

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2010

Luboš Kůra

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra zoologie

**VLIV PARAMETRŮ PROSTŘEDÍ NA RYBÍ
SPOLEČENSTVA TOKŮ POVODÍ LABE A ODRY**

**INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON FISH
ASSEMBLAGES IN STREAMS OF THE ELBE AND ODER BASINS**

LUBOŠ KŮRA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce:

RNDr. MIROSLAV ŠVÁTORA, CSc.

Konzultant:

Mgr. JAN DUŠEK

Praha 2010

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím citované literatury pod vedením RNDr. Miroslava Švátory, CSc.

V Praze dne 2.5. 2010

.....
Luboš Kůra

Rád bych poděkoval všem, kteří se na vzniku této práce jakkoli podíleli. Zvláště bych chtěl poděkovat svému školiteli a vedoucímu práce, RNDr. Miroslavu Švátorovi, CSc. za odborné vedení a pomoc při řešení celé řady problémů při zpracovávání zadané práce. Dále děkuji Mgr. Janu Duškovi za pomoc při formování této práce, obětavou pomoc a trpělivost při bezpočetném množství konzultací a kritické hodnocení dílčích výsledků. Za pomoc při zpracování dat v programu GIS děkuji Mgr. Zdeňkovi Kučerovi. Za cenné rady týkající se mnohorozměrných ordinačních analýz děkuji Mgr. Martinovi Weiserovi.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům nejen za duševní a materiální podporu, ale také za obrovskou dávku trpělivosti.

Vytvoření této práce bylo podpořeno projektem VaV RP MZP SPII2D1/36/07 „Zhodnocení a návrh optimalizace pstruhového hospodaření v ČR ve vztahu k ochraně zvláště chráněných druhů a biodiverzity ve zvláště chráněných územích“.

ABSTRAKT

V povodí Labe a Odry byl zkoumán vliv parametrů prostředí na změny ve struktuře společenstev ryb. Výzkum probíhal na 819 lokalitách, které byly proloveny v období mezi lety 1993 až 2007. Celkem byl testován vliv 46 faktorů získaných z mapy prostřednictvím geografického informačního systému a 10 faktorů získaných přímo z terénu. K hodnocení vlivu těchto faktorů bylo užito nepřímých (*detrended correspondence analysis, DCA*) a přímých (*canonical correspondence analysis, CCA*) mnohorozměrných ordinačních metod. Analýzy byly prováděny s daty o prezenci-absenci i relativní abundanci jednotlivých druhů.

DCA dobře reflektuje změny ve společenstvech v podélném profilu toků. CCA poukazuje na významný vliv regionální a časové variability a vliv jednotlivých faktorů. Z analyzovaných faktorů nejlépe charakterizují společenstva ryb této oblasti vzdálenost lokality od pramene, spád toku, nadmořská výška lokality, zastoupení orné půdy v povodí, počet rybníků v dílčím povodí nad lokalitou, typ rybné vody a teplota vody (jediný z parametrů z terénu). Analyzované faktory lépe vystihují variabilitu společenstev ryb v povodí Odry než v povodí Labe.

Z běžně se vyskytujících druhů se nejbližší k prameni vyskytují siven americký a vranka pruhoploutvá, velice rozdílné ekologické nároky v prostředí horních toků mají siven americký a lipan podhorní. Na zhoršení podmínek v tocích způsobených lidskou činností jsou z původních druhů citliví především mník obecný, střevle potoční, mihule potoční, vranka obecná, vranka pruhoploutvá a pstruh obecný. Problematické je těmito faktory postihnout ekologicky velmi plastické druhy (jelec tloušť a hrouzek obecný) a částečně také pstruha obecného, jehož výskyt je silně ovlivněn vysazováním.

Provedená analýza dobře ukázala praktickou využitelnost zpracování informací z rozsáhlého vzorku dat z ichtyologických průzkumů. Díky nástrojům GIS a využití statistických metod je možné charakterizovat základní ekologické nároky většiny druhů a blíže specifikovat podmínky, které určují složení konkrétních rybích společenstev.

ABSTRACT

The effects of environmental parameters on changes in the structure of fish assemblages were studied in the Elbe and the Odra river basin. Research was done at 819 sites that were surveyed in the field during the period between 1993 and 2007. The impact of 46 factors derived from the maps through a geographic information system was tested as well as the impact of 10 factors recognized in the field. To evaluate the influence of these factors the indirect (Detrended Correspondence Analysis, DCA) and direct (Canonical Correspondence Analysis, CCA) multivariate cluster analysis were used. Analyses were performed with data on presence-absence and relative abundance of each species.

DCA well reflects changes in assemblages in the longitudinal profile of streams. CCA refers to a significant influence of regional and temporal variability and influence of individual factors. The fish assemblages are best characterized by the analyzed factors of distance from the source location, stream slope, altitude of locality, representation of arable land in the basin, number of ponds in the sub-basin above the locality, type of waters (salmonid or cyprinid), and water temperature (the only of the parameters of the field). The analyzed factors better reflect the variability in fish assemblages of the Odra river basin than of the Elbe river basin.

The Arctic char and the Alpine bullhead represent the species commonly occurring closest to the source, very different ecological requirements in upper streams are typical for the Arctic char and the Grayling. The deteriorating conditions in streams caused by human activity have important impacts on species as the Burbot, the Eurasian minnow, the Brook lamprey, the Bullhead, the Alpine bullhead and the Brown trout. The problem is to describe ecological requirements of ecologically very plastic species (like the Chub and the Gudgeon) and partly the Brown trout whose presence is strongly influenced by fishery management.

The analysis showed good practical efficiency of processing information from a large sample of data from ichthyological surveys. The tools of GIS and the use of statistical methods make possible to characterize basic ecological requirements of most species and specify conditions determining specific composition of fish assemblages.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	9
1. ÚVOD	13
2. METODIKA	16
2.1 Studovaná oblast.....	16
2.2 Sběr dat.....	17
2.2.1 Zdroje faunistických údajů.....	17
2.2.2 Ověřování sporných dat	18
2.2.3 Zpracování nálezů.....	19
2.3 Proměnné prostředí.....	21
2.3.1 Proměnné prostředí získané z mapy.....	21
2.3.2 Proměnné prostředí získané z terénu.....	25
2.4 Statistické zpracování.....	25
2.4.1 Úprava základních dat.....	26
2.4.2 Mnohorozměrné statistické metody.....	26
3. VÝSLEDKY	30
3.1 Vztahy jednotlivých parametrů prostředí	30
3.2 Vliv parametrů prostředí na rybí společenstva malých a středních toků povodí Labe a Odry.....	32
3.2.1 Analýza parametrů získaných z mapy na základě dat o presenci-absenci jednotlivých druhů.....	32
3.2.1.1 Struktura rybích společenstev (DCA).....	33
3.2.1.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (CCA)...	35
3.2.1.2.1 Časová variabilita.....	35
3.2.1.2.2 Regionální variabilita.....	36
3.2.1.2.3 Testování vlivu časové a regionální variability současně.....	38
3.2.1.2.4 Maximální variabilita parametrů z mapy.....	38
3.2.1.2.5 Variabilita parametrů z mapy po odstranění časové variability.....	41
3.2.1.2.6 Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální variability.....	44
3.2.1.2.7 Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální i časové variability.....	46

3.2.2	Analýza parametrů získaných z mapy na základě dat o relativní abundanci.....	49
3.2.2.1	Struktura rybích společenstev (DCA).....	50
3.2.2.2	Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (CCA)...	51
3.2.2.2.1	Časová variabilita.....	51
3.2.2.2.2	Regionální variabilita.....	52
3.2.2.2.3	Testování vlivu časové a regionální variability současně.....	54
3.2.2.2.4	Maximální variabilita parametrů z mapy.....	55
3.2.2.2.5	Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální i časové variability.....	57
3.2.3	Analýza parametrů získaných z mapy i z terénu a jejich srovnání.....	60
3.2.3.1	Struktura rybích společenstev (DCA).....	60
3.2.3.2	Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (CCA)...	60
3.3	Vliv parametrů prostředí získaných z mapy na rybí společenstva toků povodí Labe.....	66
3.3.1	Struktura rybích společenstev (DCA).....	67
3.3.2	Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (CCA).....	68
3.4	Vliv parametrů prostředí získaných z mapy na rybí společenstva toků povodí Odry.....	71
3.4.1	Struktura rybích společenstev (DCA).....	72
3.4.2	Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (CCA).....	74
3.5	Významné parametry prostředí v závislosti na umístění lokalit v podélném profilu toku.....	76
3.5.1	Lokality do 5 kilometrů od pramene.....	76
3.5.1.1	Struktura rybích společenstev (DCA).....	76
3.5.1.2	Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (CCA)...	76
3.5.2	Lokality nad 15 kilometrů od pramene.....	81
3.5.2.1	Struktura rybích společenstev (DCA).....	81
3.5.2.2	Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (CCA)...	82
4.	DISKUZE	86
4.1	Diskuze použitých metodik.....	86
4.2	Diskuze výsledků.....	88

5. SOUHRN.....	
102	
6. SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY.....	105
7. PŘÍLOHY.....	
114	

SEZNAM ZKRATEK*Zkratky použitých mnohorozměrných analýz*

CCA	canonical correspondence analysis
DCA	detrended correspondence analysis
PCA	principal component analysis

Zkratky parametrů

DPN_CIST	přítomnost čistíren odpadních vod v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_LESP	relativní zastoupení lesů v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_LESR	rozloha lesů v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_LOUP	relativní zastoupení luk v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_LOUR	rozloha luk v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_OBCE	počet obcí v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_ORNP	relativní zastoupení orné půdy v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_ORNR	rozloha orné půdy v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_RASE	rozloha rašelinišť v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_ROZL	rozloha dílčího povodí nad lokalitou
DPN_RYBN	počet rybníků v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_SRAZ	roční srážkový průměr v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_TEPM	průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce v dílčím povodí nad lokalitou
DPN_TEPP	průměrná roční teplota v dílčím povodí nad lokalitou
DPP_JEZ	přítomnost jezů na toku pod lokalitou
KAPR/LOS	typ rybné vody
L_CHU	chráněné území v místě lokality
L_NADM_V	nadmožská výška lokality
L_OBC	obec v místě lokality přítomna
L_RAD_T	řád toku
L_SRAZK	roční srážkový průměr v místě lokality
L_TEPLM	průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce v místě lokality
L_TEPLP	průměrná roční teplota v místě lokality
L1 – L14	jednotlivá dílčí povodí I. řádu v povodí Labe viz Obr. 1

NV_PRAM	nadmožská výška pramene
NV_SOUT	nadmožská výška soutoku
O1 – O4	jednotlivá dílčí povodí I. řádu v povodí Odry viz Obr. 1
PN_CIST	přítomnost čističek odpadních vod v povodí nad lokalitou
PN_LESYP	relativní zastoupení lesů v povodí nad lokalitou
PN_LESYR	rozloha lesů v povodí nad lokalitou
PN_LOUKP	relativní zastoupení luk v povodí nad lokalitou
PN_LOUKR	rozloha luk v povodí nad lokalitou
PN_OBCEP	počet obcí v povodí nad lokalitou
PN_ORNAP	relativní zastoupení orné půdy v povodí nad lokalitou
PN_ORNAR	rozloha orné půdy v povodí nad lokalitou
PN_RASEL	rozloha rašelinišť v povodí nad lokalitou
PN_ROZLO	rozloha povodí nad lokalitou
PN_RYBN	počet rybníků v povodí nad lokalitou
PN_SRAZK	roční srážkový průměr v povodí nad lokalitou
PN_TEPLM	průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce v povodí nad lokalitou
PN_TEPLP	průměrná roční teplota v povodí nad lokalitou
PN_ZASTR	rozloha zastavěné plochy v povodí nad lokalitou
PP_PRECH	přítomnost rybích přechodů na toku pod lokalitou
PP_ROZLO	rozloha dílčího povodí pod lokalitou
RAD_SOUT	vliv toku vyššího řádu
REG_VAR	regionální variabilita
REGUL	regulace toku
SPAD	spád toku
V_KAPR	kaprová voda
V_LOSOS	lososová voda
VZDAL_PR	vzdálenost pramene
VZDAL_S	vzdálenost soutoku

Zkratky ryb

<i>Abbr</i>	cejn velký (<i>Abramis brama</i>)
<i>Alal</i>	ouklej obecná (<i>Alburnus alburnus</i>)
<i>Albi</i>	ouklejka pruhovaná (<i>Alburnoides bipunctatus</i>)
<i>Anan</i>	úhoř říční (<i>Anguila anguila</i>)

Asas	bolen dravý (<i>Aspius aspius</i>)
Baba	parma obecná (<i>Barbus barbus</i>)
Blbj	cejnek malý (<i>Abramis bjoerkna</i>)
Caca	karas obecný (<i>Carassius carassius</i>)
Cagi	karas stříbřitý (<i>Carassius auratus</i>)
Cogo	vranka obecná (<i>Cottus gobio</i>)
Copo	vranka pruhoploutvá (<i>Cottus poecilopus</i>)
Ctid	amur bílý (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)
Cyca	kapr obecný (<i>Cyprinus carpio</i>)
Eslu	štika obecná (<i>Esox lucius</i>)
Gogo	hrouzek obecný (<i>Gobio gobio</i>)
Gyce	ježdík obecný (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)
Chona	ostroretka stěhovavá (<i>Chondrostoma nasus</i>)
Lapl	mihule potoční (<i>Lampetra planeri</i>)
Lece	jelec tloušť (<i>Squalius cephalu</i>)
Lede	slunka stříbřitá (<i>Leucaspis delineatus</i>)
Leid	jelec jesen (<i>Leuciscus idus</i>)
Lele	jelec proudník (<i>Leuciscus leuciscus</i>)
Lolo	mník jednovousý (<i>Lota lota</i>)
Noba	mřenka mramorovaná (<i>Barbatula barbatula</i>)
Onmy	pstruh duhový (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
Pefl	okoun říční (<i>Perca fluviatilis</i>)
Phph	střevle potoční (<i>Phoxinus phoxinus</i>)
Pspa	střevlička východní (<i>Pseudorasbora parva</i>)
Rhse	hořavka duhová (<i>Rhodeus amarus</i>)
Ruru	plotice obecná (<i>Rutilus rutilus</i>)
Safo	siven americký (<i>Salvelinus fontinalis</i>)
Satr	pstruh obecný (<i>Salmo trutta</i>)
Scer	perlín ostrobřichý (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)
Sigl	sumec velký (<i>Silurus glanis</i>)
Stlu	candát obecný (<i>Sander lucioperca</i>)
Thth	lipan podhorní (<i>Thymalus thymalus</i>)
Titi	lín obecný (<i>Tinca tinca</i>)
Vivi	podoustev říční (<i>Vimba vimba</i>)

Ostatní

ČR	Česká republika
AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny ČR
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
VÚV	Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M.
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZM 10	Základní mapa České republiky 1:10 000

1. ÚVOD

Porozumět vztahům mezi organismy a životním prostředím je základním úkolem ekologie. Životní prostředí pak můžeme chápat jako soubor nepřeborného množství environmentálních faktorů, které svým působením vytvářejí podmínky pro život organismů. Změna těchto podmínek je dána na jedné straně přirozenými procesy probíhajícími v krajině, na stranu druhou jsou však také velice silně ovlivňovány lidskou činností. Ta je pak většinou zodpovědná za ztrátu biodiversity ekosystémů (Abell 2002). Informace o přírodě blízkých ekosystémech jsou stále častěji užívány k hodnocení kvality životního prostředí (Angermeier et Davideanu, 2004). Jednou z nejvíce ohrožených skupin živočichů lidskou činností jsou sladkovodní ryby (Darwall et Vie, 2005), a to díky své vysoké citlivosti ke změnám vodního prostředí (Oberdorff et al., 2002; Laffaille et al., 2005). Díky této vlastnosti jsou často užívány jako bioindikátory k odhalení míry narušení životního prostředí říčních systémů (Karr, 1981; Oberdorff et al., 2002; Chovanec et al., 2003; Lasne et al., 2007). Jedním z ukazatelů narušených podmínek v toku může být například přítomnost nepůvodních druhů ryb. Přítomnost společenstev, kde se nepůvodní druhy nevyskytují, poukazují na oblasti s nenarušenými podmínkami (Manchester et Bulloc, 2000), naproti tomu místa s vysokou frekvencí těchto druhů poukazují na změnu podmínek (Bergerot et al., 2008).

Zastoupení jednotlivých druhů ve společenstvech se mění v závislosti na změnách v podélném profilu toků. Směrem od pramene se také zvyšuje počet jednotlivých druhů ryb (Ibanez et al., 2007). To je dáno zvyšováním heterogenity podmínek prostředí v toku směrem po proudu (Gue´gan et al., 1998). Tyto podmínky pak mohou být využity větším počtem druhů (Oberdorff et al., 1993). Podle přítomných druhů ryb tak lze toky velice dobře charakterizovat. O tuto charakterizaci se u nás jako první pokusil již v 19. století Frič (1872), kdy toky rozdělil na rybí pásma a ta pojmenoval podle dominantních druhů ryb. Do podoby, jak rybí pásma známe dnes (pásma pstruhové, lipanové, parmové a cejnové ve směru od pramene), byla pak upravena Heutem (1959). Na to, že hranice mezi jednotlivými pásmy nejsou striktní, že se tedy jednotlivá pásma překrývají a obměna druhů v podélném profilu je pozvolná, poukazují studie mnoha autorů. Na prvním místě je nutné zmínit publikaci Vannotte et al. (1980), kde autor na základě postupné změny morfologie, kvality vody a zastoupení jednotlivých druhů ryb formuloval myšlenku říčního kontinua (river continuum concept). Z dalších autorů pak například Verneaux et al. (2003).

Vztahy mezi druhy a prostředím je možné posuzovat na třech úrovních (Reichard et al., 2002). Na úrovni mikrohabitatu jsou zkoumány parametry prostředí získané přímo z místa ulovení ryby. Mezi tyto parametry patří například hloubka toku, rychlost proudění, přítomnost úkrytů nebo relativní zastoupení jednotlivých typů substrátu (Daněk, 2008). Na úrovni mezohabitatu se parametry vztahují k určitému úseku toku a popisují například zastoupení tůní a proudných úseků (Aadland, 1993), typ břehového porostu, zastínění toku (Moravec, 2002).

Konečně na úrovni makrohabitatu pak lze zkoumat parametry vztahující se k celému toku, případně k oblasti celého povodí. Zájem o pochopení, jak tyto regionální parametry ovlivňují lokální společenstva, v posledních desítkách let značně vzrostl. Nemalou měrou se na tom podílel vývoj a stále zdokonalování geografických informačních systémů (GIS). Tyto systémy jsou schopny na základě počítačových analýz mapových vrstev získat nepřehledné množství informací o celém povodí. Získávání tohoto typu informací bylo do té doby velice problematické, zdlouhavé a v některých případech nebylo ani možné. Přesnost informací získaných pomocí GIS je omezena měřítkem použitých map. Mezi analyzované parametry prostředí na úrovni makrohabitatů, u kterých byl prokázán jejich vliv na strukturu společenstev ryb v tocích po celém světě, patří například plocha povodí, vzdálenost lokality od pramene a soutoku, spád toku, teplota vzduchu, množství srážek, množství rybníků a obcí v povodí (Paller, 1994; Lyons, 1996; Mastrotillo et al., 1998; Argent et al., 2003; Walters et al., 2003; Humpl, 2004; Schmutz et al., 2007; Walters et al., 2009 a další). Velká pozornost je také věnována parametrům udávajícím zastoupení jednotlivých typů krajiny, jako například zastoupení lesů, luk, zastavěné plochy a intenzivně obhospodařované zemědělské půdy v povodí (Richards et Host, 1994; Allan et al., 1997; Wang et al., 2001; Sutherland et al., 2002; Walton et al., 2007 a další.). Vliv těchto parametrů na společenstva je velice významný a odráží negativní vlivy lidské činnosti. Tyto parametry ovlivňují lokální společenstva nepřímo, svým působením na kvalitu vody (Wang et al., 2003), rychlost proudění nebo zastoupení jednotlivých typů substrátu v toku.

Ke zjišťování složitých vztahů mezi společenstvy organizmů a velkým množstvím nezávislých environmentálních proměnným prostředí a jejich vizualizaci je vhodné užití mnohorozměrných statistických metod (Lepš et Šmilauer, 2000; Ter Braak et Šmilauer, 2002)

Cílem této práce je analyzovat rybí společenstva toků povodí Labe a Odry a pomocí nepřímých a přímých mnohorozměrných metod gradientové analýzy postihnout, jakým způsobem ovlivňuje tato společenstva regionální a časová variabilita a jak se na variabilitě společenstev podílí vybrané environmentální faktory. Práce byla zaměřena především na environmentální faktory, které je možné získat prostřednictvím mapových vrstev geografického informačního systému.

Analýzou bylo prověřeno:

- jaký je vliv těchto faktorů na rybí společenstva v rámci celého studovaného území prostřednictvím 819 lokalit
- zda se liší vliv těchto faktorů na společenstva povodí Labe od společenstev povodí Odry
- jakým způsobem se mění vliv parametrů prostředí na společenstva v závislosti na umístění těchto společenstev v podélném profilu toku
- jaká je schopnost postihnout změnu ve společenstvech na takto rozsáhlém území pomocí parametrů získaných v terénu ve srovnání s parametry získanými prostřednictvím mapových vrstev geografického informačního systému.

2. METODIKA

2.1 Studovaná oblast

Data o druhovém složení rybích společenstev, která byla použita v této práci, pochází z malých a středně velkých toků povodí Labe a Odry na území České republiky. Jde o oblast o celkové rozloze 57 217 km².

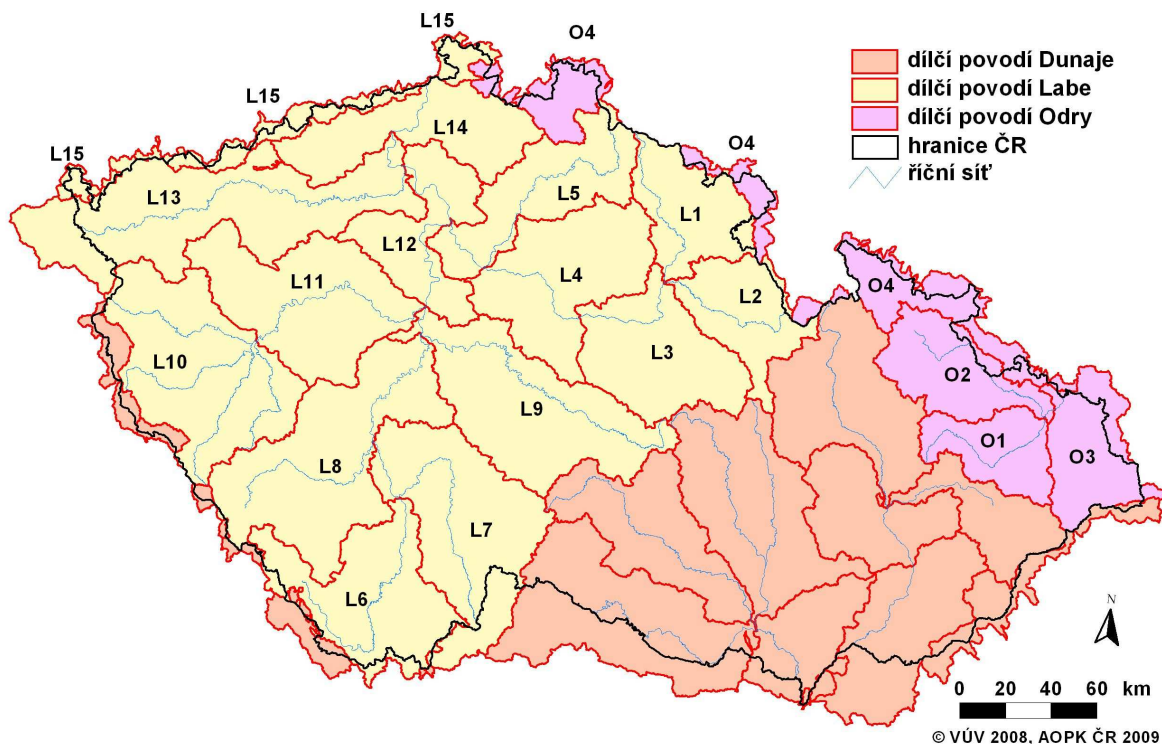
Labe pramení na Labské louce v Krkonoších v nadmořské výšce 1384 m a opouští státní území v Hřensku v nadmořské výšce 115 m (Vlček et al., 1984). Protéká Čechami k Hřensku, Severoněmeckou nížinou a ústí estuárem do Severního moře v Hamburku. Celková plocha povodí činí 144 055 km², z toho v ČR 51 391 km², což je 65,2 % plochy státu. Celková délka toku 1 154 km, z toho v ČR 370,2 km. Průměrný průtok na státní hranici je 308 m³ · s⁻¹ (Štefáček, 2008).

Odra pramení v Oderských vrších v ČR severozápadně od obce Kozlov v nadmořské výšce 632 m. Nejnižší položeným místem na našem území je její soutok s Olší na hranici s Polskem ve výšce 196 m n. m. Dále protéká Polskem a na dolním toku před ústím do Štětínského zálivu a Baltského moře tvoří v délce 187 km německo – polskou hranici. Celková plocha povodí činí 118 600 km², z toho na území ČR 5 826 km², což je 7,4 % plochy státu.

Celé povodí Labe na území ČR lze rozdělit na čtrnáct hlavních dílčích povodí. V případě Odry na čtyři. Jde o takzvaná dílčí povodí I. řádu. Tohoto členění bylo v této práci využito při testování vlivu regionální variability na rybí společenstva. V rámci Labe jde o tato dílčí povodí: 1. horní tok Labe po soutok s Orlicí, 2. povodí Orlice, 3. střední část Labe od soutoku s Orlicí po soutok Labe s Doubravou (Loučná, Chrudimka, Doubrava) 4. střední Labe od soutoku s Doubravou po soutok s Jizerou, 5. střední Labe od soutoku s Jizerou po soutok s Vltavou (povodí Jizery), 6. horní Vltavu po soutok s Lužnicí, 7. povodí Lužnice, 8. povodí Otavy a střední Vltava po soutok se Sázavou, 9. povodí Sázavy, 10. povodí Úhlavy, Úslavy, Radbuzy a Mže po jejich soutok, 11. Berounku a Střelu, 12. dolní část Labe od soutoku s Vltavou po soutok s Ohří, 13. povodí Ohře, 14. dolní část Labe od soutoku s Ohří po Hřensko s hlavními přítoky Ploučnicí a Bílinou.

V rámci Odry jde o tato dílčí povodí: 1. horní část Odry po soutok s Opavou, 2. Odra od soutoku s Opavou po soutok s Ostravicí + celé povodí Opavy, 3. povodí Olše a Ostravice, 4. do tohoto dílčího povodí je kromě povodí Bělé a Osoblahy nacházející se na severní Moravě přiřazeno také povodí Lužické Nisy a Smědé ve Frýdlantském výběžku

a také povodí Stěnavy v oblasti Broumova v Čechách. Členění daného území na jednotlivá povodí ukazuje Obr. 1.



Obr. 1: Hydrologické členění povodí Labe a Odry na dílčí povodí I. řádu, použité k analýzám vlivu regionální variability.

2.2 Sběr dat

2.2 Zdroje faunistických údajů

Faunistická data, která byla použita v této práci, byla shromažďována za období mezi roky 1993 a 2007. Pro přípravu databáze popisující variabilitu druhového složení rybích společenstev z jednotlivých lokalit byly použity následující zdroje:

- primární data
- nepublikované údaje ze závěrečných zpráv ichtyologických průzkumů
- publikované údaje.

Jednalo se o primární data poskytnutá RNDr. Miroslavem Švátorou, CSc. z Katedry zoologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze – 220 lokalit, primární data poskytnutá Agenturou ochrany přírody a krajiny (dále AOPK) – 162 lokalit, primární data poskytnutá Zemědělskou vodohospodářskou správou prostřednictvím Mgr. Pavla Bartůška

– 50 lokalit, dále data ve vlastnictví AOPK, která byla získávána v rámci dílčích úkolů grantu VaV 610/10/00 – 152 lokalit. Dále jsem použil záznamy o rybích společenstvech z některých publikovaných prací (Bula et Pokorný, 2001; Hartvich et al., 1998; Horáček et Kurfürst, 2004; Humpl et al., 2003; Kurfürst et al., 1998; Kurfürst et al., 2005; Lojkásek et al., 2000; Lojkásek et al., 2001; Lojkásek et al., 2004; Lohniský, 2000; Loyka et Bosák, 1999; Lusk et al., 1996; Lusk et al., 1999; Matěnová, 2002a; Matěnová, 2002b; Matěnová et Matěna, 2004; Pokorný et al., 1998; Prášek et Jurajda, 1996a; Prášek et Jurajda, 1996b; Spurný et al., 2006; Švátora et al., 1998; Švátora, 2000; Švátora et al., 2006a; Švátora et al., 2006b; Vlach et Fischer, 2007) – 235 lokalit.

Celkem jsem měl k dispozici údaje z 819 lokalit 375 toků z území České republiky. Z tohoto počtu patřilo 612 lokalit z 277 toků k povodí Labe a 207 lokalit z 98 toků k povodí Odry. V období 1993–1997 bylo proloveno 79 lokalit, 1998–2002 420 lokalit a 2003–2007 320 lokalit.

Každá lokalita obsahovala informace o přítomnosti jednotlivých rybích druhů, názvu toku, poloze vlastní lokality a délce proloveného úseku. Přesné datum odlovu bylo známo u převážné většiny lokalit. Jen u některých se podařilo zjistit pouze rok odlovu. Část dat obsahovala kromě výše uvedených informací také relativní zastoupení jednotlivých druhů (694 lokalit), typ substrátu, teplotu, vodivost a pH. Data byla shromažďována zkušenými ichtology, toky byly prolovovány tak, aby byly zjištěny všechny druhy. Ryby byly loveny elektrickým agregátem. U velkého množství lokalit byl v daném období proveden více než jeden odlov. V takovém případě byly do databáze zahrnuty informace pouze z odlovu s nejvyšším počtem doložených druhů ryb. Tím jsem se snažil zabránit relativnímu zvyšování váhy informací z často prolovovaných lokalit ve statistických analýzách, ke kterému by docházelo v případech několikanásobného zahrnutí stejných lokalit jen vícekrát prolovených.

2.2.2 Ověřování sporných dat

Během přípravy databáze byla kritickým problémem eliminace zjevných chyb, které se objevovaly v primárních datech, ale také v publikovaných i nepublikovaných pramenech. Z dalšího zpracování byly vyloučeny lokality se zjevnými omyly, řádně nepotvrzené nálezy vzácnějších druhů a nepravděpodobné nálezy z hlediska biotopu či daného povodí. Například přítomnost pstruha mořského (*Salmo trutta trutta*), který patří k vymizelým prvkům naší ichtyofauny (Baruš et Oliva, 1995a).

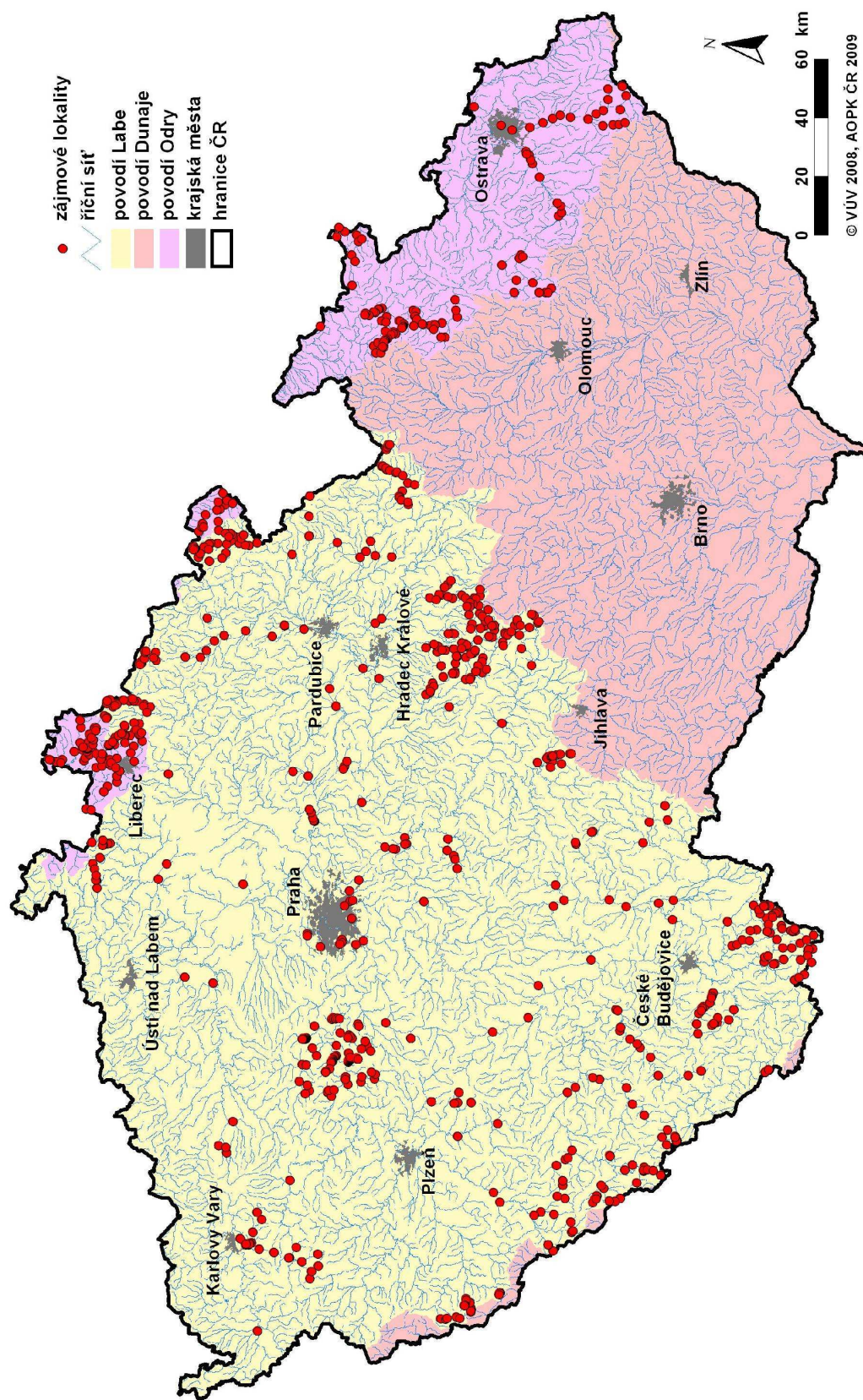
2.2.3 Zpracování nálezů

Aby bylo možné použít informace z míst odlovů, bylo nutné prostřednictvím počítačového programu lokality zakreslit nad mapovým podkladem o dostatečném rozlišení.

Před zakreslením lokalit bylo nutné zaměřit přesnou polohu lovného místa na mapovém podkladu. Jelikož data zde použitá nebyla původně shromažďována za účelem této práce a nebylo tedy počítáno s nutností následného přesného zákresu do mapy, byl popis lokalizace jednotlivých míst odlovů značně rozdílný a nebylo vždy jednoduché danou lokalitu najít. O nemalé množství lokalit jsem tak bohužel přišel, protože nebylo možné přesnou lokalizaci určit a danou lokalitu zakreslit, aniž by hrozilo následné zkreslení výsledků.

K digitalizaci lokalit byl použit software ArcView 3.3 od firmy ESRI. Lovná místa byla lokalizována nad rastrovým podkladem ZABAGED v měřítku 1 : 10 000. Data byla získána od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK). Pokud byla daná lokalita zaměřena pomocí souřadnicového systému GPS lovnou skupinou přímo v terénu, byl její zákres velice jednoduchý. Bohužel tyto informace byly známy jen asi u 10 % lokalit. Pro zaměření přesné polohy ostatních lokalit bylo kromě podkladové Základní mapy v měřítku 1 : 10 000 využito též Základní vodohospodářské mapy ČR v měřítku 1 : 50 000 a Ortofoto mapy v měřítku 1 : 10 000. Dále byl použit Velký atlas rybářských revírů (Geodézie ČS, 2003), turistická mapa Šumava – Železnorudsko (Kartografie Praha, 2000a) a turistická mapa Jizerské hory (Kartografie Praha, 2000b), obě mapy v měřítku 1 : 50 000. Pokud ani tyto prostředky nevedly k přesnému určení polohy, bylo nutné kontaktovat lovcího a požádat ho o upřesnění místa lovu. Pokud to nebylo možné, byla lokalita vyřazena.

Samotné lokality byly na mapový podklad znázorněny ve formě bodů. Body byly umístěny do středu proloveného místa. Každému bodu byl přiřazen jedinečný kód pro jednoznačnou identifikaci lokality a tabulka s prokázanými druhy. Takto se mi podařilo přesně zakreslit 819 lokalit viz Zdroje faunistických údajů, 3. odstavec. Mapa se všemi zakreslenými lokalitami je znázorněna na Obr. 2.



Obr. 2: Poloha 819 analyzovaných lokalit povodí Labe a Odry

2.3 Proměnné prostředí

2.3.1 Proměnné prostředí získané z mapy

Údaje o environmentálních faktorech (nezávisle proměnné prediktory) k doplnění informací o jednotlivých lokalitách byly získány pomocí geografického informačního systému. Mapové vrstvy, které byly za tímto účelem použity, byly z velké části poskytnuty Agenturou ochrany přírody a krajiny, dále také Českým hydrometeorologickým ústavem a některé byly získány z Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka prostřednictvím jejich internetových stránek (<http://heis.vuv.cz>), kde jsou tyto vrstvy volně ke stažení.

Na začátku byla shromážděna data o těchto environmentálních faktorech z mapy:

1. nadmořská výška lokality (m n. m.)
2. nadmořská výška pramene (m n. m.)
3. nadmořská výška soutoku (m n. m.)
4. vzdálenost pramene (km)
5. vzdálenost soutoku (km)
6. řád toku (1–7)
7. spád toku (%)
8. vliv toku vyššího řádu (1 – 8)
9. průměrná roční teplota v místě lokality (°C)
10. průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce v místě lokality (°C)
11. roční srážkový průměr v místě lokality (mm/m²)
12. obec v místě lokality přítomna (1) / nepřítomna (0)
13. chráněné území v místě lokality ano (1) / ne (0)
14. typ rybné vody – (lososová / kaprová)
15. rozloha dílčího povodí nad lokalitou (ha)
16. přítomnost čistíren odpadních vod v dílčím povodí nad lokalitou ano (1) / ne (0)
17. počet obcí v dílčím povodí nad lokalitou (n)
18. počet rybníků v dílčím povodí nad lokalitou (n)
19. průměrná roční teplota v dílčím povodí nad lokalitou (°C)
20. průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce v dílčím povodí nad lokalitou (°C)
21. roční srážkový průměr v dílčím povodí nad lokalitou (mm/m²)
22. rozloha lesů v dílčím povodí nad lokalitou (ha)
23. rozloha luk v dílčím povodí nad lokalitou (ha)

24. rozloha orné půdy v dílčím povodí nad lokalitou (ha)
25. rozloha rašelinišť v dílčím povodí nad lokalitou (ha)
26. relativní zastoupení lesů v dílčím povodí nad lokalitou (%)
27. relativní zastoupení luk v dílčím povodí nad lokalitou (%)
28. relativní zastoupení orné půdy v dílčím povodí nad lokalitou (%)
29. rozloha povodí nad lokalitou (ha)
30. přítomnost čistíren odpadních vod v povodí nad lokalitou ano (1) / ne (0)
31. počet obcí v povodí nad lokalitou (n)
32. počet rybníků v povodí nad lokalitou (n)
33. průměrná roční teplota v povodí nad lokalitou (°C)
34. průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce v povodí nad lokalitou (°C)
35. roční srážkový průměr v povodí nad lokalitou (mm/m²)
36. rozloha lesů v povodí nad lokalitou (ha)
37. rozloha zastavěné plochy v povodí nad lokalitou (ha)
38. rozloha luk v povodí nad lokalitou (ha)
39. rozloha orné půdy v povodí nad lokalitou (ha)
40. rozloha rašelinišť v povodí nad lokalitou (ha)
41. relativní zastoupení lesů v povodí (%)
42. relativní zastoupení luk v povodí (%)
43. relativní zastoupení orné půdy v povodí (%)
44. rozloha dílčího povodí pod lokalitou (ha)
45. přítomnost jezů na toku pod lokalitou ano (1) / ne (0)
46. přítomnost rybích přechodů na toku pod lokalitou ano (1) / ne (0).

Povodí nad lokalitou zahrnuje celou spádovou oblast k místu odlovu. Dílčí povodí byla stanovena z mapové vrstvy dílčích povodí IV. řádu a jedná se o povodí části toku mezi dvěma přítoky.

Doplnění k některým parametrům

Nadmořské výšky (v m n.m.) byly zjišťovány s přesností na 5 m. Vzdálenost lokality od soutoku a od pramene byla zjištěna v kilometrech s přesností 1 m.

Řád toku – řádem toku rozumíme číslování přítoků v rámci celého povodí. Dříve bylo v našich podmínkách užíváno hodnocení řádu od ústí do moře vzestupně směrem k pramenům (Hanel et Lusk, 2005). V dnešní době se používá sestupné číslování toků od

pramene směrem k ústí dle Strahlera (1952), kdy se řád toku vždy zvyšuje na soutoku toků stejného řádu. Naše toky je pak možné očíslovat na stupnici 1–7. Tohoto číslování jsem využil v této práci.

Spád toku – původně byl ke zjišťování spádu použit výškový model reliéfu vytvořený z vrstevnic po 10 m, analýza byla vyhotovena v programu ArcView 3.3 pomocí nadstavby Spatial analyst ArcGIS Desktop. Stejný výškový model reliéfu použil při zjišťování spádu toku také McCleary et Hassan (2008). V našem případě se ovšem ukázalo, že hodnoty nebyly dostatečně přesné. Spád toku byl tedy dopočítán individuálně pro každou lokalitu. Pomocí mapy s vrstevnicemi po 2 metrech byly na toku nalezeny dva body. Šlo o nejbližší místa na toku nad a pod lokalitou, kde tok protínala vrstevnice a kde tedy bylo možné přesně určit nadmořskou výšku. Následně byl úsek toku ohraničený těmito body změřen a ze zjištěné délky a rozdílu nadmořských výšek byl spád dopočítán v procentech.

Průměrné teploty a srážky – pro tyto proměnné jsem měl k dispozici mapové vrstvy pro jednotlivé roky 1998–2007, které obsahovaly plošné údaje o průměrných ročních teplotách, průměrných teplotách nejteplejšího měsíce v roce a průměrných ročních srážkách pro území celé České republiky. Díky tomu bylo možné tyto parametry určit jak v místě lokality, tak pro celou oblast dílčího i celého povodí nad lokalitou. Protože údaje o rybích společenstvech v této práci pocházely z období 1993–2007 a údaje o teplotách a srážkách nepokrývaly celé toto období, byly použity průměrné hodnoty těchto parametrů za období 1998–2007 u všech lokalit bez ohledu na rok odlovu. Srážky byly udávány v jednotkách mm/m², teploty ve °C.

Typ rybne vody (lososová/kaprová) – vyhlášení lososových a kaprových vod v členských státech Evropské unie je dáno směrnicí Rady 78/659/EHS z 18. července 1978, O jakosti sladkých povrchových vod vyžadujících ochranu nebo zlepšení za účelem podpory života ryb. Česká republika je legislativně vymezuje Nařízením vlády č. 71/2003 Sb. O stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod. Pro vymezení jednotlivých vod byl využit model členění toků podle Strahlera a podle reálného výskytu signálních druhů. Horní hranice vod lososových je vymezena výskytem pstruha potočního (*Salmo trutta*) a spodní hranici určuje přirozená reprodukce lipana podhorního (*Thymallus thymallus*). S výjimkou drobných přeshraničních toků a výrazně modifikovaných úseků zahrnují toky České republiky od 3. řádu (podle Strahlera) výše. V některých úsecích byly s ohledem na území Natura 2000 vyhlášeny i toky 1. a 2. řádu. Celkem bylo vyhlášeno 174 lososových a 131 kaprových vod v místech, kde žijí nebo by

mohly žít ryby a jiní vodní živočichové (http://www.mzp.cz/cz/ochrana_vod). Mapová vrstva dělicí toky České republiky na vody kaprové a lososové je dostupná na stránkách Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka.

K analýze velikosti povodí, řádu toku a délky toku nad a pod místem lovu v daném dílčím povodí byla použita vektorová data VÚV T. G. Masaryka z projektu DIBAVOD (www.dibavod.cz). Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) je pracovní označení návrhu katalogu typů objektů jako tématické vodohospodářské nadstavby ZABAGED. Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) je referenční geografická databáze vytvořená primárně z odpovídajících vrstev ZABAGED a cílově určená pro tvorbu tématických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vod nad Základní mapou ČR 1:10 000, resp. 1: 50 000, a dále pro prostorové analýzy v prostředí geografických informačních systémů. Vybrané datové vrstvy objektů DIBAVOD jsou poskytovány zdarma ke stažení ve formátu ESRI shapefile.

Procentuelní zastoupení jednotlivých krajinných typů bylo zpracováno analýzou vektorových dat ZABAGED, data byla získána od ČUZK. ZABAGED je digitální geografický model území České republiky, který svou přesností a podrobností zobrazení geografické reality odpovídá přesnosti a podrobnosti Základní mapy České republiky v měřítku 1 : 10 000 (ZM 10). Obsah ZABAGED tvoří 106 typů geografických objektů zobrazených v databázi vektorovým polohopisem a příslušnými popisnými a kvalitativními atributy. ZABAGED obsahuje informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu a prvcích terénního reliéfu. Součástí ZABAGED jsou i vybrané údaje o geodetických, výškových a tíhových bodech na území České republiky a výškopis reprezentovaný prostorovým 3D souborem vrstevnic (www.cuzk.cz).

K výpočtu průměrné teploty a průměrných srážek v jednotlivých letech byla použita data ČHMÚ. Spád toku, nadmořská výška a přítomnost rybích přechodů v povodí byly vypočteny z dat AOPK ČR. Analýza výskytu zvláště chráněných území v jednotlivých dílčích povodích byla zpracována s použitím dat Ústředního seznamu ochrany přírody AOPK ČR.

K jednotlivým analýzám byl využit software od firmy ESRI, konkrétně ArcView 3.3 a ArcGIS Desktop (ArcInfo 9.2). Data byla zpracována pomocí funkcí geoprocessing (intersect, union), průměrná teplota a srážky byly vypočteny metodou interpolace.

2.3.2 Proměnné prostředí získané z terénu

Kromě faktorů prostředí získaných z mapových vrstev, které bylo možné stanovit pro všech 819 lokalit, jsem se snažil jako doplňující informaci získat také maximum proměnných měřených v terénu, které byly popsány jednotlivými lovci v primárních datech nebo v publikacích. Z takových proměnných byly vybrány ty, které byly známy společně pro větší počet lokalit.

Takto získané environmentální faktory:

1. substrát
2. teplota vody (°C)
3. vodivost ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-2}$).
4. pH
5. regulace toku ano (1) / ne (0).

U parametru substrát se bohužel u většiny záznamů jednalo pouze o hodnocení přítomnosti a nepřítomnosti typů substrátu a ne o jejich relativním zastoupení, a proto byla hodnocena pouze přítomnost (1) / nepřítomnost (0) typů substrátu. Aby bylo možné srovnávat údaje o typech substrátu ze všech těchto lokalit, které byly zpracovávány různými ichtyology. Byla zvolena následná kategorizace:

- bahno (náplav)
- hlína (jíl)
- písek
- štěrk
- kameny
- balvany.

Všechny tyto parametry z terénu byly známy pro 127 lokalit.

2.4 Statistické zpracování

Pro základní práci s daty byl používán program Microsoft Office Excel 2003. Pomocí tohoto programu byla získaná data transformována do tabulkové podoby a mohly být prováděny pomocné výpočty a jednodušší orientační analýzy. Také některé výsledky byly graficky znázorněny pomocí tohoto programu. Data v podobě tabulek byla následně

exportována a statistické analýzy byly prováděny převážně v programu CANOCO for Windows Version 4.5.

Ke zjištění vztahů mezi jednotlivými nezávisle proměnnými byl vzhledem k nenormálnímu rozdělení zvolen Spearmanův korelační koeficient namísto Pearsonova korelačního koeficientu. Samotné korelační matice byly spočteny v programu R. K určení nejsilněji korelovaných faktorů prostředí byla také spočtena PCA (principal component analysis) v programu CANOCO.

2.4.1 Úprava základních dat

Za účelem použitelnosti mých dat ve statistických metodách bylo nutné tato data upravit. V záznamech o výskytu druhů na jednotlivých lokalitách byla přítomnost jednotlivých druhů zaznamenána formou: přítomen (1) / nepřítomen (0). Tato informace byla známa pro všech 819 lokalit. U 694 lokalit se podařilo zjistit i informace o relativní abundanci jednotlivých druhů na lokalitách. Hodnoty relativní abundance byly u některých dat známy přímo (převážná část lokalit získaných z dostupné literatury), u zbývajících lokalit byly dopočteny z informací o počtu ulovených jedinců jednotlivých druhů na dané lokalitě (převážná část lokalit získaných formou primárních dat). Hodnoty byly zaznamenány v procentech.

2.4.2 Mnohorozměrné statistické metody

Vzhledem k struktuře dat a k otázkám, které jsem se snažil zodpovědět, byly základní statistickou metodou užitou v této práci mnohorozměrné statistické metody (*Multivariate ordination methods*). Jde o metody, které jsou schopny zhodnotit a popsat vzájemné vztahy mezi společenstvy i uvnitř těchto společenstev. Zahrnují analýzy vazeb mezi jednotlivými druhy, hodnotí distribuci druhů v rámci habitatů a vztah druhů ke stanovištím, tokům nebo povodím, ale i změny druhového složení v čase (McGarigal et al., 2000).

Existuje celá řada analytických a klasifikačních mnohorozměrných technik (shluková analýza) a řada metod označovaných jako ordinační techniky. Mezi ordinační techniky patří například *Principal components analysis* (PCA), *Detrended correspondence analysis* (DCA), *Redundancy analysis* (RDA) a *Canonical correspondence analysis* (CCA).

Mnohorozměrné ordinační metody (metody gradientové analýzy) fungují tak, že se velké množství původních proměnných (v tomto případě druhů) nahradí malým množstvím nových proměnných (těm se pak říká osy, hlavní osy nebo hlavní komponenty).

Gradientové metody využívají vzájemných korelací původních proměnných (lineární nebo

jiné), tyto pak umožňují původní proměnné nahradit jen několika málo proměnnými, které jsou mezi sebou navzájem nekorelované (Herben et Münzbergová, 2003).

Podle očekávaného chování druhů k parametrům prostředí můžeme ordinační metody rozdělit na metody lineární a metody unimodální. U lineárních metod očekáváme, že druh bude mít maximum výskytu při maximální nebo minimální hladině proměnné prostředí, zatímco u unimodální lze očekávat maximum výskytu kdekoli.

Podle toho, jakým způsobem metoda popisuje vliv řídicí environmentální proměnné, tyto metody dělíme na přímé a nepřímé. Nepřímé metody popisují vliv řídicí environmentální proměnné nepřímo pouze na základě vztahu s ostatními druhy ve společenstvu (metoda tedy pracuje pouze s daty o druhovém složení). Přímé metody pak zkoumají vliv nezávisle proměnných (faktorů prostředí) na závisle proměnných (tedy například na výskytu druhů ve společenstvu). Přímá ordinační (gradientová) analýza tak nehledá nejsilnější směry variability v datech jako nepřímá gradientová analýza. Místo toho hledá ty směry variability, které jsou korelovány s předem vybranými environmentálními faktory.

V této práci byly použity následující gradientové analýzy: PCA analýza byla použita pro grafické znázornění závislostí mezi jednotlivými parametry prostředí. DCA analýza byla použita pro určení délky nejdelšího gradientu v datech, zároveň také jako reference pro posuzování kanonických zobrazení. Určení délky gradientu bylo použito jako kritérium pro volbu mezi lineárními a unimodálními metodami mnohorozměrné analýzy. Při délkách nejdelších gradientů pod 3 je vhodné použití lineárních technik, zatímco při délkách nejdelšího gradientu nad 4 je vhodnější použití unimodálních technik (Lepš et Šmilauer, 2000). Při délkách mezi 3 a 4 lze použít lineárních i unimodálních technik. Jelikož v mém případě hodnoty délky gradientu přesahovaly hodnotu 4, byla v této práci pro samotné hodnocení vlivů parametrů prostředí na druhovou variabilitu ve společenstvech použita v několika obměnách CCA analýza.

Principal components analysis (PCA) je nepřímá lineární metoda gradientové analýzy (lineární obdoba DCA). Stejně jako ostatní metody gradientové analýzy i tato nahrazuje velký počet původních mezi sebou korelujících proměnných několika náhradními nekorelovanými proměnnými (hlavní osy). Několik hlavních os opět vysvětluje největší podíl variability druhového složení souboru. Ordinační osy PCA jsou vytvářeny pouze na základě druhového složení datového souboru. V grafickém znázornění PCA analýzy jsou druhy zobrazeny jako šipky. Podle úhlu, který spolu jednotlivé šipky svírají, lze určit

vzájemné korelace mezi druhy. Pokud jsou šipky navzájem kolmé, je korelace nulová. Naopak čím je úhel, který spolu dvě šipky svírají ostřejší, tím je korelace silnější. V této práci nebylo PCA použito pro stanovení vztahů mezi druhy, ale pouze pro zjištění informací o korelaci jednotlivých faktorů prostředí. Jedná se o stejnou analýzu pouze s tím rozdílem, že místo souboru s druhy se použije soubor s proměnnými (pak je nutné použít standardizace dat pře proměnné a ne přes druhy) a grafický výstup této analýzy lze pak analogicky interpretovat jako u druhového složení (Herben et Můnzbegová, 2003).

Detrended correspondence analysis (DCA) je tzv. „neomezená“ unimodální metoda nepřímé gradientové analýzy (unimodální obdoba PCA). Jako neomezená je označována z toho důvodu, že by měla vypovídat o všech potencionálních gradientech prostředí. Stejně jako u PCA jsou hlavní osy tvořeny pouze na základě výskytu jednotlivých druhů a jejich mezidruhových vztahů. DCA je označována jako jedna z nejrobustnějších metod (McGarigal et al. 2000). Je proto často používána z ordinačních metod při analýze jako první. Jeden z hlavních důvodů je i to, že délka nejdelšího gradientu v DCA vypovídá o celkové heterogenitě datového souboru. Toho se využívá při rozhodování, zda užít lineárních nebo unimodálních metod. Jak již bylo uvedeno výše, v případě délky gradientu nad hodnotu 4 by se měla pro samotnou analýzu dat použít některá z přímých nebo nepřímých unimodálních technik. Při grafickém znázornění DCA jsou druhy zobrazeny jako samostatné body. Vzájemná poloha jednotlivých bodů vůči sobě navzájem udává, jsou-li schopny tyto druhy žít v podobných podmínkách, respektive na stejných lokalitách. Čím se dané druhy v grafu vyskytují blíže u sebe, tím je i v reálných podmínkách vyšší pravděpodobnost, že tyto druhy nalezneme na stejné lokalitě. Naproti tomu druhy, které jsou v grafu od sebe značně vzdáleny, na stejné lokalitě s největší pravděpodobností nepotkáme, protože mají tendence se vyskytovat v různých typech prostředí. Mimo informace o vzájemném vztahu mezi druhy DCA tyto druhy promítá i v závislosti na nejdůležitějších gradientech. První osa udává směr největší variability v druhovém složení. V této práci byla metoda DCA použita za účelem určení délky gradientu a grafického znázornění vzájemných vztahů mezi jednotlivými druhy ryb.

Canonical correspondence analysis (CCA) je nucená ordinační metoda přímé gradientové analýzy. Jako nucená je označována z toho důvodu, že smí zohledňovat pouze ty směry variability v datech, které jsou závislé na námi zvolených environmentálních faktorech. Nezohledňuje tedy veškeré gradienty. Ordinační osy CCA jsou vytvářeny na základě jak

druhového složení, tak těch environmentálních faktorů, které vysvětlují nejvíce variability ve společenstvech druhů (ter Braak et Šminauer, 2002). V grafickém znázornění jsou druhy zobrazeny stejně jako v DCA formou jednotlivých bodů. Proměnné prostředí mohou být zobrazeny buď formou šipek nebo formou bodů. Záleží na typu proměnné. Spojité environmentální faktory jsou znázorněny formou šipek. Délka a směr šipek určuje relativní význam jednotlivých parametrů prostředí a jejich vliv na strukturu společenstva. Úhly mezi jednotlivými šipkami udávají vzájemnou závislost těchto parametrů. Pokud jsou šipky navzájem kolmé, je korelace nulová. Naopak čím je úhel, který spolu dvě šipky svírají ostřejší, tím je korelace silnější. Kategoriální proměnné jsou znázorněny formou bodů. Nejsilnější vliv má tento parametr právě v místě, ve kterém se v diagramu nachází. Tento vliv se se vzdáleností od tohoto bodu všemi směry snižuje.

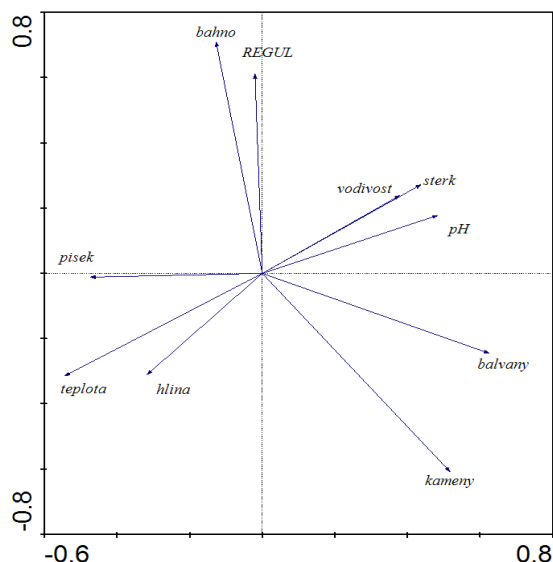
V parciálních analýzách je v CCA možné testovat čistý vliv jednotlivých environmentálních faktorů. Vliv ostatních proměnných je pak nutné odstranit formou kovariát. K určení průkaznosti ordinačních os i vlivu jednotlivých environmentálních faktorů se používá Monte Carlo permutačních test integrovaný v programu CANOCO vždy minimálně s 499 permutacemi.

3. VÝSLEDKY

3.1 Vztahy jednotlivých parametrů prostředí

Vztahy mezi jednotlivými environmentálními faktory byly určeny nejprve vizuálně pomocí Principal corespondence analysis (PCA). Jednotlivé parametry prostředí jsou znázorněny pomocí šipek. Hodnota parametru narůstá ve směru šipky. Šipky proměnných jdoucí stejným směrem, nebo svírající ostrý úhel signalizují pozitivní korelaci, tupý úhel nebo úhel blízký se hodnotě 180° poukazuje na negativní korelaci. Pravý úhel (nebo úhel pravému se blízký) udává nekorelovanost parametrů prostředí. V průběhu zadávání PCA byla použita standardizace, což je nutné, neboť proměnné mají různé jednotky. Následně byla velikost korelací stanovena pomocí matice Spearmanových korelačních koeficientů.

V prvním diagramu PCA analýzy (Obr.3) jsou znázorněny všechny proměnné získané z mapy. Tato analýza byla provedena na souboru všech 819 lokalit obou povodí. První dvě osy vysvětlují 39,7 % variability. První osa samostatně vysvětluje 25,1 %, druhá osa dalších 14,5 %. Červeně jsou znázorněny proměnné, které jsem v dalších analýzách již nepoužíval. Tyto čtyři parametry silně korelují s ostatními parametry. Jedná se o parametry L_SRAZK (průměrný roční srážkový úhrn v místě lokality) a DPN_SRAZ (stejná proměnná pro oblast dílčího povodí). Tyto parametry silně korelovaly se stejnou proměnnou týkající se celého povodí nad lokalitou – PN_STRAZK. Jejich hodnoty korelačního koeficientu jsou pro L_SRAZK 0,933 a pro DPN_SRAZ 0,955. Stejně tak parametry DPN_TEPP (průměrná roční teplota v dílčím povodí nad lokalitou) a DPN_TEPM (průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce v dílčím povodí nad lokalitou), které nejvíce korelují se stejnými parametry v místě lokality L_TEPLP (průměrná roční teplota lokality) respektive L_TEPLM (průměrná teplota nejteplejšího měsíce v roce na lokalitě). Hodnoty korelačních koeficientů mezi těmito dvojicemi parametrů jsou pro DPN_TEPP 0,966 a pro DPN_TEPM 0,957. I když je patrné, že některé z dalších parametrů také velice silně korelují, byly vyřazovány až v analýzách CCA. Chtěl jsem totiž zjistit maximální hodnotu variability vysvětlenou těmito faktory samostatně. V analýzách CCA si můžeme použít těchto korelovaných dvojic parametrů dovolit, protože v rámci přímé gradientové analýzy je u použitých environmentálních faktorů možné ověřit hodnotu „inflation faktoru“ (IF), která také naznačuje míru vzájemné korelace mezi jednotlivými faktory (environmentální faktory s hodnotou $IF > 10$ byly z analýz vypouštěny) (ter Braak et Šmilauer, 2002). V Příloze 4 jsou znázorněny matice



Obr. 4: Výsledný ordinační diagram PCA analýzy znázorňuje vztahy mezi 10 environmentálními proměnnými získanými z terénu vztahujícími se k 127 lokalitám toků povodí Labe a Odry. První osa 18,6 %, druhá osa 16,5 %.

3.2 Vliv parametrů prostředí na rybí společenstva malých a středních toků povodí Labe a Odry

V této části diplomové práce byl hodnocen vliv parametrů prostředí na rybí společenstva obou povodí současně. Zajímala mě maximální variabilita vysvětlená všemi dostupnými parametry prostředí z mapy, dále také vliv časové variability jelikož data byla sbírána za období 15 let a v neposlední řadě vliv regionální variability. Vzájemné vztahy rybích druhů byly hodnoceny na základě informací o prezenci-absenci a následně na základě informací o relativní abundanci jednotlivých druhů.

K hodnocení rybích společenstev v povodí Labe a Odry byla použita data z 819 lokalit 375 toků. Z tohoto počtu patřilo 612 lokalit z 277 toků k povodí Labe a 207 lokalit z 98 toků k povodí Odry. Všechny lokality se nacházely ve vzdálenosti do 100 km od pramene. Data byla získávána za období mezi roky 1993 a 2007. V období 1993–1997 bylo proloveno 79 lokalit, 1998–2002 420 lokalit a 2003–2007 320 lokalit.

3.2.1 Analýza parametrů získaných z mapy na základě dat o prezenci-absenci jednotlivých druhů

Data o prezenci-absenci jednotlivých druhů ryb byla známa ze všech 819 lokalit. Celkem jsem na těchto lokalitách potvrdil výskyt 46 druhů ryb. Z toho 44 druhů se vyskytovalo v povodí Labe (tedy všechny kromě vranky pruhoploutvé, která se v tomto povodí

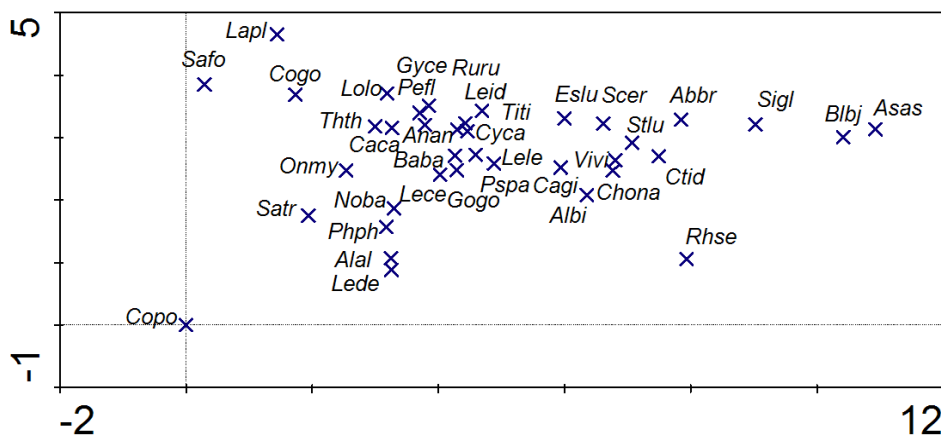
nevyskytuje a ouklejky pruhované) a 30 druhů v povodí Odry. Do analýz byly zahrnuty druhy s frekvencí výskytu nad 0,5 %. Mezi druhy s frekvencí výskytu pod touto hranicí patřily losos obecný (*Salmo salar*), hrouzek běloploutvý (*Romanogobio albipinnatus*)¹, tolstolobik bílý (*Hypophthalmichthys molitrix*), sekavec (*Cobitis sp.*), piskoř pruhovaný (*Misgurnus fosillius*), sumeček americký (*Ictalurus nebulosus*), koljuška tříostná (*Gasterosteus aculeatus*) a slunečnice pestrá (*Lepomis gibbosus*). Ze zbývajících 38 druhů má frekvenci výskytu větší než 5 % 18 druhů. Mezi tyto druhy patří mihule potoční (*Lampetra planeri*), pstruh obecný (*Salmo trutta*), siven americký (*Salvelinus fontinalis*), lipan podhorní (*Thymalus thymalus*), štika obecná (*Esox lucius*), plotice obecná (*Rutilus rutilus*), jelec proudník (*Leuciscus leuciscus*), jelec tloušť (*Squalius cephalus*), střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*), střevlička východní (*Pseudorasbora parva*), hrouzek obecný (*Gobio gobio*), ouklej obecná (*Alburnus alburnus*), mřenka mramorovaná (*Barbatula barbatula*), úhoř říční (*Anguilla anguilla*), mník jednovousý (*Lota lota*), okoun říční (*Perca fluviatilis*), vranka obecná (*Cottus gobio*) a vranka pruhoploutvá (*Cottus poecilopus*)
 Frekvenci výskytu nenáhodných druhů udává Obr. I v Příloze 1.

3.2.1.1 Struktura rybích společenstev (nepřímá gradientová analýza, DCA)

K hodnocení struktury rybích společenstev byla použita *Detrended correspondence analysis* (DCA). Tato neomezená unimodální metoda nepřímé gradientové analýzy pracuje s informacemi o jednotlivých druzích a vztazích mezi nimi. Hlavní osy jsou pak tvořeny právě pouze na základě mezidruhových vztahů a udávají maximální možnou variabilitu vysvětlenou závislými proměnnými. DCA je označována jako jedna z nejrobustnějších metod (McGarigal et al., 2000). O celkové heterogenitě datového souboru vypovídá délka nejdelšího gradientu v DCA.

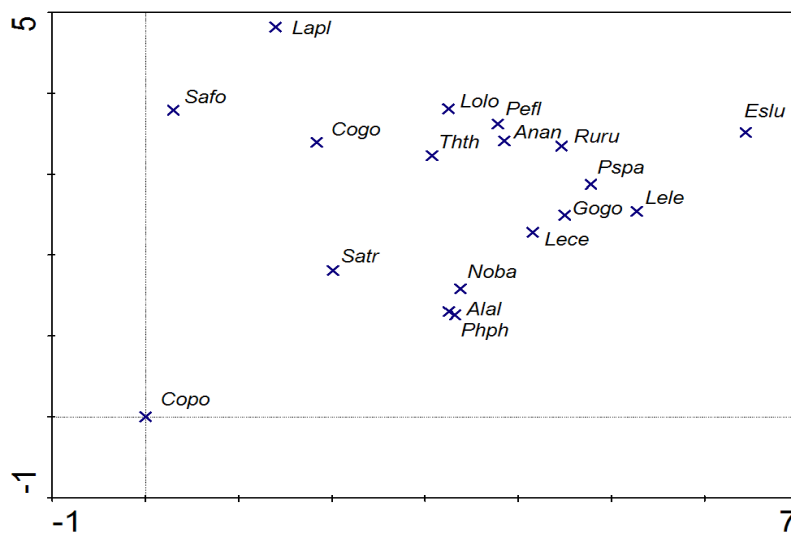
V DCA analýze byla nejprve použita data o prezenci-absenci 38 druhů ryb s frekvencí výskytu nad 0,5 %. Ordinační diagram DCA analýzy je na Obr. 5. Nejsilnější směry variability v datech jsou popsány pomocí prvních dvou os v ordinačním diagramu DCA. Tyto osy vysvětlují společně 21,5 % z celkové variability v datech. První osa vysvětluje samostatně 14,3 % variability, druhá osa pak 7,2 %. Druhy jsou v ordinačním diagramu zobrazeny jako body, reprezentující jejich ekologická optima na daných gradientech.

¹ Taxonomie rodu *Romanogobio* dosud není dořešena. Podle některých pramenů se tento druh na českém území nevyskytuje (Kottelat et Freyhof, 2007).



Obr. 5: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 38 druhů (s frekvencí výskytu nad 0,5 %) z 819 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 14,3 %, druhá osa 7,2 %.

V následující analýze byla použita pouze data o prezenci-absenci druhů s nenáhodným výskytem (frekvence výskytu ≥ 5 %). Tuto podmínku splňovalo v souboru dat 18 druhů ryb. V tomto případě lze pomocí nepřímé ordinační metody DCA vysvětlit prostřednictvím prvních dvou os ordinačního diagramu 25,3 % variability. První osa samostatně vysvětlí 17 % variability, druhá osa pak dalších 8,3 % variability (Obr. 6).



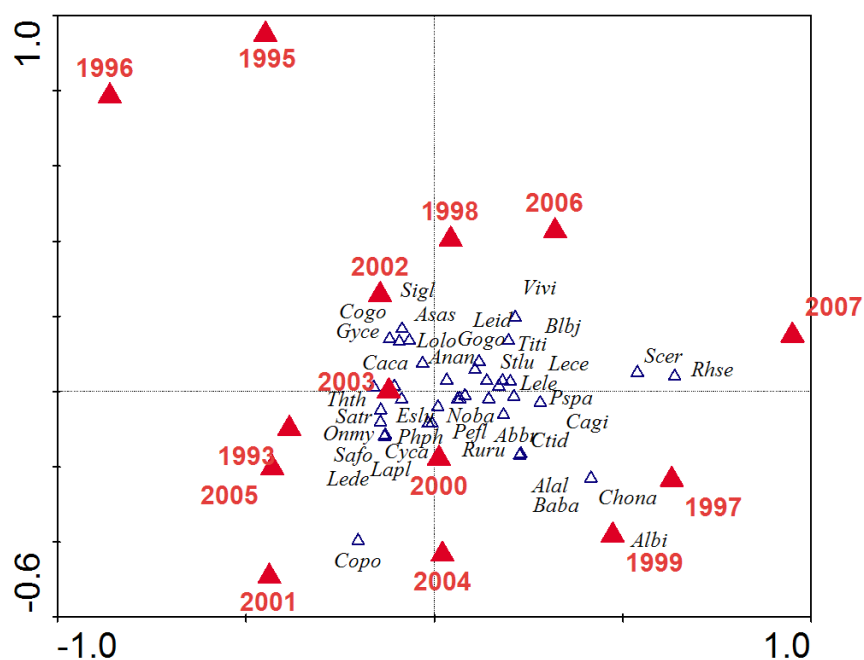
Obr. 6: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 819 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 17 %, druhá osa 8,3 %.

3.2.1.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (přímá gradientová analýza, CCA)

Po analýzách DCA byly prováděny analýzy CCA. Jedná se o přímé gradientové analýzy, které hledají ty největší gradienty v druhových datech, které jsou nejlépe korelovány se zvolenými prediktory. Nezohledňují tedy veškeré směry variability v datech ale jen ty, které jsou dány právě takovými prediktory, které chceme testovat. V grafickém znázornění jsou druhy zobrazeny stejně jako v DCA formou jednotlivých bodů. Proměnné prostředí mohou být zobrazeny buď formou šipek nebo formou bodů. Záleží na typu proměnné. Spojité environmentální faktory jsou znázorněny formou šipek. Délka a směr šipek určuje relativní význam jednotlivých parametrů prostředí a jejich vliv na strukturu společenstva. Úhly mezi jednotlivými šipkami udávají vzájemnou závislost těchto parametrů. Pokud jsou šipky navzájem kolmé, je korelace nulová. Naopak čím je úhel, který spolu dvě šipky svírají ostřejší, tím je korelace silnější. Kategoriaální proměnné jsou znázorněny formou bodů. Nejsilnější vliv má tento parametr právě v místě, ve kterém se v diagramu nachází. Tento vliv se se vzdáleností od tohoto bodu všemi směry snižuje. Pomocí parciálních analýz jsem následně v CCA testoval čistý vliv jednotlivých proměnných prostředí. Vliv ostatních proměnných byl odstraněn formou kovariát.

3.2.1.2.1 Časová variabilita

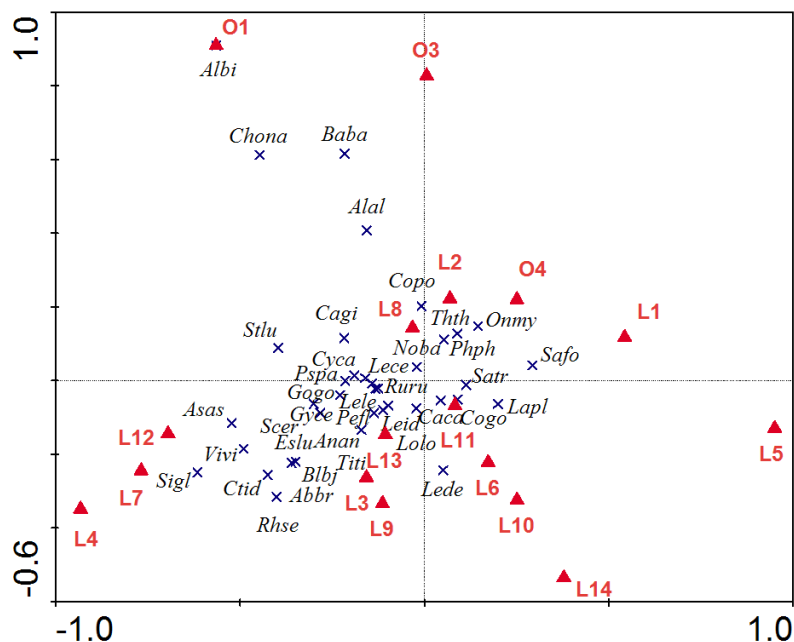
Pomocí parciální analýzy CCA byl potvrzen průkazný vliv časové variability na druhové složení ryb mezi roky 1993 až 2007. Jednotlivé roky jako nezávislé proměnné jsou v tomto případě schopny vysvětlit 6,6 % z celkové druhové variability. Výsledek analýzy byl signifikantní $P = 0,002$. Vztah mezi druhy a jednotlivými roky znázorňuje ordinační diagram Obr.7.



Obr. 7: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv časové variability jednotlivých roků za období mezi lety 1993–2007 na souboru dat o prezenci-absenci 38 druhů (s frekvencí výskytu nad 0,5 %) z 819 lokalit toků povodí Labe a Odry.

3.2.1.2.2 Regionální variabilita

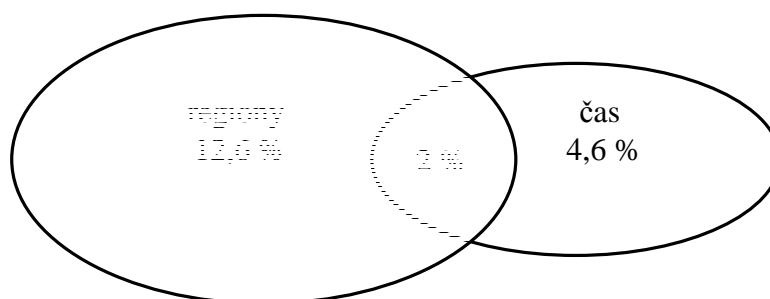
Pomocí CCA analýzy jsem také testoval samostatný vliv regionální variability. Vliv byl testován na celém souboru 819 lokalit. Povodí Labe bylo pro účely této analýzy rozděleno na 14 regionů podle čtrnácti hlavních dílčích povodí (dílčí povodí I. řádu). Povodí Odry bylo rozděleno podle čtyř hlavních dílčích povodí na 4 regiony (viz Obr. 1 metodika). Testován byl tedy vliv 18 nezávisle proměnných. Výsledek analýzy byl signifikantní $P = 0,002$. Pomocí regionální variability lze vysvětlit 14,6 % z celkové druhové variability. První osa samostatně vysvětlí 5,1 % variability, druhá osa dalších 3,1 %. Výsledný ordinační diagram znázorňující vliv těchto faktorů je znázorněn na Obr. 8.



Obr. 9: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv regionální variability 17 regionů po odstranění vlivu variability dané lokalitami regionu O2 (povodí Opavy) formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 38 druhů (s frekvencí výskytu nad 0,5 %) z 819 lokalit toků povodí Labe a Odry.

3.2.1.2.3 Testování vlivu časové a regionální variability současně

Pokud jsem testoval současně vliv časové variability i vliv jednotlivých regionů, byla vysvětlená variabilita těchto dvou parametrů 19,2 %, což znamená, že se tyto parametry překrývají. Tedy 2 % stejné variability v druhovém složení lze vysvětlit prostřednictvím časové i regionální variability viz Obr. 10.



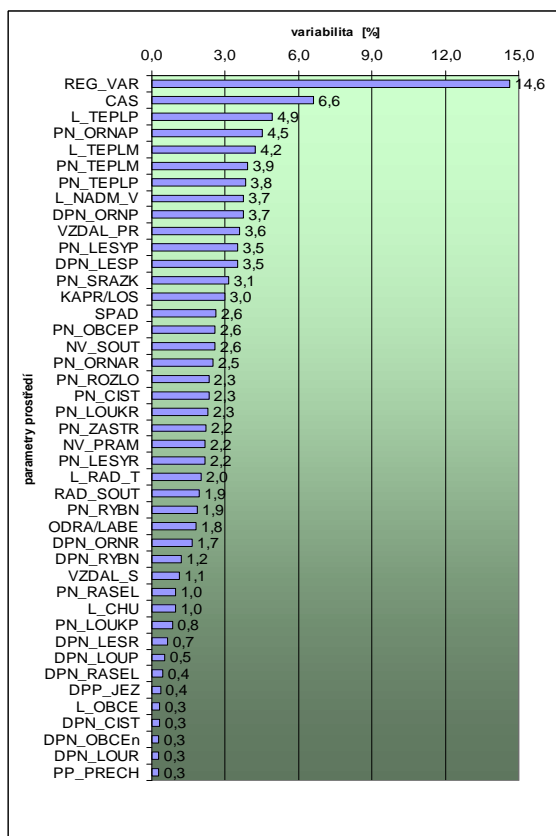
Obr. 10: Regionální a časová variabilita a míra jejich překryvu vysvětlená z dat o prezenci-absenci rybích druhů z 819 lokalit povodí Labe a Odry.

3.2.1.2.4 Maximální variabilita parametrů z mapy

Nejprve jsem testoval maximální množství variability, které jsou schopny vysvětlit proměnné prostředí získané z mapy samostatně. Nebyl zde tedy brán v potaz vliv regionální a časové variability. Do této analýzy byly zahrnuty všechny parametry prostředí kromě průměrné roční teploty dílčího povodí nad lokalitou (DPN_TEPLP), průměrné teploty nejteplejšího měsíce v roce v dílčím povodí nad lokalitou (DPN_TEPLM), roční srážkový průměr v dílčím povodí nad lokalitou (DPN_SRAZ) a roční srážkový průměr v místě lokality (L_SRAZK).

Po odstranění výše zmíněných čtyř parametrů jsem tedy testoval vliv zbývajících 42 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů jsem byl schopen vysvětlit 21,1 % variability z dat o prezenci-absenci rybích druhů ($P = 0,002$). Analýza ukázala, že z použitých parametrů mají prokazatelný vliv (na hladině průkaznosti $P < 0,05$) všechny parametry kromě DPN_ROZL ($P = 0,218$) a PP_ROZL ($P = 0,056$).

V následujícím grafu na Obr. 11 jsou znázorněny maximální hodnoty vysvětlené variability všech 40 signifikantních proměnných prostředí získaných z mapy, dále pak hodnoty časové a regionální variability. Číselná hodnota u každého parametru uvádí maximální hodnotu variability vysvětlenou právě tímto faktorem samostatně.



Obr. 11: Maximální individuální variabilita vysvětlená signifikantními (na hladině $P = 0,05$) faktory prostředí měřenými z mapy na souboru dat o prezenci-absenci rybích druhů z 819 lokalit povodí Labe a Odry.

Následně jsem hledal takový soubor proměnných, který vysvětluje maximální množství variability, ale zároveň inflační faktor jednotlivých parametrů nepřesahuje hodnotu 10. S tímto omezením se podařilo vysvětlit pomocí 34 proměnných 19,6 % z celkové variability. Z tohoto modelu vypadly proměnné PN_ROZL (IF = 322,8079), PN_LESYR (IF = 98,6473), PN_LOUKR (IF = 28,7593), PN_OBCEP (IF = 26,3584), PN_ORNAR (IF = 63,4311), PN_TEPLP (IF = 23,1997). V Tab. č.1 uvádím 34 zbývajících parametrů, hodnotu P a inflační faktor.

parametr	P	IF	parametr	P	IF
VZDAL_S	0,002	2,188	L_TEPLM	0,002	3,700
VZDAL_PR	0,002	5,014	L_RAD_T	0,002	2,131
SPAD	0,002	1,418	L_OBCE	0,006	1,219
RAD_SOUT	0,002	2,258	L_NADM_V	0,002	5,343
PP_JEZ	0,006	1,365	L_CHU	0,002	1,344
PP_PRECH	0,046	1,167	L_TEPLP	0,002	7,292
PN_ZASTR	0,002	6,739	KAPR/LOS	0,002	6,326
PN_TEPLM	0,002	5,244	DPN_RYBN	0,002	2,966
PN_SRAZK	0,002	3,333	DPN_RASEL	0,01	1,790
PN_RYBN	0,002	5,185	DPN_ORNR	0,002	4,436
PN_RASEL	0,002	2,540	DPN_ORNP	0,002	5,092
PN_ORNAP	0,002	5,399	DPN_OBCEP	0,014	1,842
PN_LOUKP	0,002	2,636	DPN_LOUR	0,016	4,137
PN_LESYP	0,002	5,614	DPN_LOUP	0,004	2,776
PN_CIST	0,002	2,273	DPN_LESR	0,002	3,720
NV_SOUT	0,002	5,103	DPN_LESP	0,002	5,976
NV_PRAM	0,002	3,513	DPN_CIST	0,012	1,763

Tab. 1: Soubor 34 proměnných prostředí měřených z mapy s prokazatelným vlivem na rybí společenstva a s přijatelnou vzájemnou korelací (IF < 10).

P – hodnota pravděpodobnosti testu, IF – hodnota inflačního faktoru

3.2.1.2.5 Variabilita parametrů z mapy po odstranění časové variability

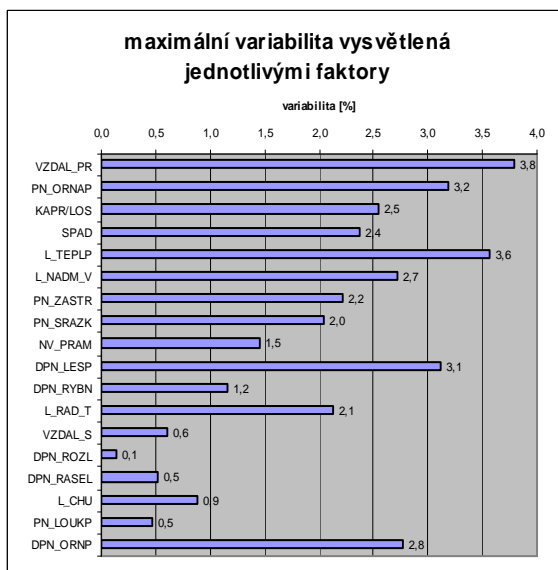
V této části jsem se snažil nalézt ty proměnné prostředí, které po odstranění vlivu časové variability mají prokazatelný vliv (na hladině $p < 0,05$) na skladbu rybích společenstev. Bylo použito přímé gradientové CCA analýzy. Jako nezávisle proměnné bylo testováno opět 42 proměnných získaných z map. Tentokrát byla časová variabilita (jednotlivé roky) odfiltrována formou kovariát. Signifikantní vliv na skladbu rybích společenstev (hladina $P = 0,05$) po odstranění korelovaných proměnných ($IF > 10$) mělo 18 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů se podařilo vysvětlit 14,6 % ze zbývající variability po odečtení variability dané kovariáty (z celkové variability druhových dat to bylo 13,6 %). Pomocí parametrů prostředí a kovariát bylo dohromady vysvětleno 20,2 % variability. Nejlepším prediktorem byl v tomto modelu parametr vzdálenost od pramene (VZDAL_PR), který samostatně vysvětlil 3,8 % variability. V Tab. 2 je znázorněno všech 18 signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu.

	parametr	relat_var_max	relat_var.FW	relat_var_suma	abs_var.FW	abs_var_suma
1	VZDAL_PR	3,8	3,8	3,8	3,5	3,5
2	PN_ORNAP	3,2	2,1	5,9	2,0	5,5
3	KAPR/LOS	2,5	1,3	7,2	1,3	6,7
4	SPAD	2,4	0,9	8,2	0,9	7,6
5	L_TEPLP	3,6	0,8	9,0	0,8	8,4
6	L_NADM_V	2,7	0,6	9,6	0,5	8,9
7	PN_ZASTR	2,2	0,6	10,2	0,5	9,4
8	PN_SRAZK	2,0	0,6	10,8	0,5	10,0
9	NV_PRAM	1,5	0,6	11,3	0,5	10,5
10	DPN_LESP	3,1	0,5	11,8	0,5	11,0
11	DPN_RYBN	1,2	0,4	12,3	0,4	11,4
12	L_RAD_T	2,1	0,4	12,7	0,4	11,8
13	VZDAL_S	0,6	0,4	13,1	0,4	12,2
14	DPN_ROZL	0,1	0,4	13,5	0,4	12,6
15	DPN_RASEL	0,5	0,3	13,8	0,3	12,9
16	L_CHU	0,9	0,3	14,1	0,3	13,1
17	PN_LOUKP	0,5	0,3	14,4	0,2	13,4
18	DPN_ORNP	2,8	0,2	14,6	0,2	13,6

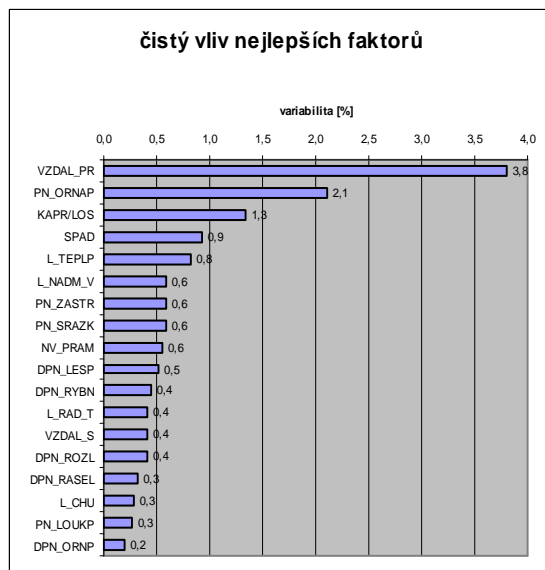
Tab. 2: Signifikantní parametry prostředí mající vliv na rybí společenstva povodí Labe a Odry po odstranění vlivu časové variability.

relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci Tab. 2 je maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 12a a 12b. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody "Forward" selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3. sloupci uvedena maximální hodnota námi vysvětlené variability tímto modelem (14,6 %). Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na vysvětlenou variabilitu kovariátami.

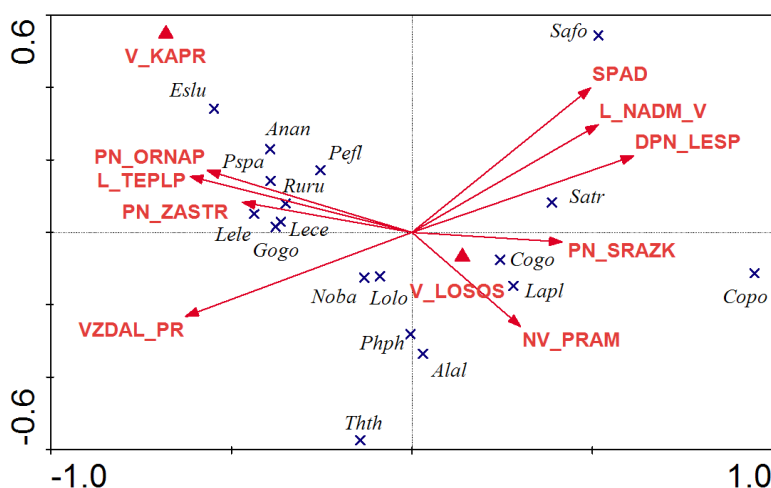


Obr. 12a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 12b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy Obr. 13 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 % a parametry, které vysvětlují alespoň 0,5 % druhové variability. Všechny osy ordinačního diagramu vysvětlují společně 14,6 % variability. První osa samostatně vysvětluje 7,0 % variability, druhá pak dalších 2,1 %.



Obr. 13: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv signifikantních parametrů vysvětlující alespoň 0,5 % druhové variability po odstranění časové variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 819 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 7 %, druhá osa 2,1 %.

3.2.1.2.6 Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální variability

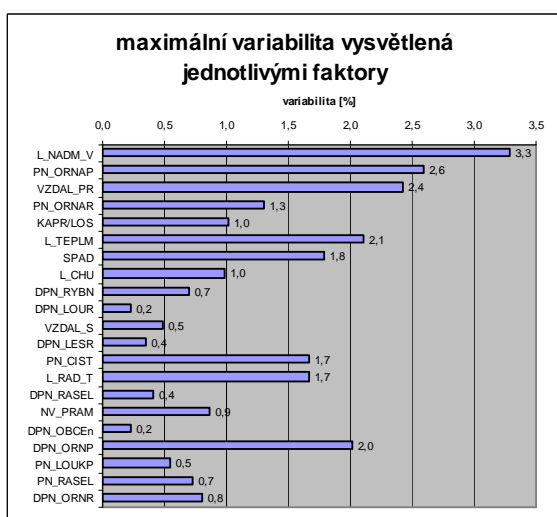
V této části jsem se snažil nalézt ty proměnné prostředí, které po odstranění vlivu regionální variability mají prokazatelný vliv (na hladině $p < 0,05$) na skladbu rybích společenstev. Bylo použito přímé gradientové CCA analýzy. Jako nezávisle proměnné bylo testováno opět 42 našich proměnných získaných z map. Tentokrát byla regionální variabilita (regiony viz Obr. 1 metodika) odfiltrována formou kovariát. Signifikantní vliv na skladbu rybích společenstev (hladina $P = 0,05$) po odstranění korelovaných proměnných ($IF > 10$) mělo 21 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů se podařilo vysvětlit 12,6 % ze zbývajících variability po odečtení variability dané kovariáty (z celkové variability druhových dat to bylo 10,8 %). Pomocí parametrů prostředí a kovariát bylo dohromady vysvětleno 25,4 % variability. Nejlepším prediktorem byl v tomto modelu parametr nadmořská výška lokality (L_NADM_V), který samostatně vysvětlil 3,3 % variability. V Tab. č.3 je znázorněno všech 21 signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu.

	parametr	relat_var_max	relat_var.FW	rel_var_suma	abs_var.FW	abs_var_suma
1	L_NADM_V	3,3	3,3	3,3	2,8	2,8
2	PN_ORNAP	2,6	1,2	4,5	1,0	3,8
3	VZDAL_PR	2,4	1,1	5,6	0,9	4,7
4	PN_ORNAR	1,3	0,8	6,4	0,7	5,4
5	KAPR/LOS	1,0	0,7	7,1	0,6	6,0
6	L_TEPLM	2,1	0,6	7,7	0,5	6,6
7	SPAD	1,8	0,6	8,3	0,5	7,1
8	L_CHU	1,0	0,5	8,8	0,4	7,5
9	DPN_RYBN	0,7	0,5	9,3	0,4	7,9
10	DPN_LOUR	0,2	0,5	9,8	0,4	8,3
11	VZDAL_S	0,5	0,4	10,1	0,3	8,6
12	DPN_LESR	0,4	0,4	10,5	0,3	8,9
13	PN_CIST	1,7	0,3	10,8	0,3	9,2
14	L_RAD_T	1,7	0,3	11,1	0,2	9,4
15	DPN_RASEL	0,4	0,3	11,3	0,2	9,6
16	NV_PRAM	0,9	0,2	11,5	0,2	9,8
17	DPN_OBCE _n	0,2	0,2	11,8	0,2	10,0
18	DPN_ORNP	2,0	0,2	12,0	0,2	10,2
19	PN_LOUKP	0,5	0,2	12,2	0,2	10,4
20	PN_RASEL	0,7	0,2	12,4	0,2	10,6
21	DPN_ORNR	0,8	0,2	12,6	0,2	10,8

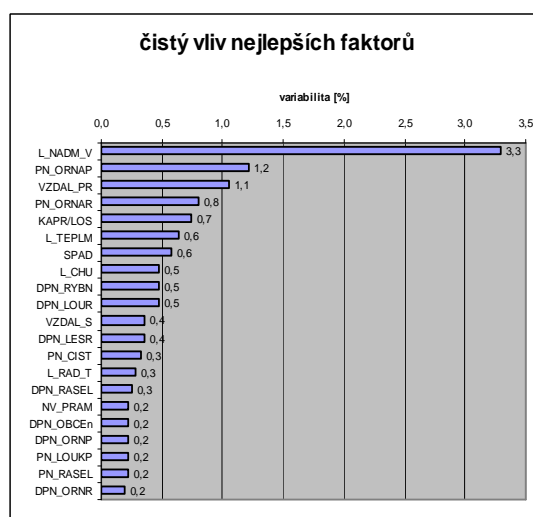
Tab. 3: Signifikantní parametry prostředí mající vliv na rybí společenstva povodí Labe a Odry po odstranění vlivu regionální variability.

relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci Tab. 3 je maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 14a a 14b. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody “Forward“ selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3 sloupci uvedena maximální hodnota námi vysvětlené variability tímto modelem (12,6 %). Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na vysvětlenou variabilitu kovariátami.



Obr. 14a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



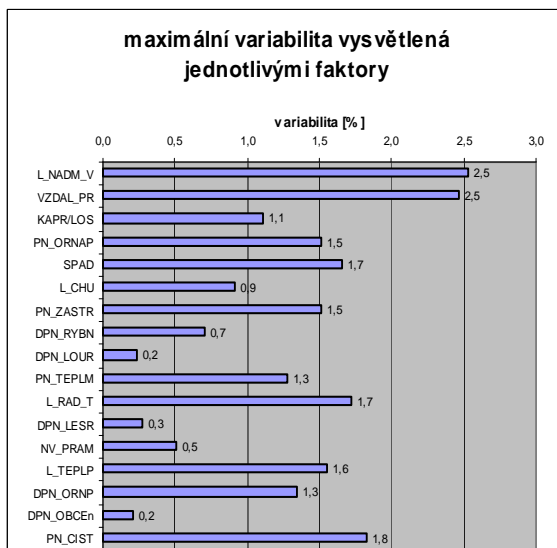
Obr. 14b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy Obr. 15 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 % a parametry, které vysvětlují alespoň 0,5 % druhové variability. Všechny osy ordinačního diagramu vysvětlují společně 12,6 % variability. První osa samostatně vysvětluje 5,3 % variability, druhá pak dalších 1,9 %.

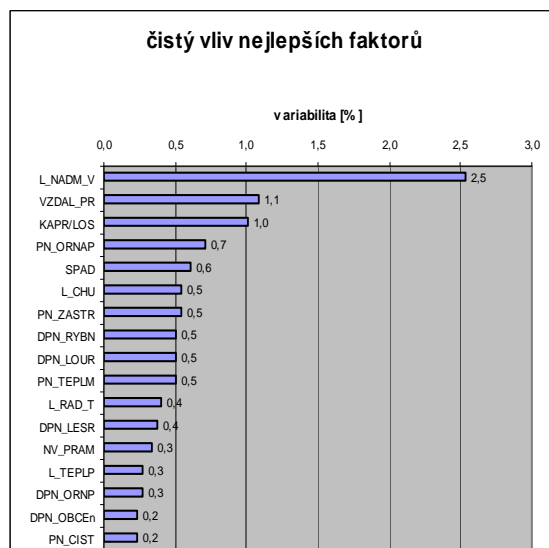
	parametr	relat_var_max	relat_var FW	rel_var_suma	abs_var.FW	abs_var_suma
1	L_NADM_V	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0
2	VZDAL_PR	2,5	1,1	3,6	0,9	2,9
3	KAPR/LOS	1,1	1,0	4,6	0,8	3,7
4	PN_ORNAP	1,5	0,7	5,3	0,6	4,3
5	SPAD	1,7	0,6	5,9	0,5	4,8
6	L_CHU	0,9	0,5	6,4	0,4	5,2
7	PN_ZASTR	1,5	0,5	7,0	0,4	5,6
8	DPN_RYBN	0,7	0,5	7,5	0,4	6,0
9	DPN_LOUR	0,2	0,5	8,0	0,4	6,4
10	PN_TEPLM	1,3	0,5	8,5	0,4	6,9
11	L_RAD_T	1,7	0,4	8,9	0,3	7,2
12	DPN_LESR	0,3	0,4	9,3	0,3	7,5
13	NV_PRAM	0,5	0,3	9,6	0,3	7,8
14	L_TEPLP	1,6	0,3	9,9	0,2	8,0
15	DPN_ORNP	1,3	0,3	10,2	0,2	8,2
16	DPN_OBCE _n	0,2	0,2	10,4	0,2	8,4
17	PN_CIST	1,8	0,2	10,6	0,2	8,6

Tab. 4: Signifikantní parametry prostředí mající vliv na rybí společenstva povodí Labe a Odry po odstranění vlivu časové a regionální variability.
relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci Tab. 4 je maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 16a a 16b. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody "Forward" selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3 sloupci uvedena maximální hodnota námi vysvětlené variability tímto modelem (10,6 %). Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na vysvětlenou variabilitu kovariátami.

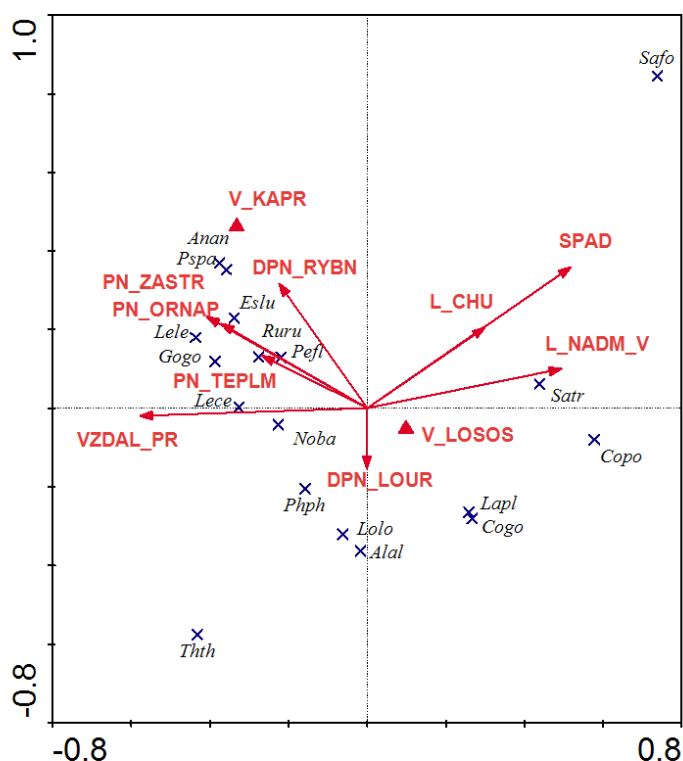


Obr. 16a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 16b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy Obr. 17 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 % a parametry, které vysvětlují alespoň 0,5 % druhové variability. Všechny osy ordinačního diagramu vysvětlují společně 10,6 % variability. První osa samostatně vysvětluje 4,4 % variability, druhá pak dalších 1,7 %.



Obr. 17: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv signifikantních parametrů vysvětlující alespoň 0,5 % druhové variability po odstranění regionální a časové variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 819 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 4,4 %, druhá osa 1,7 %.

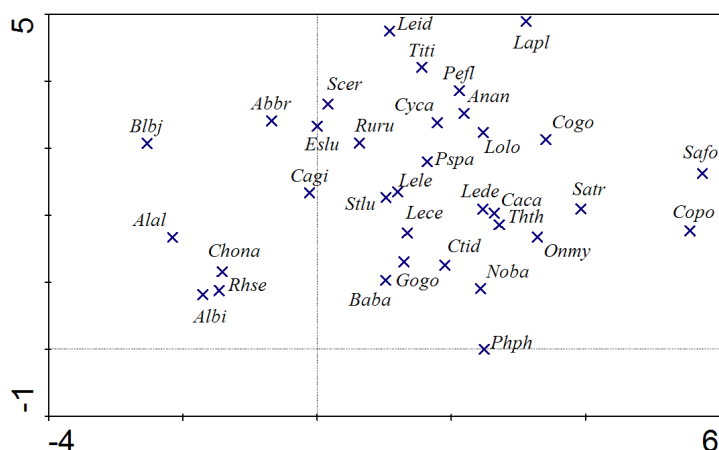
3.2.2 Analýza parametrů získaných z mapy na základě dat o relativní abundanci

Data o relativní abundanci jednotlivých druhů ryb jsem měl k dispozici z 694 lokalit. 517 lokalit náleželo tokům povodí Labe a 177 lokalit se nacházelo na tocích povodí Odry. Celkem bylo na těchto lokalitách zaznamenáno 44 druhů ryb. Z toho 42 druhů se vyskytovalo v povodí Labe a 29 druhů v povodí Odry. Do našich analýz byly zahrnuty druhy s frekvencí výskytu nad 0,5 %. Mezi druhy s frekvencí výskytu pod touto hranicí patřily losos obecný, bolen dravý, hrouzek běloploutvý, podoustev říční, sekavec, piskoř pruhovaný, sumec velký, koljuška tříostná, ježdík obecný a slunečnice pestrá. Ze zbývajících 34 druhů má frekvenci výskytu větší než 5 % 18 druhů. Mezi tyto druhy patří mihule potoční, pstruh obecný, siven americký, lipan podhorní, štika obecná, plotice obecná, jelec proudník, jelec tloušť, stěvle potoční, stěvlička východní, hrouzek obecný, ouklej obecná, mřenka mramorovaná, úhoř říční, mník jednovousý okoun říční, vranka obecná a vranka pruhoploutvá. Frekvenci výskytu nenáhodných druhů udává Obr. II v Příloze 1.

Aby bylo možné v analýzách mnohorozměrných dat v programu CANOCO použít hodnoty v procentech (relativní abundance) bylo nutné tato data před analýzou transformovat. Jako nejvhodnější se ukázala odmocninová transformace “*square-root transformation*“ tato transformace je v nabídce programu CANOCO. Z analýz byla odstraněna lokalita na Malontském potoce (kód lokality RDJE209). Na této lokalitě byl zaznamenán výskyt pouze slunky obecné. V případě dat o prezenci-absenci jednotlivých druhů tato skutečnost nehraje významnou roli, ale v případě souboru dat, kde je počítáno s relativní abundancí, je na této lokalitě přiřazena slunce hodnota 100 %. Tato skutečnost výrazně ovlivňuje variabilitu celého souboru a velmi zneprůhledňuje výsledky analýz.

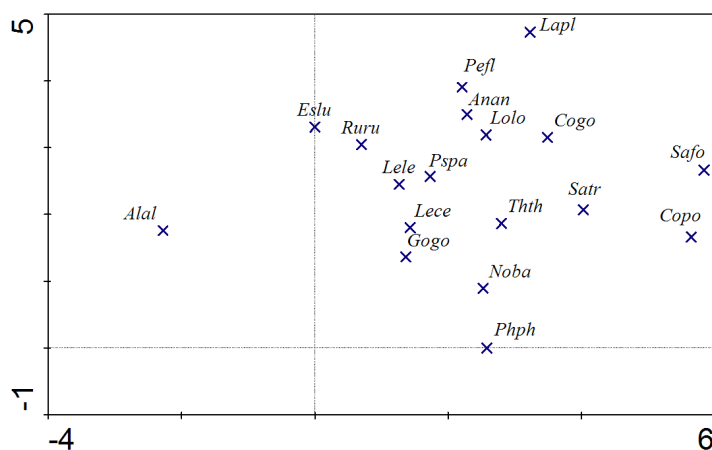
3.2.2.1 Struktura rybích společenstev (nepřímá gradientová analýza, DCA)

K hodnocení struktury rybích společenstev byla, stejně jako v případě analýzy na souboru dat o prezenci – absenci jednotlivých druhů, použita *Detrended correspondence analysis* (DCA). V DCA analýze byla nejprve použita data o relativní abundanci 34 druhů ryb s frekvencí výskytu nad 0,5 %. Ordinační diagram DCA analýzy je na Obr. 18. Nejsilnější směry variability v datech jsou popsány pomocí prvních dvou os v ordinačním diagramu DCA. Tyto osy vysvětlují společně 21,9 % z celkové variability v datech. První osa vysvětluje samostatně 14,3 % variability, druhá osa pak 7,6 %. Druhy jsou v ordinačním diagramu zobrazeny jako body, reprezentující jejich ekologická optima na daných gradientech. Délka nejdelšího gradientu DCA analýzy byla v tomto případě 5,7.



Obr. 18: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o relativní abundanci 34 druhů (s frekvencí výskytu nad 0,5 %) z 694 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 14,3 %, druhá osa 7,6 %.

V následující analýze byla použita pouze data o relativní abundanci druhů s nenáhodným výskytem (frekvence výskytu ≥ 5 %). Ordinační diagram této DCA analýzy je na Obr. 19. Tuto podmínku splňovalo v tomto souboru dat 18 druhů ryb. Pomocí nepřímé ordinační metody DCA lze touto analýzou vysvětlit prostřednictvím prvních dvou os ordinačního diagramu 24,6 % variability. První osa samostatně vysvětlí 16,1 % variability, druhá osa pak dalších 8,5 % variability. Délka nejdelšího gradientu DCA analýzy byla v tomto případě 5,8.

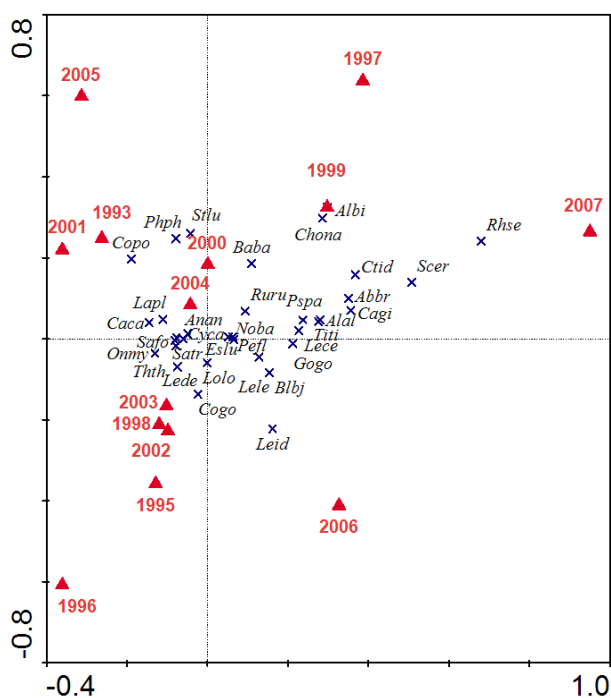


Obr. 19: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o relativní abundanci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 694 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 16,1 %, druhá osa 8,5 %.

3.2.2.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (přímá gradientová analýza, CCA)

3.2.2.2.1 Časová variabilita

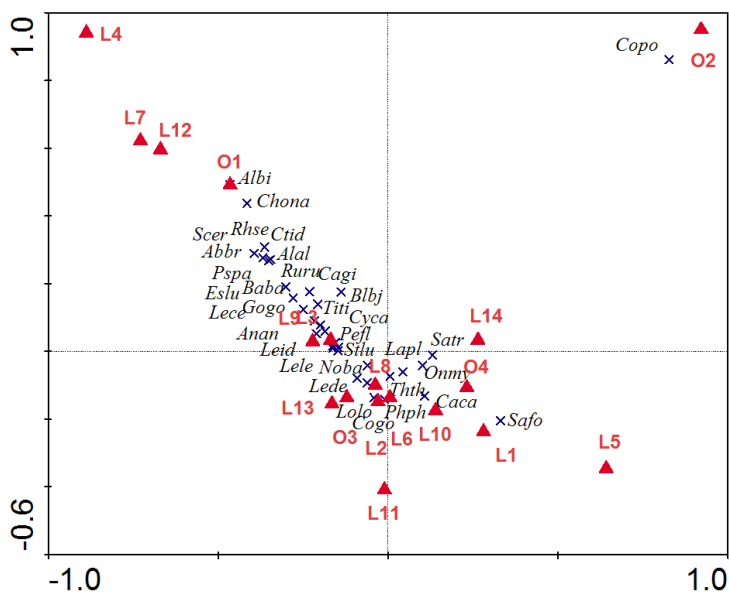
Pomocí parciální analýzy CCA byl potvrzen průkazný vliv časové variability na druhové složení ryb mezi roky 1993 a 2007 i v případě dat o relativní abundanci druhů. Jednotlivé roky jako nezávisle proměnné jsou v tomto případě schopny vysvětlit 6,4 % z celkové druhové variability, což je nepatrně méně než variabilita vysvětlená daty o prezenci-absenci druhů (6,6 %). Výsledek analýzy byl signifikantní $P = 0,002$. Vztah mezi druhy a jednotlivými roky znázorňuje ordinační diagram Obr. 20.



Obr. 20: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv časové variability jednotlivých roků za období mezi lety 1993 – 2007 na souboru dat o relativní abundanci 34 druhů (s frekvencí výskytu nad 0,5 %) z 694 lokalit toků povodí Labe a Odry.

3.2.2.2 Regionální variabilita

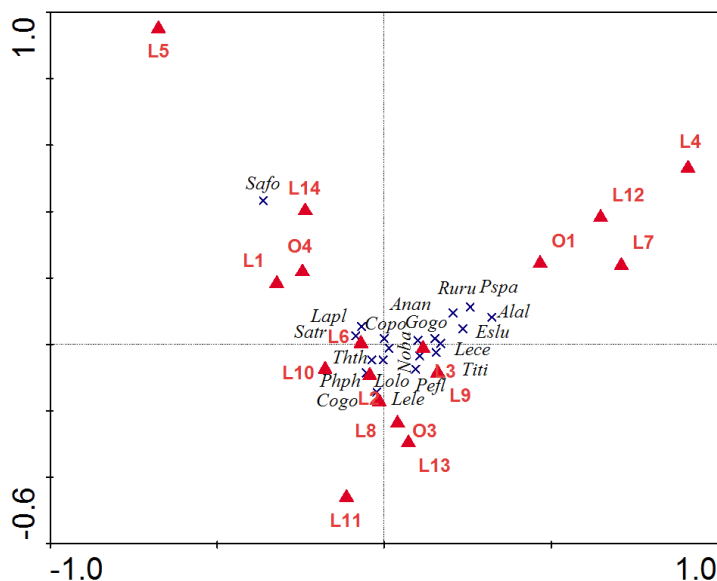
Samostatný vliv regionální variability byl opět analyzován prostřednictvím CCA analýzy na souboru dat o relativní abundanci jednotlivých druhů na 694 lokalitách povodí Labe a Odry. Povodí Labe bylo pro účely této analýzy rozděleno na 14 regionů podle hlavních dílčích povodí. Povodí Odry bylo rozděleno podle čtyř hlavních dílčích povodí na 4 regiony (viz Obr.1 Metodika). Testován byl tedy vliv 18 nezávisle proměnných. Výsledek analýzy byl signifikantní $P = 0,002$. Pomocí regionální variability lze vysvětlit 13,4 % z celkové druhové variability. První osa samostatně vysvětlí 5 % variability, druhá osa dalších 2,4 %. Výsledný ordinační diagram znázorňující vliv těchto faktorů je znázorněn na Obr. 21.



Obr. 21: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv regionální variability 18 regionů na souboru dat o relativní abundanci 34 druhů (s frekvencí výskytu nad 0,5 %) z 694 lokalit toků povodí Labe a Odry.

Stejně jako v případě analýzy na souboru dat o prezenci-absenci jednotlivých druhů byla ze stejného důvodu (viz kapitola 3.2.1.2.2. druhý odstavec) odstraněna variabilita regionu O2 (povodí Opavy) formou kovariát, aby mohla být lépe graficky znázorněna variabilita ostatních regionů Obr. 22.

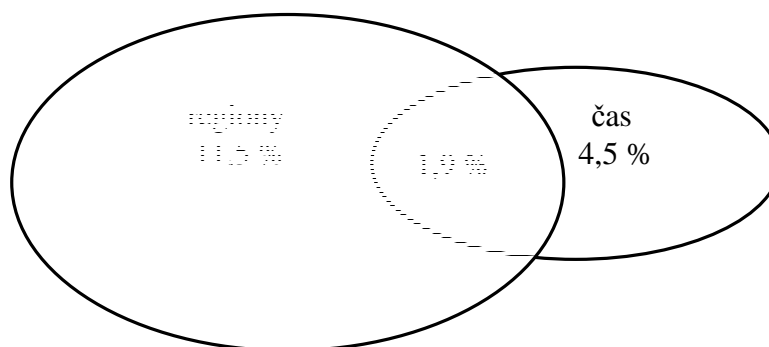
Regionální variabilita po odstranění vlivu 45 lokalit povodí Opavy formou kovariát se podílí na celkové variabilitě druhových dat 10,4 %. První osa vysvětlí 4,0 % variability, druhá osa dalších 1,6 %. Pro lepší orientaci jsou v ordinačním diagramu znázorněny pouze druhy s frekvencí výskytu vyšší než 5 %.



Obr. 22: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv regionální variability 17 regionů po odstranění vlivu variability dané lokalitami regionu O2 (povodí Opavy) formou kovariát na souboru dat o relativní abundanci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 694 lokalit toků povodí Labe a Odry.

3.2.2.2.3 Testování vlivu časové a regionální variability současně

Pokud byl testován současně vliv časové variability i vliv jednotlivých regionů, byla vysvětlená variabilita těchto dvou parametrů 17,9 %, což znamená, že se tyto parametry překrývají. Tedy 1,9 % stejné variability v druhovém složení lze vysvětlit prostřednictvím časové i regionální variability viz Obr. 23.



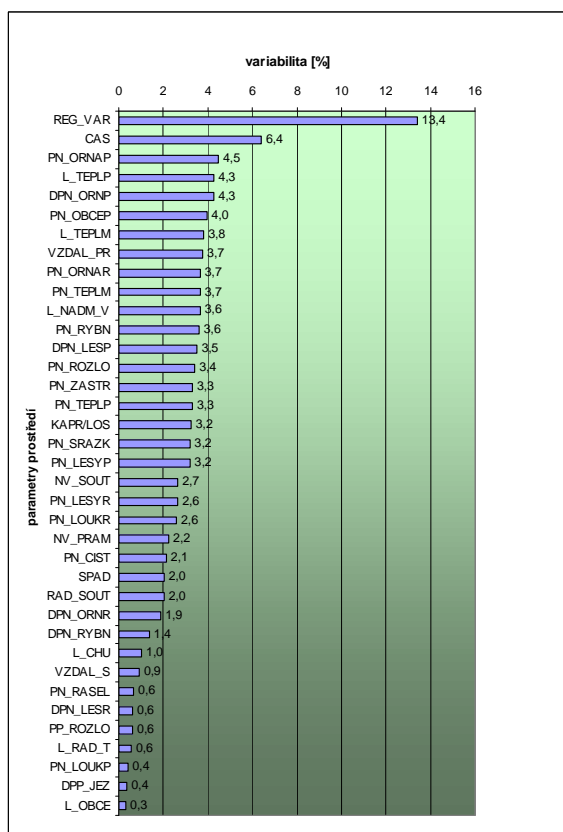
Obr. 23: Regionální a časová variabilita a míra jejich překryvu vysvětlená z dat o relativní abundanci rybích druhů z 694 lokalit povodí Labe a Odry.

3.2.2.2.4 Maximální variabilita parametrů z mapy

Nejprve jsem testoval maximální množství variability, které jsou schopny vysvětlit proměnné prostředí získané z mapy samostatně. Nebyl zde tedy brán v potaz vliv regionální a časové variability. Do této analýzy jsem zahrnul všechny parametry prostředí kromě průměrné roční teploty dílčího povodí nad lokalitou (DPN_TEPLP), průměrné teploty nejteplejšího měsíce v roce v dílčím povodí nad lokalitou (DPN_TEPLM), roční srážkový průměr v dílčím povodí nad lokalitou (DPN_SRAZ) a roční srážkový průměr v místě lokality (L_SRAZK). Tyto čtyři parametry byly vyloučeny na základě grafického znázornění korelací v PCA, kde je vidět, že jsou dle očekávání tyto parametry velice silně korelovány s jinými proměnnými prostředí, a proto jejich použití pouze komplikuje analýzu a nepřináší takřka žádné zpřesnění modelu. Vědomě byly ponechány i některé další dvojice parametrů prostředí s vysokým korelačním koeficientem, jelikož mě zajímalo, kolik jsou tyto jednotlivé parametry schopny vysvětlit variability v datech a protože jsem u těchto korelovaných parametrů chtěl v dalších analýzách zjistit, které z nich jsou lepšími prediktory a až následně vyřadit z dvojice korelovaných parametrů vždy horší prediktor. V analýzách CCA si můžeme použití těchto korelovaných dvojic parametrů dovolit, protože v rámci přímé gradientové analýzy je u použitých environmentálních faktorů možné ověřit hodnotu „inflation faktoru“ (IF), která také naznačuje míru vzájemné korelace mezi jednotlivými faktory (environmentální faktory s hodnotou $IF > 10$ byly z analýz vypouštěny) (ter Braak et Šmilauer, 2002).

Testován byl vliv stejných 42 parametrů prostředí jako v analýzách s daty o prezenci-absenci druhů. Tyto parametry vysvětlují 19,6 % variability dat o relativní abundanci rybích druhů ($P = 0,002$). Analýza ukázala, že z použitých parametrů má prokazatelný vliv (na hladině průkaznosti $P < 0,05$) 35 parametrů.

V následujícím grafu Obr. 24 jsou znázorněny maximální hodnoty vysvětlené variability všech 35 signifikantních proměnných prostředí získaných z mapy, dále pak hodnoty časové a regionální variability. Číselná hodnota u každého parametru uvádí maximální hodnotu variability vysvětlenou právě tímto faktorem samostatně.



Obr. 24: Maximální individuální variabilita vysvětlená signifikantními (na hladině $P = 0,05$) faktory prostředí měřenými z mapy na souboru dat o relativní abundanci rybích druhů z 694 lokalit povodí Labe a Odry.

Následně byl hledán soubor proměnných, který vysvětluje maximální množství variability, ale zároveň inflační faktor jednotlivých parametrů nepřesahuje hodnotu 10. S tímto omezením se podařilo vysvětlit pomocí 30 proměnných 17,1 % z celkové variability. Z tohoto modelu vypadly proměnné PN_ROZL (IF = 410,1), PN_LESYR (IF = 112,4), PN_LOUKR (IF = 11,7), PN_ORNAR (IF = 69,6), PN_TEPLP (IF = 20,3). Tab. 5 uvádí 30 signifikantních proměnných s IF < 10 s hodnotu P a inflačním faktorem.

parametr	P	IF	parametr	P	IF
L_NADM_V	0,002	6,270	DPN_RYBN	0,002	3,322
L_RAD_T	0,002	1,428	DPN_ORNR	0,002	3,920
L_OBCE	0,024	1,166	DPN_ORNP	0,002	5,023
L_CHU	0,002	1,353	PN_CIST	0,002	1,784
KAPR/LOS	0,002	1,471	PN_ZASTR	0,002	4,904
SPAD	0,002	1,404	PN_LESYP	0,002	6,920
VZDAL_PR	0,002	7,463	PN_OBCEP	0,002	7,496
VZDAL_S	0,002	1,956	PN_RYBN	0,002	6,235
RAD_SOUT	0,002	2,112	PN_ORNAP	0,002	6,108
NV_PRAM	0,002	3,768	PN_LOUKP	0,006	1,668
NV_SOUT	0,002	4,999	PN_RASEL	0,004	2,344
L_TEPLP	0,002	6,542	PN_SRAZK	0,002	3,239
L_TEPLM	0,002	3,401	PN_TEPLM	0,002	5,486
DPN_LESR	0,002	1,899	PP_ROZLO	0,006	1,731
DPN_LESP	0,002	6,425	PP_JEZ	0,016	1,302

Tab. 5: Soubor proměnných prostředí měřených z mapy s prokazatelným vlivem na rybí společenstva a s přijatelnou vzájemnou korelací (IF < 10).

P – hodnota pravděpodobnosti testu, IF – hodnota inflačního faktoru

3.2.2.2.5 Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální i časové variability

V této analýze jsem se snažil nalézt signifikantní faktory prostředí ($P < 0,05$) po odstranění časové a regionální variability s použitím přímé gradientové CCA analýzy. Jako nezávisle proměnné bylo testováno opět 42 našich proměnných získaných z mapy. Signifikantní vliv na skladbu rybích společenstev (hladina $P = 0,05$) po odstranění korelovaných proměnných ($IF > 10$) mělo 13 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů se podařilo vysvětlit 8,8 % ze zbývající variability po odečtení variability dané kovariátami (z celkové variability druhových dat to bylo 7,2 %). Pomocí parametrů prostředí a kovariát bylo dohromady vysvětleno 25,1 % variability. Nejvýznamnějším prediktorem byl v tomto modelu parametr počet obcí v povodí nad lokalitou (PN_OBCEP), který samostatně vysvětlil 2,8 % variability.

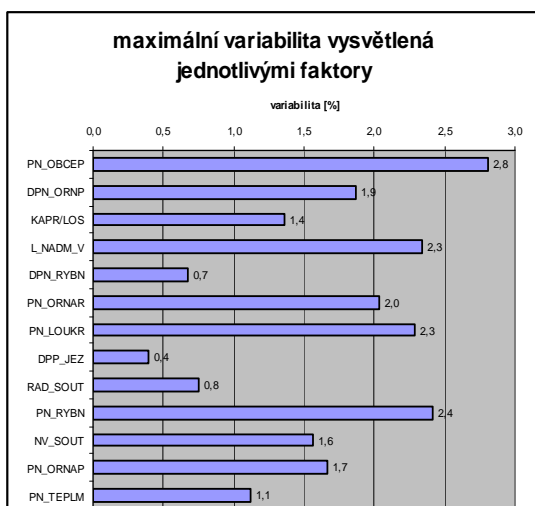
V Tab. 6 je znázorněno všech 13 signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu.

	parametr	relat_var_max	relat_var FW	Relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	PN_OBCEP	2,8	2,8	2,8	2,3	2,3
2	DPN_ORNP	1,9	1,1	3,9	0,9	3,2
3	KAPR/LOS	1,4	0,9	4,8	0,7	3,9
4	L_NADM_V	2,3	0,7	5,5	0,6	4,5
5	DPN_RYBN	0,7	0,5	6,0	0,4	4,9
6	PN_ORNAR	2,0	0,4	6,4	0,4	5,3
7	PN_LOUKR	2,3	0,4	6,8	0,3	5,6
8	DPP_JEZ	0,4	0,4	7,2	0,3	5,9
9	RAD_SOUT	0,8	0,4	7,6	0,3	6,2
10	PN_RYBN	2,4	0,3	7,9	0,3	6,5
11	NV_SOUT	1,6	0,3	8,2	0,2	6,7
12	PN_ORNAP	1,7	0,3	8,5	0,2	7,0
13	PN_TEPLM	1,1	0,3	8,8	0,2	7,2

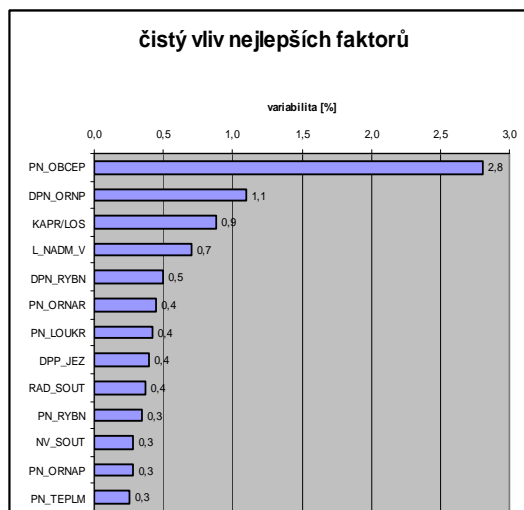
Tab. 6: Signifikantní parametry prostředí, stanovené přímou CCA analýzou z dat o relativní abundanci, mající vliv na rybí společenstva povodí Labe a Odry po odstranění vlivu regionální i časové variability.

relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci Tab. 6 je maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 25a a 25b. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody "Forward" selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3. sloupci uvedena maximální hodnota námi vysvětlené variability tímto modelem (8,8 %) poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na vysvětlenou variabilitu kovariátami.

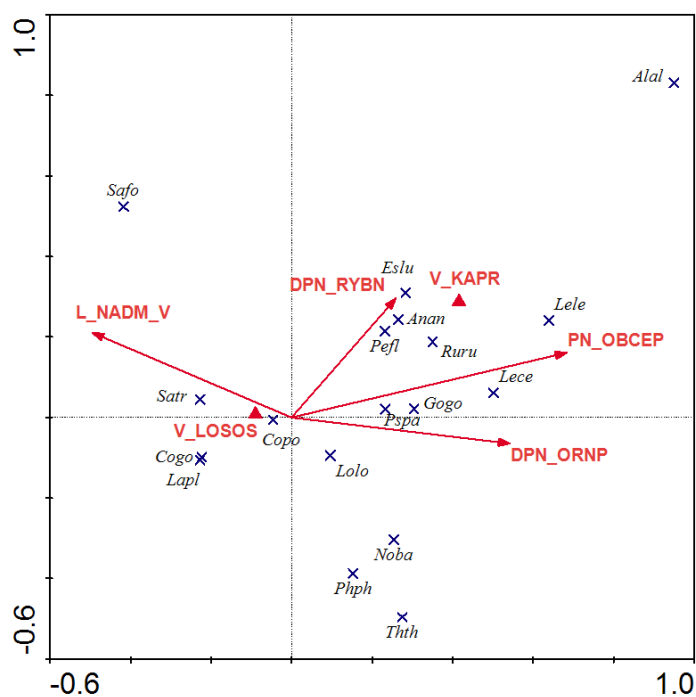


Obr. 25a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 25b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy Obr. 26 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 % a parametry, které vysvětlují alespoň 0,5 % druhové variability. Všechny osy ordinačního diagramu vysvětlují společně 8,8 % variability. První osa samostatně vysvětluje 4,1 % variability, druhá pak dalších 1,1 %.



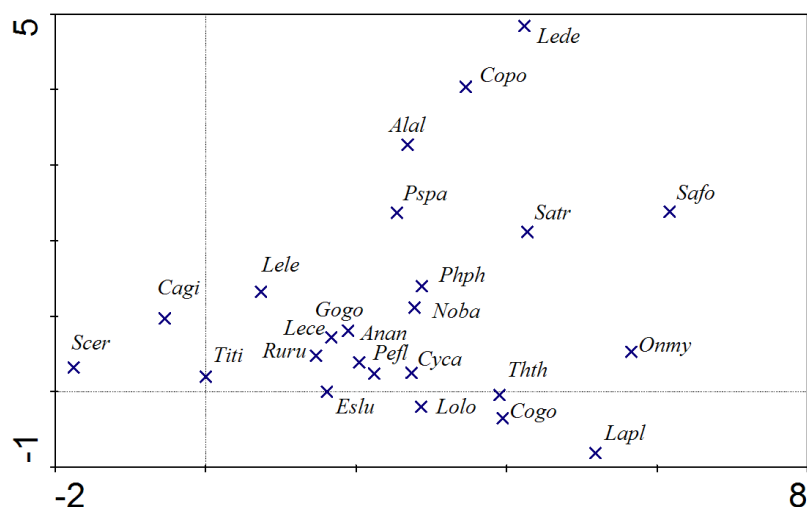
Obr.26: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv signifikantních parametrů vysvětlující alespoň 0,5 % druhové variability po odstranění regionální a časové variability formou kovariát na souboru dat o relativní abundanci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 694 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 4,1 %, druhá osa 1,1 %.

3.2.3 Analýza parametrů získaných z mapy i z terénu a jejich srovnání

V této části byly srovnány vlivy parametrů prostředí měřených v terénu s parametry získanými z mapy na vzorku 127 lokalit z povodí Labe a Odry. U těchto lokalit jsem znal jak všechny testované parametry z mapy, tak všechny parametry měřené v terénu. Bylo proto možné porovnat výpovědní hodnotu těchto dvou typů parametrů. Do analýz bylo zahrnuto 24 druhů ryb s frekvencí výskytu nad 2 %.

3.2.3.1 Struktura rybích společenstev (nepřímá gradientová analýza, DCA)

Pro data o prezenci-absenci 24 druhů ryb s frekvencí výskytu větší než 2 % v malých a středních tocích povodí Labe a Odry bylo pomocí nepřímé gradientové analýzy provedeno hodnocení struktury rybích společenstev. Nejsilnější směry variability v datech jsou popsány pomocí prvních dvou os v ordinačním diagramu DCA Obr. 27. Tyto osy vysvětlují společně 25,8 % z celkové variability v datech. První osa vysvětluje samostatně 17,5 % variability, druhá osa pak 8,3 %.



Obr. 27: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 24 druhů (s frekvencí výskytu nad 2 %) z 127 lokalit toků povodí Labe a Odry. První osa 17,5 %, druhá osa 8,3 %.

3.2.3.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (přímá gradientová analýza, CCA)

Pomocí analýzy CCA byl testován samostatně nejprve vliv parametrů získaných z terénu. Bylo testováno všech 10 získaných parametrů. Formou kovariát byla odfiltrována časová

a regionální variabilita. Na rozdíl od ostatních kapitol byl v rámci časové variability zohledněn nejen vliv jednotlivých let, ale také vliv jednotlivých měsíců, ve kterých byly lokality proloveny. Na hladině $P < 0,05$ měly signifikantní vliv na strukturu rybích společenstev pouze 3 parametry, a to teplota ($P = 0,002$), pH ($P = 0,024$) a kameny ($P = 0,044$). Tyto parametry byly dohromady schopny vysvětlit 8,1 % variability v rybích datech. Jednoznačně nejlepším prediktorem byla teplota. Tento parametr byl schopen samostatně vysvětlit 3,6 % variability. Přehled všech signifikantních parametrů je znázorněn v Tab. 7. Ordinační diagram znázorňující vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy je na Obr. 29.

Následně bylo pomocí stejné metody a na stejném souboru dat testováno všech 42 parametrů získaných z mapy. Formou kovariát byla opět odfiltrována časová a regionální variabilita. Na hladině $P < 0,05$ mělo signifikantní vliv na strukturu rybích společenstev po odstranění parametrů s $IF > 10$ celkem 7 parametrů, a to L_RAD_T ($P = 0,01$), L_NADM_V ($P = 0,002$), SPAD ($P = 0,002$), VZDAL_PR ($P = 0,002$), DPN_RYBN ($P = 0,004$), PN_LOUR ($P = 0,002$), DPN_LOUP ($P = 0,036$). Tyto parametry byly dohromady schopny vysvětlit 15,1 % variability v rybích datech. Zde byl nejlepším prediktorem VZDAL_PR. Tento parametr samostatně vysvětlil 3,6 % variability. Přehled všech signifikantních parametrů je znázorněn v Tab. 8. Ordinační diagram znázorňující vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy je na Obr. 31.

Po analýze těchto dvou typů parametrů samostatně byly na daném souboru dat tyto parametry testovány společně opět stejnou metodou. Formou kovariát byla odfiltrována časová a regionální variabilita. Na hladině $P < 0,05$ mělo signifikantní vliv na strukturu rybích společenstev po odstranění parametrů s $IF > 10$ celkem 9 parametrů. Z tohoto počtu bylo 7 parametrů zjištěných z mapy: NV_PRAM ($P = 0,002$), SPAD ($P = 0,01$), PN_LOUKR ($P = 0,02$), L_RAD_T ($P = 0,006$), VZDAL_PR ($P = 0,01$), DPN_LOUP, ($P = 0,014$), PN_TEPLM ($P = 0,018$) a 2 parametry zjištěné v terénu: teplota ($P = 0,002$), kameny ($P = 0,08$). Tyto parametry byly schopny vysvětlit 19,5 % variability. V tomto modelu byla nejlepším prediktorem teplota. Tento parametr samostatně vysvětlil 3,6 % variability. Přehled všech signifikantních parametrů je znázorněn v Tab. 9. Ordinační diagram znázorňující vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy je na Obr. 33.

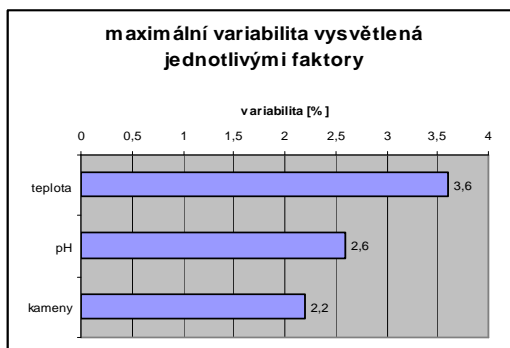
V Tab. 7, Tab. 8 a Tab. 9 je vždy znázorněn vliv všech signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu. V prvním sloupci je vždy maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce

výše. Porovnání těchto hodnot je znázorněno na Obr. 28a a 28b pro analýzu provedenou samostatně na parametrech z terénu, na Obr. 30a a 30b pro analýzu provedenou na parametrech z mapy a na Obr. 32a a 32b pro analýzu provedenou současně na obou typech parametrů. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody “Forward“ selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3 sloupci uvedena maximální hodnota vysvětlené variability daným modelem. Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na vysvětlenou variabilitu kovariátami. Za každou tabulkou je grafické znázornění prvních dvou sloupců. Lze tak porovnat rozdíl mezi maximální variabilitou, kterou je schopen daný faktor vysvětlit z datového souboru a variabilitou, kterou fakticky přispívá v modelu s nejlepší predikční schopností stanoveném pomocí “Forward“ selekce v CCA analýze. Vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy je vždy znázorněn v ordinačním diagramu CCA analýzy. Pro přehlednost jsou vždy vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 %. Frekvenci výskytu těchto nenáhodných druhů udává Obr. III v Příloze 1.

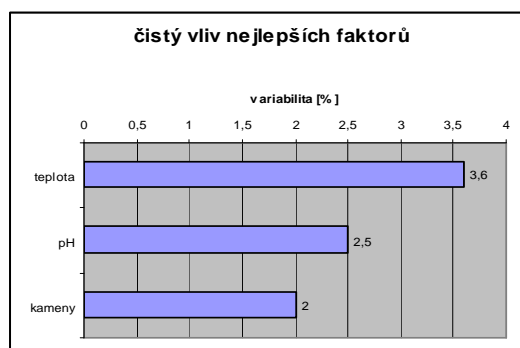
	parametr	relat_var_max	relat_var FW	relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	teplota	3,6	3,6	3,6	2,3	2,3
2	pH	2,6	2,5	6,1	1,6	3,9
3	kameny	2,2	2,0	8,1	1,2	5,1

Tab. 7: Signifikantní parametry při testování 10 parametrů z terénu samostatně po odstranění vlivu časové a regionální variability.

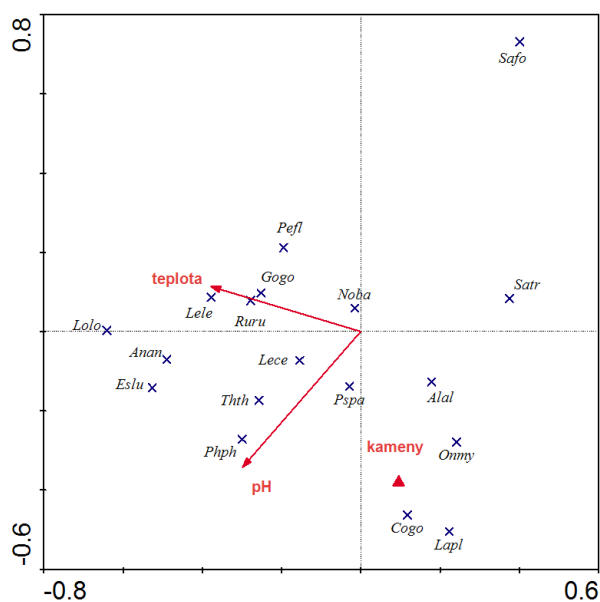
relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená “Forward“ selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená “Forward“ selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability



Obr. 28a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 28b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

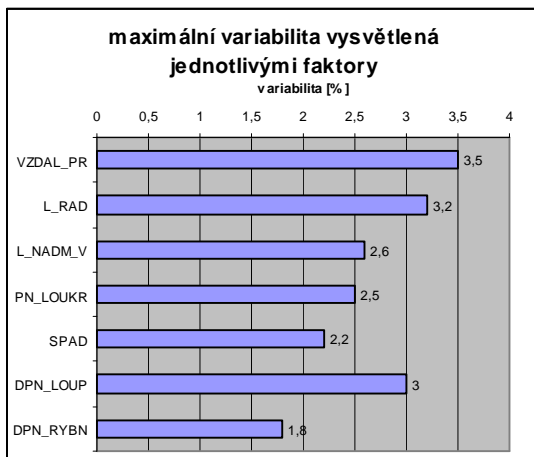


Obr. 29: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv signifikantních parametrů získaných z terénu po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 17 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 127 lokalit toků povodí Labe a Odry.

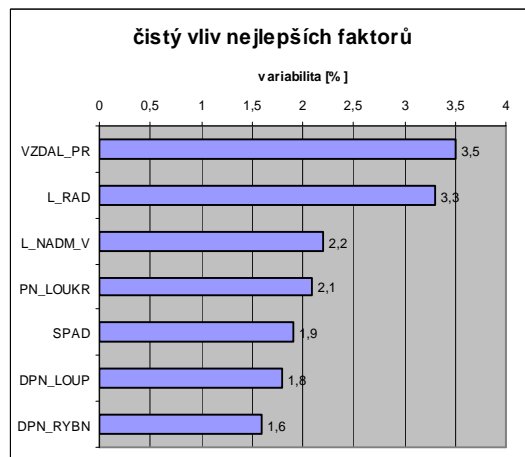
	parametr	relat_var_max	relat_var FW	relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	VZDAL_PR	3,6	3,6	3,6	2,3	2,3
2	L_RAD_T	2,7	2,6	6,2	1,6	3,9
3	L_NADM_V	2,3	2,0	8,2	1,3	5,2
4	PN LOUKR	3,6	1,9	10,1	1,2	6,4
5	SPAD	2,8	1,7	11,8	1,1	7,5
6	DPN_LOUP	1,8	1,7	13,5	1,1	8,6
7	DPN_RYBN	2,0	1,6	15,1	1,0	9,6

Tab. 8: Signifikantní parametry při testování 42 parametrů z mapy samostatně po odstranění vlivu časové a regionální variability.

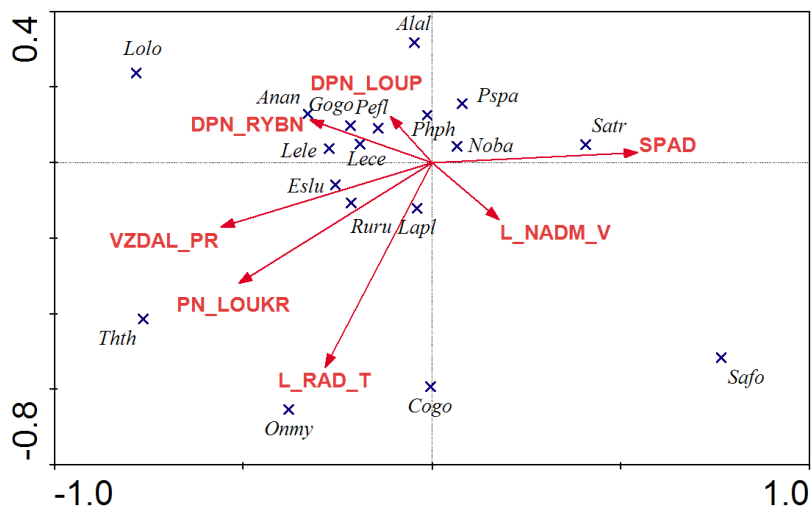
relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability



Obr. 30a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



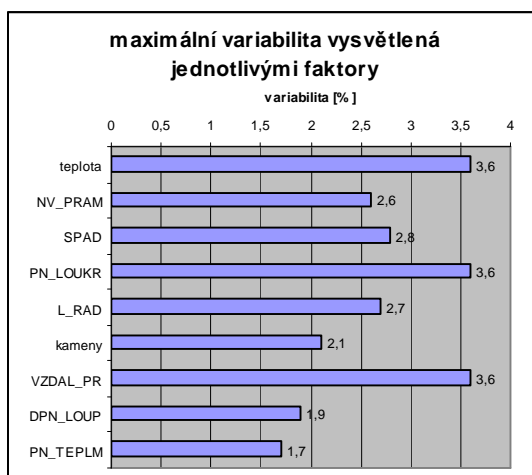
Obr. 30b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.



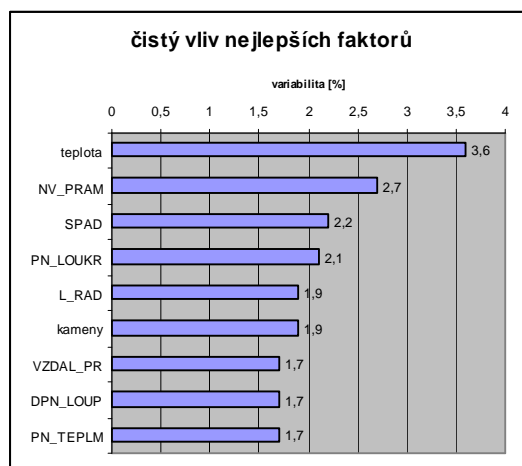
Obr. 31: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv parametrů získaných z mapy po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 17 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 127 lokalit toků povodí Labe a Odry.

	parametr	relat_var_max	relat_var FW	relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	teplota	3,6	3,6	3,6	2,3	2,3
2	NV_PRAM	2,6	2,7	6,3	1,7	4
3	SPAD	2,8	2,2	8,5	1,4	5,4
4	PN_LOUKR	3,6	2,1	10,6	1,4	6,8
5	L_RAD_T	2,7	1,9	12,5	1,2	8
6	kameny	2,1	1,9	14,4	1,2	9,2
7	VZDAL_PR	3,6	1,7	16,1	1,1	10,3
8	DPN_LOUP	1,9	1,7	17,8	1,1	11,4
9	PN_TEPLM	1,7	1,7	19,6	1,1	12,5

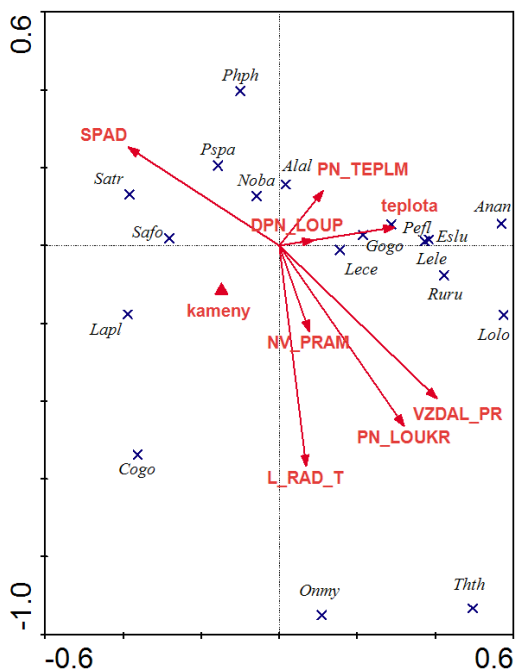
Tab. 9: Signifikantní parametry při testování 10 parametrů z terénu a 42 parametrů z mapy současně po odstranění vlivu časové a regionální variability.
relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability



Obr. 32a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 32b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.



Obr. 33: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv parametrů získaných z mapy a z terénu po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 17 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 127 lokalit toků povodí Labe a Odry.

3.3 Vliv parametrů prostředí získaných z mapy na rybí společenstva toků povodí Labe

V této části diplomové práce jsem se snažil nalézt významné parametry prostředí, které je možné získat z mapy a které nejvíce vypovídají o skladbě rybích společenstev toků povodí Labe. Z porovnání výsledků částí 3.2.1. a 3.2.2. vyplývá, že data o relativní abundanci na takovém typu souboru dat nepřinášejí žádné zpřesnění modelu. Proto byla ve zbývajících analýzách této práce používána pouze data o prezenci-absenci jednotlivých druhů.

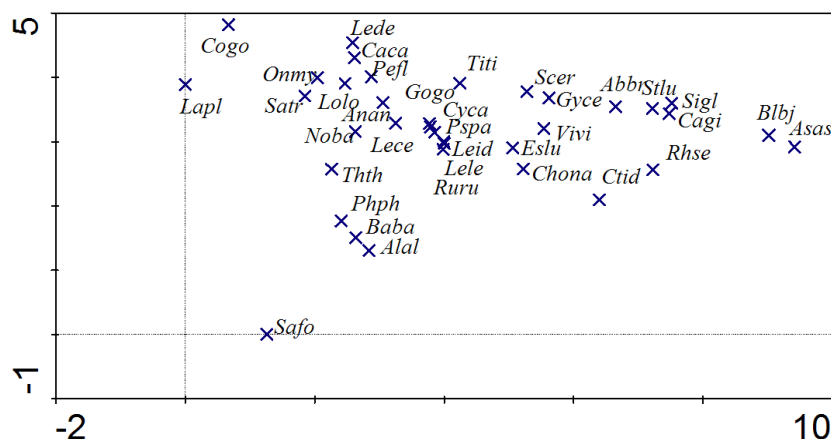
K hodnocení rybích společenstev v povodí Labe jsem měl k dispozici údaje o druhovém složení z 612 lokalit 277 toků z povodí Labe. Všechny lokality se nacházely ve vzdálenosti do 100 km od pramene. Data byla získávána za období mezi roky 1993 a 2007. V období 1993–1997 bylo proloveno 70 lokalit, 1998–2002 284 lokalit a 2003–2007 258 lokalit.

Celkem byl na těchto lokalitách potvrzen výskyt 44 druhů ryb. Do analýz byly zahrnuty druhy s frekvencí výskytu nad 0,5 %. Mezi druhy s frekvencí výskytu pod touto hranicí patřily losos obecný, hrouzek běloploutvý, tolstolobik bílý, sekavec, piskoř pruhovaný, sumeček americký, koljuška tříostná a slunečnice pestrá. Ze zbývajících

36 druhů má frekvenci výskytu větší než 5 % 17 druhů. Mezi tyto druhy patří mihule potoční, pstruh obecný, siven americký, lipan podhorní, štika obecná, plotice obecná, jelec proudník, jelec tloušť, stěvle potoční, lín obecný, střevlička východní, hrouzek obecný, mřenka mramorovaná, úhoř říční, mník jednovousý, okoun říční a vranka obecná. Frekvenci výskytu nenáhodných druhů udává Obr. IV v Příloze 1.

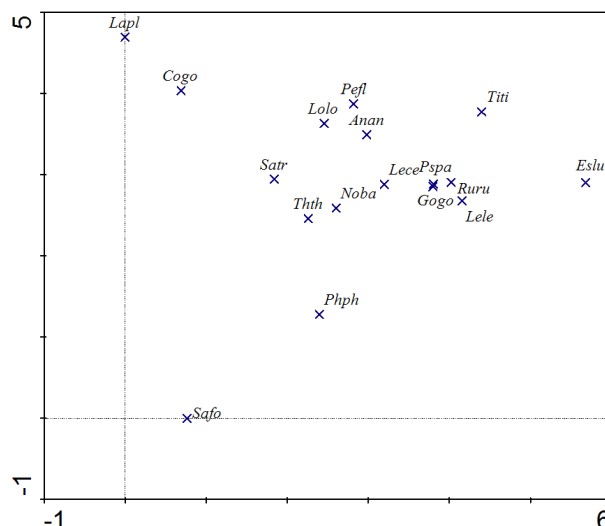
3.3.1 Struktura rybích společenstev (nepřímá gradientová analýza, DCA)

K hodnocení struktury rybích společenstev byla použita *Detrended correspondence analysis* (DCA). V DCA analýze byla nejprve použita data o prezenci-absenci 36 druhů ryb s frekvencí výskytu nad 0,5 %. Vzájemné vztahy těchto druhů udává ordinační diagram na Obr.34. Nejsilnější směry variability v datech jsou popsány pomocí prvních dvou os tohoto diagramu. První osa vysvětluje samostatně 15,1 % variability, druhá osa pak 9,4 %. Druhy jsou v ordinačním diagramu zobrazeny jako body, reprezentující jejich ekologická optima na daných gradientech.



Obr. 34: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 36 druhů (s frekvencí výskytu nad 0,5 %) z 612 lokalit toků povodí Labe. První osa 15,1 %, druhá osa 9,4 %.

V následující analýze (Obr. 35) byla použita pouze data o prezenci-absenci druhů s nenáhodným výskytem (frekvence výskytu ≥ 5 %). Tuto podmínku splňovalo v rámci povodí Labe 17 druhů ryb. V tomto případě lze pomocí nepřímé ordinační metody DCA vysvětlit prostřednictvím prvních dvou os ordinačního diagramu 28 % variability. První osa samostatně vysvětlí 18 % variability, druhá osa pak dalších 10 % variability.



Obr. 35: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 17 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 612 lokalit toků povodí Labe. První osa 18 %, druhá osa 10 %.

3.3.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (přímá gradientová analýza, CCA)

Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální i časové variability

V této analýze jsem se snažil nalézt signifikantní faktory prostředí ($P < 0,05$) po odstranění časové a regionální variability. Bylo použito přímé gradientové CCA analýzy. Jako nezávisle proměnné bylo testováno opět 42 našich proměnných získaných z mapy. Signifikantní vliv na skladbu rybích společenstev (hladina $P = 0,05$) po odstranění korelovaných proměnných ($IF > 10$) mělo 14 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů se podařilo vysvětlit 10,4 % ze zbývající variability po odečtení 16,6 % variability vysvětlené kovariátami. Nejlepším prediktorem byl v tomto modelu parametr vzdálenost od pramene (VZDAL_PR), který samostatně vysvětlil 2,3 % variability. Pomocí parametrů prostředí a časové a regionální variability bylo v rámci povodí Labe vysvětleno 25,3 % variability.

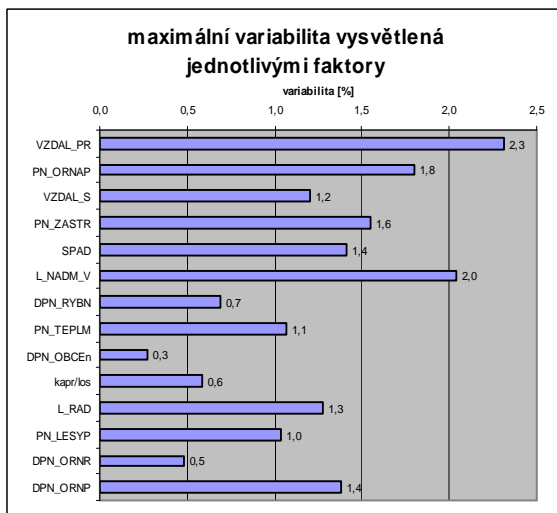
Tab.10 znázorňuje všech 14 signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu.

	parametr	relat_var_max	relat_var FW	Relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	VZDAL_PR	2,3	2,3	2,3	1,9	1,9
2	PN_ORNAP	1,8	1,4	3,7	1,2	3,1
3	VZDAL_S	1,2	1,1	4,9	0,9	4,1
4	PN_ZASTR	1,6	1,0	5,9	0,8	4,9
5	SPAD	1,4	0,7	6,6	0,6	5,5
6	L_NADM_V	2,0	0,6	7,2	0,5	6,0
7	DPN_RYBN	0,7	0,5	7,7	0,4	6,4
8	PN_TEPLM	1,1	0,5	8,2	0,4	6,8
9	DPN_OBCE	0,3	0,4	8,6	0,3	7,2
10	KAPR/LOS	0,6	0,4	9,0	0,3	7,5
11	L_RAD_T	1,3	0,4	9,4	0,3	7,8
12	PN_LESYP	1,0	0,4	9,8	0,3	8,1
13	DPN_ORNR	0,5	0,3	10,1	0,3	8,4
14	DPN_ORNP	1,4	0,3	10,4	0,3	8,7

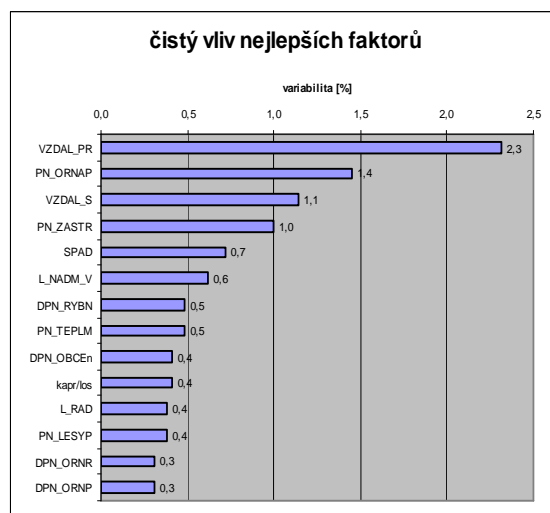
Tab. 10: Signifikantní parametry prostředí, stanovené přímou CCA analýzou z dat o prezenci-absenci, mající vliv na rybí společenstva povodí Labe po odstranění vlivu regionální i časové variability.

relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci Tab.10 je maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 36a a 36b Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody "Forward" selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3. sloupci uvedena maximální hodnota námi vysvětlené variability tímto modelem (10,4 %). Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na variabilitu vysvětlenou kovariátami.

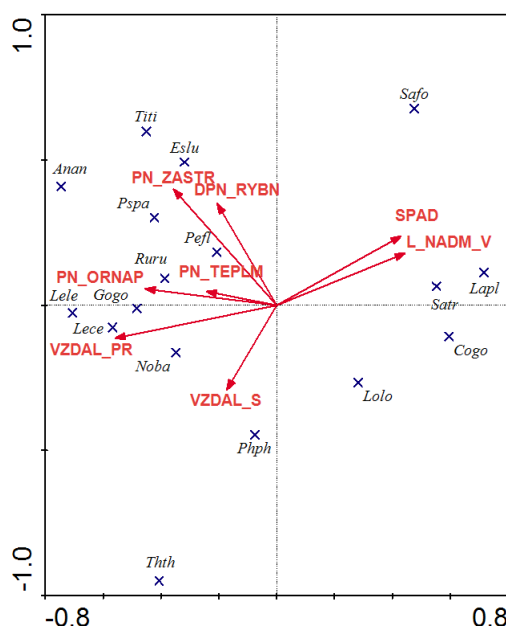


Obr. 36a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 36b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy na Obr. 37 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 % a parametry, které vysvětlují alespoň 0,5 % druhové variability. První osa ordinačního diagramu vysvětlí samostatně 4 % variability, druhá osa další 1,3 % variability.



Obr. 37: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv významných parametrů vysvětlujících alespoň 0,5 % druhové variability po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 17 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 612 lokalit toků povodí Labe. První osa 4,5 %, druhá osa 1,3 %.

3.4 Vliv parametrů prostředí získaných z mapy na rybí společenstva toků povodí Odry

V této části jsem se snažil nalézt významné parametry prostředí z mapy, které nejvíce vypovídají o skladbě rybích společenstev toků povodí Odry. Opět byla v analýzách použita pouze data o prezenci-absenci jednotlivých druhů.

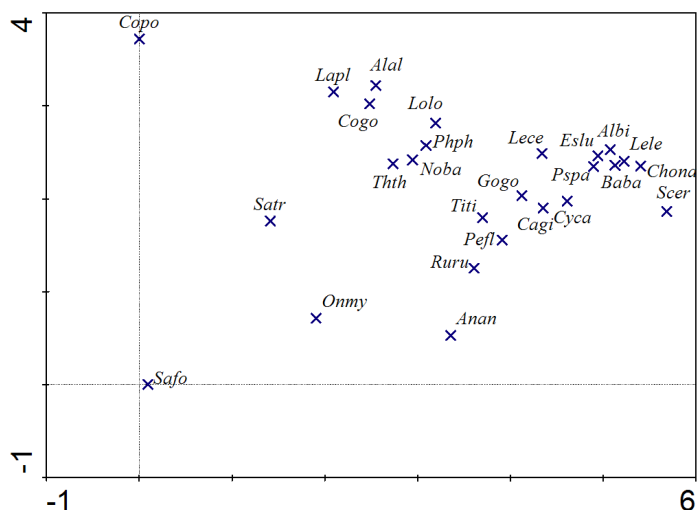
K hodnocení rybích společenstev v povodí Odry jsem měl k dispozici údaje o druhovém složení z 207 lokalit 98 toků povodí Odry. Všechny lokality se nacházely ve vzdálenosti do 100 km od pramene. Data byla získávána za období mezi roky 1997 a 2007. V období 1997–2002 145 lokalit a 2003–2007 62 lokalit.

Celkem byl na lokalitách povodí Odry potvrzen výskyt 30 druhů ryb. Do analýz byly zahrnuty druhy s frekvencí výskytu nad 0,5 %. Mezi druhy s frekvencí výskytu pod touto hranicí patřily jelec jesen, karas obecný, ježdík obecný, candát obecný. Ze zbývajících 26 druhů má frekvenci výskytu větší než 5 % 18 druhů. Mezi tyto druhy patří mihule potoční, pstruh obecný, pstruh duhový, siven americký, lipan podhorní, plotice obecná, jelec proudník, jelec tloušť, střevele potoční, ostroretka stěhovavá, hrouzek obecný, parma

říční, ouklej obecná, karas stříbřitý, mřenka mramorovaná, okoun říční, vranka obecná a vranka pruhoploutvá. Frekvenci výskytu nenáhodných druhů udává Obr. V v Příloze 1.

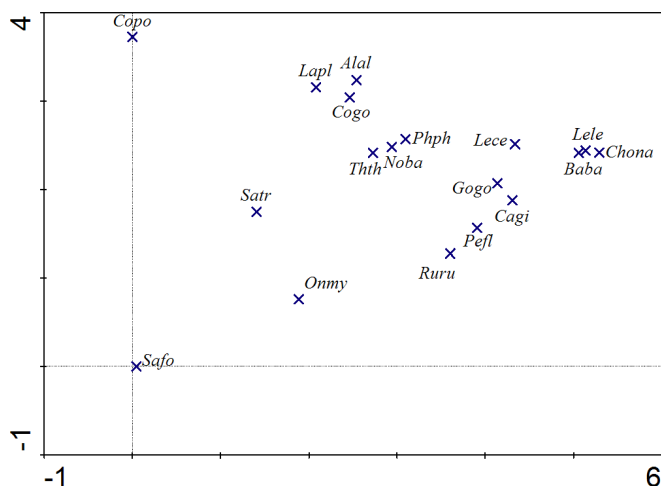
3.4.1 Struktura rybích společenstev (nepřímá gradientová analýza, DCA)

K hodnocení struktury rybích společenstev byla použita *Detrended correspondence analysis* (DCA). Nejprve byla použita data o prezenci-absenci 26 druhů ryb s frekvencí výskytu nad 1 %. Vzájemné vztahy těchto druhů udává ordinační diagram na Obr. 38. Nejsilnější směry variability v datech jsou popsány pomocí prvních dvou os v ordinačním diagramu DCA. Tyto osy vysvětlují společně 32,8 % z celkové variability v datech. První osa vysvětluje samostatně 21,3 % variability, druhá osa pak 11,5 %. Druhy jsou v ordinačním diagramu zobrazeny jako body, reprezentující jejich ekologická optima na daných gradientech.



Obr. 38: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 26 druhů (s frekvencí výskytu nad 1 %) z 207 lokalit toků povodí Odry. První osa 21,3 %, druhá osa 11,5 %.

V následující analýze (Obr. 39) byla použita pouze data o prezenci-absenci druhů s nenáhodným výskytem (frekvence výskytu ≥ 5 %). Tuto podmínku splňovalo v rámci povodí Odry 18 druhů ryb. V tomto případě lze pomocí nepřímé ordinační metody DCA vysvětlit prostřednictvím prvních dvou os ordinačního diagramu 34,7 % variability. První osa samostatně vysvětlí 22,4 % variability, druhá osa pak dalších 12,3 % variability.



Obr. 39: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci - absenci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 207 lokalit toků povodí Odry. První osa 22,4 %, druhá osa 12,3 %.

3.4.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (přímá gradientová analýza, CCA)

Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální i časové variability

Cílem této analýzy bylo nalézt signifikantní faktory prostředí ($P < 0,05$) po odstranění časové a regionální variability. Bylo použito přímé gradientové CCA analýzy. Jako nezávisle proměnné bylo testováno opět 42 našich proměnných získaných z mapy. Signifikantní vliv na skladbu rybích společenstev (hladina $P = 0,05$) po odstranění korelovaných proměnných ($IF > 10$) mělo 13 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů se podařilo vysvětlit 29,3 % ze zbývajících variability po odečtení variability dané kovariátami (z celkové variability druhových dat to bylo 20,8 %). Nejlepším prediktorem byl v tomto modelu parametr nadmořská výška lokality (L_NADM_V), který samostatně vysvětlil 8,4 % variability. Pomocí parametrů prostředí a časové a regionální variability bylo v rámci povodí Odry vysvětleno 50 % variability.

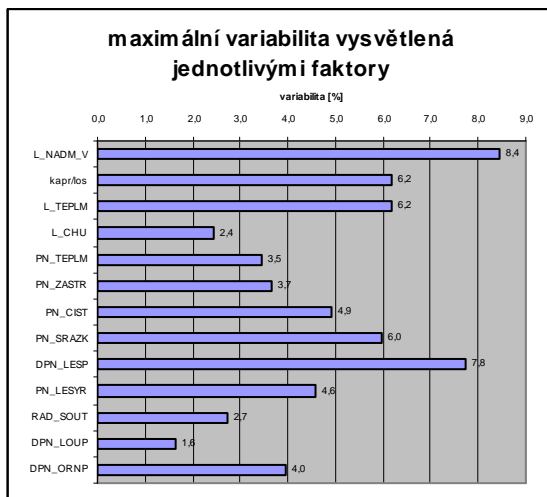
V Tab. 11 je znázorněno všech 13 signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu.

	parametr	relat_var_max	relat_var FW	relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	L_NADM_V	8,4	8,4	8,4	6,0	6,0
2	KAPR/LOS	6,2	5,2	13,6	3,7	9,7
3	L_TEPLM	6,2	2,5	16,1	1,8	11,5
4	L_CHU	2,4	2,2	18,3	1,6	13,0
5	PN_TEPLM	3,5	2,0	20,3	1,4	14,4
6	PN_ZASTR	3,7	1,6	21,9	1,1	15,6
7	PN_CIST	4,9	1,5	23,4	1,0	16,6
8	PN_SRAZK	6,0	1,2	24,6	0,9	17,5
9	DPN_LESP	7,8	1,1	25,7	0,8	18,2
10	PN_LESYR	4,6	1,0	26,7	0,7	18,9
11	RAD_SOUT	2,7	0,9	27,6	0,6	19,6
12	DPN_LOUP	1,6	0,9	28,5	0,6	20,2
13	DPN_ORNP	4,0	0,8	29,3	0,6	20,8

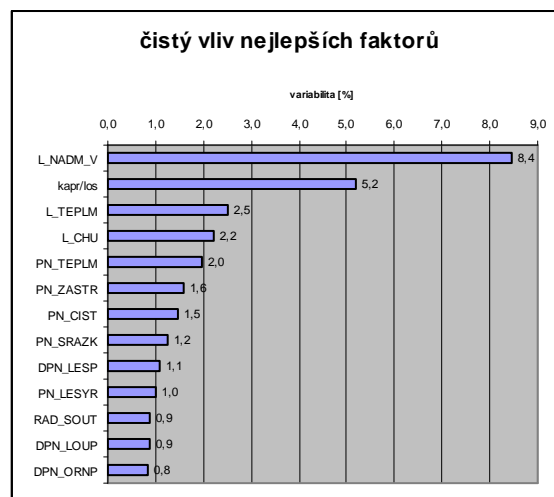
Tab. 11: Signifikantní parametry prostředí, stanovené přímou CCA analýzou z dat o prezenci-absenci, mající vliv na rybí společenstva povodí Odry po odstranění vlivu regionální i časové variability.

relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci je maximální variabilita vysvětlena daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlena daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 40a a 40b. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody "Forward" selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3. sloupci uvedena maximální hodnota námi vysvětlené variability tímto modelem (29,3 %). Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na variabilitu vysvětlenou kovariátami.

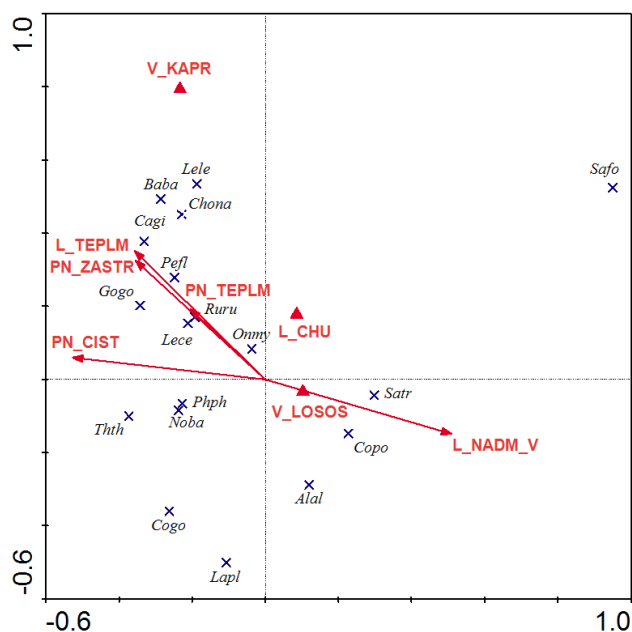


Obr. 40a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 40b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy Obr. 41 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 % a parametry, které vysvětlují alespoň 1,5 % druhové variability. První osa ordinačního diagramu vysvětlí samostatně 12 % variability, druhá osa další 5,7 % variability.



Obr. 41: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv signifikantních parametrů vysvětlujících alespoň 1,5 % druhové variability po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 207 lokalit toků povodí Odry. První osa 12 %, druhá osa 5,7 %.

3.5 Významné parametry prostředí v závislosti na umístění lokalit v podélném profilu toku

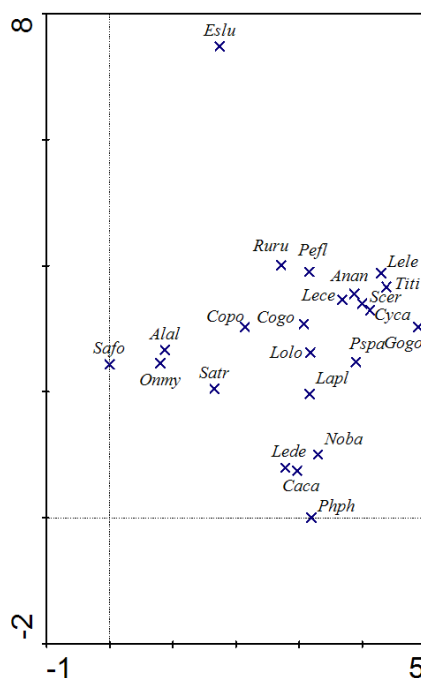
Cílem této části bylo nalézt významné parametry prostředí z mapy, které nejvíce vypovídají o skladbě rybích společenstev v závislosti na umístění dané lokality v podélném profilu toku. V první podkapitole jsem se zaměřil na drobné toky, kdy vzdálenost lokality od pramene nepřesahovala 5 km. Ve druhé podkapitole jsem pak analyzoval lokality vzdálené od pramene více než 15 km. K analýzám byla používána data o prezenci-absenci jednotlivých druhů ryb.

3.5.1 Lokality do 5 kilometrů od pramene

K analýze souboru lokalit do vzdálenosti 5 km od pramene byla k dispozici data o druhovém složení ryb z 337 lokalit povodí Labe a Odry. Tyto lokality byly proloveny v období mezi roky 1995–2007. Prokázána byla přítomnost 27 druhů ryb. Do analýz bylo zahrnuto 24 druhů s frekvencí výskytu nad 1 %. Z analýz byl tedy vyloučen lipan podhorní, cejnek malý a karas stříbřitý. Z těchto 24 druhů mělo frekvenci výskytu vyšší než 5 % těchto 10 druhů: mihule potoční, pstruh obecný, siven americký, plotice obecná, střevle potoční, hrouzek obecný, mřenka mramorovaná, okoun říční, vranka obecná a vranka pruhoploutvá. Frekvenci výskytu nenáhodných druhů udává Obr. VI v Příloze 1.

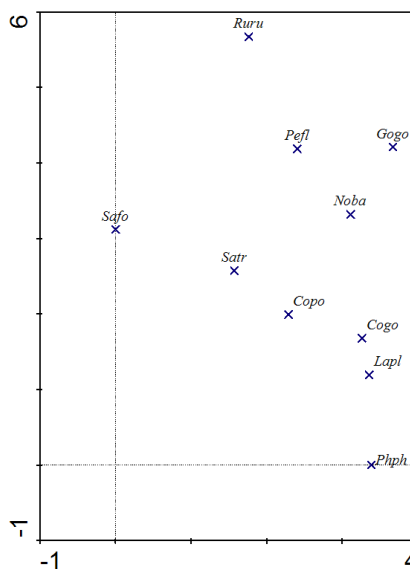
3.5.1.1 Struktura rybích společenstev (nepřímá gradientová analýza, DCA)

K hodnocení struktury rybích společenstev byla použita *Detrended correspondence analysis* (DCA). Nejprve byla použita data o prezenci-absenci 24 druhů ryb s frekvencí výskytu nad 1 %. Vzájemné vztahy těchto druhů udává ordinační diagram na Obr. 42. Nejsilnější směry variability v datech jsou popsány pomocí prvních dvou os v ordinačním diagramu DCA. Tyto osy vysvětlují společně 21,6 % z celkové variability v datech. První osa vysvětluje samostatně 13,1 % variability, druhá osa pak 8,5 %. Druhy jsou v ordinačním diagramu zobrazeny jako body, reprezentující jejich ekologická optima na daných gradientech.



Obr. 42: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 24 druhů (s frekvencí výskytu nad 1 %) z 337 lokalit se vzdáleností do 5 km od pramene. První osa 13,1 %, druhá osa 8,5 %.

V následující analýze (Obr. 43) byla použita pouze data o prezenci-absenci druhů s nenáhodným výskytem (frekvence výskytu ≥ 5 %). Tuto podmínku splňovalo v rámci lokalit do 5 km od pramene 10 druhů ryb. V tomto případě lze pomocí nepřímé ordinační metody DCA vysvětlit prostřednictvím prvních dvou os ordinačního diagramu 34,6 % variability. První osa samostatně vysvětlí 19,6 % variability, druhá osa pak dalších 15 % variability.



Obr. 43: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 10 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 337 lokalit se vzdáleností do 5 km od pramene. První osa 19,6 %, druhá osa 15 %.

3.5.1.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (přímá gradientová analýza, CCA)

Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální i časové variability

V této analýze jsem se snažil nalézt signifikantní faktory prostředí ($P < 0,05$) po odstranění časové a regionální variability. Bylo použito přímé gradientové CCA analýzy. Jako nezávisle proměnné bylo testováno opět 42 našich proměnných získaných z mapy. Signifikantní vliv na skladbu rybích společenstev (hladina $P = 0,05$) po odstranění korelovaných proměnných ($IF > 10$) mělo 7 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů se podařilo vysvětlit 7,2 % ze zbývajících variability po odečtení variability dané kovariátami (z celkové variability druhových dat to bylo 5,3 %). Nejlepším prediktorem byl v tomto modelu parametr nadmořská výška lokality (L_NADM_V), který samostatně vysvětlil 1,5 % variability. Pomocí parametrů prostředí a časové a regionální variability bylo v rámci lokalit do 5 km od pramene vysvětleno 31 % variability

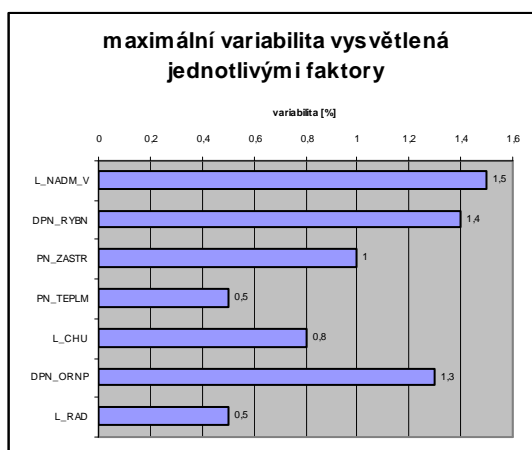
V Tab.12 je znázorněno všech 7 signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu.

	parametr	relat_var_max	relat_var FW	relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	L_NADM_V	1,5	1,5	1,5	1,1	1,1
2	DPN_RYBN	1,4	1,3	2,8	0,9	2,0
3	PN_ZASTR	1,0	1,1	3,9	0,8	2,9
4	PN_TEPLM	0,5	1,0	4,9	0,7	3,6
5	L_CHU	0,8	0,8	5,7	0,6	4,2
6	DPN_ORNP	1,3	0,8	6,5	0,6	4,8
7	L_RAD_T	0,5	0,7	7,2	0,5	5,3

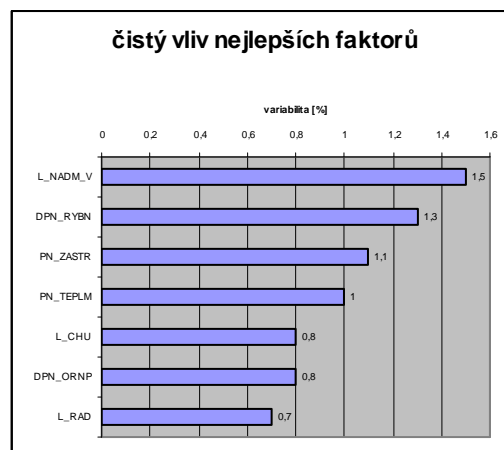
Tab. 12: Signifikantní parametry prostředí, stanovené přímou CCA analýzou z dat o prezenci-absenci druhů, mající vliv na rybí společenstva v tocích do 5 km od pramene po odstranění vlivu regionální i časové variability.

relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci je maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 44a a 44b. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody "Forward" selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3 sloupci uvedena maximální hodnota námi vysvětlené variability tímto modelem (7,2 %). Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na variabilitu vysvětlenou kovariátami.



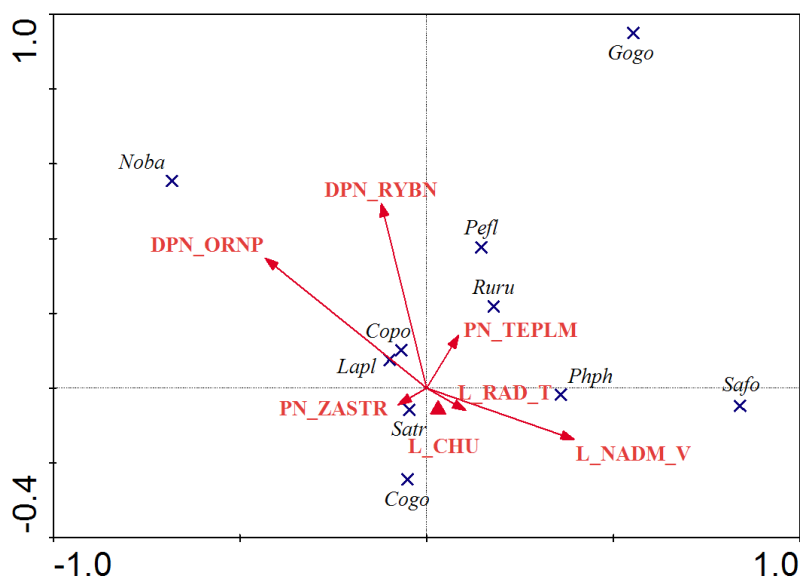
Obr. 44a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 44b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy Obr. 45 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy

s frekvencí výskytu nad 5 %. První osa ordinačního diagramu vysvětlí samostatně 2,6 % variability, druhá osa další 1,9 % variability.



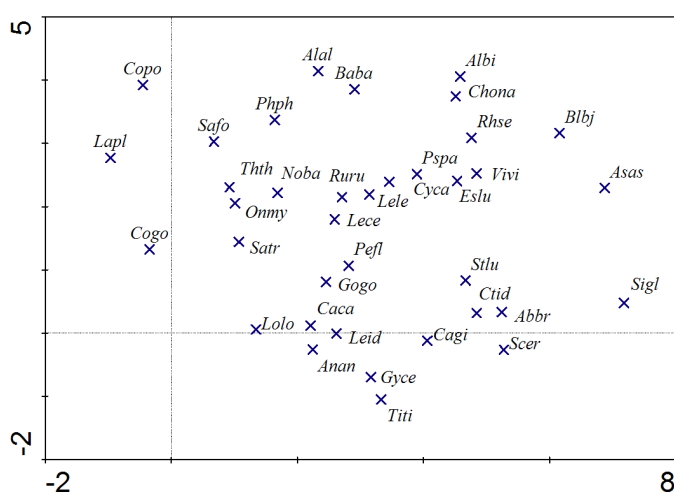
Obr. 45: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv parametrů získaných z mapy po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 10 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 337 lokalit ve vzdálenosti do 5 km od pramene toků povodí Labe a Odry. První osa 2,6 %, druhá osa 1,9 %.

3.5.2 Lokality nad 15 kilometrů od pramene

K analýze souboru lokalit vzdálených více než 15 km od pramene byla k dispozici data o druhovém složení ryb z 216 lokalit povodí Labe a Odry. Tyto lokality byly proloveny v období mezi roky 1993–2007. Prokázána byla přítomnost 45 druhů ryb. Do našich analýz bylo zahrnuto 37 druhů s frekvencí výskytu nad 1 %. Mezi druhy s frekvencí výskytu pod touto hranicí patřily losos obecný, hrouzek běloploutvý, tolstolobik bílý, sekavec, piskoř pruhovaný, sumeček americký a slunečnice pestrá. Ze zbývajících 37 druhů má frekvenci výskytu větší než 5 % 24 druhů. Mezi tyto druhy patří mihule potoční, pstruh obecný, pstruh duhový, siven americký, lipan podhorní, štika obecná, plotice obecná, jelec proudník, jelec tloušť, stěvle potoční, lín obecný, ostroretka stěhovavá, stěvlička východní, hrouzek obecný, parma obecná, ouklej obecná, cejn velký, karas stříbřitý, kapr obecný, mřenka mramorovaná, úhoř říční, mník jednovousý, okoun říční a vranka obecná. Frekvenci výskytu nenáhodných druhů udává Obr. VI v Příloze 1.

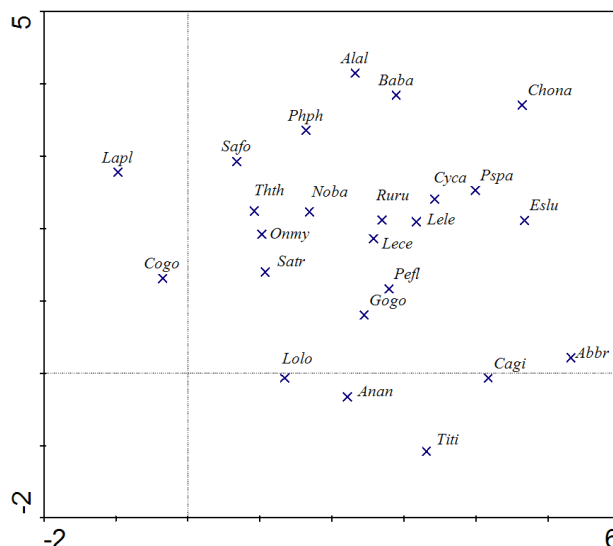
3.5.2.1 Struktura rybích společenstev (nepřímá gradientová analýza, DCA)

K hodnocení struktury rybích společenstev byla použita *Detrended correspondence analysis* (DCA). Nejprve byla použita data o prezenci-absenci 37 druhů ryb s frekvencí výskytu nad 1 %. Vzájemné vztahy těchto druhů udává ordinační diagram na Obr. 46. Nejsilnější směry variability v datech jsou popsány pomocí prvních dvou os v ordinačním diagramu DCA. Tyto osy vysvětlují společně 23,7 % z celkové variability v datech. První osa vysvětluje samostatně 17,3 % variability, druhá osa pak 6,4 %. Jednotlivé druhy jsou v ordinačním diagramu zobrazeny jako body, reprezentující jejich ekologická optima na daných gradientech.



Obr. 46: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 37 druhů (s frekvencí výskytu nad 1 %) z 216 lokalit se vzdáleností nad 15 km od pramene. První osa 17,3 %, druhá osa 6,4 %.

V následující analýze (Obr. 47) byla použita pouze data o prezenci-absenci druhů s nenáhodným výskytem (frekvence výskytu ≥ 5 %). Tuto podmínku splňovalo v rámci lokalit nad 15 km od pramene 24 druhů ryb. V tomto případě lze pomocí nepřímé ordinační metody DCA vysvětlit prostřednictvím prvních dvou os ordinačního diagramu 26,3 % variability. První osa samostatně vysvětlí 19,1 % variability, druhá osa pak dalších 7,2 % variability.



Obr. 47: Výsledný ordinační diagram *Detrended correspondence analysis* (DCA) dat o prezenci-absenci 24 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 216 lokalit se vzdáleností nad 15 km od pramene. První osa 19,1 %, druhá osa 7,2 %.

3.5.2.2 Vztah rybích společenstev k environmentálním faktorům (přímá gradientová analýza, CCA)

Variabilita parametrů z mapy po odstranění regionální i časové variability

V této analýze jsem se snažil nalézt signifikantní faktory prostředí ($P < 0,05$) po odstranění časové a regionální variability. Bylo použito přímé gradientové CCA analýzy. Jako nezávisle proměnné bylo testováno opět 42 našich proměnných získaných z mapy. Signifikantní vliv na skladbu rybích společenstev (hladina $P = 0,05$) po odstranění korelovaných proměnných ($IF > 10$) mělo 12 parametrů prostředí. Pomocí těchto parametrů se podařilo vysvětlit 17,5 % ze zbývajících variability po odečtení variability dané kovariátami (z celkové variability druhových dat to bylo 12 %). Nejlepším prediktorem byl v tomto modelu parametr počet obcí v povodí nad lokalitou (PN_OBCEP) Tento parametr samostatně vysvětlil 3,4 % variability. Pomocí parametrů prostředí a časové a regionální variability bylo v rámci lokalit nad 15km od pramene vysvětleno 43,2 % variability.

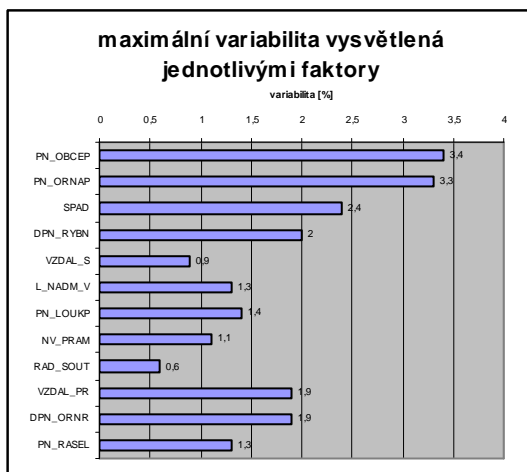
V Tab.13 je znázorněno všech 12 signifikantních parametrů v pořadí od nejlepšího prediktoru k nejhoršímu.

	parametr	relat_var_max	relat_var FW	relat_var_suma	abs_var FW	abs_var_suma
1	PN_OBCEP	3,4	3,4	3,4	2,3	2,3
2	PN_ORNAP	3,3	2,9	6,3	2,0	4,3
3	SPAD	2,4	1,9	8,2	1,3	5,6
4	DPN_RYBN	2,0	1,5	9,6	1,0	6,6
5	VZDAL_S	0,9	1,1	10,8	0,8	7,4
6	L_NADM_V	1,3	1,1	11,9	0,7	8,1
7	PN_LOUKP	1,4	1,0	12,9	0,7	8,8
8	NV_PRAM	1,1	1,0	13,9	0,7	9,5
9	RAD_SOUT	0,6	1,0	14,9	0,7	10,2
10	VZDAL_PR	1,9	0,9	15,8	0,6	10,8
11	DPN_ORNR	1,9	0,9	16,7	0,6	11,4
12	PN_RASEL	1,3	0,8	17,5	0,5	12,0

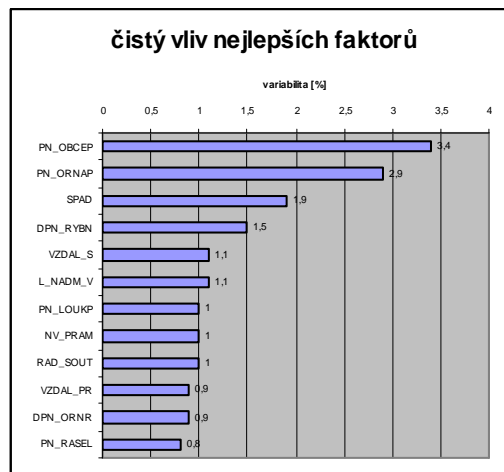
Tab. 13: Signifikantní parametry prostředí, stanovené přímou CCA analýzou z dat o prezenci-absenci druhů, mající vliv na rybí společenstva v tocích nad 15 km od pramene po odstranění vlivu regionální i časové variability.

relat_var_max – maximální relativní variabilita, relat_var.FW – relativní variabilita stanovená "Forward" selekcí, relat_var_suma – součet relativních hodnot variability, abs_var_FW - absolutní variabilita stanovená "Forward" selekcí, abs_var_suma - součet absolutních hodnot variability

V prvním sloupci je maximální variabilita vysvětlená daným faktorem, v druhém pak zbývající variabilita vysvětlená daným faktorem po odstranění variability vysvětlené parametry, které jsou v dané tabulce výše. V porovnání viz Obr. 48a a 48b. Pořadí parametrů bylo stanoveno prostřednictvím metody "Forward" selekce v CCA, jejímž prostřednictvím lze nalézt nejlepší prediktory. Ve třetím sloupci je pak uveden součet vysvětlené variability všemi výše uvedenými parametry. Proto je u posledního parametru ve 3 sloupci uvedena maximální hodnota vysvětlené variability tímto modelem (17,5 %). Poslední dva sloupce udávají hodnoty v procentech absolutní variability, tedy veškeré variability v druhových datech bez ohledu na variabilitu vysvětlenou kovariátami.

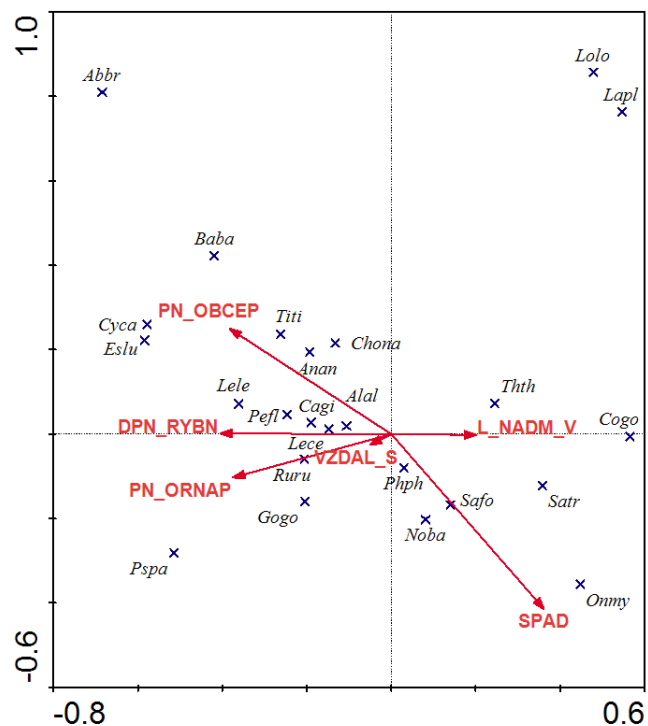


Obr. 48a: Maximální variabilita vysvětlená samostatně jednotlivými signifikantními faktory.



Obr. 48b: Variabilita, kterou daný faktor přispívá k celkové variabilitě vysvětlené těmito signifikantními faktory.

V následujícím ordinačním diagramu CCA analýzy Obr. 49 je znázorněn vliv těchto parametrů na jednotlivé druhy. Pro přehlednost jsou zde vyobrazeny pouze druhy s frekvencí výskytu nad 5 % a parametry prostředí podléjící se na celkově vysvětlené variabilitě více než 1 %. První osa ordinačního diagramu vysvětlí samostatně 6,3 % variability, druhá osa další 2,7 % variability.



Obr. 48: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) znázorňuje vliv signifikantních parametrů získaných z mapy vysvětlujících více než 1 % druhové variability po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 24 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 216 lokalit ve vzdálenosti nad 15 km od pramene toků povodí Labe a Odry. První osa 6,3 %, druhá osa 2,7 %.

4. DISKUZE

4.1 Diskuze použitých metodik

Pro zjištění co nejpřesnějších údajů o způsobu ovlivnění společenstev ryb v tocích environmentálními parametry by bylo určitě vhodnější použít informace o společenstvech z jednotného zdroje, nejlépe od jednoho lovce a v co možná nejkratším časovém období. Tímto způsobem ale takřka není možné získat dostatečné množství údajů z rozsáhlého území. Je tedy nutné počítat s tím, že díky způsobu sběru dat dochází k určitému ovlivnění přesnosti výsledků. Dalším zneřádněním informací o společenstvech z takto velké oblasti, se kterým je nutné počítat, je i jistá míra nenáhodnosti při výběru prolovovaných toků (Johnson et al., 2007). I když jsem u některých lokalit znal údaje získané metodou více odlovů, použil jsem vždy informace pouze z prvního odlovu. Důvodem byl velký počet lokalit, kde jsem měl k dispozici pouze údaje z prvního odlovu a prokazatelně větší efektivita metody více odlovů (Humpl et Lusk, 2006) by tak do analýz vnášela přesnější informace z některých lokalit. Vhodnost metody prvního odlovu pro tento typ práce udává Jowett et Richardson (1996). Další faktor, který mohl ovlivnit mé výsledky a nebylo možné jej úplně eliminovat, byl dán rozdílnou informací o přesné poloze lokalit. Lze předpokládat, že zákres lokalit, u kterých lovec zaznamenal přesnou polohu pomocí metody GPS, byl i přes moji snahu maximálně přesně určit polohu ostatních lokalit, kde jsem tuto informaci neměl, přesnější.

Co se týká statistického zpracování, jsou mnohorozměrné statistické analýzy velice vhodné metody pro analýzy v rámci vodního prostředí, jelikož jsou schopny uvažovat vzájemné vztahy a struktury korelací mezi faktory prostředí (Ahmadi-Nedushan et al., 2006). Existuje mnoho modelů a technik, které lze použít při hodnocení vlivu velkého množství environmentálních faktorů na prostorové uspořádání společenstev organismů. Časté je například použití metod umělých neuronových sítí ANN (artificial neural network) (Mastrorillo et al., 1998; Brosse et al., 1999; Joy et Death, 2004; Park et al., 2006). Ke zjišťování vlivů environmentálních proměnných na společenstva ryb jsem používal mnohonásobné ordinační metody (Multivariate ordination methods). Mnohorozměrné ordinační metody v programu CANOCO jsou výhodné především vzhledem k robustnosti a velké plasticitě v možnostech odfiltrování různých typů autokorelací pomocí různě zadaných permutačních testů (Lepš et Šmilauer, 2000) i poměrně přehledné vizualizaci nejdůležitějších směrů ve variabilitě druhových dat.

V průběhu zjišťování maximálního vlivu jednotlivých signifikantních environmentálních faktorů na rybí druhy a porovnání této variability s variabilitou, kterou daný faktor přispívá v nejlepším modelu vygenerovaném pomocí manuální selekce postupné CCA analýzy, se ve výsledcích občas u některých proměnných vyskytuje zarážející jev. Čistý efekt je občas mírně vyšší než maximální variabilita. Je přitom jasné, že tato situace by neměla nikdy nastávat. Maximální variabilita faktoru totiž zahrnuje část variability druhů, kterou je možné vysvětlit ostatními faktory prostředí. K tomu dochází při sebemenších korelacích mezi těmito faktory. Pokud tedy variabilitu společnou pro více faktorů v daném modelu již vysvětlily dříve použité proměnné, musí být variabilita následující proměnné o tuto variabilitu snížena. Maximální variabilita daného faktoru, by tedy měla být větší nebo v případě absolutní nekorelovanosti environmentální proměnné rovna čistému vlivu daného faktoru. Podobný jev jsem našel i ve výsledcích prací Jeřábkové (2006) a Daňka (2008). Daněk (2008) uvádí, že k tomuto jevu může docházet při určitém způsobu vzájemné korelace prediktorů a odpovědi. Toto je nutno zohlednit u některých výsledků.

S vývojem geografického informačního systému (GIS) vznikla celá řada prací, které hodnotí územní vlivy (prostorová data) v povodí a jejich vliv na společenstva (Poff et Allen, 1995; Johnson et Gage, 1997; Joy et Death, 2004) Díky GIS se výrazně zvýšila dostupnost takto digitálně získaných prostorových dat (Walters et al., 2009) a došlo tak k výrazně lepšímu pochopení vztahů mezi vodními toky a okolní krajinou (Allan et Johnson, 1997; Johnson et Host, 2010). Mezi nesporné výhody užití tohoto systému patří rychlost a přesnost takto získaných informací (Newson et Newson, 2000). Přesnost těchto informací je podmíněna skutečností, že všechny informace jsou získány z jednotného informačního systému. Nezanedbatelnou výhodou je také relativně nízké úsilí vynaložené k získání těchto parametrů a jejich nesrovnatelně nižší cena (Fransen et al., 2006; Walters et al., 2009) ve srovnání s cenou parametrů vyžadujících například individuální přístup k jednotlivým lokalitám nebo dokonce přítomnost mapovatele na dané lokalitě. Množství takto získaných prostorových parametrů je vzhledem k libovolnému škálování území takřka neomezený (Walters et Roy, 2009). Na to je nutné myslet v případech malého souboru analyzovaných míst, aby nedocházelo k situacím, kdy je environmentálních faktorů prostředí více než lokalit (Walters et Roy, 2009). Je také třeba zmínit, že v případě velkého množství takto získaných parametrů lze očekávat časté vzájemné korelace. Silně korelované faktory je pak vhodné z vlastních analýz eliminovat.

4.2 Diskuze výsledků

V povodí Labe udává Frič (1908) 42 druhů ryb a mihulí. V současnosti se zde již nevyskytuje mihule mořská (*Petromyzon marinus*), mihule říční (*Lampetra fluviatilis*), jeseter velký (*Acipenser sturio*), placka pomořanská (*Alosa alosa*), platýs bradavičnatý (*Pleuronectes flesus*). Kromě těchto původních druhů se zde ale můžeme setkat také s introdukovaným pstruhem duhovým (*Oncorhynchus mykiss*), sivenem americkým (*Salvelinus fontinalis*), sumečkem americkým (*Ictalurus nebulosus*), střevličkou východní (*Pseudorasbora parva*), karasem stříbřitým (*Carassius auratus*), ostroretkou stěhovavou (*Chondrostoma nasus*), koljuškou tříostrou (*Gasterosteus aculeatus*), slunečnicí pestrou (*Lepomis gibbosus*), amurem bílým (*Ctenopharyngodon idella*), tolstolobcem pestrým (*Aristichthys nobilis*), tolstolobkem bílým (*Hypophthalmichthys molitrix*), kaprem obecným (*Cyprinus carpio*) a hlavatkou podunajskou (*Hucho hucho*). Celkem lze tedy v povodí Labe nalézt 48 druhů ryb a mihulí. Většina introdukovaných druhů je však závislá na umělém vysazování. Prostřednictvím dat z 612 lokalit povodí Labe, které byly použity v této práci, bylo zaznamenáno celkem 43 druhů ryb a jeden druh mihule. Z prokázaných druhů v Labi se na těchto lokalitách nevyskytovala pouze ouklejka pruhovaná (*Alburnoides bipunctatus*) a cejn siný (*Abramis ballerus*), kteří patří mezi původní druhy, a tolstolobec pestrý s hlavatkou podunajskou z druhů introdukovaných. Nepřítomnost těchto druhů se dá vysvětlit jejich sporadickým výskytem a orientací našeho výzkumu na menší toky. Za zmínku stojí nepotvrzení ouklejky pruhované korespondující s výsledky Luska et al. (2006), který uvádí, že proti původním představám o poměrně běžném výskytu tohoto druhu neexistují v poslední době téměř žádné konkrétní údaje o jeho výskytu z povodí Labe. Uvádí pouze potvrzený výskyt v potoku Kocába z povodí Vltavy. Tento tok v naší databázi není stejně jako Řasnice, kde byl její výskyt potvrzen v roce 2008 (Dušek in verb.).

V povodí Odry na území ČR lze považovat za prokázaný výskyt 2 druhů mihulovců a 45 druhů ryb v období posledních dvou století. V současné době jsou jako vymizelé druhy hodnoceny mihule říční, jeseter velký, losos obecný a sekavec podunajský (Lojkásek et al., 2006). Dnes zde tedy můžeme očekávat přítomnost jednoho druhu mihule a 42 druhů ryb. Lojkásek et al. (2006) dále uvádí, že z tohoto počtu se zde do devatenáctého století vyskytovalo pouze 30 druhů. Mezi nepůvodní druhy ryb patří pstruh duhový, siven americký, síh maréna, amur bílý, střevlička východní, tolstolobec pestrý, tolstolobik bílý a karas stříbřitý. Mezi nepůvodní druhy pro horní část povodí Odry patří jelec jesen, bolen

dravý, sumec velký, kapr obecný a hlavatka podunajská. Druhová pestrost se zde tedy od té doby výrazně zvýšila. Na 207 lokalitách, které jsem měl z povodí Odry k dispozici, bylo zaznamenáno 30 druhů ryb. Nezachycení 13 druhů lze vysvětlit orientací lokalit na menší toky a také menší proloveností povodí, čímž se zvyšuje pravděpodobnost nezachycení druhů se sporadickým výskytem.

K hodnocení vzájemných vztahů mezi jednotlivými druhy je možno užít několik druhů statistických metod. Velice časté je užití shlukové analýzy cluster analysis (McKenna Jr., 2003) a nepřímé gradientové analýzy DCA. Rozhodl jsem se pro použití analýzy DCA z několika důvodů. DCA analýza stejně jako shluková analýza je schopna popsat vztahy mezi jednotlivými druhy. Avšak shluková analýza sledované druhy pouze seskupí, DCA je schopna seskupit dané druhy v určitém řádu – ve směru největší variability druhového složení společenstev (Herben et Múnzbergová, 2003). Tento směr je dán osami v ordinačním diagramu. První osa vysvětlí nejvíce variability a s každou další osou se množství vysvětlené variability touto osou snižuje. Nepřímá gradientová analýza je schopna uvést maximální variabilitu ve společenstvu a je tedy vhodné ji použít před vlastní přímou gradientovou analýzou (Lepš et Šminauer, 2000). Cílem této analýzy je také určit na základě délky nejdelšího gradientu, kterou z přímých gradientových metod (RDA, CCA) použít (viz metodika kapitola 2.4.2). Nevýhodou této metody je, že vztahy druhů popisuje v mnohorozměrném prostoru. To znesnadňuje interpretaci výsledků z ordinačního diagramu, protože druhy jsou vždy znázorněny dvouprostorově ve vztahu k námi zvoleným osám (nejčastěji prvními dvěma, které vysvětlují nejvíce variability). Pak se ale může stát, že dva druhy, které se v diagramu vyskytují velice blízko sebe, jsou ve skutečnosti od sebe vzdáleny v rámci variability popsané třetí osou.

Rybí společenstva malých a středních toků povodí Labe a Odry

Nepřímou gradientovou analýzou DCA byla vyhodnocena struktura rybích společenstev toků povodí Labe a Odry na souboru dat o prezenci–absenci a následně na souboru dat o relativní abundanci. Tato analýza byla provedena ve všech kapitolách výsledků této diplomové práce vždy ale na různém počtu lokalit. V části, kde byla hodnocena společenstva v rámci obou povodí současně, byl do analýzy zahrnut největší počet lokalit. Z tohoto důvodu lze očekávat, že se zde nejpřesněji projeví vztahy ve společenstvech. Zvláště u druhů s nenáhodným výskytem. Na výsledném ordinačním diagramu DCA je patrný vztah jednotlivých druhů k dvěma osám, které vysvětlují nejvíce variability ve společenstvech ryb. I když tato analýza nezobrazuje vztah druhů a faktorů prostředí, jako

je tomu v případě přímých ordinačních metod, můžeme se z pozice druhů na diagramu domnívat, že poloha druhů ve vztahu k první ose odpovídá jejich poloze v podélném profilu toků (Humpl et Pivnička, 2006). To odpovídá jak analýze dat o prezenci-absenci, tak i dat o relativní abundanci. Druhá osa pak popisuje variabilitu danou dalšími nejsilnějšími environmentálními faktory.

DCA analýza pro data o prezenci-absenci i relativní abundanci byla nejprve použita pro stanovení vztahu mezi druhy s frekvencí výskytu nad 0,5 %, tedy na souboru druhů následně použitých v přímých ordinačních analýzách. Díky tomuto znázornění lze případně odhalit extrémní pozici nějakého vzácněji se vyskytujícího druhu, který nám pak může neúměrně zvyšovat variabilitu dat, a tedy zhoršovat výsledek přímé analýzy na takovém souboru. K tomuto jevu v našich datech o prezenci-absenci nedošlo. Jinak tomu bylo u analýzy dat o relativní abundanci, kdy se v extrémní pozici nacházela slunka obecná. Bylo to zapříčiněno lokalitou, kde se vyskytoval pouze tento druh a byla mu proto přiřazena hodnota relativní abundance 100 %. Tento fakt zvýšil variabilitu celého souboru na dvojnásobek. Tuto lokalitu jsem proto z dalších analýz odstranil. Následně pro zpřehlednění byla tato analýza provedena na souboru nenáhodných druhů (frekvence výskytu nad 5 %). V analýze nenáhodných druhů bylo prostřednictvím prvních dvou os vysvětleno více variability než na souboru druhů s výskytem 0,5 %. To je dáno tím, že snížením počtu druhů v analýze dojde k celkovému snížení variability v analyzovaných datech. Ve všech DCA diagramech je patrná extrémní pozice sivena amerického a vranky pruhoploutvé. Jsou to druhy žijící nejbliže k prameni. Stejně výsledky uvádí i Humpl (2004). Siven americký je v této pozici díky své vysoké toleranci k nízkým hodnotám pH. Tato jeho vlastnost je obecně známa (Baruš et Oliva, 1995a; Hanel et Lusk, 2005). Sivenovu výjimečnou toleranci k nízkým hodnotám pH oproti ostatním druhům i v místě jeho přirozeného výskytu uvádí také Warren et al. (2008). Pozici vranky pruhoploutvé lze vysvětlit díky jejím relativně vyšším nárokům na obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě v porovnání s ostatními druhy pstruhového pásma (Hanel et Lusk, 2005). Tyto dva druhy následovaly mihule potoční, vranka obecná a pstruh obecný. Jedná se o další druhy vyskytující se ve vyšších oblastech toku. Na tomto místě je vhodné také okomentovat pozici pstruha obecného, která je do značné míry ovlivněna jeho vysazováním. V přirozených podmínkách by se dala předpokládat jeho pozice blíže k prameni. Pont et al. (2005) pomocí přímé gradientové CCA analýzy prokázal jeho větší toleranci k nízkým teplotám vody, např. ve srovnání s vrankou obecnou. Některé druhy v diagramu tvoří nápadné shluky. V případě okouna říčního, úhoře říčního a plotice obecné lze jejich

společné umístění s největší pravděpodobností vysvětlit vyplavováním z rybníků. Další shluk tvoří jelec tloušť, jelec proudník a hrouzek obecný a nápadně krátká vzdálenost je také mezi polohou mřenky mramorované a střevle potoční. To naznačuje, že se tyto druhy vyskytují v podobných podmínkách.

Pokud srovnáme ordinační diagramy dat o prezenci-absenci a dat o relativní abundanci, vycházejí nám přibližně stejné hodnoty vysvětlené variability prvními dvěma osami. Toto srovnání je jen orientační, protože v souboru dat o relativní abundanci je menší počet lokalit. Výrazná je změna pozice oukleje obecné a patrný je i posun pstruha obecného v podélném profilu směrem blíže k prameni. To lze vysvětlit díky očekávaným vyšším hodnotám jeho relativní abundance na lokalitách směrem k prameni.

Z důvodu velké rozlohy zkoumané oblasti a časovému rozmezí, ve kterém byly lokality proloveny, jsem se snažil zjistit vliv regionální a časové variability. Pomocí přímé gradientové analýzy byl potvrzen významný vliv jak regionální tak časové variability ($P < 0,05$). To je v souladu s pracemi mnoha autorů např. (Cytterski et Barber, 2006; Habit et al., 2007; Johnson et al., 2007), kteří poukazují na významný vliv jak časové, tak regionální variability. Velký vliv regionální variability uvádí také Gispert et al., (2002), při analýze společenstev ryb v povodí řeky Terri ve Španělsku. Hodnoty variability dané pozicí lokalit v námi stanovených regionech a hodnoty variability dané rokem odlovu jsou takřka stejné při analýze dat o prezenci-absenci i dat o relativní abundanci druhů. Regionální variabilita vysvětlí v obou případech více než dvojnásobné množství variability v porovnání s variabilitou časovou. Z ordinačních diagramů, na kterých je znázorněn samostatný vliv časové variability, je pozice všech rybích druhů relativně blízko středu diagramu. Z toho vyplývá, že i když je variabilita daná jednotlivými roky významná (vysvětluje 6,6 % variability pro prezenci-absenci druhů, respektive 5,9 % variability pro relativní abundanci), nedá se říci, že by byla nějaká významná korelace mezi některým rokem a rybím druhem. To znamená, že prolovenost v jednotlivých letech byla srovnatelná co do druhového zastoupení. Z ordinačního diagramu, ve kterém je znázorněn samostatný vliv regionální variability, je zřejmá velice silná korelace mezi povodím Opavy a vrankou pruhoploutvou. To je dáno charakterem lokalit, které jsem měl k dispozici z tohoto regionu. Ze 45 lokalit se zde vranka pruhoploutvá vyskytovala na 32 lokalitách. Na ostatních lokalitách z povodí Odry byla frekvence výskytu tohoto druhu nesrovnatelně menší (8,0 % oproti 71,1 %). Kromě vranky pruhoploutvé byl na těchto lokalitách zjištěn prakticky pouze pstruh obecný. Frekvence výskytu pstruha je ale vysoká v rámci všech regionů, a proto se v diagramu směrem k povodí Opavy neposouvá. Z tohoto důvodu je

v ordinačním diagramu znázorněn značný rozdíl mezi povodím Opavy proti regionům ostatním. Díky tomuto velkému vlivu povodí Opavy (regionu 02) nebyl patrný vztah mezi ostatními regiony. Proto jsem se rozhodl pro lepší znázornění variability mezi těmito regiony v další analýze odstranit variabilitu danou povodím Opavy formou kovariátů. Pro ordinační diagram z této analýzy platí stejný závěr jako pro diagram znázorňující vliv časové variability. Pozice druhů se blíží středu grafu.

Vliv environmentálních faktorů získaných z mapy na rybí společenstva toků povodí Labe a Odry jsem testoval ve čtyřech analýzách. Nejprve jsem testoval jejich samostatný vliv, následně jejich vliv po odečtení časové variability, vliv po odečtení regionální variability a konečně vliv po odečtení jak časové, tak regionální variability formou kovariátů. Všechny tyto analýzy jsem prováděl na souboru dat o prezenci-absenci druhů. Vliv samotných proměnných z mapy a vliv těchto proměnných po odečtení časové i regionální variability formou kovariátů byl také analyzován na souboru dat o relativní abundanci.

Pro lepší znázornění výsledků analýz prováděných na všech lokalitách povodí Labe a Odry byl sestaven souhrnný přehled (Tab. 14), který udává variabilitu vysvětlenou pomocí modelu se všemi signifikantními faktory a variabilitu vysvětlenou pomocí modelu s 5 nejdůležitějšími faktory.

typ datového souboru	kovar.		sign. F [n]	vysv. variabilita samostatně			vysv. var. modelu	
	čas	reg.		kovariáty Σ	sign.F	nej 5 F	sign. F	nej 5 F
presence-absence	ne	ne	34	0	19,60 %	9 %	19,60 %	9 %
	ano	ne	18	6,60 %	13,60 %	8,40 %	20,20 %	15 %
	ne	ano	21	14,60 %	10,80 %	6,00 %	25,40 %	20,60 %
	ano	ano	17	19,20 %	8,60 %	4,80 %	27,80 %	24 %
rel. abundance	ne	ne	29	0	17,10 %	9,90 %	17,10 %	9,90 %
	ano	ano	13	17,90 %	7,20 %	4,90 %	25,10 %	22,80 %

Tab. 14: Souhrn výsledků studia společenstev z 819 lokalit povodí Labe a Odry. kovar. – kovariáty, reg. – regiony, sign. F – signifikantní faktory, kovariáty Σ – celková variabilita vysvětlená kovariátami, nej 5 F – pět nejdůležitějších faktorů.

Z výsledků parciálních CCA analýz na souboru dat o prezenci-absenci druhů je zřejmé, že po odečtení časové a regionální variability se výrazně snižuje hodnota variability vysvětlená jednotlivými environmentálními faktory, stejně tak i počet faktorů, které mají prokazatelný vliv na daná společenstva. Celková predikční schopnost daného modelu se však s použitím časové a regionální variability výrazně zvyšuje. Ze všech 42 parametrů měřených z mapy se jako nejlepší prediktory v těchto analýzách na tocích povodí Labe a Odry projevíly **nadmořská výška lokality, vzdálenost lokality od**

pramene, procentuální zastoupení orné půdy v povodí nad lokalitou, typ rybné vody a spád toku. V analýzách, kde nebyla zohledněna regionální variabilita, se ještě jako velice silný prediktor projevoval parametr roční teplotní průměr lokality.

Vztahy významných parametrů prostředí k jednotlivým druhům ryb by měl nejpřesněji znázorňovat ordinační diagram z CCA analýzy, ve které byla odstraněna regionální i časová variabilita formou kovariát. Největší vliv na strukturu rybích společenstev při použití dat o prezenci-absenci druhů mají podle této analýzy parametry vzdálenost od pramene a nadmořská výška lokality. Tyto faktory jsou nejtěsněji korelovány s první ordinační osou. Spád toku, typ rybné vody a procentuální zastoupení orné půdy v povodí korelují s první i druhou ordinační osou a postihují tedy i druhý nejsilnější směr variability. Vzhledem k velice těsné korelaci mezi parametry PN_ORNAP, PN_ZASTR a L_TEPLM se ve výsledném modelu získaném parciální CCA analýzou významně projeví jen nejsilnější z těchto parametrů. Tyto parametry vysvětlují takřka totožnou variabilitu z daného souboru.

Z diagramu je dále patrná preference lokalit s vyšší nadmořskou výškou a logicky s tím korelovanou malou vzdáleností od pramene pro pstruha obecného a vrunku pruhoploutvou. Pozice sivena v diagramu naznačuje nejen stejný vztah k parametrům nadmořská výška lokality a vzdálenost od pramene, jako u předchozích dvou druhů, ale také jeho jasnou pozitivní korelaci se spádem toku.

Druhý výrazný směr variability ve společenstvech je dán parametry, které jsou výsledkem působení lidské činnosti v krajině. Tyto vlivy jsou v diagramu popsány rozlohou zástavby v povodí, procentuálním zastoupením orné půdy a počtem rybníků v dílčím povodí nad lokalitou. Pro lokality s tímto antropogenním vlivem je typická přítomnost úhoře říčního, střevličky východní, štiky obecné, plotice obecné a okouna říčního. Tyto druhy se často do toků dostávají právě z rybníků a nejsou příliš náročné na kvalitu vody. Výrazný vliv rybníků na strukturu společenstev uvádí Pivnička (1998); Pivnička et Humpl (2004); Humpl et Pivnička (2006). Negativně s těmito parametry korelují především mihule potoční a oba druhy vranek. Tyto druhy vyžadují výrazně lepší kvalitu vody.

Při použití dat o relativní abundanci se pozice jednotlivých druhů v diagramu velice podobá jejich umístění na předchozím diagramu zobrazujícím data o prezenci-absenci těchto druhů. Tentokrát s první osou korelují parametry počet obcí v povodí nad lokalitou, procentuální zastoupení orné půdy v dílčím povodí nad lokalitou a nadmořská výška lokality. Druhý nejsilnější směr variability je opět dán vlivem rybníků a druhů, které se

jejich prostřednictvím dostávají do toků. Zajímavá je oproti předešlému diagramu pozice vranky pruhoploutvé. Podle těchto výsledků je sice relativně silně závislá na vzdálenosti dané lokality od pramene, jak uvádí např. Hanel et Lusk (2005); Baruš et Oliva (1995b), ale samotný parametr nadmořská výška na tento druh takový vliv nemá. To by znamenalo, že pro vranku pruhoploutvou je sice zásadní vzdálenost lokality od pramene, ale nezáleží tak na nadmořské výšce, ve které se daný tok nachází. Andreasson (1969) ovšem uvádí, že výskyt tohoto druhu je na nadmořské výšce lokality závislý. Tento jeho výsledek je také daleko pravděpodobnější, už jen z toho důvodu, že lze očekávat velice silnou negativní korelaci mezi parametry nadmořská výška a vzdálenost od pramene. Pozice vranky pruhoploutvé v našem diagramu lze ale vysvětlit také v závislosti na parametru typ rybne vody, který je ze všech parametrů užitých v této analýze pro tento druh nejsilnějším prediktorem (po odstranění regionální variability, jejíž vliv je také významný). Vranka pruhoploutvá se totiž vyskytovala pouze v lososových vodách.

Analýzy na souboru dat o relativní abundanci nepřinesly žádné zpřesnění našich výsledků. Dokonce byly hodnoty vysvětlené variability ve všech analýzách nepatrně nižší (viz Tab. 14). Jedinou výjimku představuje analýza dat parciální CCA analýzou, kdy jsem hledal 5 faktorů prostředí s nejsilnějším vlivem bez zohlednění vlivu časové a regionální variability formou kovariát. Ani zde však nebylo zpřesnění dat založené na informaci o relativním zastoupení jednotlivých druhů na lokalitě odměněno výrazným zvýšením vysvětlené variability. Proto byla v ostatních analýzách použita pouze data o přítomnosti či nepřítomnosti jednotlivých druhů na lokalitách. Použití dat o relativní abundanci na takovém typu souboru by nepřineslo výrazné zpřesnění a zkvalitnění výsledků. Poff et Allan (1995) ve své práci také poukazují na vhodnost použití spíše dat o prezenci-absenci při analýzách dat z velkého areálu. Také poukazují na fakt, že data o relativní abundanci jsou více citlivá na lovné úsilí. Ze způsobu sběru našich dat pak také vyplývá vhodnější užití dat o prezenci-absenci jednotlivých druhů.

Další otázku, kterou jsem se snažil zodpovědět, bylo, jakým způsobem přispějí parametry získané v terénu k porozumění změny ve struktuře společenstev na tak rozsáhlém a různorodém území jako je povodí Labe a Odry ve srovnání s použitím pouze proměnných měřených z mapy. Z DCA analýzy byla potvrzena vhodnost použití unimodální metody CCA analýzy. Z diagramu znázorňujícího vztahy mezi nenáhodně se vyskytujícími druhy jsou i v tomto relativně menším souboru 127 lokalit patrné

srovnatelné vztahy jako u DCA analýzy souboru všech 819 lokalit. Je tedy možné se domnívat, že jde o reprezentativní vzorek této oblasti.

Porovnáním parametrů měřených v terénu a parametrů získaných z mapy je patrné, že prostřednictvím parametrů z mapy lze vysvětlit takřka dvojnásobek variability v datech. Z deseti proměnných měřených v terénu byl signifikantní vliv prokázán pouze u teploty vody na lokalitě v době odlovu, pH a přítomnost kamenitého substrátu na lokalitě. Tyto tři parametry vysvětlují 8,1 % variability. Pomocí parametrů měřených z mapy bylo v tomto případě vysvětleno 15,1 %. Mezi nejprůkaznějšími parametry z mapy byly opět vzdálenost od pramene a nadmořská výška lokality. Významně se projevil také řád toku. Pokud byly použity všechny parametry současně, vysvětlily tyto parametry 19,6 % variability. To znamená, že použití parametrů z terénu sice přináší prokazatelné zpřesnění informací o společenstvech z takto rozsáhlého území, ale celková variabilita, kterou jsme schopni vysvětlit, se o mnoho nezvýší. V našem případě se zvýšila vysvětlená variabilita parametry prostředí o 4,5 %. Celková variabilita daná jak variabilitou parametrů, tak variabilitou časovou a regionální se zvýšila o 2,9 % (z 46,2 % na 49,1 %).

I když je neoddiskutovatelné, že parametry měřené přímo na lokalitě (lokální parametry) mají na strukturu místního společenstva značný vliv, který je větší než vliv parametrů získaných z map (Angermeier et Winson, 1998; Humpl et Pivnička, 2006; Johnson et al., 2007), je při analýzách společenstev na rozsáhlém území takřka nemožné přesné lokální informace získat. Jako příklad mohu uvést parametry týkající se substrátu, které jsem použil v této analýze. I když je typ substrátu jedním z faktorů majících na přítomné druhy nejsilnější vliv (Pires et al., 1999; Angermeier et Davideanu, 2004; Humpl et Pivnička, 2006), v této práci vyšel signifikantní vliv pouze u parametru přítomnost kamenitého substrátu. Ostatní typy substrátu signifikantní nevyšly. Důvodem je způsob mnou získaných informací o typech substrátů, kdy byla vždy zaznamenána pouze přítomnost (1) / nepřítomnost (0) převažujícího typu substrátu, zatímco ostatní autoři pracovali s informací o procentuálním zastoupení jednotlivých typů substrátu (Humpl et Pivnička, 2006). Daleko vhodnější je pro tento typ parametrů také soubor dat o relativní abundanci. V souboru parametrů, který byl použit v této práci, lze částečně vliv parametru typ substrátu nahradit díky parametrům spád toku a procentuální zastoupení orné půdy, případně lesů v povodí. Vyšší spád má prokazatelný vliv na vyšší zastoupení kamenitého substrátu v toku (Walters et al., 2003), naopak vyšší procentuální zastoupení orné půdy nebo zvýšené odlesňování v povodí zvyšuje přítomnost jemného sedimentu dna (Allan, 2004, Walters et al., 2009).

Z ordinačního diagramu CCA analýzy signifikantních parametrů z terénu můžeme prokázat schopnost sivena amerického přežít v oblastech s nízkými hodnotami pH (Baruš et Oliva, 1995a; Hanel et Lusk, 2005 Warren et al., 2008). Touto jeho schopností jsem vysvětloval jeho pozici již v diagramu DCA analýzy provedené na všech lokalitách povodí Labe a Odry, kde však byla jeho pozice dána pouze mezidruhovou variabilitou. Teplota vody udává směr změny druhového složení v podélném profilu toku. Z diagramu CCA analýzy ve kterém jsou znázorněny parametry z mapy i terénu, je vidět vliv teploty vody, vzdálenosti od pramene a spádu toku. Tyto parametry nejlépe popisují změny druhového složení v podélném profilu toku.

V následující části jsem se snažil zjistit vliv environmentálních faktorů získaných z mapy na společenstva ryb pro povodí Labe a Odry zvlášť a tyto výsledky vzájemně porovnat. Byla zde použita pouze data o prezenci-absenci jednotlivých druhů. Důvod, proč nebyla analyzována data o relativní abundanci, byl diskutován výše. Před samotnou přímou gradientovou analýzou byla pomocí DCA analýzy potvrzena vhodnost použití CCA analýzy stanovením délek nejdelších gradientů. Jejich hodnota byla v obou případech vyšší než 4 (pro Labe 5,1 a pro Odru 4,1) (Lepš et Šmilauer, 2000). Dalším důvodem byla vizualizace vztahů mezi druhy a tedy znázornění maximální variability dat.

Při testování vlivu parametrů prostředí z mapy jsem použil CCA analýzu a vliv časové a regionální variability odfiltroval formou kovariát. Ze zbývajících variability nevysvětlené kovariátami se podařilo v povodí Labe prostřednictvím 14 signifikantních parametrů stanovených metodou forward selekce v CCA vysvětlit 10,4 % variability. V povodí Labe bylo možné vysvětlit nejvíce variability pomocí faktorů vzdálenost od pramene, procentuální zastoupení orné půdy v povodí nad lokalitou, vzdálenost od soutoku, rozloha zastavěné plochy a spád toku. Z tohoto povodí na lokalitách do 50 km od pramene uvádí také Humpl (2004) mezi nejvýznamnějšími faktory vzdálenost od pramene, spád toku a nadmořskou výšku. Ještě větší vliv na rybí společenstva v této oblasti přisuzuje počtu rybníků ve vzdálenosti do 5 km nad lokalitou a vlivu toku vyššího řádu. Vliv rybníků jsem také prokázal prostřednictvím parametru rybníky v dílčím povodí nad lokalitou. Získání tohoto parametru je podstatně snazší, ale v porovnání s počtem rybníků, jak je uváděno Humplem (2004), je méně přesný. Vliv toku vyššího řádu se mi prokázat nepodařilo. S první osou v ordinačním diagramu CCA analýzy nejvíce korelují orná půda, vzdálenost od pramene a spád toku společně s nadmořskou výškou. Tento nejsilnější gradient v datech je jednoznačně dán pozicí druhů v podélném profilu toků. Druhy

nejméně korelované s touto osou jsou pak pstruh obecný s vrankou obecnou a mihulí potoční nejbližší k prameni. Se vzrůstající vzdáleností od pramene jsou pak tyto druhy nahrazeny mřenkou mramorovanou a následně hrouzkem obecným, jelcem proudníkem a jelcem tloušťem. Z pozice dalších druhů s frekvencí výskytu nad 5 % je z diagramu jasně patrný pozitivní vztah mezi rozlohou zastavěné plochy výše v povodí a počtem rybníků v dílčím povodí nad lokalitou a okounem říčním, střevličkou východní, štikou obecnou, línem obecným a úhořem říčním. Tyto druhy se do toků dostávají ve velké míře právě z rybníčních soustav. Negativní korelace s těmito faktory je z diagramu patrná pro mníka jednovouseho.

V povodí Odry bylo stejnou metodou prostřednictvím 13 signifikantních proměnných vysvětleno 29,3 % variability což je téměř trojnásobek. Nelišila se jen hodnota variability, ale také pořadí významných faktorů prostředí. Nejvýznamnějším faktorem pro toto povodí byla nadmořská výška, následovaná typem rybné vody a z parametrů vztahujících se k teplotě se v tomto případě ukázala být nejlepším prediktorem průměrná teplota lokality v nejteplejším měsíci. Velký vliv mělo, zda je lokalita přítomna v chráněné oblasti (L_CHU) a překvapivě také průměrná teplota nejteplejšího měsíce v povodí nad lokalitou. Překvapivé je to z toho důvodu, že tento faktor je schopen vysvětlit ještě 2 % variability v modelu, kde byl již použit parametr L_TEPLM. Lze totiž očekávat silnou korelaci mezi těmito parametry. Tomu také nasvědčuje ordinační diagram CCA pro 1. a 2. osu (IF obou parametrů byl však pod 10). Z tohoto důvodu jsem znázornil ordinační diagram v prostoru 1. a 3. osy (viz Obr. XII Příloha 2). Z diagramu lze vyčíst korelaci PN_TEPLM se třetí osou. S tímto parametrem prokazatelně koreloval výskyt pstruha duhového, který nekoreloval s osou 1 ani 2. Další parametr, který popisuje nejsilnější směr variability (koreluje s 1. osou), je přítomnost čistíren odpadních vod v povodí nad lokalitou. Jde o další faktor poukazující na vliv lidské činnosti na strukturu společenstev.

Důvodů, proč se množství vysvětlené variability prostřednictvím parametrů z mapy v obou povodích takto liší, může být několik. Jedním z nich je velikost celkové variability, kterou jsme schopni (pomocí DCA analýzy) z analyzovaného souboru dat pro danou oblast vysvětlit. Tato variabilita byla v našem případě pro povodí Odry opravdu nižší. Velký význam má určitě také nesrovnatelně větší rozloha analyzovaného území z povodí Labe v porovnání s rozlohou analyzovaného území povodí Odry. Tuto variabilitu jsem se snažil z analýzy maximálně odfiltrovat rozdělením daných území pomocí dílčích povodí na regiony a odstraněním této variability formou kovariát. Samotná hodnota regionální variability je pro povodí Odry takřka dvojnásobná (18 % pro Odru oproti 10,8 % pro Labe)

než pro povodí Labe. To poukazuje na skutečnost, že jednotlivé regiony se od sebe v rámci povodí Odry liší více než regiony v povodí Labe. To je jeden z dalších důvodů, proč je vysvětlená variabilita v rámci povodí Odry vyšší. Rozdíly ve velikosti vysvětlené variability a zastoupení jednotlivých parametrů na regionální úrovni uvádí také Angermeier et Winston (1999).

Jelikož lze různou predikční schopnost jednotlivých environmentálních parametrů očekávat nejen mezi různými povodími a regiony (Angermeier et Winston, 1999), ale také v podélném profilu toku (Park et al., 2006), snažil jsem se tuto změnu prokázat i v rámci lokalit povodí Labe a Odry. Podle umístění lokalit v podélném profilu toku byly stanoveny dva soubory lokalit tak, aby se svou polohou v toku od sebe co nejvíce lišily. Další podmínkou bylo dostatečné množství lokalit v daném souboru. Rozhodujícím kritériem pro zařazení lokality do jednoho z těchto dvou souborů byla vzdálenost lokality od pramene. Do prvního souboru byly zařazeny lokality s maximální vzdáleností 5 km od pramene. Do druhého souboru byly zahrnuty všechny lokality se vzdáleností minimálně 15 km od pramene. DCA analýza opět potvrdila vhodnost použití unimodální metody CCA analýzy. Z ordinačního diagramu DCA analýzy pro soubor lokalit do 5 km od pramene je velice dobře patrná ve směru nejdelšího gradientu variability schopnost jednotlivých druhů obývat tato nejvýše položená místa v toku. Dokonce se v tomto diagramu vyskytuje i pstruh obecný v pozici výrazněji před vrankou. To by v přirozených podmínkách neovlivněných vysazováním pstruha lépe odpovídalo jeho správnému postavení v podélném profilu toku, jelikož je pstruh obecný tolerantnější k nižším teplotám než vranka obecná (Pont et al., 2005). Druhý nejsilnější směr variability lze vysvětlit antropogeními vlivy v krajině. Především přítomnost rybníků umožňující v těchto vysoko položených lokalitách na toku výskyt druhů jako plotice obecná a okoun říční. V případě DCA analýzy toků byla opět potvrzena vhodnost použití unimodální CCA analýzy pro testování vlivu faktorů prostředí. Z diagramu DCA analýzy nenáhodných druhů je patrná distribuce druhů v podélném profilu toků odpovídající dělení toků na rybí pásma. V poslední době toto členění zmiňuje například Lasne et al., (2007) v podmínkách povodí Loiry, kdy zdůrazňuje, že je toto členění vhodné použít u toků relativně málo ovlivněných lidskou činností. Pozice zde se vyskytujících druhů odpovídají nejlépe pásmům lipana, parmy a okrajově také cejna s očekávaným posunem pstruha směrem do lipanového pásma, které lze v těchto tocích očekávat jako vliv vysazování pstruha.

Z diagramu CCA analýzy na souboru lokalit do 5 km od pramene lze potvrdit moji domněnku z DCA analýzy, že pozice okouna říčního a plotice obecné je především dána

přítomností rybníků. Dále je zde patrná schopnost mřenky mramorované lépe se vyrovnat s podmínkami zhoršené kvality vody (Baruš et Oliva, 1995b) v porovnání s ostatními druhy přirozeně se vyskytujícími v pstruhovém pásmu, jako je například pstruh obecný nebo vranka obecná. Na to lze usuzovat z parametru procentuální zastoupení orné půdy v povodí (DPN_ORNAP). Vliv tohoto parametru na zhoršenou kvalitu vody a změnu habitatů v toku udává Wang et al. (1997), Walters et al., (2009). S nadmořskou výškou lokality nejsilněji pozitivně koreluje siven americký a také střevele potoční. Pozice pstruha obecného nejbližší ke středu diagramu také naznačuje, že jeho výskyt na lokalitách do 5 km od pramene není testovanými parametry příliš ovlivněn. To může být do značné míry dáno jeho vysazováním do těchto toků. Z postupné CCA analýzy forward selekcí se jako nejdůležitější faktory projeví právě nadmořská výška lokality a počet rybníků nad lokalitou. Touto metodou se relativně oslabí z diagramu patrný velký vliv parametru orná půda. To je dáno jeho negativní korelací s nadmořskou výškou a pozitivní korelací s počtem rybníků. Tyto dva parametry lépe vystihují největší směry variability ve společenstvu a jejich použitím tak vysvětlíme i velkou část variability dané parametrem orná půda. V případě lokalit do 5 km od pramene je třeba uvést, že nelze porovnávat mezi sebou parametry dílčího povodí a celého povodí nad lokalitou. V případě lokalit do 5 km od pramene lze předpokládat, že celé povodí nad lokalitou je rovno dílčímu povodí IV. řádu (dle členění povodí), a proto se hodnoty parametrů DPN a PN pro shodný parametr rovnají. Toto je také patrné z PCA analýzy (Příloha 2 Obr. VIII), kde je vztah těchto parametrů znázorněn.

Z CCA analýzy na lokalitách nad 15 km od pramene byl signifikantní vliv potvrzen u 12 parametrů. Z toho je zřejmé, že na lokality nacházející se níže v povodí má šanci se významněji projevit více vlivů (pro lokality do 5 km od pramene jsem prokázal vliv 7 proměnných). Nejvíce variability ve struktuře společenstev vysvětlily parametry počet obcí v povodí nad lokalitou, procentuální zastoupení orné půdy v povodí nad lokalitou, spád toku, počet rybníků v dílčím povodí nad lokalitou a vzdálenost lokality od soutoku. V tomto souboru lokalit by naopak měl být rozdíl mezi dílčím povodím a celým povodím nad lokalitou největší, a proto lze tyto parametry nejlépe porovnávat. Z výsledků je zřejmé, že vliv počtu rybníků ovlivňuje danou lokalitu jen do určité vzdálenosti jeho pozice nad lokalitou. To je patrné i z práce Humpla (2004), ve které uvádí pro toky Labe jako parametr počet rybníků do vzdálenosti 5 km nad lokalitou. Takto zvolený parametr vycházel lépe než počet rybníků v dílčím povodí. Oproti tomu procentuální zastoupení orné půdy se jednoznačně projevilo v analýze významněji, pokud byl tento parametr

vztažen k celému povodí. Z CCA diagramu je patrné, že druhy pstruhového a lipanového pásma se nacházejí v místech s vyšším spádem a vyšší nadmořskou výškou, zatímco druhy, které můžeme očekávat spíše v nižších partiích toku (druhy pásma parmového a částečně kaprového), jsou určeny větším počtem rybníků, vyšším zastoupením orné půdy v povodí a vyšším počtem obcí v povodí. Nejdelsí gradient změny v rybích společenstvech je zde tedy dán změnou druhů v podélném profilu toků.

Ze všech analýz provedených v této práci je patrné, že největší změny ve struktuře rybích společenstev toků povodí Labe a Odry odpovídají očekávaným změnám v zastoupení jednotlivých druhů v podélném profilu toku. Mezi parametry, které nejlépe charakterizovaly tuto změnu, patří vzdálenost lokality od pramene, nadmořská výška lokality a spád toku. Tyto parametry jsou významné pro obě povodí. Z publikovaných studií zabývajících se vlivem environmentálních faktorů na ichthyocenózy vyplývá, že tyto faktory patří obecně mezi nejdůležitější prediktory společenstev (Fransenen et al., 2006). Vzdálenost od pramene společně se spádem toku a průměrnou teplotou vzduchu, která je také jedním z parametrů mající významný vliv na společenstva v našich analýzách, udává Schmutz et al. (2007) jako parametry, které jsou v evropských řekách nejvhodnější k hodnocení společenstev. Spád jako klíčový faktor uvádí například Walters et al., (2009), pro toky severní Georgie. Tento faktor má významný vliv na morfologii toku, rychlost proudu nebo složení substrátu (Walters et al., 2003). To jsou důležité lokální parametry přímo ovlivňující biotopy, a proto lze očekávat jeho významný vliv ve všech tocích.

Druhou největší změnou, kterou lze z výsledků našich analýz prokázat, je ovlivňování rybích společenstev lidskou činností. Parametry, které nejlépe charakterizují tuto změnu, jsou zastoupení orné půdy v povodí, rozloha zastavěné plochy a počet rybníků v dílčím povodí nad lokalitou. Zatímco rybníky působí na toky přímo – obohacováním toků rybníčními druhy, převážně o okouna říčního, plotici obecnou a úhoře říčního (tento vliv je patrný převážně v horních částech toku, kde se tyto druhy původně nevyskytují), je působení parametrů orná půda a zástavba v povodí nepřímé. Tyto parametry mají významný vliv na morfologii toku, hydrologický režim toku a kvalitu vody. Na lokální úrovni tyto parametry působí vyšší zastoupení sedimentu v toku (Johanson et Gage, 1997, Sutherland et al., 2002, Allan, 2004) a s tím spojené zanášení tůní a změny ve složení substrátu (Walser et Bart, 1999) v neprospěch kamenitého dna. Orná půda také působí zvýšení koncentrace živin v toku (Ulen et al., 2004; Bernot et al., 2006) a ovlivňuje tak kvalitu vody. Z druhů s frekvencí výskytu nad 5 %, na vliv těchto faktorů negativně

reagovaly z původních druhů především mník jednovousý, střevle potoční, mihule potoční, oba druhy vranek a pstruh obecný. Negativní odpověď těchto druhů na degradaci toků způsobenou lidskou činností v povodí udává také Oberdorf et al. (2001) v tocích Francie. Hlavním důvodem je citlivost těchto druhů na kvalitu vody a přítomnost kamenitého substrátu.

V porovnání s prací Humpla (2004), který testoval mimo jiné i vliv parametrů prostředí na 567 lokalitách v tocích povodí Labe do 50 km od pramene, se mi nepodařilo potvrdit významný vliv toku vyššího řádu. Je možné, že tyto výsledky jsou dány velkým podílem toků, které jsou od soutoku s tokem vyššího řádu více vzdáleny. Velice zajímavým parametrem použitým v této práci byl typ rybné vody. Tento parametr velice dobře odpovídal na zastoupení lososovitých a kaprovitých ryb v toku a díky své nízké korelaci s ostatními parametry postihoval odlišnou část variability ve společenstvech.

Velký vliv na společenstva menších toků povodí Labe a Odry má samozřejmě také výrazné zastoupení pstruha obecného, které je způsobeno intenzivním vysazováním do těchto toků rybáři. Vliv pstruha obecného na ostatní druhy v této práci testován nebyl. Bylo by určitě zajímavé na takto velkém souboru lokalit jeho vliv otestovat. V tomto případě by bylo určitě vhodné použít namísto dat o prezenci-absenci data udávající relativní zastoupení jednotlivých druhů.

Přínos své práce spatřuji v tom, že jsem stanovil významné parametry prostředí pro povodí Labe a Odry. Na základě těchto parametrů lze do jisté míry předpovědět druhové složení v tocích. Z hlediska ochrany přírody lze vytipovat přírodě blízká společenstva a na základě změny ve složení těchto společenstev hodnotit míru jejich narušení. Výsledky by bylo možné využít i při plánovaných revitalizacích toků nebo pro rybářský management.

5. SOUHRN

Předložená diplomová práce hodnotí vlivy parametrů prostředí na rybí společenstva povodí Labe a Odry se zaměřením na malé a střední toky. Informace o druhovém složení ryb pocházejí z let 1993–2007 z celkového počtu 819 lokalit. U 694 lokalit byla známa i relativní abundance jednotlivých druhů. Hodnocen byl vliv parametrů získaných z mapy i z terénu. Hodnoty parametrů získaných z mapy byly získány pro všechny lokality pomocí geografického informačního systému prostřednictvím softwaru ArcView 3.3 od firmy ESRI. Vybrané parametry z terénu byly známy ze 127 lokalit. Vztahy mezi jednotlivými druhy a vztahy mezi druhy a faktory prostředí byly analyzovány pomocí nepřímých i přímých mnohorozměrných unimodálních metod (DCA, CCA) v programu CANOCO for Windows 4.5.

1. Pomocí nepřímé gradientové analýzy (DCA) bylo potvrzeno, že největší změny v druhovém složení odpovídají změnám druhového složení v podélném profilu toků. Pomocí přímé gradientové analýzy (CCA) byl u všech analyzovaných souborů lokalit potvrzen významný vliv regionální a časové variability. Bylo prokázáno, že při analýzách výsledků s různě interpretovanými daty z výzkumů prováděných na takto velkém území je vhodnější použít data o presenci-absenci jednotlivých druhů.
2. Environmentální parametry získané z mapy vysvětlily na takto velkém území více variability než parametry zjištěné v terénu.
3. V rámci povodí Odry bylo vysvětleno pomocí stejných parametrů trojnásobné množství variability ve společenstvech než v povodí Labe.
4. Na společenstva vyskytující se níže v podélném profilu toku mělo prokazatelný vliv větší množství faktorů prostředí a bylo také možné jejich prostřednictvím vysvětlit větší množství variability.
5. Hodnota variability postihnutá jednotlivými faktory prostředí se v jednotlivých analyzovaných souborech toků povodí Labe a Odry liší. Obecně lze říci, že největší vliv na společenstva z parametrů získaných z mapy má vzdálenost lokality od pramene, spád toku, nadmořská výška lokality, zastoupení orné půdy v povodí a počet rybníků v dílčím povodí nad lokalitou. Negativní vliv lidské činnosti na rybí společenstva toků povodí Labe a Odry je jasně patrný a nejvíce se projevuje v menších tocích. Vliv lidské činnosti na společenstva této oblasti z použitých parametrů nejlépe vystihuje zastoupení orné půdy v povodí, počet rybníků v dílčím povodí a zastavěná plocha povodí.

Provedená analýza dobře ukázala praktickou využitelnost zpracování informací z rozsáhlého vzorku dat z ichtyologických průzkumů. Díky nástrojům GIS a využití statistických metod je možné charakterizovat základní ekologické nároky většiny druhů a blíže specifikovat podmínky, které určují složení konkrétních rybích společenstev.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Aadland, L. P., 1993: Stream habitat types: Their fish assemblages and relationship to flow. *North American Journal of Fisheries management* 13 (4), 790-806.
- Abell, R., 2002: Conservation biology for the biodiversity crisis: a freshwater follow-up. *Conservation Biology* 16 (5), 1435-1437.
- Ahmadi-Nedushan, B., St-Hilaire, A., Bérubé, M., Robichaud, É., Thiémonge, N., Bobée, B., 2006: A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. *Regulated Rivers: Research & Management* 22 (5), 503-523.
- Allan, J. D., 2004: Landscape and Riverscapes: The influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annual Reviews in Ecology Evolutionary Systems* 3, 257-284.
- Allan, J. D., Erickson, D. L., Fay, J., 1997: The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology* 37, 149-161.
- Allan, J. D., Johnson, L. B., 1997: Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology* 37, 107-111.
- Andreasson, T., 1969: Interrelations between *Cottus poecilopus* Heckel and *C. gobio* L. (Pisces) in a Regulated North Swedish River. *Oikos* 20 (2), 540-546.
- Angermeier, P. L., Davideanu, G., 2004: Using fish community to assess streams in Romania: initial development of an index of biotic integrity. *Hydrobiologia* 511, 65-78.
- Angermeier, P.L., Winston, M.R., 1998: Local vs. regional influences on local diversity in stream fish communities of Virginia. *Ecology* 79, 911-927.
- Argent, D.G., Bishop, J. A., Stauffer, J. R., Carline, R. F., Myers, W. L., 2003: Predicting freshwater fish distributions using landscape-level variables. *Fisheries Research* 60, 17-32.
- Baruš, V., Oliva, O. et al., 1995a: *Fauna ČR a SR / Mihulovci a ryby (1)*. Praha: Academia. 623 pp.
- Baruš, V., Oliva, O. et al., 1995b: *Fauna ČR a SR / Mihulovci a ryby (2)*. Praha: Academia. 698 pp.
- Bergerot B., Lasne, C. E., Vigneron, C. T., Laffaille, C. P., 2008: Prioritization of fish assemblages with a view to conservation and restoration on a large scale European basin, the Loire (France). *Biodiversity and Conservation* 17, 2247-2262.

- Bernot, M. J., Tank, J. L., Royer, T. V., David, M. B., 2006: Nutrient uptake in streams draining agricultural catchments of the midwestern United States. *Freshwater Biology* 51, 499-509.
- Brosse, S., Guegan, J. F., Tourenq, J. N., Lek, S., 1999: The use of artificial neural networks to assess fish abundance and spatial occupancy in the littoral zone of a mesotrophic lake. *Ecological Modelling* 120, 299-311.
- Bula, L., Pokorný, J., 2001: Výskyt pstruha obecného f. potoční v oblasti NP a CHKO Šumava. *Aktuality šumavského výzkumu*, 201-205. Srní 2-4. 4. 2001.
- Cyterski, M., Barber, C., 2006: Identification and Prediction of Fish Assemblages in Streams of the Mid-Atlantic Highlands, USA. *Transactions of the American Fisheries Society* 135, 40-48.
- Daněk, T., 2008: Preference mikrohabitatu rybích druhů v prostředí malých vodních toků. Diplomová práce, PřF UK Praha, 107 pp.
- Darwall, W. R. T., Vie, J.C., 2005: Identifying important sites for conservation of freshwater biodiversity: extending the species-based approach. *Fisheries Management and Ecology* 12, 287-293.
- Fransen, B. R., Duke, S. D., McWethy, L. G., Walter, J. K., Bilby, R. E., 2006: A logistic regression model for predicting the upstream extent of fish occurrence based on geographical information systems data. *North American Journal of Fisheries Management* 26 (4), 960-975.
- Frič, A., 1908: České ryby a jejich cizopasníci. 2. vydání: 78 pp.
- Fritsch, A.(Frič), 1872: Die Wirbelthiere Böhmens. Ein Verzeichnis aller bister in Böhmen beobachtene Säugethiere, Vögel, Amphibien and Fischer. Archiv für die naturwiss. Landesdurchforschung von Böhmen 2, 1-52.
- Geodézie ČS, a.s., 2003: Velký atlas rybářských revírů České republiky 1:200 000. Kartografické nakladatelství Praha, 122 pp.
- Gispert, A. V., Bertou, E. G., Amich, R. M., 2002: Fish zonation in a Mediterranean stream: Effects of human disturbances. *Journal Aquatic Science* 64 (2), 163-170.
- Guegan, J.F., Lek, S., Oberdorff, T., 1998: Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature* 391, 382-384.
- Habit, E., Belk, M., Victoriano, P., Jacque, E., 2007: Spatio-temporal distribution patterns and conservation of fosh assemblages in a chilian coastal river. *Biodiversity and Conservation* 16 (11), 3179-3191

- Hanel, L., Lusk, S., 2005: Ryby a mihule České Republiky. Český svaz ochránců Přírody Vlašim, 447 pp.
- Hartvich, P., Lusk, S., Halačka, K., Havlová, J., Švarc, J., 1998: Diverzita ichtyofauny a migrační průchodnost řeky Lužnice. *Biodiverzita ichtyofauny ČR (II)*, 137-148.
- Herben, T., Münzbergová, Z., 2003: Zpracování geobotanických dat v příkladech. Část I. Data o druhovém složení. Praha, 1-116.
- Horáček, P., Kurfirst, J., 2004: Změny ichtyofauny říčky Chotýšanky jako důsledek extrémní povodňové situace v roce 2002 (VII). Česká ichtyologická konference JU ČB Vodňany, 166-170.
- Huet, M., 1959: Profiles and biology of Western European streams as related to fish management. *Transaction of the American Fisheries Society* 88, 155-163.
- Humpl, M., 2004: Typy ichthyocenóz v českých tocích a jejich ovlivnění environmentálními faktory. Disertační práce. 164 pp.
- Humpl, M., Křížek, J., Pivnička, K., 2003: Rybí společenstva v environmentálním profilu Lužické Nisy. VI. Česká ichtyologická konference PřF UK Praha, 118-126.
- Humpl, M., Lusk, S., 2006: Effect of multiple electro-fishing on determining the structure of fish communities in small streams. *Folia zoologica* 55(3), 315-322.
- Humpl, M., Pivnička, K., 2006: Fish assemblages as influenced by environmental factors in streams in protected areas of the Czech Republic. *Ecology of Freshwater Fish* 15, 96-103.
- Chovanec, A., Hober, R., Schiemer, F., 2003: Fish as bioindicators. In: Markert, B. A., Breure, A. M., Zechmeiser, H. G. (eds) *Bioindicators and biomonitors*, 639-675.
- Ibanez, C., Oberdorff, T., Teugels, G., Mamononekene, V., Lavore, S., Fermon, Y., Paugy, D., Toham, A. K., 2007: Fish assemblages structure and function along environmental gradients in rivers of Gabon (Africa). *Ecology of Freshwater Fish* 16, 315-334.
- Jeřábková, L., 2006: Analýza stanovištních preferencí obojživelníků v severovýchodní části okresu Třebíč. Diplomová práce, PřF UK Praha, 114 pp.
- Johnson, L. B., Gage, S. H., 1997: A landscape approach to analysing aquatic ecosystems. *Freshwater biology* 37, 113-132.
- Johnson, L. B., Host, G. E., 2010: Recent developments in landscape approaches for the study of aquatic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 29 (1), 41-66.

- Johnson, R. K., Furse, M. T., Hering, D., Sandin, D., 2007: Ecological relationships between stream communities and spatual scale: implications for designing catchement-level monitoring programmes. *Freshwater Biology* 52 (5), 939-958.
- Jowett, I. G., Richardson, J., 1996: Distribution and abundance of freshwater fish in New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 30, 239-255.
- Joy, M. K., Death, R. G., 2004: Predictive modelling and spatial mapping of freshwater fish and decapod assemblages using GIS and neural network. *Freshwater Biology* 49, 1036-1052.
- Karr, J. R., 1981: Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries, Aquatic Bulletin of American Fisheries Society* 6, 21-27.
- Kartografie Praha, 2000a: Turistická mapa Šumava – Železnorudsko 1 : 50 000.
- Kartografie Praha, 2000b: Turistická mapa Jizerské hory 1 : 50 000.
- Kottelat, M., Freyhof, J., 2007: Handbook of European Freshwater Fishes, 646 pp.
- Kurfürst, J., Lešner, M., Pružina, I., 1998: Složení ichtyofauny říček Krounka a Novohradka v severovýchodních Čechách. III. Česká ichtyologická konference JU ČB Vodňany, 153-158.
- Kurfürst, J., Petrtyl, M., Kalous, L., 2005: Změny ichtyofauny Jevanského potoka. VIII. Česká ichtyologická konference Brno, 160-167.
- Laffaille, P., Acou, A., Guillouet, J., Legault, A., 2005: Temporal changes in European eel, *Anguilla anguilla*, stocks in a small catchment after installation of fish passes. *Fisheries Management and Ecology* 12, 123-129.
- Lasne, E., Bergerot, B., Lek, S., Laffaille, P., 2007: Fish zonation and indicator species for the evaluation of the ecological status of rivers: example of the Loire Basin (France). *River Research and Applications* 23, 877-890.
- Lepš, J., Šmilauer, P., 2000: Mnohorozměrná analýza ekologických dat. Skriptum Biologické fakulty Jihočeské university v Českých Budějovicích, 102 pp.
- Lohnický, K., 2000: Rekonstrukce ichtyologického členění antropicky neovlivněného českého úseku Labe s poznámkou o aktuálních rybích pásmech. Sb. Okresního muzea Most 22, 67-73.
- Lojkásek, B., Lusk, S., Halačka, K., Lusková, V., 2000: Rybí společenstva v povodí říčky Osoblahy s aspektem povodně v červenci 1997. *Živočišná výroba* 5, 229-236.

- Lojkásek, B., Lusk, S., Halačka, K., Lusková, V., 2004: Fish communities in the Poodří Protected Landscape Area (the Odra River basin). *Czech Journal of Animal Science* 49 (3), 121-130.
- Lojkásek, B., Lusk, S., Matýsková, B., 2001: Rybí společenstvo, migrační prostupnost a čistota vody řeky Ostravice. *Časopis Slezského muzea Opava* 50 (1), 51-65.
- Lojkásek, B., Lusk, S., Papoušek, I., 2006: Nepůvodní druhy ryb povodí Odry na Moravě a ve Slezsku. *Biodiverzita ichtyofauny ČR* (VI), 79-86.
- Loyka, P., Bosák, J., 1999: Předběžný seznam mihulovců (Petromyzontes) a ryb (Osteichthyes) v říčním systému Vojenského výcvikového prostoru Libavá. *Zprávy Vlastivědného muzea Olomouc* 277, 54-60.
- Lusk, S., Halačka, K., Lusková, V., 1996: Rybí osídlení Tiché Orlice ř. km 59-100. Výzkumné aktivity v regionu Orlicko v roce 1995. Ústav ekologie krajiny AV ČR Brno, 32.
- Lusk, S., Halačka, K., Lusková, V., 1999: Povodně a ryby – dopad povodně na ryby v přítocích Divoké Orlice a Orlice. *Konference Orlice '99 Žamberk*, 73-77.
- Lusk, S., Hanel, L., Lusková, V., Lojkásek, B., Hartvich, P., 2006: Červený seznam mihulí a ryb České republiky – verze 2005. *Biodiverzita ichtyofauny ČR* (VI), 7-16.
- Lyons, J., 1996: Patterns in the species composition of fish assemblages among Wisconsin streams. *Environmental Biology of Fishes* 45, 329-346.
- Manchester, S., Bullock, J.M., 2000: The impacts of non-native species on UK biodiversity and the effectiveness of control. *Journal of Applied Ecology* 37, 845-864.
- Mastrorillo, S., Dauba, F., Oberdorff, T., Guégan, J-F., Lek, S., 1998: Predicting local fish species richness in the Garonne river basin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie* 321, (5), 423-428.
- Matěnová, V., 2002a: Ichtyocenózy horního toku Stropnice a vybraných přítoků v Novohradských horách a v podhůří. *Biodiverzita a přírodní podmínky Novohradských hor. Sborník příspěvků z konference 10. a 11.1.2002*, 251-255.
- Matěnová, V., 2002b: Ichtyocenózy pravostranných přítoků horní Malše v oblasti Novohradských hor a Soběnovské vrchoviny. *Biodiverzita a přírodní podmínky Novohradských hor. Sborník příspěvků z konference 10. a 11.1.2002*, 257-261.
- Matěnová, V., Matěna, J., 2004: Ichtyofauna hraničního úseku řeky Malše. *Biodiverzita ichtyofauny ČR* (V), 145-150.

- McCleary, R. J., Hassan, M. A., 2008: Predictive modeling and spatial mapping of fish distributions in small streams of the Canadian Rocky Mountain foothills. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 65 (2), 319-333.
- McGarigal, K., Cushman, S., Stafford, S., 2000: Multivariate statistics for Wildlife and Ecological Research. Springer-Verlag New York, 283 pp.
- McKenna Jr., J. E., 2003: An enhanced cluster analysis program with bootstrap significance testing for ecological community analysis. *Environmental Modelling & Software* 18, 205-220.
- Moravec, P., 2002: Ichtyofauna západní Šumavy se zaměřením na pstruha obecného v prostředí malých vodních toků. Diplomová práce, PřF UK Praha, 118 pp.
- Newson, M. D., Newson, C. L., 2000: Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoscale approaches to basin-scale challenges. *Progress in Physical Geography* 24 (2), 195-217.
- Oberdorff, T., Guilbert, E., Lucchetta, J., C., 1993: Patterns of fish species richness in the Seine River basin, France. *Hydrobiologia* 259, 157-167.
- Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B., Chessel, D., 2001: A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: A framework for environmental assessment. *Freshwater Biology* 46, 399-415.
- Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B., Porcher, J., P., 2002: Development and validation of fish based index for the assessment of 'river health' in France. *Freshwater Biology* 47, 1720-1734.
- Paller, M.H., 1994: Relationships between fish assemblage structure and stream order in South Karolina coastal plain streams. *Transactions of the American Fisheries Society* 123, 150-161.
- Park, Y.-S., Grenouillet, G., Esperance, B., 2006: Stream fish assemblages and basin and land cover in a river network. *Science of the Total Environment* 365, 140-153.
- Pires, A. M., Cowx, I. G., Coelho, M. M., 1999: Seasonal changes in fish communities' structure of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana basin, Portugal. *Journal of Fish Biology* 54, 235-249.
- Pivnička, K., 1998: Vliv některých parametrů na diversitu ryb v malých tocích CHKO Křivoklátsko. In.: Lusk, S., Halačka, K., (eds.): *Biodiversita ichthyofauny ČR (II)*, 31-34.

- Pivnička, K., Humpl, M. 2004: Fish assemblages in the Elbe River watershed - species richness, frequency, and clusters. *Acta Universitatis Carolinae Environmentalica* 18, 107-116.
- Poff, N. L., Allen, J. D., 1995: Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology* 76, 606-627.
- Pokorný, J., Šlechtová, V., Šlechta, V., Bula, L., 1998: Příspěvek k osídlení Labe pstruhem obecným a sivenem americkým v oblasti KRNAP v Krkonoších. In: Sborník referátů III České ichtyologické konference, VÚRH Vodňany, 277 -282.
- Pont, D., Hygieny, B., Oberdorff, T., 2005: Modelling habitat requirement of European fishes: do species have similar responses to local and regional environmental constraints? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62, 163-175.
- Prášek, V., Jurajda, P., 1996a: Ichtyologický inventarizační průzkum NPP Jankovský potok a PR Kladinský potok. Zpráva o provedeném průzkumu. Moravské zemské muzeum Brno, Ústav ekologie krajiny AV ČR Brno, 7 pp.
- Prášek, V., Jurajda, P., 1996b: Ichtyologický inventarizační průzkum navrhované PR Staré Hutě u Kamenice nad Labem. Zpráva o provedeném průzkumu. Moravské zemské muzeum Brno, Ústav ekologie krajiny AV ČR Brno, 5 pp.
- Reichard, M., Jurajda, P., Šimková, A., Matějusková I., 2002: Size-related habitat use by bitterling (*Rhodeus sericeus*) in a regulated lowland river. *Ecology of Freshwater Fish* 11, 112-122.
- Richards, C., Host, G., 1994: Examining land use influences on stream habitats and macroinvertebrates: a GIS approach. *Journal of American Water Resources Association* 30 (4), 729-738.
- Schmutz, S., Cowx, I. G., Haidvogel, G., Pont, D., 2007: Fish-based methods for assessing European running waters: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology* 14 (6), 369-380.
- Spurný, P., Mareš, J., Sukop, I., Kopp, R., Fiala, J., 2006: Zhodnocení prosperity pstruha obecného a lipana podhorního v horním úseku řeky Moravice. IX. Česká ichtyologická konference VÚRH Vodňany, 153-156.
- Strahler, A. N., 1952: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *The Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142.
- Sutherland, A.B., Meyer, J.L., Gardiner, E.P., 2002: Effects of land cover on sediment regime and fish assemblage structure in four southern Appalachian streams. *Freshwater Biology* 47, 1791-1805.

- Štefáček, S., 2008: Encyklopedie vodních toků Čech, Moravy a Slezska. Baset, 740 pp.
- Švátora, M., 2000: Ichtyofauna Tyterského potoka a její změny v letech 1995–1999 ve srovnání s potokem Úpoř. *Biodiverzita ichtyofauny ČR (III)*, 165-170.
- Švátora, M., Čihař, M., Růžičková, J., 1998: Rybí společenstva vybraných toků NP a CHKO Šumava. Sbírka referátů III. České ichtyologické konference, Vodňany 6. a 7. 5. 267–276.
- Švátora, M., Dušek, J., Moravec, P., Blahník, P., 2006a: Ichtyofauna CHKO Jizerské hory. *Biodiverzita ichtyofauny ČR (VI)*, 139-146.
- Švátora, M., Dušek, J., Vlach, P., 2006b: Ichtyofauna CHKO Křivoklátsko. *Biodiverzita ichtyofauny ČR (VI)*, 147-154.
- 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). Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA), 500 pp.
- Ulen, B., Carlsson, C., Lidberg, B., 2004: Recent Trends and Patterns of Nutrient Concentrations in Small Agricultural Streams in Sweden. *Environmental Monitoring Assessment* 98, 307-322.
- Vannote, R., Minshall, W. G., Cummins, K. W., Sedell, J. R., Cushing, C. E., 1980: The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37, 130-137.
- Verneaux, J., Schmitt, A., Verneaux, V., Prouteau, C., 2003: Benthic insects and fish of the Doubs River system: typological traits and the development of a species continuum in a theoretically extrapolated watercourse. *Hydrobiologia* 490, 63-74.
- Vlach, P., Fischer, D., 2007: Ichtyocenozy vybraných toků v povodí Bradavy obývaným rakem kamenáčem. X. Česká ichtyologická konference. 147-151.
- Vlček, V. L., Kestřábek, J., Kříž, H., Novotný, S., Píše, J., 1984: Zeměpisný lexikon ČSR – Vodní toky a nádrže. Academia Praha: 315 pp.
- Walser, C. A. Bart, H. L., 1999: Influence of agriculture on in-stream habitat and fish community structure in Piedmont watersheds of the Chattahoochee River System. *Ecology of Freshwater Fish* 8, 237-246.
- Walters, D. M., Leigh, D.S., Freeman, M. C., Freeman, B. J., Pringle, C. M., 2003: Geomorphology and fish assemblages in a Piedmont river basin, U.S.A. *Freshwater Biology* 48, 1950-1970.

- Walters, D. M., Roy, A. H., Leigh, D. S., 2009: Environmental indicators of macroinvertebrate and fish assemblage integrity in urbanizing watersheds. *Ecological Indicators* 9, 1222-1233.
- Walton B. M., Salling M., Wyles, J., Wolin J., 2007: Biological integrity in urban streams: Toward resolving multiple dimensions of urbanisation. *Landscape and Urban Planning* 29 (1). 110-123.
- Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., 2003: Impact of Urban Land Cover on Trout Streams in Wisconsin and Minnesota. *Transactions of the American Fisheries Society*, 132: 825-839.
- Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., Bannerman, R., 2001: Impact of urbanisation on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environmental management* 28: 255-266.
- Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., Gatti, R., 1997: Influences of watershed land use on habitat quality and biotic integrity in Wisconsin streams. *Fisheries* 22 (6), 6-12.
- Warren, D. R., Likens, G. E., Buso, D. C., Kraft, C. E., 2008: Status and distribution of fish in an acid-impacted watershed of the northeastern United States. *Northeastern Naturalist* 15 (3), 375-390.

7. PŘÍLOHY

Seznam tištěných příloh:

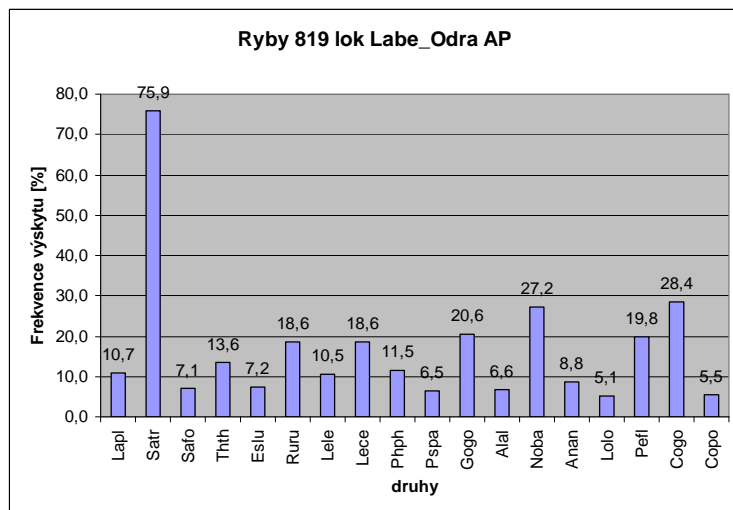
Příloha 1: Frekvence výskytu nenáhodných druhů.....	str.I
Příloha 2: Korelace mezi environmentálními proměnnými na lokalitách (PCA).....	str. IV
Příloha 3: Ordinační diagram CCA zobrazení 1. a 3. osy.....	str.VI

Seznam příloh na přiloženém disku:

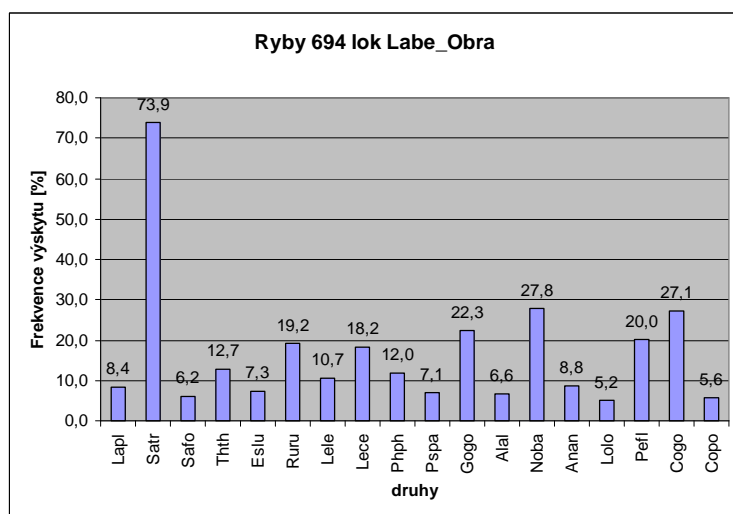
Příloha 4: Korelace mezi environmentálními proměnnými na lokalitách (Spearmanův test)
Příloha 5: Primární tabulka druhů a parametrů prostředí na lokalitách
Příloha 6: Mapová vrstva se zákresem lokalit

Příloha 1

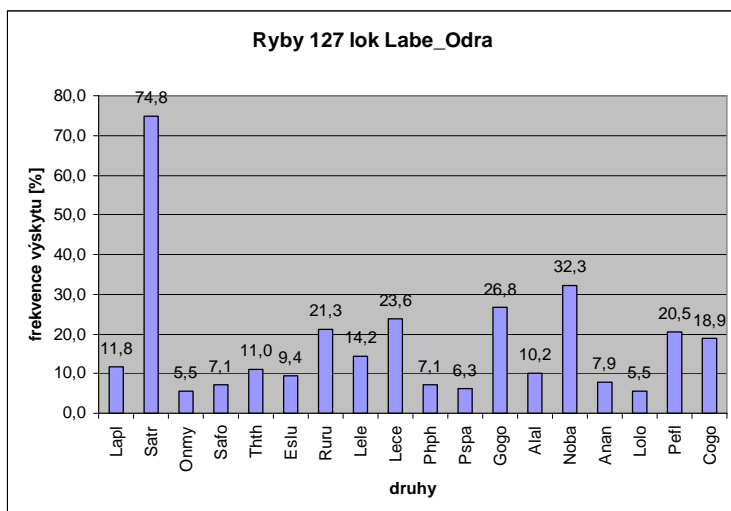
JEDNOTLIVÉ DRUHY S NENÁHODNÝM VÝSKYTEM



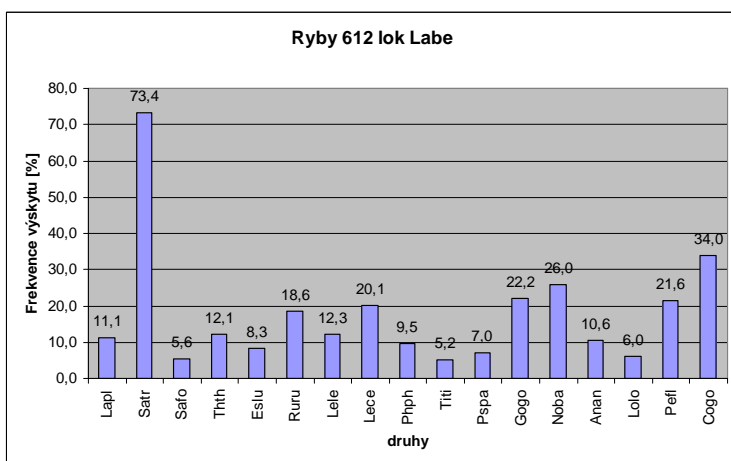
Obr. I: Druhy s nenáhodným výskytem na 819 lokalitách povodí Labe a Odry



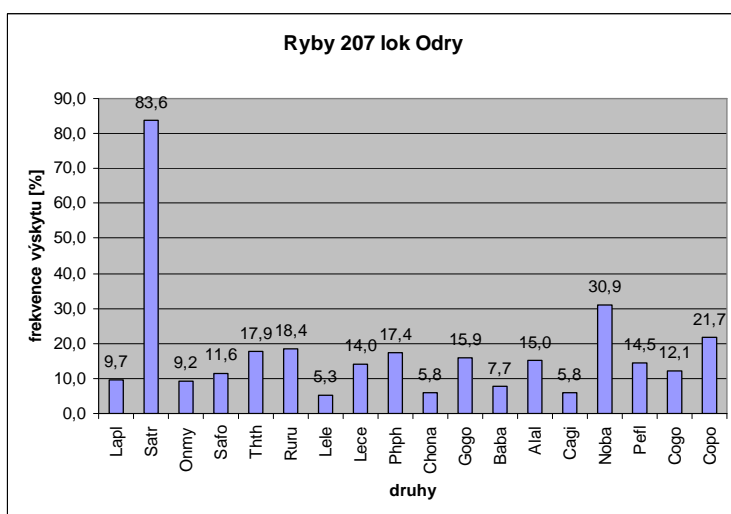
Obr. II: Druhy s nenáhodným výskytem na 694 lokalitách povodí Labe a Odry



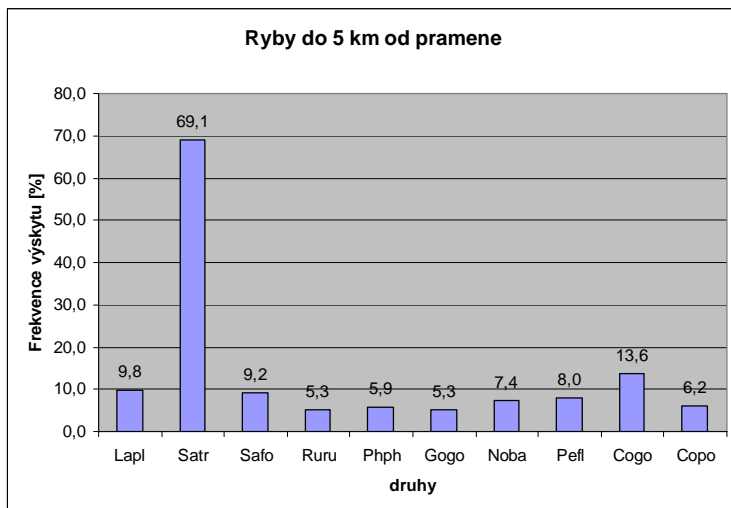
Obr. III: Druhy s nenáhodným výskytem na 127 lokalitách povodí Labe a Odry



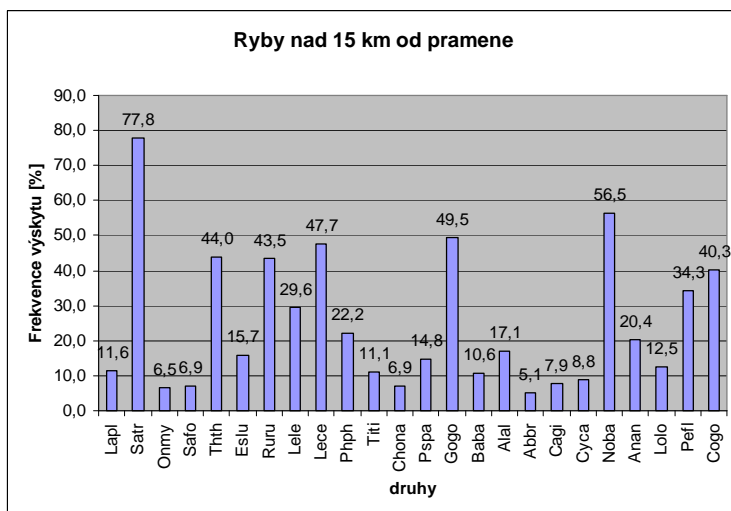
Obr. IV: Druhy s nenáhodným výskytem na lokalitách povodí Labe



Obr. V: Druhy s nenáhodným výskytem na lokalitách povodí Odry



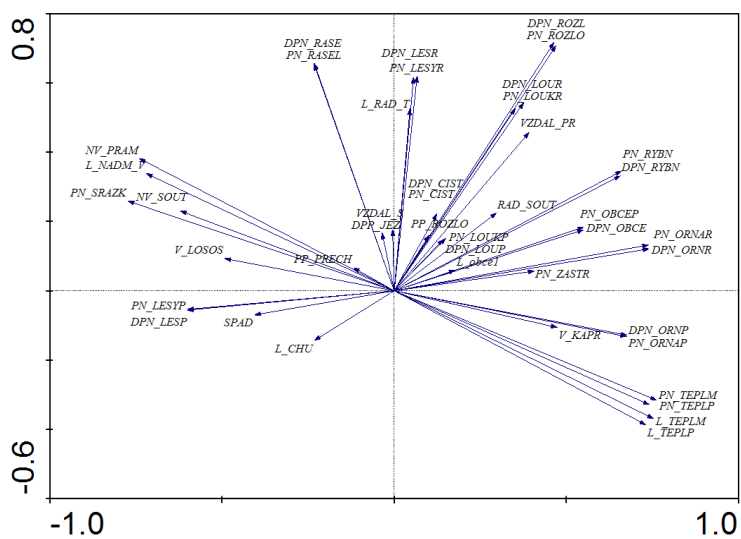
Obr. VI: Druhy s nenáhodným výskytem na lokalitách do 5 km od pramene



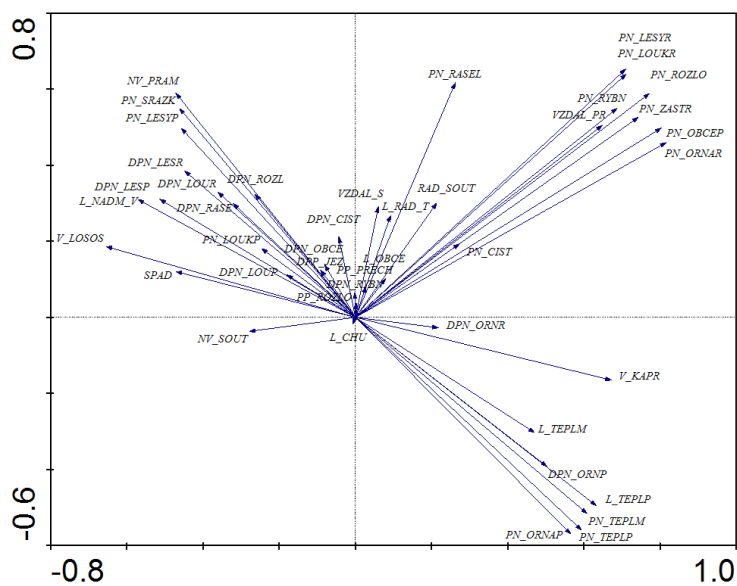
Obr. VII: Druhy s nenáhodným výskytem na lokalitách vzdálených více než 15 km od pramene

Příloha 2

VZÁJEMNÉ VZTAHY PARAMETRŮ STANOVENÉ PCA ANALÝZOU

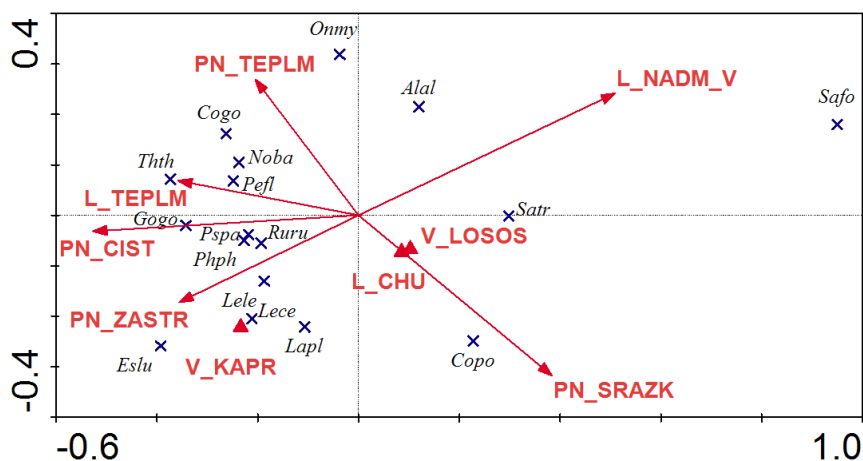


Obr. VIII: PCA - Vztahy mezi environmentálními proměnnými z lokalit do 5 km od pramene



Obr. IX: PCA - Vztahy mezi environmentálními proměnnými z lokalit nad 15 km od pramene

Příloha 3



Obr. XII: Výsledný ordinační diagram *Canonical correspondence analysis* (CCA) pro první a třetí ordinační osu. Znáznorňuje vliv signifikantních parametrů vysvětlujících alespoň 1,5 % druhové variability po odstranění časové a regionální variability formou kovariát na souboru dat o prezenci-absenci 18 druhů (s frekvencí výskytu nad 5 %) z 207 lokalit toků povodí Odry.