

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Hydrochemické charakteristiky povrchových vod na Novohradsku a Třeboňsku
– vliv povodí na koncentrace hlavních iontů

ING. IVA BAXOVÁ CHMELOVÁ

**ČESKÉ BUDĚJOVICE
2021**

Autoreferát disertační práce

Doktorandka: Ing. Iva Baxová Chmelová
Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí
Studijní obor: Aplikovaná a krajinná ekologie

Název práce: Hydrochemické charakteristiky povrchových vod na Novohradsku a Třeboňsku – vliv povodí na koncentrace hlavních iontů

Školitel: doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.

Oponenti: prof. RNDr. Dana Komínková, PhD., Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 160 00 Praha - Suchbátův Újezd
Ing. Jan Potužák, PhD., Povodí Vltavy, sp. České Budějovice, E. Pittera 1, 370 01 České Budějovice
doc. Ing. Barbara Stalmachová, CSc., Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta 17. listopadu 2172/15, 708 00, Ostrava- Poruba

Obhajoba disertační práce se koná dne 14. 12. 2021 v 11:30 hodin v zasedací místnosti vědecké rady Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení Zemědělské fakulty.

Abstrakt:

Hospodaření s vodou v krajině, vztah vody a vodního režimu, způsobu obdělávání půdy jsou velmi důležitými a pozornost zasluhujícími oblastmi, které jsou předmětem celosvětové diskuse. Přesto se problémy spojené s hospodaření v krajině často ignorují. Jedním z důvodů je obtížné hodnocení stavu krajiny a jejího fungování. Zdravě fungující ekosystémy mají tendenci zadržovat látky v systému, recirkulovat je a snižovat látkové ztráty. Tento koncept byl východiskem pro disertační práci, ve které jsou vyhodnoceny dlouhodobé trendy ve změnách chemismu povrchových vod na modelových územích Novohradska (povodí horní Stropnice) a Třeboňska (povodí Lužnice). Chemismus povrchových vod jak tekoucích (malých vodotečí), tak i stojatých (rybníků) byl popsán ve vztahu k přírodním i antropogenním faktorům povodí, především z hlediska vlivu krajinného pokryvu, zemědělského hospodaření a celkového dopadu hospodářských aktivit. V detailnějším posouzení vybraných povodí bylo sledováno fungování krajiny, podle teplot povrchu země a vegetačního krytu, a podle schopnosti zadržovat látky. Pozornost byla věnována úloze mokřadů v krajině.

Změny v chemismu povrchových vod sledovaných v povodí horní Stropnice a na Třeboňsku velmi rychle a zřetelně reflektují změny v hospodaření, především na zemědělských povodích. Jak v povodí Stropnice, tak na Lužnici a v třeboňských rybnících je od 60. do 90. let minulého století patrný nárůst koncentrací hlavních iontů (SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ a Na^+). Celkový obsah rozpuštěných látek se v tomto období zdvojnásobil. Podstatné snížení intenzity zemědělství po roce 1990 se projevilo velmi podobnými trendy, poklesem koncentrací hlavních iontů, zejména SO_4^{2-} , HCO_3^- a alkalických kationtů, Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Změny koncentrací klíčových hlavních iontů jsou dobře doložitelné změnami vodivosti. Celkový dlouhodobý trend nepochybně ukazuje nárůst v minulém století a následný pokles koncentrací, který se však v posledních deseti letech na Stropnici zastavil. Na Lužnici se trend dokonce obrací a vodivost začíná opět vzrůstat. Pokles koncentrací jednotlivých hlavních iontů se zastavil okolo roku 2010. V současnosti se koncentrace některých iontů se opět zvyšují. S velkou pravděpodobností to odráží postupně se zvyšující dávky hnojiv a větší intenzitu vápnění zemědělské půdy. Zásadní změny v hospodaření mají velmi podobné důsledky jak na úrovni velmi malých povodí o rozloze několika desítek až stovek ha, tak i středně velkých, jako jsou povodí horní Lužnice a horní Stropnice. Zvýšení celkového obsahu látek směrem po proudu je patrné na všech dílčích povodích sledovaných potoků (Bedřichovský, Váčekový, Pasecký, Veverský, Nakolický). Stav povodí, tj. rozsah zemědělsky obhospodařované půdy, podíl lesních porostů či přítomnost mokřadů modifikuje dopady hospodaření v povodí na chemismus odtékajících vod. Největší důsledky pro navýšení koncentrací rozpuštěných látek, tj. hlavních iontů, má větší přítomnost orné půdy. Nejméně je patrný vliv na chemismus u povodí, která nemají výrazné zemědělské hospodaření. Tento gradient vlivu hospodaření v povodí je překvapivě stabilní po dobu deseti i více let a je zřetelný jak na tekoucích vodách, tak na rybnících.

Podobnost v charakteru a dlouhodobém trendu změn koncentrací hlavních iontů i na úrovni velkých územních celků, jako je část povodí Vltavy, která náleží k Jihočeskému kraji, ukazuje na robustnost těchto procesů.

Hydrochemické poměry povrchových vod odrážejí do značné míry fyzikální a biologické procesy, které nastávají v povodí. Pohyb vody v terénu a její interakce s půdou, podložím a vegetací, jsou spojeny s disipací energie, která systémem prochází. Povrchová teplota krajiny je výsledným projevem těchto procesů. Porovnání teplotních charakteristik sledovaných povodí prokazuje, že se zvyšujícím se podílem antropogenních a zemědělsky obhospodařovaných ploch se zvyšuje průměrná teplota povrchu krajiny. Podobné rozdíly, jako v distribuci teplot, byly zjištěny i v hydrochemických parametrech vody, která z jednotlivých povodí odtéká. Při posouzení chemismu povrchových vod ve vztahu k dopadům lidské hospodářské aktivity je třeba zohlednit nejen charakter a rozsah antropogenního působení, ale také přírodní podmínky a procesy, které v krajině probíhají. Informace o chemismu povrchových vod a teplotě povrchu krajiny lze pak dobře využít k celkovému posouzení stavu a ekologického fungování povodí.

Klíčová slova: chemismus povrchových vod, hlavní ionty, vliv povodí a hospodaření

Abstract:

Water management in landscapes, the relationships between water and water regime and level of agricultural management soil cultivation are very important and noteworthy areas of global discussion. Nevertheless, issues related to landscape management are often ignored. Difficulty of assessing the state of the landscape and its functioning is one reason for this. Healthy ecosystems tend to retain substances in the system and reduce matter losses. This concept was used as background for this thesis, which evaluates long-term trends in changes in surface water chemistry in the model regions of Novohradsko (upper Stropnice catchment) and Třeboňsko (Lužnice catchment). Surface water chemistry of both running (small streams) and standing waters (ponds) was described in relation to natural and anthropogenic catchment patterns, especially in terms of the influence of land cover, agricultural management and the overall impact of human activities. The functioning of the landscape was more detailed assessed in the selected catchments in terms of land surface temperatures and vegetation cover and of its ability of matter retention. Attention was paid to the role of wetlands in the landscape.

Changes in surface water chemistry in the Třeboň region and in the upper Stropnice catchment reflect shift in management, especially in agricultural catchments. In both the Stropnice and the Lužnice basins and in the Třeboň fishponds, an increase in the concentrations of the major ions (SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ and Na^+) is evident from the 1960s to the 1990s. The total dissolved content doubled during this period. The substantial reduction in agricultural intensity after 1990 showed very similar trends, with a decrease in the concentrations of the major ions, especially SO_4^{2-} , HCO_3^- and the alkaline cations, Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Changes in concentrations of major ions are well documented by changes in conductivity. The overall long-term trend undoubtedly shows an increase in the last century and a subsequent decrease in concentrations. This decreasing trend has stopped in the last decade in Stropnice. In the Lužnice, the trend is even reversing and conductivity is beginning to increase again. The decline in concentrations of the major ions stopped around 2010. Currently, the concentrations of some ions are increasing again. This most likely reflects gradually increasing fertilization and liming of agricultural soils. Significant changes in agricultural practices have very similar consequences at the level of very small catchments of a few tens to hundreds of hectares, as well as medium-sized ones such as the upper Lužnice and upper Stropnice catchments. The downstream increase in total dissolved solids is evident in all sub-basins of the monitored streams (Bedřichovský, Váčekový, Pasecký, Veverský, Nakolický). The situation in the catchment, i.e. the extent of agricultural land, the proportion of forest or the presence of wetlands, modifies the effects of catchment management on the chemistry of runoff. The large areas of arable land have significantly increase of the major ions concentrations. In contrast catchment with the minimal agricultural activities has almost negligible impact on the chemistry of runoff. Effect of catchment character is surprisingly stable over a decade or more and is evident on both running waters and ponds. The similarity in the patterns and long-term trends of changes in major ion concentrations even at the level of large catchment, such as the part of the Vltava basin adjacent to the South Bohemia Region, indicates the robustness of these processes.

The chemistry of surface waters reflects to a large extent the physical and biological processes occurring in the watershed. The movement of water in the terrain and its interaction with soil, and vegetation are linked to the dissipation of energy that passes through the system. The surface temperature of the landscape is the result of these processes. The temperature distribution shows an increase of mean surface temperature of the landscape with increasing anthropogenic and agricultural land cover. Similar differences as in the temperature pattern were found in the parameters of the chemistry of running water in the individual catchments. Increased concentrations were associated with more intensive anthropogenic impact. When assessing the relationship between surface water chemistry and the impacts of human activity, it is necessary to take into account also the natural conditions and processes that occur in the landscape. Information on surface water chemistry and landscape surface temperature can be well used to assess the overall status and ecological functioning of the catchment.

Keywords: surface water chemistry, major ions, catchment influence and management

1 Úvod a cíle práce

Hospodaření s vodou v krajině, vztah vody a vodního režimu, způsobu obdělávání půdy jsou velmi důležitými a pozornost zasluhujícími oblastmi, které jsou předmětem celosvětové diskuse. Přesto se problémy spojené s hospodaření v krajině často ignorují. Neustále se setkáváme s následky neuváženého hospodaření člověka v krajině, které ne vždy a zcela respektuje ekologické zákonitosti, souvislosti a principy.

Krajina je ekologicky heterogenní území složené ze specifické sestavy ekosystémů, které jsou ve vzájemné interakci a dynamické rovnováze. Podstata stability ekosystému krajiny pak spočívá ve schopnosti udržovat vlastní dynamickou rovnováhu (O'Neill *et al.* 1988; Odum *et Barrett* 2004). Krajinu je nutné sledovat jako celek. Proto je na místě holistický přístup, který předpokládá pochopení toho, jak jsou jednotlivé složky krajiny vzájemně spojeny, jaké jsou jejich vzájemné vztahy, struktura a funkce (Degórski 2003). Holistický koncept krajiny, který formuloval Rippl (1995), vychází z měřitelných toků energie a látek. Definuje ETR model (Energy Transport Reaction), který popisuje vztahy mezi energií, vodním transportem a fyzikálními, chemickými a biologickými procesy. Zdravě fungující ekosystémy mají tendenci zadržovat látky v systému, recirkulovat je a snižovat látkové ztráty – tj. odnos mimo systém. Zvyšování koncentrací rozpuštěných látek v povrchových vodách a odnos látek s odtékající vodou z povodí je zpravidla důsledkem zásahů člověka, který v krajině hospodaří (Pokorný *et Rejšková* 2008). Identifikovat schopnost dílčích povodí zadržovat látky, podle chemismu povrchových vod hlavním cílem práce.

K celkovému posouzení fungování krajiny je v práci použita nekonvenční kombinace postupů, tj. porovnání chemismu povrchových vod a teploty povrchu krajiny s cílem posoudit, do jaké míry lze z těchto výsledků efektivně a racionálně usuzovat na stav krajiny, povodí.

Dílčí cíle jsou formulovány tak, aby odpovídaly tomuto holistickému přístupu:

1. **Zhodnotit dlouhodobé trendy ve změnách chemismu povrchových vod v souvislosti se změnami intenzity hospodaření v krajině a dalšími případnými vlivy na modelových územích Novohradska (povodí horní Stropnice) a Třeboňska (povodí Lužnice).**
2. **Popsat chemismus povrchových vod tekoucích i stojatých ve vztahu k faktorům, které ho ovlivňují (přírodní i antropogenní), určit mechanismy odpovědné za jejich stav**
3. **Posoudit roli různých typů krajinného pokryvu včetně mokřadních společenstev.**

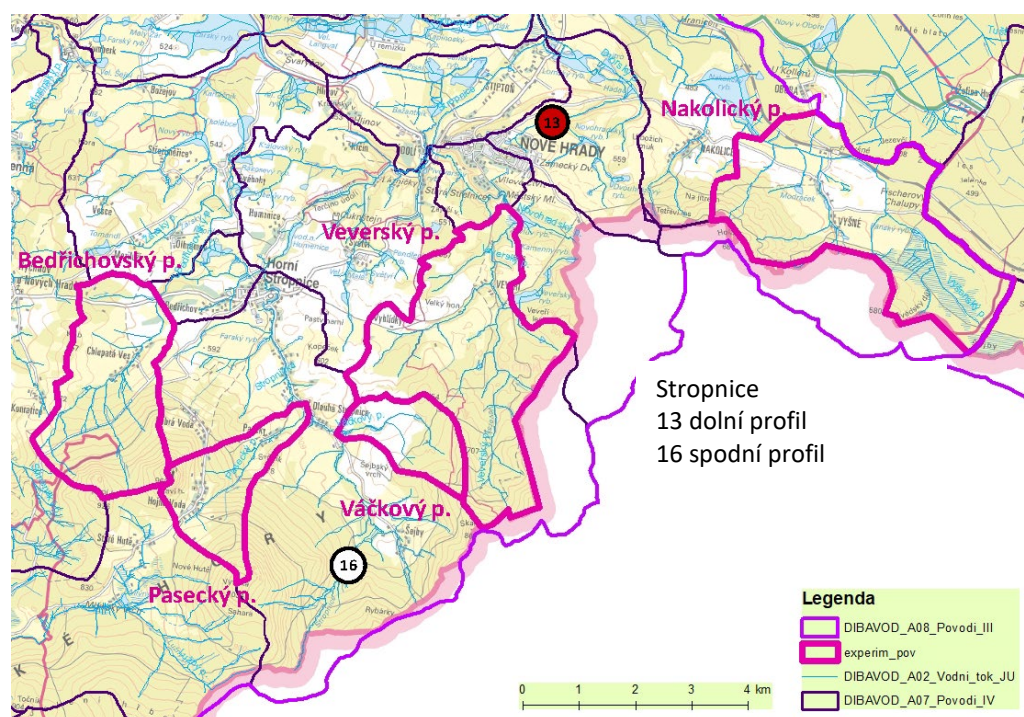
2 Charakteristika území

2.1 Novohradsko

Zájmové území se rozkládá v Novohradských horách v horní části povodí řeky Stropnice. Do tohoto území spadá všech pět sledovaných subpovodí o celkové rozloze 41,38 km², která byla vymezena na Bedřichovském, Paseckém, Váčkovém, Veverském a Nakolickém potoce (Obr. 1). Základní charakteristika jednotlivých povodí je uvedena v Tab. 1. Více podrobností uvádějí Bodlák (2008), Slavíková (2014).

Tab. 1 - Základní charakteristika studovaných povodí v oblasti horní Stropnice

Povodí	Vliv na tok Stropnice	Popis povodí
<i>Bedřichovský p.</i>	Střední	Tvoří v horní části les (více jak 50 %), ve spodní části převažují zemědělsky obhospodařované plochy (do 10 %).
<i>Pasecký p.</i>	Nízký	Povodí je možné charakterizovat jako lesní (cca 65 %) a luční (TTP 35 %).
<i>Váčkový p.</i>	Vysoký	Horní část tvoří les (50 %), spodní část povodí je tvořené převážně ornou půdou (45 %) a TTP (5 %).
<i>Veverský p.</i>	Střední	Povodí se svou strukturou nejvíce podobá Bedřichovskému potoku – horní uzávěrový profil tvoří lesní povodí (60 %), ve spodní části převládají kulturní plochy orná půda (10 %), TTP (30 %).
<i>Nakolický p.</i>	Střední	Povodí je tvořené v horní části lesem (65 %), ve spodní části převažují TTP (25 %) a orná půda (10 %).



Obr. 1 - Lokalizace sledovaných povodí potoků: Bedřichovský, Pasecký, Váčkový, Veverský a Nakolický, v rámci oblasti horní Stropnice a lokalizace odběrových profilů na Stropnici.

2.2 Třeboňsko

2.2.1 *Rybniční soustavy*

Hodnocené rybníky jsou součástí Třeboňské pánve a spadají do CHKO Třeboňsko. Rybníky jsou napájeny a ovlivňovány jednak hlavními vodotečemi Třeboňska (řekou Lužnicí, Zlatou stokou, Novou řekou a Koštěnickým potokem) a jednak přítoky, které odvodňují lokální dílčí povodí (Tab. 2).

Sledované rybníční soustavy (Obr. 2) lze z hlediska vlivu povodí rozdělit do dvou skupin. Soustavy západně od řeky Lužnice s více zemědělsky využívaným povodím a více osídlené (Břilice, Lomnice a Třeboň) a soustavy východně od Lužnice s povodím s větším podílem lesů a méně intenzivně využívané (Chlum, Vitmanov, Naděje).

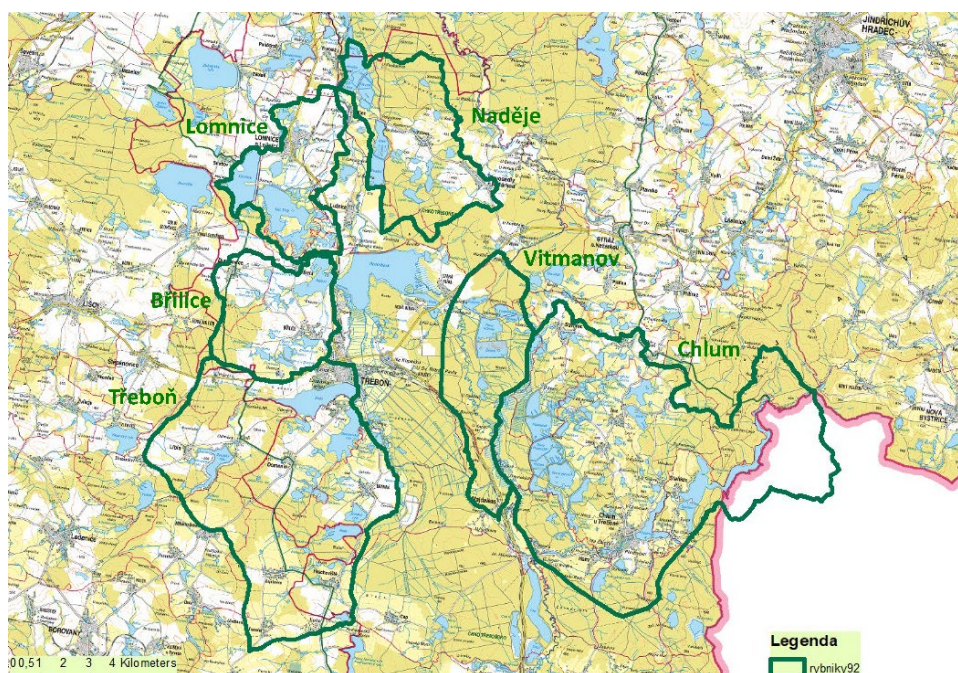
Tab. 2 - Přehled sledovaných rybníčních soustav na Třeboňsku a základní charakteristika jejich povodí.

Soustava	Vliv povodí	Zdroj vody*	Počet lokalit	Rybníky	Charakteristika povodí
<i>Třeboň</i>	Vysoký	Lv	6	<i>Stavidlo Ovčín, Ruda, Opatovický, Cirkvičný, Svět, Spolský</i>	Zemědělské plochy v povodí (46 %), zalesněné plochy (32 %), pastviny (7 %), vodní plochy (7 %).
<i>Chlum</i>	Střední	Hv	9	<i>Purkrabský, Točník, Staňkovský, Velká Černá, Staré Jezero, Starý Hospodář, Podsedek, Zájezek, Vizír</i>	Zemědělské plochy v povodí (23 %), zalesněné plochy (51 %), pastviny (11 %), vodní plochy (10 %).
<i>Vitmanov</i>	Nízký	Hv	5	<i>Starý Spálený, Vyšehrad, Ženich, Nový Vdovec, Starý Vdovec</i>	Zemědělské plochy v povodí (13 %), zalesněné plochy (64 %), pastviny (6 %), vodní plochy (13 %).
<i>Lomnice</i>	Vysoký	Hv, Lv	7	<i>Koclířov I a II, Velký Tisý, Velký Dubovec, Malý Dubovec, Malý Tisý, Služebný</i>	Zemědělské plochy v povodí (50 %), zalesněné plochy (9 %), pastviny (9 %), vodní plochy (22 %).
<i>Naděje</i>	Nízký	Hv	7	<i>Rod, Naděje, Vira, Láska, Klec, Potěšil, Dobrá Vůle</i>	Zemědělské plochy v povodí (25 %), zalesněné plochy (41 %), pastviny (9 %), vodní plochy (11 %).
<i>Břilice</i>	Vysoký	Lv	5	<i>Verfle, Starý u Břilic, Břilický, Kaňov, Stružky</i>	Zemědělské plochy v povodí (57 %), zalesněné plochy (18 %), pastviny (5 %), vodní plochy (9 %).

* *Hlavní vodoteče (Hv)* – Lužnice, Nová řeka, Koštěnický potok a z nich odvětvené hlavní napájecí stoky; *Lokální (Lv)* – drobné vodoteče, odvodňující přilehlé povodí

2.2.2 *Ostatní mokřadní lokality*

V Třeboňské oblasti se mimo přírodě blízkých území nacházejí i umělé mokřadní biotopy a silně modifikované lokality (Tab. 3), které byly také zahrnuty do sledování chemismu vod. Společně s hydrochemickými parametry byly hodnoceny také struktura krajinného pokryvu, rozsah jednotlivých biotopů v rámci odpovídajícího vymezení povodí a krajinných souvislostí.



Obr. 2 - Lokalizace a vymezení rybníčních soustav na Třeboňsku

Tab. 3. – Charakteristika vybraných přírodních a umělých mokřadních lokalit

Název lokality	Stupeň lidské aktivity v povodí	Charakteristika lokality
<i>Rybník Nový Vdovec</i>	Nízký	Povodí rybníka se skládá z lesů a oblastí s nízkou lidskou aktivitou.
<i>Mokré louky</i>	Nízký	Dominantou jsou zamokřené louky s vysokou hladinou podzemní vody, které jsou sezónně zaplavovány ze Zlaté a Podřezanské stoky. Povodí je z více než 50 % zalesněné.
<i>Ruda</i>	Nízký	Vlhké lesy s rašelinným podložím.
<i>KČOV Libnič</i>	Vysoký	Kořenová čistírna odpadních vod je konstruována pro 500 EO, v současnosti je však napojeno 250 EO. Systém čištění se skládá z mechanického předčištění, dvou paralelně zapojených filtračních polí s celkovou plochou 1 280 m ² . Obě pole jsou osázena chrasticí rákosovitou (<i>Phalaris arundinacea</i>).
<i>Rybník Bošilecký</i>	Vysoký	Louky a pole s intenzivní zemědělskou činností. Vlastní rybník je hypertrofní s vysokou rybí obsádkou.
<i>Meliorační stoka Přeseka</i>	Vysoký	Povodí meliorační stoky s vysokým podílem orné půdy, zmeliorované v 70. letech. Voda z meliorační stoky ústí přímo do potoka. Chemismus vod přímo odráží způsob hospodaření na orné půdě.

3 Metodika

3.1 Přehled datových souborů

Pro oblast Novohradska a Třeboňska byla shromážděna široká škála datových souborů. V Tab. 4 jsou jednotlivým datovým souborům, ve sloupci „Vazba na projekt/výzkumnou aktivitu“, přiřazené stěžejní projekty (viz níže), v rámci kterých byla data získána.

Tab. 4 - Přehled datových souborů z oblasti Novohradska a Třeboňska, které byly vyhodnoceny v této práci

Data	Oblast	Počet odběrových míst/lokalit	Měřené parametry	Období	Vazba na projekt/výzkumnou aktivitu *	Poznámka
	Stropnice	1	Vodivost	1964 - 2019	1	Kompilace dat Procházková (VÚV TGM, Praha nepubl. In Čeřovská); LAE ZF JU nepubl.; St. Podnik povodí Vltavy
			Kationty	1964 - 2011	1	
			Ca ²⁺	1964 - 2011	1	
			Anionty	1964 - 2011	1	
			HCO ₃ ⁻	1964 - 2011	1	
Dlouhodobé trendy	Lužnice	1	Vodivost	1955 - 2020	2, 3, 4, 5	Kompilace dat (Dejdar nepubl. In Pechar et al. 2002; Pechar nepubl. 1986 - 1989 BÚ ČSAV; Přibil et al. 1974 - 1988 BÚ ČSAV; Drbal 2000; Přibil et al. 1988 Nepubl.)
			Kationty	1954 - 2020		
			Ca ²⁺	1954 - 2020		
			Anionty	1954 - 2020		
	Třeboňské rybníky	5 - 42	Vodivost	1954 - 2020	2, 3, 4, 5	V poli počet lokalit je uveden rozsah počtu lokalit, který se v jednotlivých porovnávaných letech lišil.
Porovnání H a D profilů potoků Stropnicko	Bedřichovský p.	2	Vodivost,		1	
	Váčekový p.	2	HCO ₃ ⁻ , Cl,		1	
	Pasecký p.	2	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ ,	2005 - 2011	1	
	Veverský p.	2	Na ⁺ , Mg ²⁺ ,		1	
	Nakolický p.	2	K ⁺		1	
Porovnání dekád Třeboňsko	Břilická s.	5	Vodivost,		2, 3, 4, 5	
	Lomnická s.	7	HCO ₃ ⁻ , Cl,	1990(91);	2, 3, 4, 5	
	Třeboňská s.	6	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ ,	2000(01);	2, 3, 4, 5	
	Chlumská s.	9	Na ⁺ , Mg ²⁺ ,	2010(11);	2, 3, 4, 5	
	Vitmanovská s.	5	K ⁺	2020	2, 3, 4, 5	
Nadějská s.	7			2, 3, 4, 5		
Dekáda 2001 - 2011 Stropnicko	Bedřichovský p.	2	Vodivost, K ⁺ ,		1	
	Váčekový p.	2	HCO ₃ ⁻ , Cl,		1	
	Pasecký p.	2	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ ,	2001 - 2011	1	
	Veverský p.	2	Na ⁺ , Mg ²⁺ ,		1	
	Nakolický p.	2	pH, NO ₃ ⁻		1	
Porovnání přírodě blízké, přirozené a umělé mokřady	Meliorační stoka Přeseka	1	Vodivost, pH,		4	
	Bošilecký	1	alkalita, NO ₃ ⁻ ,		4	
	Libnič (KČOV)	1	TN, TP, Na ⁺ ,	2008 - 2009		
	Nový Vdovec	1	Ca ²⁺ , Mg ²⁺		4	
	Ruda	1			4	
Mokrý louky	1			4		
Porovnání sezonality Třeboňsko	Břilická s.	5	Vodivost,		2, 3, 4, 5	
	Lomnická s.	7	HCO ₃ ⁻ , Cl,	1990(91);	2, 3, 4, 5	
	Třeboňská s.	6	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ ,	2000(01);	2, 3, 4, 5	
	Chlumská s.	9	Na ⁺ , Mg ²⁺ ,	2010(11);	2, 3, 4, 5	
	Vitmanovská s.	5	K ⁺	2020	2, 3, 4, 5	
Nadějská s.	7			2, 3, 4, 5		

Přehled stěžejních projektů:

- 1 *Sledování hydrochemismu drobných vodotečí Novohradsko LAE (2000 – 2014)* – sběr dat v terénu; zpracování a analýza vzorků (FIAstar 5000); práce s daty a jejich vyhodnocení, prezentace výsledků
- 2 *Sledování třeboňských rybníků ENKI (2000 - 2016)* – sběr dat v terénu; zpracování a analýza vzorků (FIAstar 5000); práce s daty a jejich vyhodnocení, závěrečné zprávy o výsledcích, publikační aktivity
- 3 *Rybníční hospodaření respektující strategii udržitelného rozvoje a podporu biodiverzity (MŽP ČR; 2008 – 2011)* – zpracování a analýza vzorků (FIAstar 5000); práce s daty a jejich vyhodnocení
- 4 *Vývoj metody stanovení toků energie a látek ve vybraných ekosystémech, návrh a ověření principů hodnocení hospodářských zásahů pro zajištění podmínek autoregulace a rozvoje biodiverzity (MŠMT; 2006 – 2011)* – Zpracování a analýza vzorků (FIAstar 5000); práce s daty a jejich vyhodnocení, prezentace výsledků na mezinárodních konferencích, publikační aktivity
- 5 *Komplexní systém kontroly kvality rybníčních nádrží – klíčový nástroj pro efektivní produkci ryb a Identifikace a eliminace rizik kyslíkových deficitů (OP Rybářství; 2012 a 2014)* – sběr dat v terénu; zpracování a analýza vzorků (FIAstar 5000); práce s daty a jejich vyhodnocení, zpracování kapitol v technických zprávách projektů

Zprávy z těchto projektů a publikace (Chmelová et al. 2010 a Hesslerová et al. 2012) obsahují detailní metodické informace jak o odběrech vzorků, tak použitých chemických analýzách a statistickém zpracování.

3.2 Koncepce hodnocení dat

Z dlouhodobého hlediska byla hodnocena oblast Novohradsko a šest třeboňských rybníčních soustav. Datové soubory obsahovaly vybrané hydrochemické ukazatele z let 1964 až 2011/2019 (Stropnice) a 1954/1955 až 2020 (Lužnice a třeboňské rybníky). Porovnání jednotlivých povodí na Novohradsku bylo provedeno na základě celoročního sledování (zpravidla 12 odběrů) průběhu v dekadě 2001 až 2011. Porovnání výsledků z třeboňských rybníků zahrnuje tři dekadě, tj. data z let 1990/91, 2000/01, 2010/11 a z roku 2020. Odběry z rybníků byly prováděny třikrát během vegetační sezóny. Vliv povodí, respektive okolí rybníků byl hodnocen podle údajů shrnutých v Tab. 1, 2 a 3.

3.3 Hodnocení land-use a teplot zemského povrchu a klasifikace přirozených a umělých lokalit

Na příkladu šesti dílčích povodí Třeboňsko (Tab. 5) byl analyzován vztah povrchové teploty krajiny, získané z družicových dat Landsat TM a vybraných fyzikálně-chemických parametrů vody. K jednotlivým typům povodí byl přiřazen stupeň lidské aktivity (Hesslerová *et al.* 2012). Data o land-cover, land-use, získaná z DPZ byla zpřesněna terénním mapováním povodí Stropnice.

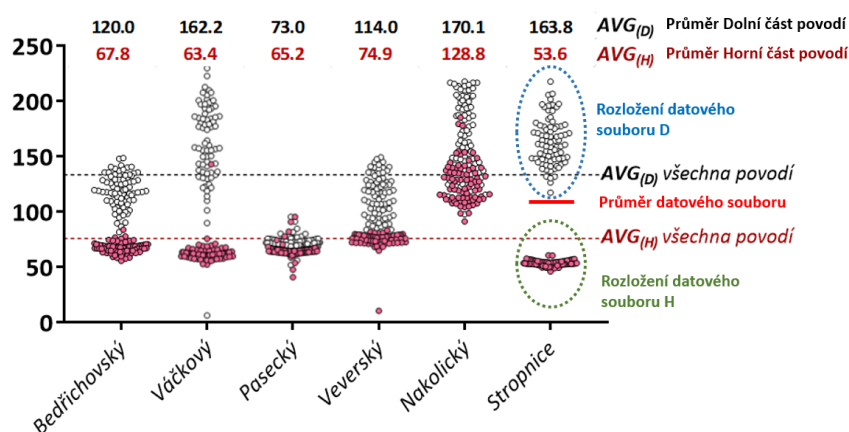
Na vzorcích z šesti lokalit na Třeboňsku (Tab. 3, 5) bylo měsíčně během let 2008 – 2009 provedeno stanovení základních hydrochemických parametrů. Do souboru lokalit byly zahrnuty mělké vody (rybník Nový Vdovec, Bošilecký), přirozené mokřady (Mokrý louky, Ruda), umělý mokřad (KČOV Libnič) a meliorační stoka na orné půdě (Přesecka). Jednotlivým lokalitám byl přiřazen stupeň lidské aktivity.

Tab.5 - Charakteristika sledovaných dílčích povodí Třeboňska s definováním land-use

Typ povodí (založeno na dominantním krajinném pokryvu)	Stupeň lidské aktivity	Charakteristika povodí
Lesní (L)	Velmi nízký	Převážně lesnaté povodí rybníka (82 %) se nachází v chráněné krajinné oblasti Třeboňsko, v blízkosti Chlumu u Třeboně, v zemědělsky téměř neobhospodařované oblasti. Purkrabský rybník (32 ha) patří mezi evropsky významné lokality.
Částečně zalesněný (ČZ)	Nízký	Povodí rybníka Ruda je tvořeno vlhkými lesy s přirozeným rašelinným podložím (51 %) a 1/3 orné půdy.
Mokré louky (ML)	Nízký	Dominantou jsou zamokřené louky (7,5 %) s vysokou hladinou podzemní vody, které jsou sezónně zaplavovány ze dvou uměle vytvořených kanálů (Zlatá a Podřezanská stoka). Z celkové plochy povodí byly vybrány pouze 3/4 kvůli zachování stejných podmínek (sklonitost, expozice, výška). Subpovodí je z více než 50 % zalesněné, 25 % je tvořeno ornou půdou.
Heterogenní (HT)	Vysoký	Povodí zemědělsky obhospodařované s převahou orné půdy (57 %) a minimálním zastoupením lesních porostů (27,4 %). Břilický rybník je posledním v soustavě osmi rybníků, které jsou rybářsky intenzivně obhospodařovány.
Zemědělský (Z)	Vysoký	Povodí je tvořeno loukami (1,5 %), lesy (21 %) i ornou půdou (73 %) s intenzivní zemědělskou činností. Vlastní Bošilecký rybník je hypertrofní s vysokou rybí obsádkou.
Zemědělský-meliorovaný (ZM)	Vysoký	Povodí meliorační stoky s vysokým podílem orné půdy (91 %), zmeliorované v 70. letech. Voda z meliorační stoky ústí přímo do potoka, lokalita Přeseka

3.4 Statistické hodnocení

Databáze výsledků byla vedena v programu MS Excel. Základní popisné statistiky (průměr, minimum, maximum a směrodatná odchylka) a analýzy „ANOVA“, „Kruskal Wallis test“, „Column statistics“ pro hodnocení časových a prostorových rozdílů byly provedeny v programu GraphPad PRISM 7 (PRISM, 1992). Dlouhodobé trendy na Stropnici a Lužnici byly vykresleny pomocí nástroje „cubic spline“. Rozdíl mezi horní (H) a dolní (D) částí povodí byl zobrazen pomocí nástroje „scatter plot graphs“ (Weissgerber *et al.* 2015). Stejně zobrazení bylo použito pro vykreslení rozložení hodnot při hodnocení rybníčních soustav (příklad Obr. 3).

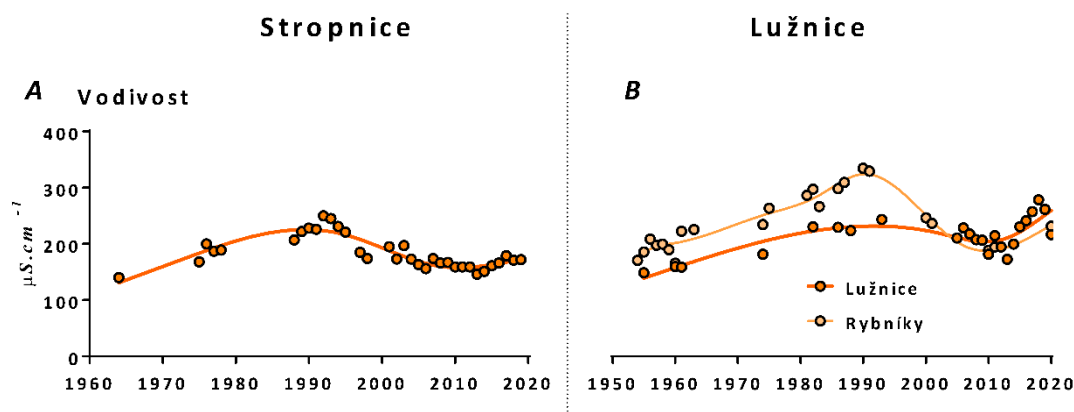


Obr. 3 - Příklad zobrazení dat pomocí nástroje "scatter plot", Weissgerber *et al.* 2015, pro vodivost ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

4 Výsledky a diskuse

4.1 Dlouhodobé trendy v chemismu řek Stropnice a Lužnice

Změny koncentrací klíčových hlavních iontů jsou dobře doložitelné změnami vodivosti. Hlavní ionty sice vykazují určité posuny v poměrném zastoupení, nicméně údaje o vodivosti umožňují sledovat jejich celkový trend. Ten nepochybně ukazuje, nárůst v minulém století a následný pokles koncentrací, který se však v posledních deseti letech na Stropnici zastavil. Na Lužnici se trend dokonce obrací (Obr. 4) a vodivost začíná opět vzrůstat.



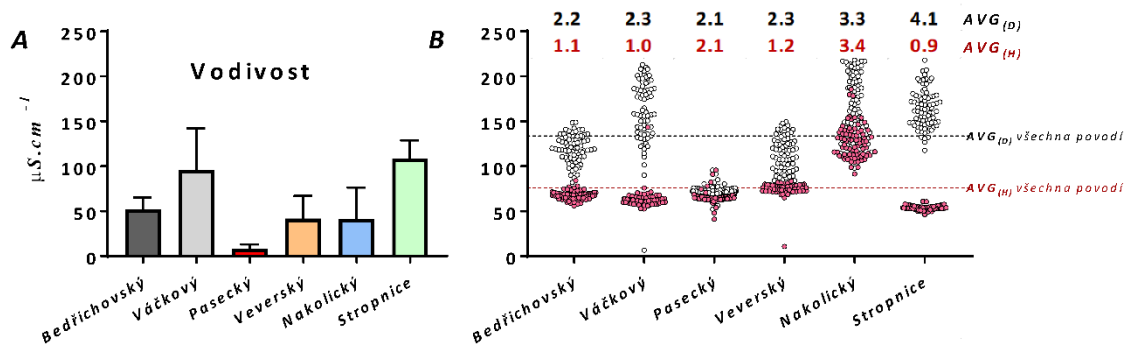
Obr 4 - Dlouhodobé trendy vodivosti (A), na Stropnici (profil Nové Hradý – Byňov) a vodivosti (B) na Lužnici (profil Pilař), a na třeboňských rybnících.

Velmi podobné změny koncentrací hlavních iontů byly zjištěny od 50. let také v rybnících na Třeboňsku (Obr. 4B). Výsledky z let 2000 – 2010 lze doložit výrazným poklesem koncentrací všech hlavních iontů, Současná data z roku 2020 z rybníků, i hodnoty vodivosti z Lužnice ukazují, že i na Třeboňsku se pokles v celkovém množství rozpuštěných látek zastavil a že se trend patrně obrací a hodnoty hlavních iontů opět narůstají. Stejně jako v případě Stropnice se na charakteru změn významně podílejí ionty Ca^{2+} a HCO_3^- .

4.2 Vliv charakteru povodí na hydrochemii odtékajících vod

4.2.1 Novohradsko

Pět rozdílných dílčích povodí v oblasti horní Stropnice bylo hodnoceno z hlediska jejich vlivu na koncentrace hlavních iontů za období 2005 – 2011. Vliv povodí byl posuzován podle zvýšení celkového obsahu látek směrem po proudu. Průměrný nárůst, tj. rozdíl mezi dolním a horním profilem vodoteče činil $60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Nejvyšší nárůst je u Váčkového povodí a celkového povodí Horní Stropnice, nejnižší na povodí Paseckého potoka (Obr. 5).

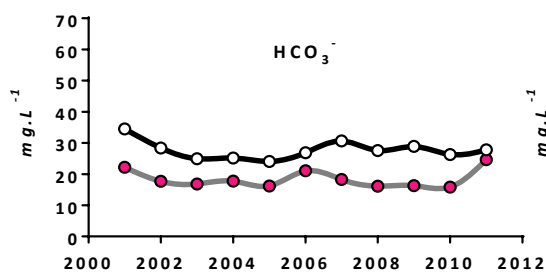


Obr. 5 – levá strana grafu(A), barevné sloupce prezentuje průměrné rozdíly vodivosti mezi dolním a horním profilem daného povodí z let 2005 – 2011, úsečka představuje směrodatnou odchylku. Pravá strana (B) scatter plot grafů zobrazuje rozložení měřených hodnot, bílé body reprezentují data z dolního profilu, červené body reprezentují data z horního profilu. $AVG_{(D)}$ = průměr z dolních profilů; $AVG_{(H)}$ = průměr z horních profilů; čárkovaná linka černá = průměr všech hodnot z dolních profilů; čárkovaná linka červená = průměr všech hodnot z horních profilů. Rozdíl mezi D a H profilem je na daném povodí testován párovým t-testem, $H_0: D - H = 0$; $P < 0,01$; všechny rozdíly byly průkazné rozdíly.

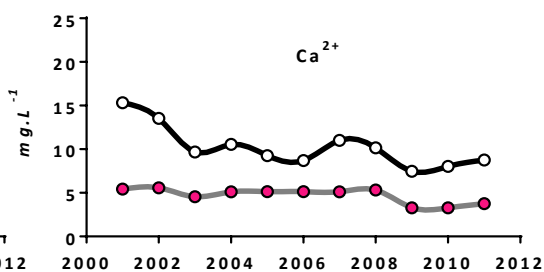
Jednotlivé ionty se podílely na navýšení celkových rozpuštěných látek různě. Velmi podobné změny, tj. navýšení koncentrací na dolních profilech je patrné pro hydrogenuhličitanu a chloridy. Poměrně malý nárůst byl pozorován v případě síranů. Pouze na povodí Nakolického potoka došlo k výraznému navýšení koncentrace síranů. Koncentrace bazických kationtů byly v dolních profilech povodí významně vyšší oproti horním profilům u všech povodí, vyjma Paseckého potoka. Největší rozdíly ve všech sledovaných kationtech (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ a K^+) byly patrné na Váčkovém potoce a na samotné Stropnici. Charakteristickým rysem, společným pro horní profily je značná stabilita koncentrací kationtů, naproti tomu hodnoty na dolních profilech vykazují vesměs větší variabilitu. Tento rozdíl ve variabilitě se projevuje celkově v distribuci hodnot vodivosti (Obr.5)

Detailní 10ti leté sledování umožňuje posoudit, do jaké míry jsou rozdílné nebo podobné výsledky na horních a dolních profilech sledovaných povodí. Zda vykazují dlouhodobou stabilitu, nebo a zda existuje nějaký dlouhodobý trend sledovaných parametrů. Průkazný trend v hydrochemickém složení odtékající vody by mohl indikovat změny v povodí nebo změny obecného charakteru, které ovlivňují všechna sledovaná území.

Na povodích Bedřichovského, Váčkového, Veverského a Nakolického potoka je patrné, že rozdíl mezi D a H profilem zůstává zachován po celé období let 2001 – 2011. Dobře je to patrné na příkladu koncentrací HCO_3^- a Ca^{2+} na Bedřichovském potoce (Obr. 6, 7).

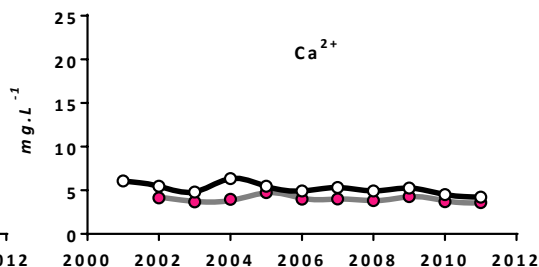
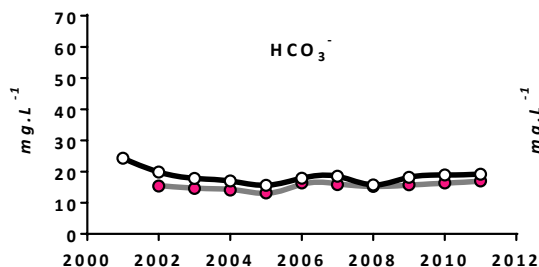


Obr. 6 – Porovnání vývoje ročních průměrů HCO_3^- na D (bílé body) a H (červené body) profilu Bedřichovského potoka v rozmezí let 2001 – 2011.



Obr. 7 - Porovnání vývoje ročních průměrů Ca^{2+} na D (bílé body) a H (červené body) profilu Bedřichovského potoka v rozmezí let 2001 – 2011.

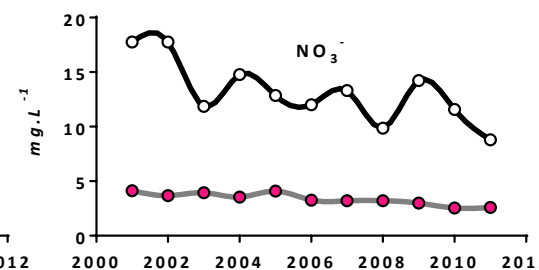
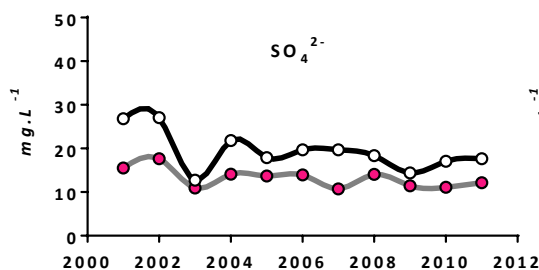
Stav, kdy chemismus vody na D a H profilu zůstává téměř stejný po celé období 2001 – 2011, byl zaznamenán na povodí Paseckého potoka. To dobře ilustrují průměrné koncentrace hydrogenuhličitanů a vápníku (Obr. 8,9).



Obr. 8 - Porovnání vývoje ročních průměrů HCO_3^- na D (bílé body) a H (vínové body) profilu Paseckého p. v rozmezí let 2001 – 2011.

Obr. 9 - Porovnání vývoje ročních průměrů Ca^{2+} na D (bílé body) a H (vínové body) profilu Paseckého p. v rozmezí let 2001 – 2011.

Po celé desetiletí je patrný pokles ročních průměrů u síranů a dusičnanů, přičemž výraznější je na dolních profilech povodí Bedřichovského potoka (Obr. 10, 11).

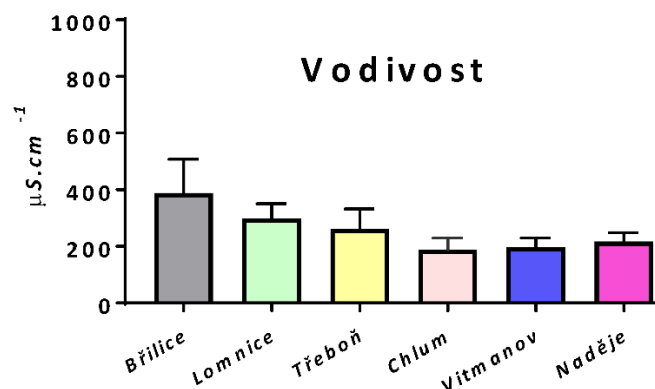


Obr. 10 - Porovnání vývoje ročních průměrů SO_4^{2-} na D a H profilu Bedřichovského p. v rozmezí let 2001 – 2011.

Obr. 11 - Porovnání vývoje ročních průměrů NO_3^- na D a H profilu Bedřichovského p. v rozmezí let 2001 – 2011.

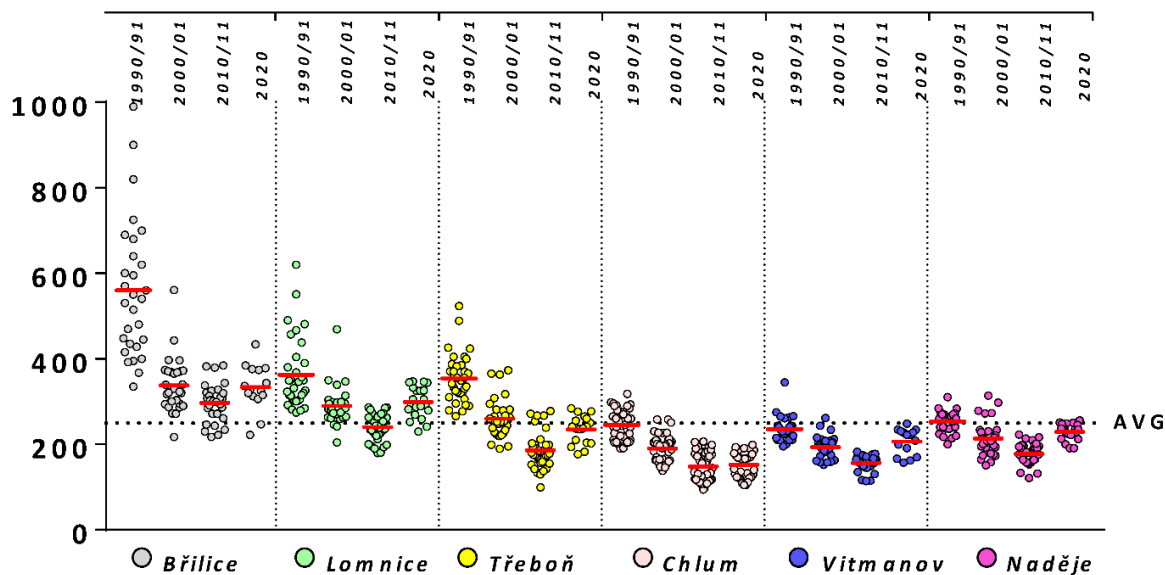
4.2.2 Třeboňsko

Koncentrace hlavních iontů (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ a K^+), které tvoří většinu celkových rozpuštěných látek v rybníčních vodách, jsou významně ovlivněny zdrojem přítoku vody do rybníka. Rybníční soustavy Břilice, Lomnice a Třeboň s významným zdrojem vody z především zemědělsky využívaného povodí, vykazují dlouhodobě vyšší hodnoty jak vodivosti, tak i vyšší koncentrace všech hlavních iontů, kromě sodíku (Obr 12).



Obr. 12 Porovnání průměrných hodnot vodivosti z let 1990/91, 2000/01, 2010/11 a 2020 mezi jednotlivými soustavami.

Soustavy Břilice, Lomnice a Třeboň mají zřetelně vyšší koncentrace HCO_3^- , SO_4^{2-} a stejně tak Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^+ než Chlum, Vitmanov a Naděje. Seřazení rybníčních soustav podle koncentrace těchto iontů, od nejvyšších k nejnižším je téměř stejné. Celkově výsledky ukazují na značnou konzervativní tendenci v chemismu rybníčních vod, přestože v průběhu 30 let došlo k výraznému celkovému poklesu obsahu rozpuštěných látek.



Obr. 13 Scatter plot grafy představují distribuci dat vodivosti v jednotlivých soustavách a po dekádách. AVG = průměr všechny soustavy a dekády. Červená linka = průměr vodivosti v konkrétní dekádě a soustavě.

V průběhu let od 1990/91 do 2010/11 byl po dekádách zaznamenán výrazný pokles koncentrací hlavních iontů. Zřetelně to dokumentují hodnoty vodivosti (Obr. 13), které se nejvíce snížily na Břilické rybníční soustavě z $561 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na $297 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Podobný trend výrazného poklesu vodivosti byl zaznamenán i na ostatních soustavách, které mají více využívané zemědělské povodí, tj. Lomnice a Třeboň. Pokles vodivosti byl také patrný i na soustavách, které mají méně intenzivně využívané povodí, ale vzhledem

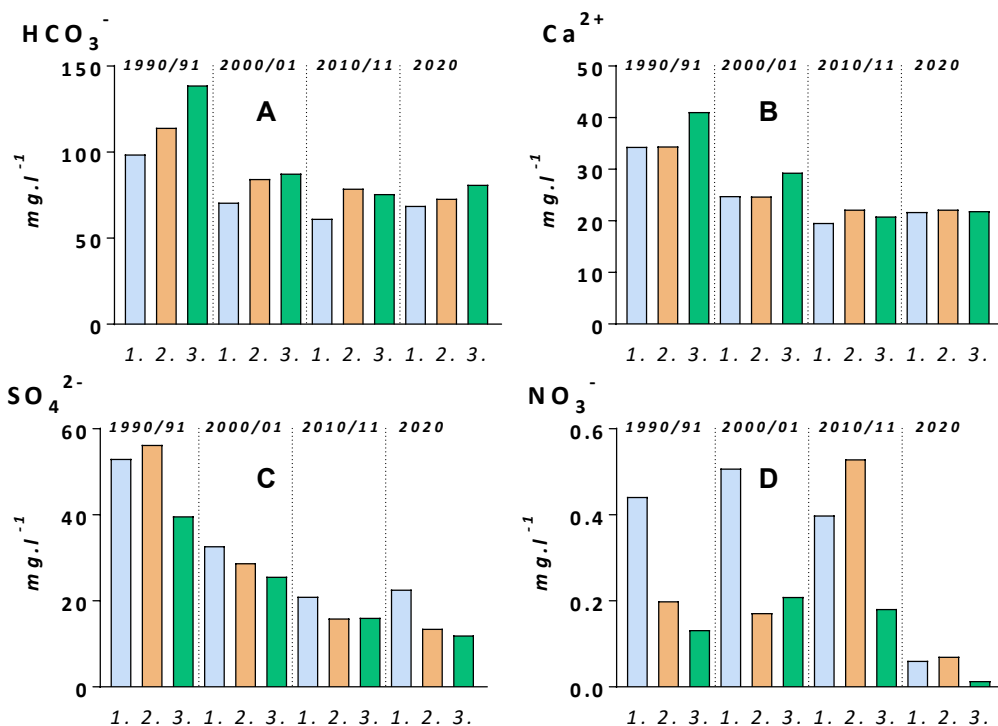
k nižším původním hodnotám nebyl pokles tak výrazný. Hodnoty vodivosti se na soustavách Chlum, Vitmanov a Naděje v letech 1990/91 pohybovaly mezi 233 – 253 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a po 20 letech klesly na 146 – 167 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Obr. 13).

Výrazným společným rysem na všech rybnících je však pokles hydrogenuhličitanů a vápníku. Průměrné koncentrace HCO_3^- klesají po dekádách rovnoměrně ve všech soustavách a to bez ohledu na relativně velké rozdíly v počátečních koncentracích v letech 1990/91. Pouze na soustavě Břilice se pokles zastavil už během druhé dekády. Prakticky stejný obraz poskytuje i pokles Ca^{2+} . Podle výsledků odběrů v roce 2020 lze konstatovat, že pokles koncentrace hlavních iontů se v poslední sledované dekádě zastavil. Ve všech soustavách byl zaznamenán nárůst vodivosti, s výjimkou soustavy Chlum, zvýšily se koncentrace hydrogenuhličitanů, zřetelně vyšší byly koncentrace chloridů a pouze koncentrace síranů pokračovaly v klesajícím trendu.

4.3 Sezónní změny v chemismu vod rybníčních ekosystémů

Změny v chemismu rybníčních vod vykazují výrazné sezónní tendence, které jsou patrné na všech sledovaných soustavách. Zároveň mají tyto sezónní změny koncentrací některých hlavních iontů velmi podobný průběh po celou dobu 30ti letého sledování třeboňských rybníků. Jedná se především zvyšování koncentrací hydrogenuhličitanů v období od 1. jarního odběru (duben/květen) do konce léta, tj. do 3. odběru (srpen/září). Současně dochází i ke zvyšování koncentrací vápníku. Velmi zřetelná je tato tendence v letech 1990 – 1991. Průměrné hodnoty, charakterizující celý soubor sledovaných rybníků v dané dekádě zároveň ukazují na celkový pokles obsahu jak hydrogenuhličitanů, tak vápníku v průběhu posledních 30. let. Přestože nárůst HCO_3^- v průběhu sezóny nastává po celou dobu sledování rybníků, u Ca^{2+} tento trend není patrný a od let 2010 – 2011 se koncentrace Ca^{2+} příliš nemění.

Koncentrace dusičnanů je kromě jarních odběrů většinou velmi nízká a v celkovém průměrném množství iontů mají dusičnany jen minimální vliv na iontovou rovnováhu. Během sezóny klesají také koncentrace síranů, velmi dobře je to patrné ve všech sledovaných dekádách i soustavách bez ohledu na významný úbytek síranů v průběhu posledních 30ti let (Obr. 14).



Obr. 14 - Sezónní trendy (A) HCO_3^- , (B) Ca^{2+} , (C) SO_4^{2-} a (D) NO_3^- ; sloupce představují průměrné koncentrace po jednotlivých odběrech (1. jarní duben/květen, 2. časné letní, červen, 3. pozdně letní srpen/září) pro celý soubor sledovaných rybníků v dané dekádě.

4.4 Fungování krajinného pokryvu a chemismus vod, funkční projevy mokřadních biotopů

Hydrochemické poměry povrchových vod odrážejí do značné míry fyzikální a biologické procesy, které nastávají v povodí. Pohyb vody v terénu a její interakce s půdou, podloží a vegetací, jsou spojeny s disipací energie, která systémem prochází. Povrchová teplota krajiny je výsledným projevem těchto procesů. Hydrochemická data získaná v rozmezí let 1991 až 2009 na Třeboňsku umožnila analyzovat vztah povrchové teploty krajiny, získané z družicových dat, a vybraných fyzikálně-chemických parametrů vody. Vybraná dílčí povodí představují příklady různých typů vegetačního krytu a mají různou intenzitu hospodářského využití (Tab. 3,5). Analýza prostorové distribuce teplot byla provedena ze snímků družice Landsat TM z let 1991, 2002 a 2008. Porovnání teplot dílčích povodí na Třeboňsku ve třech termínech v rozmezí let 1991 až 2008 potvrdilo, že jednotlivá povodí se od sebe systematicky liší jak v průměrných hodnotách, tak v rozkolísanosti, tj. v rozsahu (min-max) a v prostorové variabilitě.

Porovnání teplotních charakteristik sledovaných povodí prokazuje, že se zvyšujícím se podílem antropogenních a zemědělsky obhospodařovaných ploch se zvyšuje průměrná teplota povrchu krajiny. Podobné rozdíly, jako v distribuci teplot, byly zjištěny i v hydrochemických parametrech vody, která z jednotlivých povodí odtéká. Vyšší průměrné hodnoty vodivosti byly zjištěny v povodích s vysokou lidskou aktivitou a podstatným podílem orné půdy. Zřetelně nižší vodivost byla naměřena v lokalitách s nižší lidskou aktivitou a vyšším zastoupením lesních a lučních porostů. Na rozdíl v hodnotách vodivosti se podílejí až dvojnásobné koncentrace hydrogenuhličitanů a čtyřnásobně vyšší koncentrace síranů v povodích pod vyšším antropogenním vlivem. Kromě vyplavování iontů z aplikovaných hnojiv a z vápnění, je jednou z možných příčin i intenzivní mineralizace v půdách odvodněných melioracemi.

V rámci modelových povodí vymezených na Třeboňsku lze doložit, že některé typy krajinného pokryvu, nebo přesněji mokřadů, vykazují sice podobné charakteristiky i podobné distribuce teplot povrchu krajiny, ale přesto se liší chemismem odtékajících vod. Tyto rozdíly mohou indikovat jak intenzitu antropogenních vlivů, tak mohou být důsledkem procesů, které jsou pro danou lokalitu specifické.

Tab. 6 – Průměrné hodnoty sledovaných parametrů, viz Tab.9, Alkalita (Alk, mmol.l⁻¹), hořčík (Mg²⁺, mg.l⁻¹). Charakteristika povodí, * = Lokality více ovlivněné, x = Lokality méně ovlivněné lidskou činností

Lokalita	Přeseka* (ZM)		Bošilecký* (Z)		Libnič* (HT)		Nový ^x (L)		Ruda ^x (ČZ)		Mokré louky ^x (ML)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Vodivost	670	620	328	317	619	703	183	157	154,9	155	236,8	228,8
Alk	1,9	2,1	2,2	2,4	5,5	4,9	0,9	0,8	1,1	1	1,1	1,3
NO₃-N	16,6	10,1	0,03	0,34	-	-	0,04	0,03	0,40	0,40	0,30	0,40
TN	23,3	14,6	2,5	3,8	24	15,1	3,4	3,3	1,8	2,2	2,5	2,5
TP	0,6	0,5	0,2	0,2	2,7	2,5	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2
Na⁺	14,4	12,1	11,6	11,4	36	36,4	10,5	10,9	5,1	4,6	11,3	11,1
Ca²⁺	64,2	67,9	30,6	39,5	59,8	62,4	20,5	12,6	19,1	19,6	25,3	29,9
Mg²⁺	20,4	15,4	7,2	7,1	11,1	11,9	4,1	2,5	4,4	3,8	6,5	7,0

Rozdíly v chemismu vod mezi lokalitami, které jsou méně antropogenně ovlivněné a mají více přirozený charakter, a lokalitami pod silným vlivem lidské činnosti jsou zcela výrazné (Tab. 6). Zřetelně to dokumentují hodnoty vodivosti. Statisticky (P < 0,001) významně nižší vodivosti byly v přírodě blízkých lokalitách, v oblastech mělkých vod a přirozených mokřadů.

Při posouzení vztahu chemismu povrchových vod v souvislosti s dopady lidské hospodářské aktivity je třeba zohlednit nejen charakter a rozsah antropogenního působení, ale také přírodní podmínky a procesy, které v krajině probíhají. Znalost jak možného rozpětí hodnot hydrochemických parametrů, stejně tak znalost přírodních procesů, které je mohou ovlivnit, je pro interpretaci výsledků nezbytná (Chmelová et al. 2010).

Vyhodnocení dlouhodobých trendů vodivosti na Stropnici a Lužnici ukázalo zřetelnou podobnost. Nabízí se tak možnost paralelního porovnání změn v chemismu tekoucích vod na Novohradsku a rybníků na Třeboňsku a posoudit do jaké míry budou změny v koncentracích hlavních iontů korespondovat s charakterem povodí, resp. okolím rybníků. Posouzení teplotních poměrů vybraných lokalit společně s hodnocením jejich schopnosti zadržovat živiny je druhá podrobnější úroveň sledování.

Data ze sledovaných povodí v oblasti horní Stropnice potvrzují, že nejvýznamnější proměnnou, která určuje chemismus odtékající vody z povodí je podíl orné půdy. Tento výsledek je ve shodě se zjištěními Hellebrandové *et al.* (2006) i Slavíkové (2014), které pracovaly ve stejné oblasti. Ukazuje se však, že rozdíl mezi horním a dolním profilem zůstává více méně zachován po celé období let 2001 – 2011. Změny v chemismu vod, které v tomto období nastaly, odpovídají doznívajícímu klesajícímu trendu v prvním desetiletí tohoto století. Podobná tendence ve změnách chemismu byla zaznamenána také na třeboňských rybnících. Velký pokles koncentrací všech hlavních iontů nastal mezi roky 1990 – 2001. Do roku 2011 se pokles téměř zastavil a v posledním desetiletí se koncentrace navyšují.

Hodnoty téměř všech hodnocených analytů na horních profilech sledovaných potoků v povodí horní Stropnice byly srovnatelné s údaji, které pro povodí se zachovalými přírodními poměry uvádějí Chuman *et al.* (2013). Taková povodí, která výrazně nezhoršují tyto parametry lze hodnotit jako krajinu se zachovanými funkčními přirozenými strukturami.

Provázanost živých struktur s vodním cyklem určuje termodynamickou účinnost ekosystému a úroveň disipaci energie na daném území. Vegetace a ekosystémy obecně reagují zpětnovazebně na množství přicházející sluneční energie prostřednictvím procesů fotosyntézy a transpirace. Díky transpiraci rostliny brání vytváření teplotních rozdílů v krajině a současně snižují rychlost odtoku vody. Voda spolu s rozpuštěnými látkami je vázána jak v biomase, tak v půdě. Typ porostu (les, rákosina, louka, dobře zásobené vodou), který dokáže zajistit menší teplotní výkyvy, (tj. podstatnou část dopadajícího slunečního záření pomocí evapotranspirace vegetace transformuje do latentního tepla) lze považovat za efektivní. Lze předpokládat, že povodí s vyšším podílem zastavěných ploch a orné půdy budou mít rozkolísanější teplotní režim, vyšší průměrné teploty i vodivost odtékající povrchové vody. Dobrou koincidence vykazují výsledky kombinovaného sledování teplotních poměrů, vegetace a vodního režimu různých biotopů (Chmelová *et al.* 2011, Hesslerová *et al.* 2012) na Třeboňsku. Vlhčí a přírodním poměrům bližší biotopy mají více vyrovnaný teplotní režim i látkovou bilanci. Také umělé mokřady potvrzují, že tato technologicky podpořená společenstva dobře zadržují látky, včetně dusíku a fosforu. Vymazal *et al.* (2020) instalovali umělý mokřad na vyústění drenáží ze zemědělských pozemků a potvrdili vysokou účinnost umělých mokřadů při odstraňování dusíku. Využití těchto prvků tak může přispívat k splnění podmínek dobře fungujících krajinných celků (Kravčík *et al.* 2008).

Dalším důležitým aspektem je míra rozkolísanosti jak vodního režimu, tak látkových toků. Tento rys je velmi dobře patrný na všech sledovaných lokalitách. Jak potoky ovlivněné hospodařením v povodí, tak i rybníky v podobné krajinné konfiguraci, vykazují zřetelně větší rozsah koncentrací, prakticky ve všech sledovaných parametrech. Rozsah kolísání v hodnotách sledovaných parametrů je důležitým aspektem, který je třeba zohlednit při monitoringu i interpretaci, do jaké míry koncentrace látek vypovídají o stavu povodí (Fučík, 2010). Pro tekoucí vody, je klíčovým faktorem, který ovlivňuje koncentrace hlavních iontů, průtok (Meybeck *et al.* 1990). Extrémní srážkové epizody samozřejmě ovlivní i lokality stojatých vod. Ale pro rybníky, které jsou po většinu vegetační sezóny jen málo průtočné, jsou důležité intenzivní biologické procesy, které mohou významně ovlivnit i jednotlivé hlavní ionty. Potvrzují to výsledky z třeboňských rybníků, které vykazují zřetelné sezónní trendy.

I přes určitou nejistotu, která vyplývá jak z vlivu kolísání průtoků, v případě tekoucích vod, tak z intenzity biologických procesů ve stojatých vodách, jsou koncentrace hlavních iontů klíčovou informací o stavu jak vodního prostředí, tak příslušného povodí.

Je zřejmé, že distribuce teplot povrchu, stav vodního režimu a koncentrace hlavních iontů v povrchových vodách, tj. hlavně bazických kationtů Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ a Na^+ a hydrogenuhličitanů vzájemně souvisí. Znalost těchto parametrů, společně s posouzením land use a land cover může pomoci nastavit podmínky pro setrvalé hospodaření ve smyslu nízkých ztrát látek a tlumení teplotních extrémů v kulturní krajině. S tím souvisí i obnova ploch trvalé vegetace, která bude sklížena v rámci zachování určitého množství funkční biomasy. Tradiční způsoby zemědělského hospodaření tak lze obohatit o ekonomicky využívané mokřady, tj. nejenom rybníky, ale i zaplavované nivy a další mokřady, které patří k nejproduktivnějším ekosystémům a poskytují i další ekosystémové funkce (Čížková *et al.*, 2017).

5 Závěry

1. Změny v chemismu povrchových vod sledovaných na Třeboňsku a v povodí horní Stropnice velmi rychle a zřetelně reflektují změny v hospodaření, především na zemědělských povodích.
2. Podstatné snížení intenzity zemědělství po roce 1990 se projevilo velmi podobnými trendy, poklesem koncentrací hlavních iontů, zejména síranů, hydrogenuhličitanů a alkalických kationtů – Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ a Na^+ .
3. Pokles koncentrací rozpuštěných látek se zastavil okolo roku 2010 a v současnosti je pozorováno zvyšování koncentrací, které s velkou pravděpodobností odráží postupně se zvyšující dávky hnojiv a větší intenzitu vápnění zemědělské půdy.
4. Zásadní změny v hospodaření mají velmi podobné důsledky jak na úrovni velmi malých povodí o rozloze několika desítek až stovek ha, tak i středně velkých, jako jsou povodí horní Lužnice a horní Stropnice. Robustnost těchto procesů se potvrzuje i v rámci velkých územních celků, jako je část povodí Vltavy, která náleží k Jihočeskému kraji.
5. Stav povodí, tj. rozsah zemědělsky obhospodařované půdy, podíl lesních porostů či přítomnost mokřadů modifikuje dopady hospodaření v povodí na chemismus odtékajících vod. Největší důsledky, navýšení koncentrací rozpuštěných látek, tj. hlavních iontů, má větší přítomnost orné půdy. Nejméně je patrný vliv na chemismus u povodí, která nemají výrazné zemědělské hospodaření.
6. Tento gradient vlivu hospodaření v povodí je překvapivě stabilní po dobu 10ti i více let a je zřetelný jak na tekoucích vodách, tak na rybnících.
7. Lze doložit zřetelnou souvislost mezi teplotními projevy jednotlivých povodí, stavem jejich vodního režimu a látkovými toky. Tyto závislosti nejsou jednoduchými kauzálními vztahy, ale vytvářejí se zákonitě, kombinacemi řady vlivů a specifických podmínek na jednotlivých lokalitách.
8. Informace o chemismu povrchových vod lze dobře využít k celkovému posouzení ekologického fungování povodí. Zejména v horských a podhorských oblastech, jako jsou Novohradsko a částečně Třeboňsko, lze relativně snadno definovat odchylky v chemismu vod od stavu, který je pro dané území blízký přírodním poměrům.
9. Měření vodivosti vody poskytuje velmi dobrý základ pro první posouzení stavu povodí. Pokud je měření prováděno po celý rok a opakováno např. po 2 nebo 5 letech, představují výsledky dostatečný materiál k zhodnocení možných změn. Příčiny změn lze následně identifikovat sledováním prostorové distribuce teplot metodami dálkového průzkumu země a následně bilančním posouzením látkových toků.
10. Krajinné plánování by mělo zahrnovat posouzení funkčních projevů krajinných celků – povodí, s cílem dosáhnout setrvalého hospodaření ve smyslu nízkých látkových ztrát, tlumení výkyvů ve vodním režimu a extrémů v teplotách.

6 Literární zdroje

Bodlák, L. a kol. 2008. Soubor tematických map, metodik a metodických postupů funkčních aspektů krajiny pro správní území obce Horní Stropnice [CD-ROM]. Jihočeská Univerzita, České Budějovice

Chmelová, I., Šulcová, J., Kröpfelová, L., Hesslerová, P., Pechar, L., Pokorný, J., 2011. Teplota povrchu krajiny a chemismus povrchových vod jako indikátory funkčnosti krajinného pokryvu. *Vodní hospodářství* 61, 303–306.

Chmelová, I., Šulcová, J., Kröpfelová, L., Baxa, M., & Pechar, L. (2010). The role of shallow waters, natural and constructed wetlands in matter flow in the landscape. Paper presented at the 12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Benátky

Chuman, T., Hruška, J., Oulehle, F., Gürtlerová, P., Majer, V., 2013. Does stream water chemistry reflect watershed characteristics? *Environ Monit Assess* 185, 5683–5701. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2976-3>

Čížková, H., Vlasáková, L., Květ, J. (Eds.), 2017. Mokřady: ekologie, ochrana, udržitelné využívání., 1st ed. Episteme edice Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Degórski, M., 2003. Some Aspects of Multifunctional Landscape Character in the Interdisciplinary Environmental Study, in: Helming, K., Wiggering, H. (Eds.), *Ustainable Development of Multifunctional Landscapes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 288.

Fučík, P., 2010. Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko-lesním povodí: diskrétní a kontinuální přístup. *Vodní hospodářství* 2010/8, 213 - 217

Hellebrandová, 2006. Vztah mezi krajinnou strukturou, způsobem využívání krajiny a pohybem látek v krajině na příkladu modelového povodí horní Stropnice (Disertační práce). Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích.

Hellebrandová, K., Bodlák, L., Stíchová, J., Pechar, L., 2006. Land use and water quality in the upper stropnice river catchment. *Ekológia* 25, 27–40.

Hesslerová, P., Chmelová, I., Pokorný, J., Šulcová, J., Kröpfelová, L., Pechar, L., 2012. Surface temperature and hydrochemistry as indicators of land cover functions. *Ecological Engineering* 49, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.029>

Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M., Tóth, E. 2008. Water for the recovery of the climate: a new water paradigm. TypoPress, Kovice, Slovakia.

Meybeck, M., Chapman, D.V., Helmer, R., 1990. Global freshwater quality: a first assessment, in: *Global Freshwater Quality: A First Assessment*. pp. 306–306.

Odum, E.P., Barrett, G.W., 2004. *Fundamental of Ecology*, 5th edition. ed. Cengage Learning.

O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zygmunt, B., Christensen, S.W., Dale, V.H., Graham, R.L., 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1, 153–162. <https://doi.org/10.1007/BF00162741>

Pokorný, J., Rejšková, A., 2008. Water Cycle Management, in: *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier, pp. 3729–3737.

Ripl, W., 1995. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control: the energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecological Modelling, Mathematical Modelling in Limnology* 78, 61–76. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)00118-2](https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)00118-2)

Slavíková, L., 2014. Zemědělské využívání krajiny a jeho vliv na látkové ztráty v modelovém povodí řeky Stropnice (Diplomová práce). Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích.

Vymazal, J., Sochacki, A., Fučík, P., Šereš, M., Kaplická, M., Hnátková, T., Chen, Z., 2020. Constructed wetlands with subsurface flow for nitrogen removal from tile drainage. *Ecological Engineering* 155, 105943.

Weissgerber, T.L., Milic, N.M., Winham, S.J., Garovic, V.D., 2015. Beyond Bar and Line Graphs: Time for a New Data Presentation Paradigm. *PLoS Biol.* <https://doi.org/10.1371/journal>

Životopis

Ing. Iva Baxová Chmelová

Narozena: 23. 8. 1984

iva.chmelova@atlas.cz

Údaje o nejvyšším dosaženém vzdělání:

2006 – 2008

- Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zemědělská fakulta, Agroekologie
Diplomová práce: „Hydrochemické charakteristiky povrchových vod malých povodí v oblasti horní Stropnice.“

2004 – 2006

- Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zemědělská fakulta, Agroekologie
Bakalářská práce: „Vyhodnocení historických dat získaných monitorováním výskytu těžkých kovů a některých dalších rizikových prvků v toku horní Malše“

Odborné zaměření, odborná činnost:

2007 – dosud

- Odborný pracovník v ENKI, o.p.s. Třeboň (hydrochemie povrchových vod; popis a hodnocení funkčnosti krajinných struktur)
- Oponent bakalářských a diplomových prací

Odborné zaměření:

- Hydrochemie povrchových vod, popis a hodnocení funkčnosti krajinných struktur, biotechnologie v životním prostředí, vodní hospodářství, práce v akreditované laboratoři, odběr a úprava vzorků

Odborné stáže

- Průtoková injekční analýza (FIA), Foss, Dánsko
- Norwegian University of Science and Technology, Department of Biology, Trondheim Biological Station (TBS), Norsko

Seznam nejvýznamnějších výzkumných projektů:

- TA04020123 Technologický postup recyklace živin z rybníčních sedimentů s využitím sacího bagru, integrované stanice pro dávkování flokulantu a geotextilních vaků pro lokální aplikaci v mikropovodí
- TA02021083 Technologické a biologické postupy ke snížení obsahu fosforu a potlačení masového rozvoje sinic ve vodních nádržích včetně povrchových zdrojů pitných vod
- Rybníční hospodaření respektující strategii udržitelného rozvoje a podporu biodiverzity (MŽP ČR; 2008 – 2011)
- Vývoj metody stanovení toků energie a látek ve vybraných ekosystémech, návrh a ověření principů hodnocení hospodářských zásahů pro zajištění podmínek autoregulace a rozvoje biodiverzity (MŠMT; 2006 – 2011)
- Komplexní systém kontroly kvality rybníčních nádrží – klíčový nástroj pro efektivní produkci ryb a Identifikace a eliminace rizik kyslíkových deficitů (OP Rybářství; 2012 a 2014)

Publikace a výzkumné zprávy

- Chmelová, I., & Pechar, L. (2009).** *Changes in surface waters chemistry in Třeboň and Nové Hradky regions (South Bohemia) during the last fifty years – the effects of land-use in catchment.* In: Kovar P., Maca P., Redinova J. (eds.) 2009: Water Policy 2009, Water as a Vulnerable and Exhaustible Resource. Proceedings of the Joint Conference of APLU and ICA, 23 – 26 June 2009, Prague, CULS Prague, Czech Republic, 211-213 pp.
- Pechar, L., **Chmelová, I.**, Potužák, J., & Šulcová, J. (2009). *Dynamika dusíku a fosforu v eutrofních rybnících.* Revitalitace Orlické nádrže 2009, sborník příspěvků z odborné konference, 6. – 7. říjen 2009, Písek, Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 118 – 125 pp.
- Chmelová, I.**, Šulcová, J., Kröpfelová, L., Baxa, M., & Pechar, L. (2010). The role of shallow waters, natural and constructed wetlands in matter flow in the landscape. In: Masi, F., Nivala, J. (Eds.): 12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 4-8 October 2010, Venice, Italy, Vol.II., pp. 1240-1245.
- Chmelová, I.**, Šulcová, J., Kröpfelová, L., Hesslerová, P., Pechar, L., & Pokorný, J. (2011). Teplota povrchu krajiny a chemismus povrchových vod jako indikátory funkčnosti krajinného pokryvu. *Vodní hospodářství*, 61(8), 303-306.
- Hesslerová, P., **Chmelová, I.**, Pokorný, J., Šulcová, J., Kröpfelová, L., & Pechar, L. (2012). Surface temperature and hydrochemistry as indicators of land cover functions. *Ecological Engineering*, 49, 146-152. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.08.029
- Baxa, M., Benedová, Z., **Chmelová, I.**, Musil, M., Pechar, L., & Pokorný, J. (2013). *Komplexní systém kontroly kvality rybníčních nádrží – klíčový nástroj pro efektivní produkci ryb –* Technická zpráva Pilotní projekt OP Rybářství (Registrační číslo pp: CZ.1.25/3.4.00/11.00387).
- Baxa, M., Benedová, Z., **Chmelová, I.**, Musil, M., Pechar, L., & Pokorný, J. (2014). *Identifikace a eliminace rizik kyslíkových deficitů.* - Technická zpráva Pilotní projekt OP Rybářství CZ.1.25/3.4.00/13.00445
- Šulcová, J., Kröpfelová, L., & **Baxová Chmelová, I.** (2015). Sledování fyzikálně chemických a biologických parametrů rybníčních vod s výskytem zvláště chráněných druhů na Třeboňsku v roce 2015. Smluvní výzkum, Zadavatel: Rybářství a.s. Třeboň, AOPK, CHKO Třeboňsko, ENKI, Třeboň
- Baxa, M., Benedová, Z., **Chmelová, I.**, Musil, M., Pokorný, J., & Pechar, L. (2015). *Highly eutrophicated fishponds - effect of the past nutrient input and current high fishstock results of 20 years of monitoring.* Paper presented at the 9th International Workshop on Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands, Třeboň.
- Benedová, Z., **Chmelová, I.**, Baxa, M., & Pechar, L. (2015). *Technologické a biologické metody pro snížení obsahu fosforu a potlačení masového rozvoje sinic.* Paper presented at the XVII. konference České limnologické společnosti a Slovenskej limnologickej spoločnosti : "Voda - Věc veřejná" : sborník příspěvků / Vanda Rádková a Jindřiška Bojková (eds.).
- Kröpfelová, L., **Chmelová, I.**, Hesslerová, P., Šulcová, J., & Pokorný, J. (2015). Užité vzor. – projekt VaV reg.č. VG20122015100
- Pechar, L., Benedová, Z., Musil, M., **Baxová Chmelová, I.**, & Baxa, M. (2015). *Zpráva o hydrochemickém a hydrobiologickém monitoringu rybníka Rod v roce 2015 – roční vyhodnocení.* Smluvní výzkum, Zadavatel: Rybářství a.s. Třeboň, AOPK, CHKO Třeboňsko, ENKI, Třeboň.
- Potužák, J., Duras, J., Pokorný, J., Kröpfelová, L., Šulcová, J., **Chmelová, I.**, & Novotný, O. (2015). *Fishpond sediment – a new perspective of nutrients recycling in agricultural landscapes.* Paper presented at the Wetlands in Agricultural Landscapes: Present State and Perspectives in Europe International Conference České Budějovice, České Budějovice.
- Benedová, Z., Kröpfelová, L., Šulcová, J., **Baxová Chmelová, I.**, & Baxa, M. (2016). *Experimentální ověření metody k potlačení masového rozvoje sinic použitím PAX 18 a NANOFER25.* In: Rybníky 2016, David, V., Davidová, T. (eds) sborník příspěvků odborné konference, 23.-24.6. 2016 na ČZU v Praze. – ČSKI, ČVUT v Praze, UJP v Olomouci, VÚV TGM a ČZU v Praze.
- Baxa, M., **Baxová Chmelová, I.**, Benedová, Z., Duras, J., Hrubec, R., Kröpfelová, L., . . . Šulcová, J. (2017). *Technologický postup recyklace živin z rybníčních sedimentů s využitím sacího bagru, integrované stanice pro dávkování flokulantu a geotextilních vaků pro lokální aplikaci v mikropovodí.* Třeboň: ENKI, o.p.s. Projekt VaV reg.č. TA04020123.
- Potužák, J., Duras, J., Kröpfelová, L., Šulcová, J., **Baxová Chmelová, I.**, Svoboda, T., . . . Marcel, M. (2017). Rybníční sedimenty a nové možnosti recyklace živin a organických látek v malých povodích – příkladová studie rybník Horusický. *Vodní hospodářství*, 67(2), 8-10.