH and humic content. *Environmental Pollution* **78**: 103-106.
- Lampert W. a Sommer U. 1997: *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. New York: Oxford Univ. Press, 382 s.
- Losos B. 1996: *Klíč k určování larev pakomárovitých (Chironomidae)*. Brno: Masarykova universita v Brně, 131 s.
- MacKereth F. J. H., Heron J., Talling J. F. 1978: *Water analysis: Some revised methods for limnologists*. FBA scientific publication no. 36, 120 s.
- Mackovčín P., Sedláček M. a Kuncová J. 2002: Liberecko. In: Mackovčín P. a Sedláček M. (eds.): *Chráněná území ČR, svazek III*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, 331 s.
- Mason C. F. 1991: *Biology of freshwater pollution*. Harlow: Longman, 351 s.
- Moog O. (ed.) 2002 *Fauna Aquatica Austriaca: Katalog zur autökologische Einstufung aquatischer Organismen Österreichs*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- Motl D. 2005: Modeling acidification in the Jizera Mountains: reconstructed and predicted long-term changes in the Uhlířská catchment. S.:139-153. In: Blažková Š. (ed.): *Hydroecological study of the Jizera river catchment and the Jizera Mountains*. Praha: VÚV TGM Praha, 222 s.

- Mulholland P., Driscoll C. T., Elwood J. W., Osgood M. P., Palumbo A. V., Rosemond A. D., Smith M. E. a Schoefield C. 1992: Relationships between stream acidity and bacteria, macroinvertebrates, and fish: a comparison of north temperate and south temperate mountain streams, USA. *Hydrobiologia* **239**: 7-24.
- Muniz I. P. 1991: Freshwater acidification: its effects on species and communities of freshwater microbes, plants and animals. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* **97B**: 227-254.
- Økland J. a Økland K. A. 1986: The effects of acid deposition on benthic animals in lakes and streams. *Experientia* **42**: 471-486.
- Ormerod S. J., Boole P., McCahon C.P, Weatherley N. S., Pascoe D. a Edwards R. W. 1987: Short-term experimental acidification of a Welsh stream: comparing the biological effects of hydrogen ions and aluminium. *Freshwater biology* **17**: 341-356.
- Orendt C. 1999: Chironomids as Bioindicators in Acidified Streams: a Contribution to the Acidity Tolerance of Chironomid Species with a Classification in Sensitivity Classes. *Internat. Rev. Hydrobiol.* **84**: 439-449.
- Pehal Z. 2004: *Vodní a látková bilance pramenné části povodí Litavky v Brdech*. Diplomová práce. Praha: Universita Karlova v Praze. 111 s.
- Pivnička K., Benešová L., Pivničková M., Příbil R., Tonika J., a Růžičková J. 1993: Studium malých toků v Brdech s poznámkami o významu oblasti v rámci chráněných krajinných celků. S.: 68-73. In: Němec J. (ed.): *Příroda Brd a perspektivy její ochrany*. Příbram: OÚ Příbram, 120 s.
- Psenner R. a Catalan J. 1994: Chemical composition of lakes in crystalline basins: a combination of atmospheric deposition, geologic background, biological activity and human action. S.: 255-314. In: Margalef R. (ed.): *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems*. Amsterdam: Elsevier, 553.
- Quitt E. 1971: *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia, 73 s.
- Raddum G. G. a Fjellheim A. 2003: Liming of River Audna, Southern Norway: A Large-scale Experiment of Benthic Invertebrate Recovery. *Ambio* **32**: 230-234.
- Raddum G. G., Fjellheim A. a Hesthagen T. 1988: Monitoring of acidification by use of aquatic organisms. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **23**: 2291-2297.
- Renberg I., Korsman T. a Anderson N. J. 1993: A perspective of lake acidification in Sweden. *Ambio* **22**: 264-271.
- Reusch H. a Oosterbroek P. 1997: *Diptera Limoniidae and Pediciidae*. S.: 105-132. In: Nilsson A. (ed.): *The aquatic insects of North Europe 2*. Stenstrup: Appolo Books, 440 s.
- Reynoldson T. B. 1978: *A key to the british species of Freshwater Triclad*s. Kendal: Titus Wilson&Son Ltd., 28 s.
- Richoux P. 1982: Coléoptères aquatiques. *Bulletin de la Société Linnéenne de Lyon* **51**: 1-55.
- Roubal J. a Štorkán J. 1924: Brdy z pohledu zoologického. *Musejní spisy Městského Musea v Rokycanech* **8**: 1-4.
- Rozkošný Rudolf (ed.) 1980: *Klíč vodních larev hmyzu*. Praha: Academia, 524 s.
- Rozkošný R. a Vaňhara J. 2004: *Diptera (mimo Ceratopogonidae, Chironomidae a Simuliidae)*. Brno: VÚV Praha a MU v Brně, 65 s.

- Růžičková J. 1998: Společenstvo vodního hmyzu v šumavských tocích s různým stupněm acidifikace. *Silva Gabreta* **2**: 199-209.
- Shanley J. B., Krám P., Hruška J. a Bullen T. D. 2004: A biogeochemical comparison of two well-buffered catchments with contrasting histories of acid deposition. *Water, Air, and Soil Pollution Focus* **4/2-3**: 325-342.
- Scheibová D. a Helešic J. 1999: Hydrobiological assessment of stream acidification in the Czech-moravian highland, Czech Republic. *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Masaryk. Brun.* **25**: 13-32.
- Schenkova J. a Pižl V. 2002: *Aphanoneura a Oligochaeta: Determinační kurz makrozoobentosu*. Brno: VÚV Praha a Masarykova universita v Brně, 27 s.
- Soldán T., Zahrádková S., Helešic J., Dušek L. a Landa V. 1998: Distributional and quantitative patterns of Ephemeroptera and Plecoptera in the Czech Republic: a possibility of detection of longterm environmental changes of aquatic biotopes. *Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Masarykianae Brunensis, Biologia* **98**: 1-305.
- Stuchlík E. 2003: *Vliv acidifikace na ekosystémy horských jezer: Komentář k výsledkům 25 let výzkumných prací v Tatrách*. Habilitační práce. Praha: Universita Karlova v Praze. 57 s.
- Stuchlík E., Horecký J., Hardekopf D. W., Bitušík P., Kopáček J. a Mihaljevič M. 2006: *Chemismus a oživení tekoucích vod sledovaných v rámci projektů ICP na území ČR: závěrečná zpráva*. Blatná: Universita Karlova v Praze, 15 s.
- Stuchlík E., Horecký J., Kopáček J. a Vrba J. 2004: *Vyhodnocení a vývoj hydrobiologických parametrů na vybraných lokalitách povrchových vod, včetně lokalit sledovaných v rámci ICP pro povrchové vody: závěrečná zpráva*. Blatná: Universita Karlova v Praze, 26 s.
- Stuchlík E., Hořická Z., Prchalová M., Křeček J. a Barica J. 1997: Hydrobiological investigation of three acidified reservoirs in the Jizera Mountains, the Czech Republic, during the summer stratification. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* **2155**: 56-64.
- Stuchlík E., Bitušík P., Hardekopf D. W., Kopáček J. a Tátosová J. 2005: Complexity of biological recovery from acidification: study based on long-term records, dynamic modeling and paleolimnology of high mountain lakes. S.: 438. In: Hůnová I. (ed.): *Conference abstracts - Acid Rain 2005 - 7th Int. Conf. on Acid Deposition*. Praha: ČHMÚ, 756 s.
- Szczygły B. 1998: Benthic macroinvertebrates in the acidified headstreams of the Vistula River. *Studia Naturae* **44**: 145-170.
- Špaček Jan. *Klíč k určování larev rodu Sialis v ČR: předběžná verze*. nepublikováno, 4 s.
- ter Braak C. J. F., Šmilauer P. 2002: *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Ithaca: Microcomputer Power, 500 s.
- Thiébaud G. a Muller S. 1999: A macrophyte sequence as an indicator of eutrophication and acidification levels in weakly mineralised streams in north-eastern France. *Hydrobiologia* **410**: 17-24.
- Tipping E., Bass J. A. B., Hardie D., Haworth E. Y., Hurley M. A. a Wills G. 2002: Biological responses to the reversal of acidification in surface waters of the English Lake District. *Environmental Pollution* **116**: 137-146.

- Veselý J. a Majer V. 1998: Hydrogeochemical mapping of Czech freshwaters. *Bull. Czech Geol. Survey* **73**: 183-192.
- Waringer J. a Graf W. 1997: *Atlas der österreichischen Köcherfliegenlarven unter Einschluss der angrenzenden Gebiete*. Wien: Facultas Universitätsverlag, 286 s.
- Weatherley N. S., Rutt G. P. a Ormerod S. J. 1989: Densities of benthic macroinvertebrates in upland Welsh streams of different acidity and land use. *Archiv für Hydrobiologie* **115**: 417-431.
- Wilpert K., Kohler M. a Zirlewagen D. 1996: *Die Differenzierung des Stoffhaushalts von Waldökosystemen durch die waldbauliche Behandlung auf einem Gneisstandort des Mittleren Schwarzwaldes*. Freiburg: LfW Baden Württemberg, 94 s.
- Winterbourn M. J. a McDiffet W. F. 1996: Benthic faunas streams of low pH but contrasting water chemistry in New Zealand. *Hydrobiologia* **341**: 101-111.
- Zahradnický J. a Mackovčín P. 2004: Plzeňsko a Karlovarsko. In: Mackovčín P. a Sedláček M. (eds.): *Chráněná území ČR, svazek XI*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, 588 s.

Mapové podklady

- Havlíček V. a Štorch P. 1986: *Geologická mapa ČSR 1:50 000*. List 12-34 Hořovice. Praha: ÚÚG Praha.
- Chaloupský J. a Králík F. 1988: *Geologická mapa ČSR 1:50 000*. List 03-14 Liberec. Praha: ÚÚG Praha.
- Schovánek P., Straka J., Breiter K., Hradecký P. a Kopecký ml. J. 1998: *Geologická mapa ČR 1:50 000*. List 11-23 Sokolov. Praha: ČGÚ Praha.
- Straka J., Mašek J. a Havlíček V. 2002: *Geologická mapa ČR 1:50 000*. List 22-12 Březnice. Praha: ČGÚ Praha.
- Tonika J. 1998: *Geologická mapa ČR 1:50 000*. List 11-41 Mariánské Lázně. Praha: ČGÚ Praha.

9. PŘÍLOHY

- Příloha 1:** Abundance makrozoobentosu na silně acidifikované lokalitě Litavka-pravostranný přítok v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, září 2006).
- Příloha 2:** Abundance makrozoobentosu na referenční lokalitě Litavka-hlavní větev v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, září 2006).
- Příloha 3:** Abundance makrozoobentosu na silně acidifikované lokalitě Lysina v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, červenec 2006).
- Příloha 4:** Abundance makrozoobentosu na referenční lokalitě Pluhův Bor v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, červenec 2006).
- Příloha 5:** Abundance makrozoobentosu na silně acidifikované lokalitě Jeřice v jednotlivých termínech odběrů (červenec 1999, říjen 1999 a květen 2000).
- Příloha 6:** Abundance makrozoobentosu na referenční lokalitě Jizerka v jednotlivých termínech odběrů (říjen 2004, duben 2005, červenec 2005).
- Příloha 7:** Kódy taxonů a parametrů prostředí použité při zobrazení výsledků mnohorozměrné analýzy získaných dat.
- Příloha 8:** Mapová a fotografická dokumentace sledovaných lokalit v Brdech.
- Příloha 9:** Mapová a fotografická dokumentace sledovaných lokalit ve Slavkovském lese.
- Příloha 10:** Mapová a fotografická dokumentace sledovaných lokalit v Jizerských horách.



Příloha 1: Abundance makrozoobentosu na silně acidifikované lokalitě Litavka-pravostranný přítok v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, září 2006).

Litavka-pravostranný přítok						
Taxon			Datum odběru			
			IV-05	VII-05	X-05	IX-06
TUR	<i>Dendrocoelum</i>	sp.	2	1	6	2
OLI	<i>Enchytraeidae</i>	g.sp.	111	48	36	44
OLI	<i>Lumbriculidae</i>	g.sp.	17	25	54	15
OLI	<i>Stylogrilus</i>	<i>brachystylus</i>				2
ODO	<i>Cordulegaster</i>	cf. boltoni				2
PLE	<i>Nemouridae</i>	g.sp.			300	500
PLE	<i>Amphinemura</i>	sp.juv.		59		
PLE	<i>Amphinemura</i>	<i>sulcicollis</i>		90		
PLE	<i>Nemurella</i>	<i>pictetii</i>	141	61	144	20
PLE	<i>Protonemura</i>	sp.juv.	4	3		
PLE	<i>Protonemura</i>	<i>auberti</i>	26	17		
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>nigra</i>	38	16	280	300
HET	<i>Notonecta</i>	<i>glauca</i>				1
HET	<i>Sigara</i>	<i>nigrolineata</i>			1	
HET	<i>Velia</i>	<i>caprai</i>		7	7	6
MEG	<i>Sialis</i>	<i>fuliginosa</i>	1		4	4
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	sp.juv.	11	14	274	134
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	<i>conspersa</i>	18	20	51	32
TRI	<i>Limnephilidae</i>	g.sp.juv.	1		1	19
TRI	<i>Limnephilus</i>	<i>coenosus</i>	1			
TRI	<i>Micropterna</i>	<i>nycterobia</i>	3	1	11	2
DIP	<i>Tipula</i>	sp.		1		
DIP	<i>Pedicia (P.)</i>	sp.		1	1	1
DIP	<i>Limoniidae</i>	g.sp.		6		
DIP	<i>Euphyllidorea</i>	sp.	3	19	6	7
DIP	<i>Psychodidae</i>	g.sp.		1		
DIP	<i>Ceratopogoninae</i>	g.sp.			1	2
DIP	<i>Simulium</i>	sp.	114	12	2	
DIP	<i>Tabanidae</i>	g.sp.				1
DIP	<i>Hybomitra</i>	sp.		1		
DIP	<i>Wiedemannia</i>	sp.		1	2	1
DIP	<i>cf.Lispe</i>	sp.		1		
DIP	<i>Chironomidae</i>	g.sp. kukly	30	19		168
DIP	<i>Corynoneurinae</i>	g.sp.	60	305		50
DIP	<i>Chironominae</i>	g.sp.	615	500	1708	436
DIP	<i>Orthocladiinae</i>	g.sp.	413	420	148	908
DIP	<i>Tanypodinae</i>	g.sp.	101	50	275	32
COL	<i>Agabus</i>	sp.juv.	7	46	9	80
COL	<i>Agabus</i>	<i>guttatus</i>		5	2	5
COL	<i>Deronectes</i>	<i>platynotus</i>		3	1	4
COL	<i>Hydroporus</i>	<i>ferrugineus</i>	3	22		1
COL	<i>Helophorus</i>	<i>flavipes</i>		2		1
COL	<i>Helophorus</i>	<i>aquaticus</i>		3	1	
COL	<i>Hydraena</i>	sp.				1
COL	<i>Anacaena</i>	<i>globulus</i>	2			4
COL	<i>Anacaena</i>	<i>lutescens</i>			1	
počet jedinců v odběru			1722	1780	3326	2785
počet taxonů v odběru			23	33	26	32

Příloha 2: Abundance makrozoobentosu na referenční lokalitě Litavka-hlavní větev v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, září 2006).

Litavka-hlavní větev						
Taxon			Datum odběru			
			IV-05	VII-05	X-05	IX-06
MOL	<i>Pisidium</i>	<i>casertanum</i>	2	6		7
OLI	<i>Enchytraeidae</i>	g.sp.	2	5		7
OLI	<i>Lumbriculidae</i>	g.sp.	10	19	7	22
OLI	<i>Stygodrilus</i>	<i>heringianus</i>		24	1	7
OLI	<i>Stygodrilus</i>	<i>brachystylus</i>		1		
OLI	<i>Spirosperma</i>	<i>felox</i>		2		
HYD	<i>Hydracarina</i>	g.sp.				31
ODO	<i>Cordulegaster</i>	<i>boltoni</i>	1	1		
EPH	<i>Leptophlebia</i>	<i>marginata</i>	1			
EPH	<i>Habrophlebia</i>	<i>lauta</i>	1			
PLE	<i>Diura</i>	<i>bicaudata</i>	24	45	23	100
PLE	<i>Nemouridae</i>	g.sp.	207	312	52	
PLE	<i>Amphinemura</i>	sp.juv.	2	2		
PLE	<i>Amphinemura</i>	<i>sulcicollis</i>	24	140		12
PLE	<i>Nemurella</i>	<i>pictetii</i>	35	154	18	9
PLE	<i>Protonemura</i>	<i>auberti</i>	43	76	3	17
PLE	<i>Protonemura</i>	sp.juv.	3			
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>nigra</i>	121	158	208	100
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>pseudocingulata</i>		1		
HET	<i>Velia</i>	<i>caprai</i>			4	
TRI	<i>Rhyacophila</i>	<i>polonica</i>	3	2		
TRI	<i>Oxyethira</i>	sp.			2	
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	sp.juv.	1	20	23	43
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	<i>conspersa</i>	9	12	8	25
TRI	<i>Limnephilidae</i>	g.sp.juv.		53		
TRI	<i>Drusus</i>	sp.juv.	5		4	
TRI	<i>Drusus</i>	<i>anullatus</i>	16	5	10	1
TRI	<i>Chaetopteryx</i>	<i>villosa</i>		1		1
TRI	<i>Potamophylax</i>	sp.		1	2	1
TRI	<i>Potamophylax</i>	<i>nigricornis</i>	5		4	
TRI	<i>Crunoecia</i>	<i>irrorata</i>				4
TRI	<i>Adicella</i>	<i>filicornis</i>				1
TRI	<i>Sericostoma</i>	<i>personatum</i>				3
DIP	<i>Dicranota</i>	sp.	11	13	26	10
DIP	<i>Pedicia (P.)</i>	sp.		2	1	
DIP	<i>Limoniidae</i>	g.sp.	1			
DIP	<i>Eloeophila</i>	sp.	16	3	2	5
DIP	<i>Scleroprocta</i>	sp.	1	1		1
DIP	<i>Ceratopogoninae</i>	g.sp.	3	3	2	1
DIP	<i>Simulium</i>	sp.	75	64	13	64
DIP	<i>Chelifera</i>	sp.			3	
DIP	<i>Chironomidae</i>	g.sp. kukly	1	9		8
DIP	<i>Corynoneurinae</i>	g.sp.	8	3		1
DIP	<i>Chironominae</i>	g.sp.	64	159	40	11
DIP	<i>Diamesinae</i>	g.sp.			3	
DIP	<i>Orthocladiinae</i>	g.sp.	52	191	50	38
DIP	<i>Tanypodinae</i>	g.sp.	17	41	72	16
COL	<i>Agabus</i>	sp.juv.	4	9	4	
COL	<i>Agabus</i>	<i>guttatus</i>	3	1	1	
COL	<i>Helophorus</i>	<i>flavipes</i>		1		
COL	<i>Anacaena</i>	<i>globulus</i>	2	1		
počet jedinců v odběru			771	1535	586	539
počet taxonů v odběru			33	36	27	27

Příloha 3: Abundance makrozoobentosu na silně acidifikované lokalitě Lysina v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, červenec 2006).

Lysina						
Taxon			Datum odběru			
			IV-05	VII-05	X-05	VII-06
TUR	<i>Dendrocoelum</i>	sp.		2	1	
OLI	<i>Enchytraeidae</i>	g.sp.	104	32	25	25
OLI	<i>Lumbriculidae</i>	g.sp.	28	51	25	20
PLE	<i>Nemouridae</i>	g.sp.	400	15	200	
PLE	<i>Amphinemura</i>	sp.juv.		1		
PLE	<i>Amphinemura</i>	sulcicollis				10
PLE	<i>Nemoura</i>	sp.juv.		10	9	
PLE	<i>Nemurella</i>	<i>pictetii</i>	136	113	130	70
PLE	<i>Protonemura</i>	sp.juv.	255	1		
PLE	<i>Protonemura</i>	<i>auberti</i>	51	14		
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>nigra</i>	221	362	218	150
MEG	<i>Sialis</i>	<i>fuliginosa</i>		2		
HET	<i>Velia</i>	<i>caprai</i>			3	
HET	<i>Sigara</i>	<i>falleni</i>	1			
TRI	<i>Glossosomatidae</i>	g.sp.		1		
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	<i>conspersa</i>	10	39	65	25
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	sp.juv.	37	135	140	43
TRI	<i>Limnephilidae</i>	g.sp.juv.	9	3		
TRI	<i>Allogamus</i>	<i>uncatus</i>		1		2
TRI	<i>Chaetopteryx</i>	<i>villosa</i>				1
DIP	<i>Dolichozeza</i>	<i>albipes</i>			1	
DIP	<i>Tipula</i>	sp.	1		2	
DIP	<i>Dicranota</i>	sp.	7	1	59	
DIP	<i>Eloeophila</i>	sp.	1			1
DIP	<i>Euphyllidorea</i>	sp.	1	1		1
DIP	<i>Psychodidae</i>	g.sp.		1		
DIP	<i>Simulium</i>	sp.	298	8	37	5
DIP	<i>Wiedemannia</i>	sp.	2	2	3	5
DIP	<i>Chironomidae</i>	g.sp. kukly		1		21
DIP	<i>Corynoneurinae</i>	g.sp.	18	26	4	285
DIP	<i>Chironominae</i>	g.sp.	2	19		13
DIP	<i>Orthoclaadiinae</i>	g.sp.	26	12	3	16
DIP	<i>Tanypodinae</i>	g.sp.	5	39	16	16
COL	<i>Agabus</i>	sp.juv.	3	24	6	43
COL	<i>Agabus</i>	<i>guttatus</i>	2	7		2
COL	<i>Anacaena</i>	<i>globulus</i>	3		3	1
počet jedinců v odběru			1621	923	950	755
počet taxonů v odběru			24	28	20	21

Příloha 4: Abundance makrozoobentosu na referenční lokalitě Pluhův Bor v jednotlivých termínech odběrů (duben 2005, červenec 2005, říjen 2005, červenec 2006).

Pluhův Bor						
Taxon			Datum odběru			
			IV-05	VII-05	X-05	VII-06
TUR	<i>Polycelis</i>	<i>felina</i>	38	66	4	9
MOL	<i>Pisidium</i>	sp.				1
OLI	<i>Enchytraeidae</i>	g.sp.	3	4	17	11
OLI	<i>Lumbriculidae</i>	g.sp.				13
OLI	<i>Stylogrilus</i>	<i>brachystylus</i>				3
EPH	<i>Baetis</i>	<i>alpinus</i>				1
EPH	<i>Baetis</i>	<i>vernus</i>	2	2	4	
EPH	<i>Baetis</i>	<i>rhodani</i>			2	2
EPH	<i>Centroptilum</i>	<i>luteolum</i>	62	59	179	95
EPH	<i>Leptophlebiidae</i>	g.sp.	2	2		
PLE	<i>Nemouridae</i>	g.sp.	20		200	
PLE	<i>Nemoura</i>	sp.juv.		2		
PLE	<i>Nemoura</i>	<i>cambrica</i>		2		
PLE	<i>Nemurella</i>	<i>pictetii</i>	43	4	60	3
PLE	<i>Protonemura</i>	sp.juv.		1		
PLE	<i>Protonemura</i>	<i>auberti</i>		58	6	21
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>nigra</i>	161	307	321	153
HET	<i>Velia</i>	<i>caprai</i>		1		
TRI	<i>Glossosoma</i>	sp. juv.			1	
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	sp.juv.	46	48	92	45
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	<i>conspersa</i>	31	11	9	22
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	cf. <i>geniculata</i>	11	12	4	
TRI	<i>Tinodes</i>	<i>rostocki</i>	1		1	
TRI	<i>Limnephilidae</i>	g.sp.juv.	286	40	5	5
TRI	<i>Allogamus</i>	<i>uncatus</i>		1		
TRI	<i>Chaetopteryx</i>	<i>villosa</i>		4		2
TRI	<i>Potamophylax</i>	<i>nigricornis</i>	2			
TRI	<i>Potamophylax</i>	sp.	2		2	
TRI	<i>Rhyacophila</i>	<i>praemorsa</i>	1			
TRI	<i>Crunoecia</i>	<i>irrorata</i>		1		
TRI	<i>Sericostoma</i>	<i>personatum</i>	11	19	14	10
DIP	<i>Dicranota</i>	sp.	11	42	8	11
DIP	<i>Pedicia (P.)</i>	sp.	1	6	5	6
DIP	<i>Tipula</i>	sp.	1		1	2
DIP	<i>Eloeophila</i>	sp.	3	1	5	5
DIP	<i>Euphyllidorea</i>	sp.				1
DIP	<i>Molophilus</i>	sp.	1			
DIP	cf. <i>Berdeniella</i>	sp.	4		5	
DIP	<i>Dixa</i>	sp.		3	1	3
DIP	<i>Thaumalea</i>	sp.		9		12
DIP	<i>Ceratopogoninae</i>	g.sp.	26	6	28	32
DIP	<i>Atripochogon</i>	sp.				3
DIP	<i>Simulium</i>	sp.	21	54	21	9
DIP	<i>Chelifera</i>	sp.	1		6	
DIP	cf. <i>Dolichopus</i>	sp.			1	
DIP	<i>Scathophagidae</i>	g.sp.				1
DIP	<i>Chironomidae</i>	g.sp. kukly	1	25		31
DIP	<i>Corynoneurinae</i>	g.sp.	41	1		42
DIP	<i>Chironominae</i>	g.sp.	541	692	50	182
DIP	<i>Diamesinae</i>	g.sp.	1	26	1	37
DIP	<i>Orthocladiinae</i>	g.sp.	112	106	38	109
DIP	<i>Tanypodinae</i>	g.sp.	142	253	298	406
COL	<i>Agabus</i>	sp.juv.	1	5		13
COL	<i>Agabus</i>	<i>guttatus</i>	4		2	
COL	<i>Deronectes</i>	<i>platynotus</i>	15	23	17	50
COL	<i>Hydraena</i>	<i>britteni</i>			2	
COL	<i>Hydraena</i>	<i>gracilis</i>	1			
COL	<i>Hydraena</i>	sp.	1		1	1
COL	<i>Limnebius</i>	sp.			2	2
COL	<i>Anacaena</i>	<i>globulus</i>	2		1	2
COL	<i>Elodes</i>	sp.juv.	24	68	40	49
COL	<i>Limnius</i>	<i>perrisi</i>	2		1	
COL	<i>Limnius</i>	sp.	60	12	9	10
počet jedinců v odběru			1739	1976	1464	1415
počet taxonů v odběru			41	37	40	40

Příloha 5: Abundance makrozoobentosu na silně acidifikované lokalitě Jeřice v jednotlivých termínech odběrů (červenec 1999, říjen 1999 a květen 2000).

Jeřice					
Taxon			Datum odběru		
			VII-99	X-99	V-00
TUR	<i>Phagocata</i>	<i>vitta</i>			8
OLI	<i>Enchytraeidae</i>	g.sp.	24	21	57
OLI	<i>Lumbriculidae</i>	g.sp.	36	49	66
OLI	<i>Stylogdrilus</i>	<i>brachystylus</i>	8		1
PLE	<i>Diura</i>	<i>bicaudata</i>	11		
PLE	<i>Nemouridae</i>	g.sp.	14	20	
PLE	<i>Amphinemura</i>	sp. juv.	9		
PLE	<i>Amphinemura</i>	<i>sulcicollis</i>	14		
PLE	<i>Nemoura</i>	sp.	4	9	119
PLE	<i>Nemurella</i>	<i>pictetii</i>	60	87	176
PLE	<i>Protonemura</i>	sp.	38		56
PLE	<i>Capnia</i>	<i>vidua</i>		10	
PLE	<i>Leuctra</i>	sp. juv.	2	1	6
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>major</i>			2
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>nigra</i>	458	350	99
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>pseudocingulata</i>	4		
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>pseudosignifera</i>			3
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	sp. juv.	5	10	7
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	<i>conspersa</i>	35	58	43
TRI	<i>Limnephilidae</i>	g.sp. juv.	1		46
TRI	<i>Pseudopsilopteryx</i>	<i>zimmeri</i>	4		
DIP	<i>Dolichoheza</i>	<i>albipes</i>		1	
DIP	<i>Tipula</i>	sp.		2	
DIP	<i>Tricyphona</i>	sp.	1		
DIP	<i>Dicranota</i>	sp.	20	13	16
DIP	<i>Pedicia</i>	sp.		3	1
DIP	<i>Limoniidae</i>	g.sp.	1		
DIP	<i>Eloeophila</i>	sp.		4	3
DIP	<i>Molophilus</i>	sp.		1	
DIP	<i>Prosimulium</i>	sp.			65
DIP	<i>Simulium</i>	sp.	3		39
DIP	<i>Chelifera</i>	sp.			1
DIP	<i>Wiedemanina</i>	sp.	4	3	7
DIP	<i>Chironomidae</i>	g.sp. kukly	2		5
DIP	<i>Corynoneurinae</i>	g.sp.	19	1	5
DIP	<i>Chironominae</i>	g.sp.	71	3	4
DIP	<i>Orthoclaadiinae</i>	g.sp.	48	37	30
DIP	<i>Tanypodinae</i>	g.sp.	47	53	90
COL	<i>Agabus</i>	sp.	6	2	
počet jedinců v odběru (n)			949	738	955
počet taxonů v odběru (S)			28	22	26

Příloha 6: Abundance makrozoobentosu na referenční lokalitě Jizerka v jednotlivých termínech odběrů (říjen 2004, duben 2005, červenec 2005).

Jizerka					
Taxon			Datum odběru		
			X-04	IV-05	VII-05
NEM	<i>Nematoda</i>	g.sp		1	
OLI	<i>Enchytraeidae</i>	g.sp.	10	6	12
OLI	<i>Lumbriculidae</i>	g.sp.	65	43	50
OLI	<i>Stylogrillus</i>	<i>heringianus</i>	1	31	54
OLI	<i>Tubificidae</i>	g.sp.	5		
HYD	<i>Hydracarina</i>	g.sp.			1
CRU	<i>Niphargus</i>	sp.			1
EPH	<i>Baetis</i>	<i>vernus</i>	1	1	90
EPH	<i>Ameletus</i>	<i>inopinatus</i>	98	113	41
EPH	<i>Siphonurus</i>	<i>lacustris</i>		40	75
PLE	<i>Diura</i>	<i>bicaudata</i>	23	5	23
PLE	<i>Siphonoperla</i>	<i>torrentium</i>	5	2	4
PLE	<i>Brachyptera</i>	<i>seticornis</i>		4	
PLE	<i>Nemouridae</i>	g.sp.	50	150	
PLE	<i>Amphinemura</i>	<i>sulcicollis</i>		35	25
PLE	<i>Amphinemura</i>	sp. juv.			81
PLE	<i>Nemoura</i>	<i>cinerea</i>		3	4
PLE	<i>Nemoura</i>	sp.juv.		5	
PLE	<i>Nemurella</i>	<i>picteti</i>	4	2	46
PLE	<i>Protonemura</i>	sp.juv.	6	5	22
PLE	<i>Protonemura</i>	<i>auberti</i>		61	8
PLE	<i>Protonemura</i>	<i>intricata</i>			10
PLE	<i>Leuctra</i>	sp. juv.	70	109	100
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>nigra</i>	39		
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>inermis</i>		22	
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>hippopus</i>		22	
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>pseudocingulata</i>	15		34
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>digitata</i>			1
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>aurita</i>			2
PLE	<i>Leuctra</i>	<i>teriolensis</i>			10
TRI	<i>Rhyacophila</i>	sk. dorsalis	15	25	11
TRI	<i>Rhyacophila</i>	<i>obliterata</i>	1		
TRI	<i>Rhyacophila</i>	<i>fasciata</i>			1
TRI	<i>Rhyacophila</i>	<i>polonica</i>			7
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	sp. juv.	16	1	5
TRI	<i>Plectrocnemia</i>	<i>conspersa</i>	22	3	6
TRI	<i>Limnephilidae</i>	sp. juv.	13	142	9
TRI	<i>Apatania</i>	<i>fimbriata</i>	12	13	2
TRI	<i>Drusus</i>	sp. juv.	93	98	11
TRI	<i>Drusus</i>	<i>annulatus</i>	3	12	28
TRI	<i>Drusus</i>	<i>discolor</i>	8	11	4
TRI	<i>Allogamus</i>	<i>auricolis</i>		10	
TRI	<i>Allogamus</i>	<i>uncatus</i>			3
TRI	<i>Chaetopterygopsis</i>	<i>maclachlani</i>			26
TRI	<i>Chaetopteryx</i>	<i>villosa</i>	1	9	28
TRI	<i>Potamophylax</i>	sp.		1	
TRI	<i>Pseudopsilopteryx</i>	<i>zimmeri</i>			1
DIP	<i>Dolichozepe</i>	<i>albipes</i>	1		
DIP	<i>Tipula</i>	sp.			1
DIP	<i>Dicranota</i>	sp.	42	22	46
DIP	<i>Pedicia (P.)</i>	sp.		1	1
DIP	<i>Eloeophila</i>	sp.	1		1
DIP	<i>Ceratopogoninae</i>	g.sp.	11		
DIP	<i>Prosimulium</i>	<i>tomosvaryi</i>		5	
DIP	<i>Simulium</i>	sp.	21	11	11
DIP	<i>Tabanidae</i>	g.sp			1
DIP	<i>Wiedemannia</i>	sp.		1	3
DIP	<i>Chironomidae</i>	g.sp. kukly	8		2
CHIR	<i>Coryneurinae</i>	g.sp.	8	18	10
CHIR	<i>Chironominae</i>	g.sp.	57	3	3
CHIR	<i>Orthocladinae</i>	g.sp.	30	22	77
CHIR	<i>Prodiamesinae</i>	g.sp.	78		4
CHIR	<i>Tanypodinae</i>	g.sp.	27	15	32
COL	<i>Agabus</i>	sp. juv.	3		5
COL	<i>Agabus</i>	<i>guttatus</i>		1	
COL	<i>Deronectes</i>	<i>platynotus</i>	2		4
COL	<i>Hydraena</i>	<i>gracilis</i>	1		1
COL	<i>Elodes</i>	sp. juv.	2	2	
COL	<i>Limnius</i>	sp.	4		2
počet jedinců v odběru			872	1086	1040
počet taxonů v odběru			40	42	53

Příloha 7: Kódy taxonů a parametrů prostředí použité při zobrazení výsledků mnohorozměrné analýzy získaných dat.

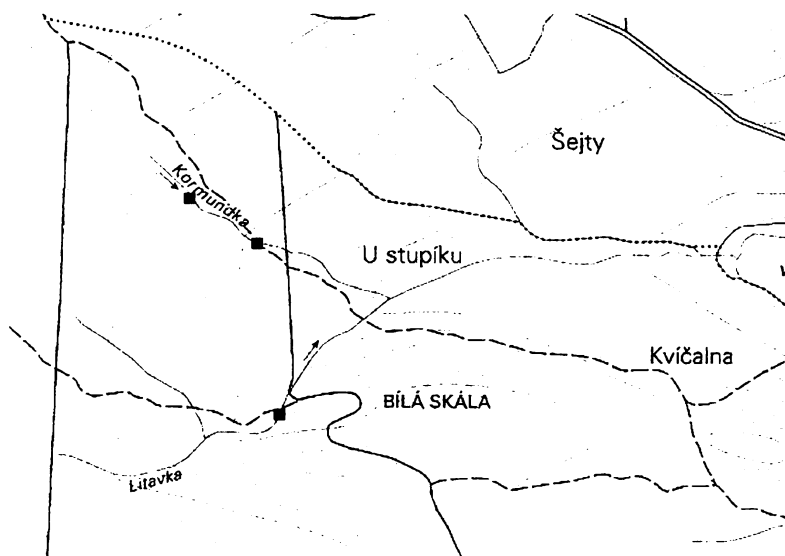
Kódování taxonů

Agab juv = *Agabus* sp.juv., **Allo unc** = *Allogamus uncatatus*, **Amph juv.** = *Amphinemura* sp. juv., **Amph sul** = *Amphinemura sulcicollis*, **Baet ver** = *Baetis vernus*, **Cera~nae** = Ceratopogoninae g.sp., **Chae vil** = *Chaetopteryx villosa*, **Chir~nae** = Chironominae g. sp., **Denroco** = *Dendrocoelum* sp, **Dero pla** = *Deronectes platynotus*, **Dia.nae** = Diamesinae g.sp., **Diur bic** = *Diura bicaudata*, **Doli alb** = *Dolichopeza albipes*, **Drus ann** = *Drusus annulatus*, **Drus juv** = *Drusus* sp. juv., **Ench~dae** = Enchytraeidae g.sp., **Euphylid** = *Euphyllidorea* sp., **Glos~dae** = Glossosomatidae g. sp, **Helodes** = *Elodes* sp., **Hydr gra** = *Hydraena gracilis*, **Jiz~spec** = Nematoda, Tubificidae g.sp., Hydracarina, *Niphargus* sp., *Ameletus inopinatus*, *Siphonurus lacustris*, *Siphonoperla torrentium*, *Brachyptera seticornis*, *Leuctra aurita*, *Leuctra hippopus*, *Leuctra digitata*, *Leuctra inermis*, *Leuctra teriolensis*, *Apatania fimbriata*, *Allogamus auricolis*, *Rhyacophila* gr. vulgaris, *Chaetopterygopsis maclachlani*, *Drusus discolor*, Tabanidae g. sp., Prodiamesinae g. sp., **Leuc juv** = *Leuctra* sp. juv., **Leuc nig** = *Leuctra nigra*, **Leuc psc** = *Leuctra pseudocingulata*, **Limn~dae** = Limnephilidae g.sp.juv., **Limn juv** = *Limnius* sp.juv., **Limo~dae** = Limoniidae g. sp., **Lumb~dae** = Lumbriculidae g.sp., **Nemu pic** = *Nemurella pictetii*, **Plec noc** = *Plectrocnemia conspersa*, **Plec juv** = *Plectrocnemia* sp. juv., **Plu~spec** = *Polycelis felina*, *Baetis rhodani*, *Centroptilum luteolum*, Leptophlebiidae g.sp., *Rhyacophila praemorsa*, *Plectrocnemia* cf. *geniculata*, *Tinodes rostocki*, *Crunoecia irrorata*, *Sericostoma personatum*, *Thaumalea* sp., cf. *Dolichopus* sp., *Hydraena* sp., *Hydraena britteni*, *Limnebius* sp., *Limnius perrisi*, **Potamoph** = *Potamophylax* sp., **Prosimul** = *Prosimulium* sp., **Pseu zim** = *Pseudopsilopteryx zimmeri*, **Psyc~dae** = Psychodidae g. sp., **Rhya pol** = *Rhyacophila polonica*, **Sial ful** = *Sialis fuliginosa*, **Styl her** = *Stylodrilus heringianus*, **Tany~dae** = Tanypodinae g.sp., **Veli cap** = *Velia caprai*, **Wiedeman** = *Wiedemannia* sp.

Kódování parametrů prostředí

As = koncentrace arsenu, **Cd** = koncentrace kadmia, **Cl** = koncentrace chloridů, **Co** = koncentrace kobaltu, **Cu** = koncentrace mědi, **F** = koncentrace fluoridů, **K** = koncentrace draselných iontů, **K25** = specifická vodivost, **Mg** = koncentrace hořečnatých iontů, **Mn** = koncentrace manganu, **Na** = koncentrace iontů sodíku, **NadmVysk** = Nadmořská výška měrného přelivu/místa odběrů vzorků vody, **Ni** = koncentrace niklu, **NO3** = koncentrace dusičnanů, **pH** = pH, **Proud-i** = index proudění, **R-Al** = koncentrace reaktivního hliníku, **SirkaAvg** = Průměrná šířka koryta toku v odběrovém úseku, **SO4** = koncentrace síranů, **TOC** = koncentrace celkového organického uhlíku **VzOdPram** = Vzdálenost od pramene, **ZalLok** = zalesnění lokality, **Zn** = koncentrace zinku.

Příloha 8: Mapová a fotografická dokumentace sledovaných lokalit v Brdech. V mapě je černým čtverečkem vyznačena lokalita Litavka-pravostranný přítok, modrým původní umístění lokality Litavka-hlavní větev (odběry 2005) a červeným současné umístění lokality Litavka-hlavní větev (odběr 2006).



**Litavka-pravostranný přítok,
vyschlé koryto
(červenec 2007)**

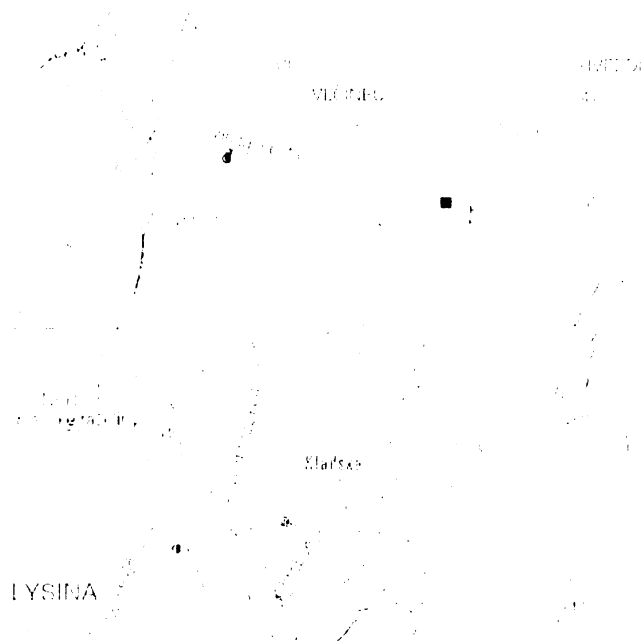


**Litavka-hlavní větev,
původní lokalita po odlesnění
(červenec 2007)**

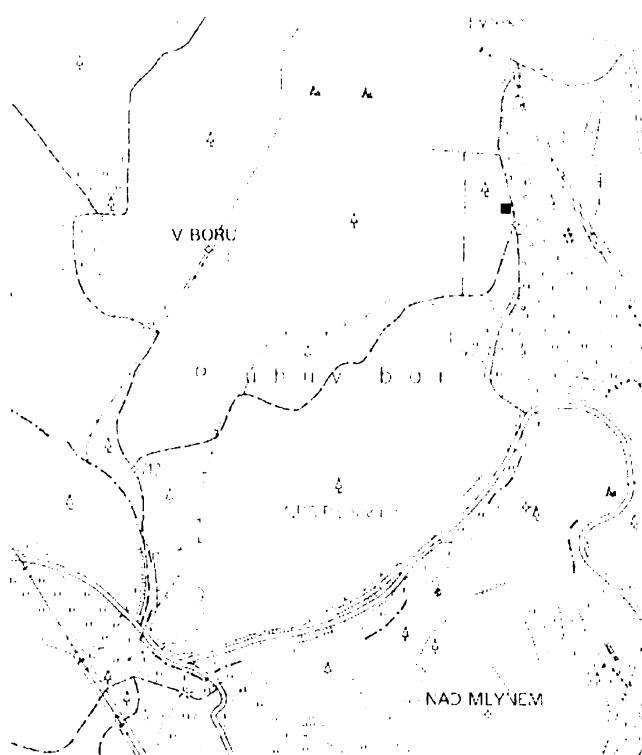


**Litavka-hlavní větev,
měrný přeliv na současné lokalitě
(červenec 2007)**

**Příloha 9: Mapová a fotografická dokumentace sledovaných lokalit ve Slavkovském lese.
Červenými čtverečky je vyznačeno umístění lokality Lysina (horní mapa) a
lokality Pluhův Bor (spodní mapa).**



Lysina (červenec 2007)

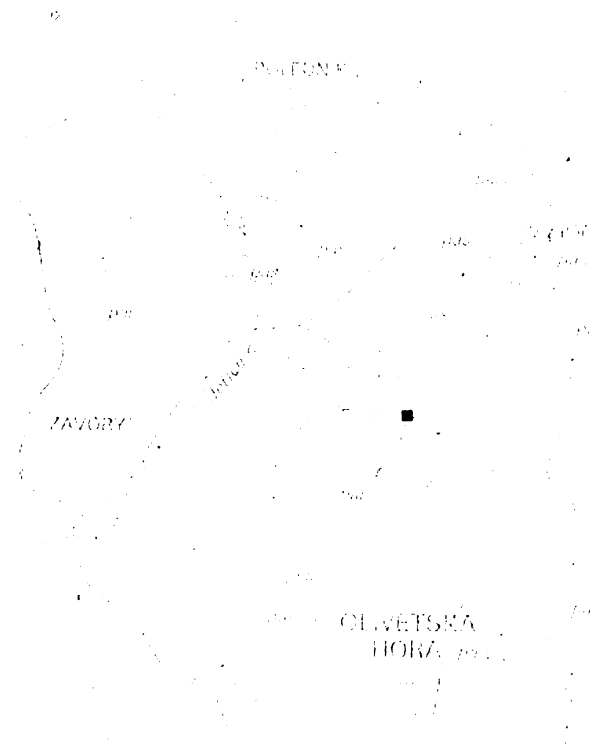


**Pluhův Bor, měrný přeliv
(červenec 2007)**

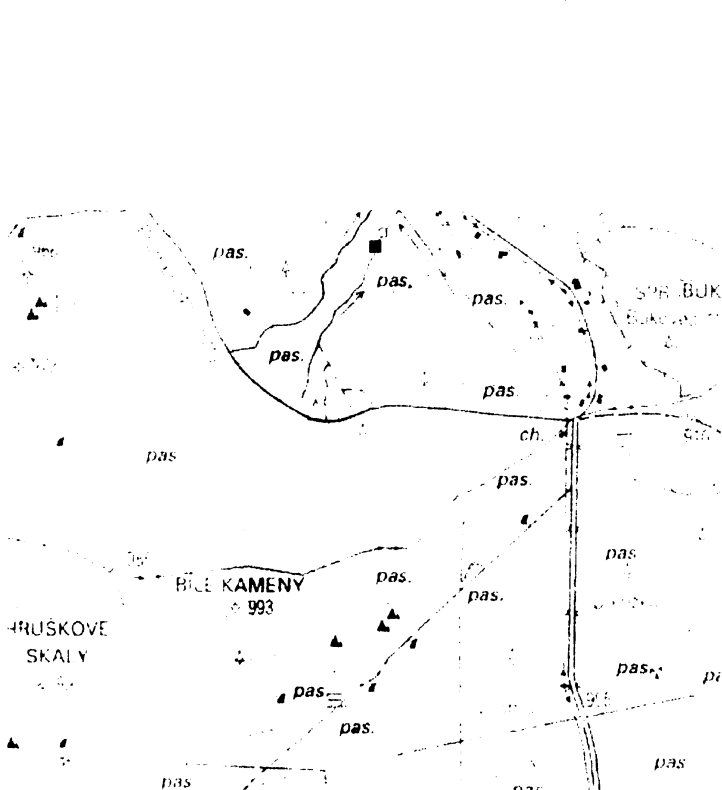


**Pluhův Bor, odběrový úsek
(červenec 2007)**

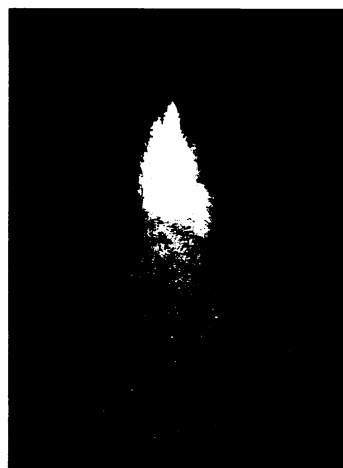
Příloha 10: Mapová a fotografická dokumentace sledovaných lokalit v Jizerských horách. Červenými čtverečky je vyznačeno umístění lokality Jeřice (horní mapa) a lokality Jizerka (spodní mapa).



Jeřice (červenec 2007)



Jizerka, zalesněný úsek (červenec 2007)



Jizerka, nad vzdutím nádržky (červenec 2007)

