Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Vymezení typů útvarů povrchových vod

RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D. a kol.

Praha, 2009

Vymezení typů útvarů povrchových vod

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta

Praha, 2009

101 stran

© Jakub Langhammer a kol., 2009

Obsah

1 Zadání a cíle projektu ... 6
2 Metodika řešení ... 6
2.1 Řešitelský tým ... 7
2.1.1 Řešitelský tým ... 7
2.1.2 Expertní tým ... 7
2.2 Metodika a postup řešení ... 8
2.2.1 Postup řešení ... 8
2.2.2 Zdroje dat a geoinformatické řešení ... 9
3 Východiska návrhu typologie ... 10
3.1 Analýza požadavků na vymezení VÚ ... 10
3.1.1 Účel vymezení a typologie VÚ ... 10
3.1.2 Význam typologie v kontextu Rámcové směrnice ... 11
3.1.3 Požadavky RS na nastavení typologie ... 12
3.2 Obecná východiska pro výběr parametrů typologie ... 13
3.3 Analýza požadavků vybraných složek monitoringu na nastavení typologie ... 16
3.3.1 Ryby ... 16
3.3.2 Makrozoobentos ... 19
3.4 Expertní posouzení potřeb složek ekologického stavu na výběr parametrů pro typologii ... 23
3.4.1 Rozhodující faktory variability složek monitoringu ... 23
3.4.2 Vyhodnocení a východiska pro výběr parametrů pro typologii ... 26
3.5 Analýza stavu nastavení typologie vodních útvarů v ČR ... 27
3.5.1 Typologie Fuksa a kol. ... 27
3.5.2 Typologie Zahrádková a kol. ... 28
3.6 Analýza stavu nastavení typologie vodních útvarů v zahraničí ... 31
3.6.1 Systém typologie vodních útvarů pro vybrané státy EU ... 31
4 Výběr a kategorizace parametrů pro typologii ... 37
4.1 Výběr parametrů typologie ... 37
4.1.1 Výběr parametrů ... 37
4.1.2 Testování vstupních parametrů ... 38
4.1.3 Základní parametry typologie ... 39
4.2 Kategorizace parametrů ... 40
4.2.1 Parametry typologie a jejich kategorizace ... 40
4.2.2 Výsledné kategorie typologie ... 46
4.2.3 Testování kategorizovaných parametrů ... 46
4.2.4 Výsledky testování ... 47

5 Typologie vodních toků a vodních útvarů ... 48
5.1 Postup zpracování typologie ... 48
5.2 Vymezení zonálních typů vodních toků ... 50
5.2.1 Základní zonální členění ... 50
5.2.2 Okrajové typy ... 51
5.2.3 Sloučené zonální typy toků ... 52
5.3 Vymezení typů vodních toků ... 53
5.3.1 Základní jemné členění ... 53
5.3.2 Okrajové typy ... 54
5.3.3 Výsledné jemné členění typů vodních toků ... 57
5.4 Vymezení typů vodních útvarů ... 60
5.4.1 Postup vymezení ... 60
5.4.2 Typologie vodních útvarů ... 61
6 Ověření homogenity typologie ... 63
6.1 Homogenita vodních útvarů vzhledem k typům vodních toků ... 63
6.1.1 Zdroje variability kategorií parametrů typologie ve vodních útvarech ... 63
6.1.2 Četnost výskytu zonálních typů toků ve vodních útvarech ... 65
6.1.3 Dominance zastoupení převládajících typů toků ve VÚ ... 66
6.1.4 Shrnutí ... 67
6.2 Variabilita parametrů typologie ve vztahu k variabilitě složek ekologického stavu ... 68
6.2.1 Rozhodující parametry variability složek ekologického stavu ... 68
6.2.2 Ověření vybraných parametrů variability složek ekologického stavu a typologie ... 70
6.2.3 Abiotické parametry ... 71
6.2.4 Fyzikálně-chemické parametry ... 77
6.2.5 Biologické parametry ... 89
7 Závěr ... 95
8 Literatura ... 97

Autoři:

Autorský tým:

RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D. (řešitel)

RNDr. Filip Hartvich, Ph.D.

Ing. Daniel Mattas, CSc.

Mgr. Aleš Zbořil

Autoři dílčích kapitol:

RNDr. Magdalena Bicanová (kapitola 3.3.)

Ing. Pavel Horký, Ph.D. (kapitola 4.1.1.)

Mgr. et Mgr. Sylva Rödlová (Kapitola 4.1.2.)

1 Zadání a cíle projektu

Předmětem řešení projektu je vymezení typů vodních útvarů povrchových vod, vhodného pro nastavení referenčních podmínek a hodnocení ukazatelů ekologického stavu vod.

Cíle a řešení projektu byly stanoveny v souladu s podmínkami zadávací dokumentace veřejné zakázky MŽP, zveřejněné dne 30.10.2008:

1. Analýza požadavků na vymezení vodních útvarů dle přílohy II směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost společenství v oblasti vodní politiky (Rámcová vodní směrnice) a Guidance dokumentů Společné implementační strategie pro Rámcovou směrnici, zejména: Guidance č. 2 Identifikace vodních útvarů a guidance č. 10 Typologie, referenční podmínky a klasifikační systém.

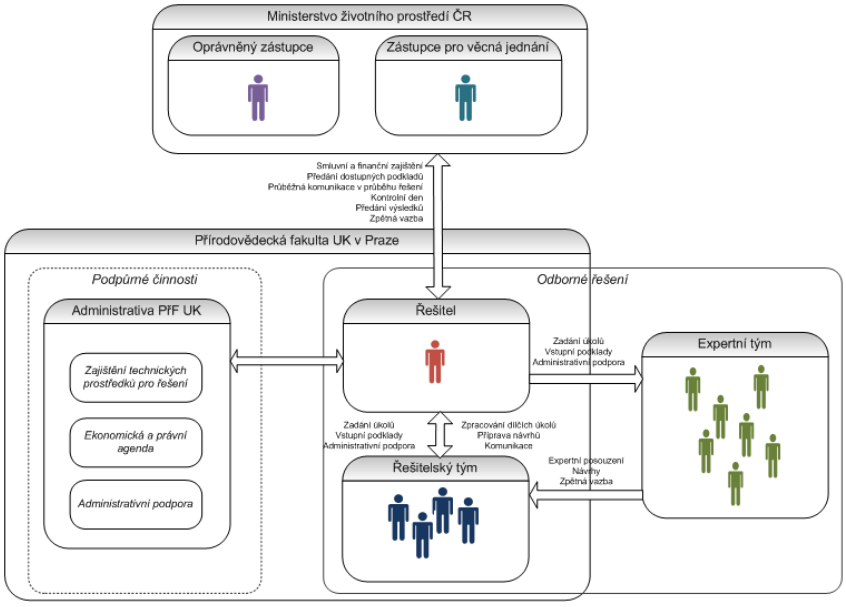
2. Analýza stávajícího stavu nastavení typologie vodních útvarů a typologie vod a srovnání se stavem v zahraničí.

3. Analýza potřeb jednotlivých složek ekologického stavu vod, z hlediska jejich hodnocení, na nastavení typologie. Spolupráce s experty na jednotlivé složky.

4. Návrh typologie vodních útvarů, sloužící jako základ pro vymezení vodních útvarů.

2 Metodika řešení

Řešení projektu zajišťoval tým, byl tvořen dvěma pracovními skupinami – skupinou řešitelů a expertů. Jednotlivé skupiny měly v rámci řešení odlišné role v rámci projektu, oblast působnosti, úkoly a odpovědnost. Organizační schéma prací vyjadřuje obrázek 1



Obrázek 1 Schéma organizace prací pro zajištění řešení projektu

Řešitelským pracovištěm projektu byla Přírodovědecká fakulta UK v Praze. Koordinaci prací, metodické vedení, zpracování výstupů a komunikaci se zadavatelem v odborných, smluvních i administrativních záležitostech zajišťuje řešitel projektu.

Jádro týmu představovala skupina řešitelů, která zpracovávala všechny řešené úkoly a etapy projektu. Řešitelé jsou kmenoví zaměstnanci Přírodovědecké fakulty UK v Praze, nebo její spolupracovníci zaměstnaní formou dohody o provedení práce na přesně vymezené úkoly v rámci projektového týmu.

Role řešitelů spočívala v analýze podkladových materiálů, vyhodnocení a interpretaci výsledků analýz, formulaci a zpracování návrhu typologie a jejího ověření.

Role skupiny expertů spočívala v konzultační a expertní analýze vybraných podkladů z hlediska, odpovídajícího specializaci daného experta. Externí experti v rámci projektu posuzovali vybrané materiály a formulovali návrhy a doporučení k řešení v dané problematice. Jednalo se konkrétně o následující okruhy úkolů:

- rešerše podkladových materiálů
- vyplnění jednotného strukturovaného dotazníku, který byl využit pro výběr a ověření parametrů metodiky
- zpětná vazba k návrhu typologie.

Průběžné výsledky jednotlivých etap řešení – zpracování analýz potřeb jednotlivých složek, rešerší nastavení metodik typologie v ČR a zahraničí a vlastního návrhu typologie – byly průběžně konzultovány se zadavatelem v rámci kontrolních dnů. Připomínky a doporučení, vzešlé z projednání v rámci kontrolních dnů, byly zohledněny ve výsledné podobě návrhu, představené v této závěrečné zprávě.

2.1 Řešitelský tým

2.1.1 Řešitelský tým

RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D. (PřF UK Praha, řešitel)

RNDr. Filip Hartvich, Ph.D. (ÚSMH AV ČR, Praha)

Ing. Daniel Mattas, CSc. (FSv ČVUT, praha)

Mgr. Aleš Zbořil (VÚV TGM Praha)

2.1.2 Expertní tým

Doc. RNDr. Bohumír Janský, CSc. (PřF UK Praha)

RNDr. Magdalena Bicanová (PřF UK Praha)

RNDr. Karel Brabec, CSc. (PřF MU Brno)

RNDr. Josef Fuksa, CSc. (VÚV TGM Praha)

Doc. RNDr. Vít Grulich, CSc (PřF MU Brno)

Ing. Pavel Horký, Ph.D. (VÚV TGM Praha)

RNDr. Petr Marvan, CSc., (Limni s.r.o.)

RNDr. Libuše Opatřilová (VÚV TGM Brno)

RNDr. David Pithart, CSc. (USBE Třeboň)

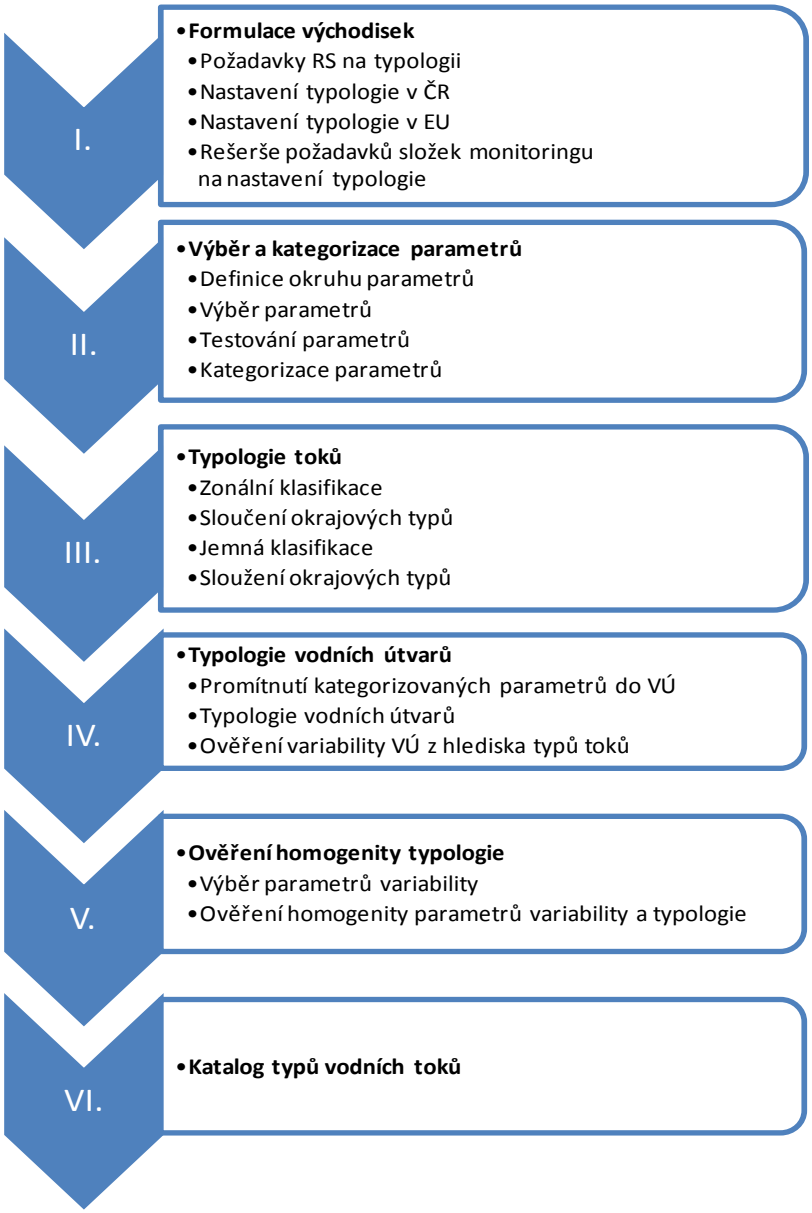
Mgr. et Mgr. Sylva Rödlová (PřF UK Praha)

Doc. RNDr. Světlana Zahrádková, CSc. (PřF MU Brno)

2.2 Metodika a postup řešení

2.2.1 Postup řešení

Řešení projektu bylo rozvrženo do několika vzájemně provázaných etap, jejichž souslednost vyjadřuje obrázek 2.



Obrázek 2 Schéma postupu a návaznosti jednotlivých etap řešení

V první etapě řešení byly řešitelským i expertním týmem provedeny rešerše a analýzy stávajících metodik typologie vodních toků, a to jak českých, tak dalších evropských zemí.

Na základě těchto informací, analýzy dostupných datových podkladů a spolupráce s experty byl následně definován okruh potenciálně vhodných parametrů pro typologii. Vybrané parametry, které odpovídaly věcným i formálním kritériím řešení, byly testovány z hlediska statistické nezávislosti a následně byly vybrány nejvhodnější vstupní parametry.

Na základě vybraných vstupních parametrů a jejich kategorizace byla navržena typologie toků. Výslednému řešení typologie předcházelo testování možných variant a hodnocení jejich vypovídací schopnosti.

Typologie toků byla následně promítnuta do současně platného nastavení vodních útvarů.

V následném kroku proběhlo statistické ověření homogenity typologie. Ověření bylo provedeno ve dvou směrech – jednak ověření homogenity vodních útvarů z hlediska typologie toků a ověření homogenity typologie toků ve vztahu k řídícím parametrům variability složek ekologického stavu toků.

2.2.2 Zdroje dat a geoinformatické řešení

Základními zdroji dat byly digitální vrstvy poskytnuté pro účely řešení projektu Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, v.v.i. (dále jen VÚV TGM). Konkrétně se jednalo o úsekový model říční sítě z databáze DIBAVOD a o podrobný digitální model reliéfu.Digitální geologickou mapu ČR 1:50 000 poskytla Česká geologická služba. Kromě těchto základních podkladů byly ve fázi testování možných vstupních parametrů využity i další informační zdroje, například digitální mapa půdního pokryvu 1:50 000, mapa krajinného krytu CORINE landcover a další. Podrobný přehled použitých datových podkladů, postupu jejich zpracování a kategorizace je uveden v kapitole 4.

Zpracování vstupních dat, analýza, testování, klasifikace, typologie a verifikace výsledků byly prováděny pomocí geografických informačních systémů, konkrétně ArcGIS a MapInfo. Tento software umožnil efektivní práci s prostorovými daty, jejich propojení se zdrojovými databázemi a rovněž výpočty založené na geometrických vlastnostech objektů i v databázích.

Pro statistickou analýzu byly využity statistické nástroje XLStat 2009 a GeoDA, umožňující provedení vícerozměrných statistických analýz na rozsáhlých datových souborech, generovaných z podkladů v prostředí GIS. Jako základní statistické metody byly použity metody korelační, frekvenční a shlukové analýzy, popis použití jednotlivých použitých technik je uveden v kapitolách 4 - 6.

Jako nástroj pro správu dat byla použita databáze MS Access, pro vizualizace a analýzy MS Excel.

3 Východiska návrhu typologie

Návrh vymezení typů útvarů povrchových vod respektuje základní východiska, daná platnou legislativou, účelem využití typologie, požadavky jednotlivých složek monitoringu, stavem poznání, datovými podklady a technologickými možnostmi řešení.

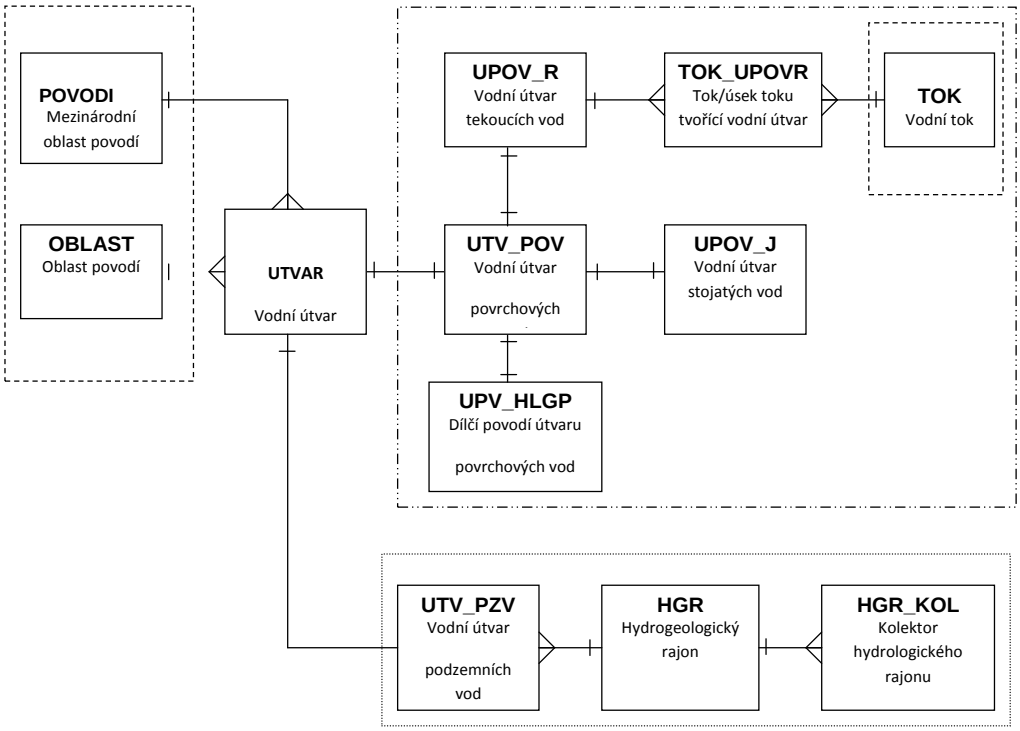
3.1 Analýza požadavků na vymezení VÚ

3.1.1 Účel vymezení a typologie VÚ

Vodní útvar je pojem, zavedený Rámcovou směrnicí 2000/60/ES (ES 2000) jako základní jednotka pro stanovení environmentálních cílů, stanovení opatření k jejich dosažení a pro reportování o současném stavu a postupu plnění cílů, plánování, a pro monitoring chemického a ekologického stavu.

Vodní útvary představují nástroj, nikoliv cíl Rámcové směrnice (dále RS) – hlavní účel jejich vymezení spočívá v možnosti přesného popisu jeho stavu a srovnání s environmentálními cíli (EC 2003). Základní podmínkou při jejich vymezování je, že vodní útvar musí představovat „samostatnou a významnou“ jednotku v říčním povodí. To znamená, že vodní útvar musí být charakterizován jednou kategorií (řeka, jezero, silně ovlivněný vodní útvar, umělý vodní útvar) a jedním typem. Zásady a postup vymezování vodních útvarů podrobně popisuje Guidance č. 2 (EC 2003). Vymezování vodních útvarů dle RS navíc není jednorázový akt, ale stálý iterativní proces, související s postupným získáváním informací a znalostí.

Vymezení vodních útvarů pro ČR bylo provedeno VÚV TGM v Praze v roce 2004 (Fuksa, 2004) a aktualizováno v roce 2005 (Fuksa, 2005). Schéma na obrázku 3 ukazuje datový model vodních útvarů, implementovaný v systému HEIS, který je klíčový pro správné uchopení prostorových a funkčních vazeb mezi vodními útvary a dalšími datovými podklady.



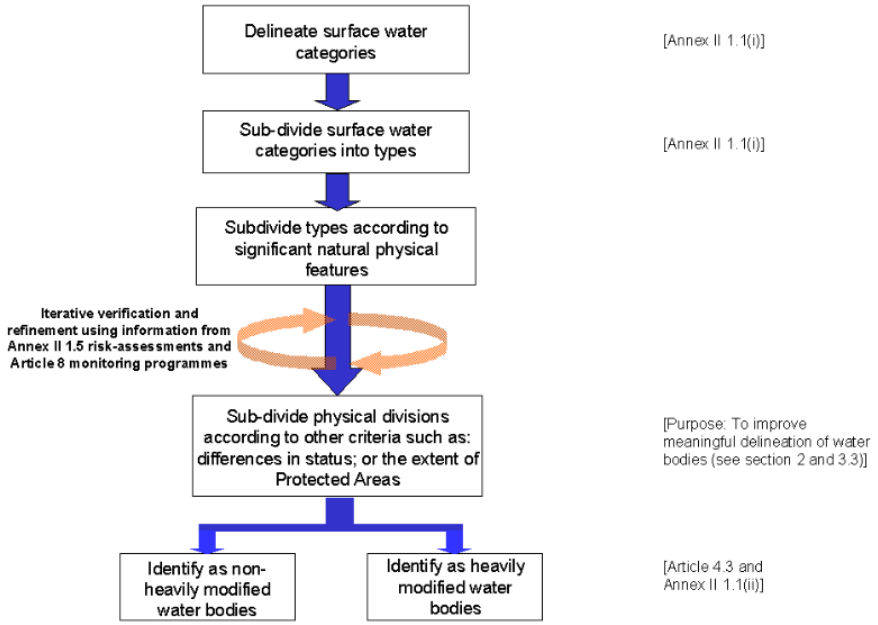
Obrázek 3 Datový model vodních útvarů v systému HEIS. Zdroj: VÚV TGM. http://heis.vuv.cz

3.1.2 Význam typologie v kontextu Rámcové směrnice

Typologie vodních útvarů má v systému, definovaném RS, důležitou roli. Představuje jednak důležitý prvek v procesu vymezování vodních útvarů a zároveň představuje nástroj, který umožňuje klasifikovat říční síť tak, aby bylo možné přesně a spolehlivě stanovovat stav toku.

Role typologie při vymezování vodních útvarů

Význam typologie ve vztahu k vymezení vodních útvarů spočívá především v naplnění požadavku na to, aby útvar povrchových vod byl charakterizován pouze jedním typem, uvedeným v Guidance č. 2, bod 3.2.3 (ES 2000; EC 2003). V hierarchickém systému postupu vymezení vodních útvarů se typologie uplatňuje jako první kritérium po vymezení kategorií povrchových vod (obrázek 4). Tento postup a souvislost jednotlivých procesů popisuje podrobně Guidance č. 2 (EC 2003).



Obrázek 4 Pozice typologie v postupu vymezování vodních útvarů. Převzato z Guidance č. 2, EC, 2003

Role typologie při definici referenčních podmínek

Druhý klíčový význam má typologie pro vymezení koherentních jednotek, pro které je možné definovat stav a srovnat jej s environmentálními cíli. Základní rámec vztahu typologie vodních útvarů k problematice definování referenčních podmínek definuje Příloha II RS (ES 2000), této problematice je věnována samostatná Guidance č. 10 (EC 2003) a řada navazujících dokumentů.

3.1.3 Požadavky RS na nastavení typologie

Rámcová směrnice definuje dva možné metodické přístupy k charakterizaci typů útvarů povrchových vod. Tyto přístupy se liší podle okruhu použitých parametrů, variability jejich výběru a kategorizace a označují se jako „systém A“, resp. „systém B“ (ES 2000; EC 2003).

Systém A představuje základní a univerzální přístup, který je založen na pevné struktuře parametrů a jejich kategorií. Systém B umožňuje pro konstrukci typologie použít volitelné parametry, při jeho použití ale musí být dosaženo přinejmenším stejného stupně rozlišení, jako při použití systému A.

Systém A

Typologie podle systému A je založena na pevně definovaných parametrech, definovaných přílohou RS, pro které jsou vymezeny jednotné kategorie. Parametry představují:

- Ekoregion
- Nadmořská výška
- Plocha povodí
- Geologický typ

Vymezení typů probíhá podle následujícího postupu:

1. Útvary povrchových vod v oblasti povodí se nejprve rozdělí do odpovídajících ekoregionů v souladu s geografickými oblastmi definovanými v příloze XI Rámcové směrnice (ES 2000).

2. Vodní útvary v každém ekoregionu se pak rozdělí na typy vodních útvarů povrchových vod podle uvedených popisných charakteristik (Tabulka 1)

Tabulka 1 Kategorie a parametry použité v systému A

Parametr	Kategorie
Ekoregion	Eastern plains Central plains The Carpathiens Central highlands Hungarian lowlands
Nadmořská výška	vysočina: > 800 m střední výška: 200 až 800 m nížina: < 200 m
Plocha povodí	malá: 10 až 100 km^2 střední: > 100 až 1 000 km^2 velká: > 1000 až 10 000 km^2 velmi velká: > 10 000 km^2
Geologický typ	vápnitý křemitý organický

Systém B

Systém B je založen na kombinaci závazných a volitelných charakteristik. Při vymezení se útvary povrchových vod v oblasti povodí rozdělí na typy s použitím hodnot závazných popisných charakteristik a takových volitelných charakteristik nebo jejich kombinací, které jsou potřebné pro spolehlivé určení specifických referenčních biologických poměrů (ES 2000).

Podmínkou je, aby byl při použití tohoto systému dosažen přinejmenším stejný stupeň rozlišení, který by byl dosažen systémem A. Přehled závazných a volitelných faktorů, definovaných RS, je shrnut v Tabulce 2.

Tabulka 2 Přehled závazných a volitelných charakteristik podle systému B.

Závazné faktory	**Volitelné faktory**
nadmořská výška zeměpisná šířka zeměpisná délka geologie velikost	vzdálenost od pramene energie vodního toku (funkce průtoku a sklonu) průměrná šířka hladiny vody průměrná hloubka vody průměrný sklon hladiny vody uspořádání a tvar hlavního říčního koryta kategorie dle velikosti průtoku tvar údolí transport pevných látek kyselinová neutralizační kapacita průměrné složení substrátu chloridy rozpětí teplot vzduchu průměrná teplota vzduchu srážky

3.2 Obecná východiska pro výběr parametrů typologie

Výběr parametrů pro abiotickou typologii, která má vypovídat o potenciálních ekotopických vlastnostech jednotlivých úseků toků, je poměrně komplikovanou záležitostí, na kterou je kladeno mnoho - často protichůdných - požadavků. Typologie totiž musí pomocí vhodně zvolených parametrů co nejlépe zachycovat heterogenitu přírodních podmínek při zachování jednoduchosti a přehlednosti systému.

Vlastní návrh typologie vždy musí řešit následující základní otázky:

1. Výběr vhodných parametrů
Pro přesný popis heterogenity přírodních podmínek je základní podmínkou výběr správných základních parametrů a přesná definice kategorií, které odlišují jejich kvalitativní charakteristiky. Základní otázky pro konstrukci typologie proto představují následující:

- Jaké parametry uvažovat,
- Jak zvolené parametry kategorizovat.

2. Dostupnost a vhodnost datových podkladů.
Zdaleka ne všechna potenciálně vhodná podkladová data existují či jsou dostupná. I u poměrně jednoduchých a základních charakteristik, jako je například hloubka, drsnost nebo šířka koryta, narážíme na nedostupnost této informace.

3. Požadavek na jednoduchost, srozumitelnost a praktičnost typologie.
Vedle potřeby správného výběru popisných parametrů a jejich kategorizace je pro praktickou aplikovatelnost typologie důležitá celková jednoduchost, srozumitelnost a přehlednost členění, které umožní jeho operativní použití v praxi. Jde jednak o potřebu jasně definovaných kategorií, ale i o jejich omezený počet. Díky rostoucí přesnosti a kvalitě digitálních podkladů lze pomocí geoinformačních nástrojů snadno definovat a odvodit mnoho kategorických charakteristik jednotlivých parametrů, nicméně je třeba mít na paměti, že s růstem parametrů (a/nebo kategorií) roste počet výsledných tříd geometrickou řadou. Např. již při pouhých 5 parametrech rozdělených do 5 kategorií dostaneme teoreticky 3125 typů toků. Takový výsledek je prakticky nepoužitelný, přesto možných, vzájemně nezávislých vstupů je několik desítek a je možné je členit i podrobněji. Výsledkem takové analýzy by teoreticky mohly být samostatné typy pro každý úsek toku, každopádně je však zřejmé, že pro operativnost použití je nutné vyvážit podrobnost členění a přehlednost systému pomocí vhodných generalizačních postupů.

Pro úroveň generalizace je dle našeho názoru klíčový účel využití typologie.

Pokud by typologie sloužila jako pomůcka pro výzkumné pracovníky, sbírající data a provádějící analýzy, bylo by žádoucí, aby dovolovala porovnání abiotických parametrů jednotlivých lokalit (odběrných míst). Zde by již však vyvstávaly problémy, způsobené množstvím parametrů, nutných k alespoň částečnému popisu široké variability podmínek, panujících ve vodních tocích. Značné množství takovýchto parametrů navíc není možné získat z existujících pramenů a je nutné měření in situ, přičemž řada parametrů je značně proměnných nejen v rámci jediného toku, ale i jeho poměrně krátkého jeho úseku.

Jako příklad výčtu možných abiotických parametrů můžeme např. použít práci (Kokeš, Zahrádková et al. 2006), která uvádí (neuvažujeme-li chemické ukazatele) asi 20 parametrů, které byly pro zpracování systému hodnocení makrozoobentosu použity. Vezmeme-li v úvahu ještě jejich nutnou kategorizaci, je teoreticky možné získat možná tisíce různých typů, často zastoupených jen v nepatrných zlomcích celkové délky říční sítě.

Pokud má typologie sloužit jako nástroj pro vodohospodářskou správu, monitoring a reporting, měla by naopak být jasná a přehledná a měla by vycházet z podkladů, které jsou k disposici, přičemž by měla odlišit základní abiotické podmínky. Tyto požadavky vedou k výběru několika málo zásadních parametrů prostředí a značně omezenému počtu jejich kategorií, tak aby výsledný počet typů pokud možno nepřesáhl několik desítek. Toto východisko odpovídá i doporučení Rámcové směrnice a je to také cesta, kterou se ubíraly typologie okolních států EU i typologie dříve zpracované u nás (Fuksa, Zahrádková). Navržená typologie je proto rovněž založena na tomto východisku.

Ve vstupním kroku byl zvažován následující soubor parametrů:

- **ekoregion**: parametr regionálního členění, požadovaný RS.
- **úmoří**: alternativní parametr regionálního členění, vyjadřující oblasti migrační prostupnosti organismů v makroměřítku.
- **nadmořská výška**: syntetický parametr, vyjadřující klimatické a částečně i morfologické poměry, požadovaný RS.
- **plocha povodí**: parametr, vyjadřující nepřímo velikost toku, požadovaný RS.
- **řád toku**: alternativní parametr, vyjadřující nepřímo řadu základních morfometrických charakteristik toku a koryta.
- **geologie**: parametr, ovlivňující charakter substrátu, erodibilitu koryta toku i hydrochemické vlastnosti říční vody. Parametr, požadovaný RS.
- **podélný sklon koryta** (resp. dna koryta): projevuje se zejména rychlostí a charakterem proudění, frakcí unášeného materiálu a erozními a evorzními vlastnostmi toku. Tyto projevy se výrazně podílí na charakteru biotopů.
- **meandrování koryta**: ovlivňuje charakter proudění, údolní nivy a zdejších biotopů.
- **landcover/landuse**: ovlivňuje jak rychlost odtoku z povodí, erozi a retenční vlastnosti krajiny, biodiversitu, ale také např. zastínění hladiny.
- **drsnost koryta:** souvisí s rychlostí proudění, podložím a charakterem unášeného materiálu.
- **průřez korytem** (šířka / hloubka): ovlivňuje charakter stanoviště, do značné míry bude odpovídat Strahlerovu řádu.
- **vzdutí hladiny**: významný ukazatel míry antropogenního ovlivnění charakteru vodního prostředí. Bohužel neexistuje dostupná databáze jezů a přehrad.
- **rychlost proudění**: důležitá charakteristika vodního prostředí z hlediska bioty. Souvisí zejména s podélným sklonem koryta a drsností dna.
- **členitost reliéfu v okolí toku**: popisuje výškové rozdíly v okolí daného úseku, které ovlivňují rychlost koncentrace odtoku, délku intercepce, dále landuse a landcover a do značné míry i míru antropogenních zásahů.

- **geomorfologická typologie reliéfu**: odpovídá regionálním poměrům výškové členitosti - má tedy podobné konsekvence (rychlost koncentrace odtoku, charakter údolí, aj.). Je ovšem třeba rozlišovat mezi morfografickou (tedy typologickou) rajonizací, založenou mj. i na členitosti reliéfu, a regionalizací, která vychází z lokálního morfostrukturního základu reliéfu a vypovídá spíše o jednotném vývoji (srv. Zahrádková et al.).
- **šířka nivy**: nevypovídá přímo o korytě toku, ale o charakteru přiléhajících biotopů, přeneseně obvykle i o velikost toku, charakteru údolí a zastínění hladiny.
- **morfologie sítě povodí**: tvar sítě má vliv na rychlost odtoku a na povodňové riziko, rovněž vypovídá o stáří a případných změnách v povodí.
- **odtokové parametry** (odtoková výška a součinitel odtoku): vypovídají o rychlosti odtoku a srážkách, přeneseně i o sklonitosti svahů v povodí.
- **vzdálenost od pramene**: podobně jako Strahlerův řád vypovídá o velikosti toku. Problematické určení hlavního toku - technicky těžko využitelné.
- **půdní poměry**: důležitý parametr pro chemismus a úživnost stanoviště. Závisí na nadmořské výšce, podloží a vodním režimu.

Výběr parametrů, dále použitých pro konstrukci typologie se řídil následujícími kritérii:

- obecná platnost a vypovídací schopnost parametrů
- požadavky RS a souvisejících Guidances
- výsledky analýzy požadavků složek monitoringu
- poznatky z nastavení českých typologií
- poznatky z nastavení zahraničních typologií
- funkční nezávislost na jiných parametrech
- dostupnost a srovnatelná kvalita datových podkladů.

3.3 Analýza požadavků vybraných složek monitoringu na nastavení typologie

Pro podrobnou analýzu potřeb složek ekologického stavu byla experty zpracována rešerše pro klíčové složky – makrozoobentos a ryby.

3.3.1 Ryby

Ing. Pavel Horký, Ph.D.

Snaha o monitoring kvality vodního prostředí pomocí různých biologických indexů začala na počátku dvacátého století (Kolkwitz & Marsson, 1908, 1909). Od té doby byly metody monitoringu mnohokrát upravovány, až ke dnes nejběžnějšímu způsobu hodnocení pomocí struktury a složení společenstev (přehled ve Fausch et al., 1990). Tento princip byl přejatý i pro společenstva ryb, hodnocená nejdříve pomocí indexu biologické integrity (IBI, Karr 1981) a na něj navazujícího indexu EFI (European Fish Index; Fame consortium, 2004). Oba tyto indexy na základě abiotických parametrů předpovídají ideální složení společenstva a následně ho porovnávají s reálným společenstvem na dané lokalitě. Vzájemná podobnost teoretického a reálného společenstva následně určuje ekologický stav, jehož kvalita vzrůstá se vzájemnou podobností teoretického a realného společenstva. Pro úspěšné hodnocení ekologického stavu tímto přístupem je proto důležitá znalost abiotických parametrů, které rozhodujícím způsobem ovlivňují a mění složení společenstev ryb. Literární přehled vlivu abiotických parametrů na společenstva ryb pro účely typologie toků v ČR je rovněž předmětem předkládané studie.

Variabilita společenstev ryb

Společenstva ryb lze považovat za otevřené systémy, jejichž složení je možné s určitou mírou nejistoty charakterizovat pomocí abiotických parametrů prostředí. Míra nejistoty, stejně jako význam jednotlivých faktorů ovlivňujících složení společenstva, jsou závislé na podrobnosti prostorové úrovně hodnocení (Brown a Maurer, 1989). Obecně jsou uznávané tři úrovně hodnocení složení společenstev. Lokální, která hodnotí variabilitu v rámci lokality, regionální, která porovnává lokality v jednom regionu a geografická hodnotící regiony mezi sebou.

Nejvyšší míra nejistoty a variability společenstva je na lokální úrovni (Winemiller, 1996), kde působí biotické faktory jako je kompetice (Grossman, 1982) nebo interakce mezi predátorem a jeho kořistí (Moyle & Vondracek, 1985) a abiotické faktory jako průtok (Schlosser, 1985) nebo různorodost prostředí (Gorman & Karr, 1978). O tom, zda mají na složení společenstva na lokální úrovni větší vliv abiotické nebo biotické parametry rozhoduje míra variability prostředí. V nestabilním a často se měnícím prostředím (např. v důsledku častého kolísání průtoku) hrají rozhodující roli abiotické parametry (Capone a Kushlan, 1991), zatímco v relativně stabilním prostředí je společenstvo více utvářeno na základě biotických faktorů, jako je kompetice atp. (Ross set al., 1985).

Z regionálního hlediska ovlivňují složení společenstva ryb zejména abiotické parametry popisující podélný gradient a velikost toku jako je řád toku, vzdálenost od pramene, nebo plocha povodí (např. Kuehne, 1962; Hughes & Omernik, 1983). V podélném gradientu se mění kvalitativní i kvantitativní složení společenstev ryb. V pramenných oblastech jsou tak společenstva tvořená zejména z hmyzožravých druhů, zatímco v nižších částech toku dominují druhy všežravé a rybožravé (Oberdorff et al., 1993). Obdobně se mění i druhová pestrost, která vzrůstá v podélném gradientu (Mastrorillo et al., 1998). Zásadní roli v tomto procesu hraje množství dostupné energie v toku a heterogenita prostředí (Vannote et al., 1980; Guegan et al., 1998).

Složení společenstva ryb z geografického hlediska je ovlivněné zejména faktory jako je klima, kontinent, zeměpisná šířka, speciace a rozšíření v důsledku geografických bariér souvisejících s vývojem zemského reliéfu během doby ledové (Hughes et al., 1987, Oberdorff et al., 1997).

Faktory působící na regionální a geografické úrovni mají na složení společenstev ryb rozhodující vliv převyšující efekt faktorů působících na lokální úrovni (Tonn et al., 1990). Pro účely typologie, která pracuje s regionálním a geografickým pohledem tak lze uvažovat vliv lokálních faktorů jako konstantní. Nicméně to neznamená, že je působení lokálních faktorů na variabilitu společenstev obecně zanedbatelné. Lokální variabilitu při samotném monitoringu je vhodné snížit například opakovaným vzorkováním stejných lokalit apod.

Hypotézy vysvětlující variabilitu ve složení společenstev

Za účelem vysvětlení variability společenstev na různých úrovních bylo vysloveno poměrně velké množství předpokladů, které lze shrnout do tří hlavních hypotéz. První pracuje se vztahem mezi druhovou variabilitou a plochou a říká, že *druhová pestrost vzrůstá s velikostí plochy* (Preston, 1962). Druhá, tzv. *historická hypotéza*, vysvětluje vývoj druhové pestrosti zejména na základě rekolonizace ekosystémů po době ledové (Whittaker, 1997). Třetí se zabývá vstupem energie do systému a říká, že *druhová pestrost vzrůstá s dostupností energie* (Wright, 1983).

Vysvětlení druhové pestrosti pomocí plochy lze ve vodním prostředí chápat z pohledu tzv. teorie ostrovů. Ryby, stejně jako ostatní vodní organismy se nemohou šířit přes terestrické překážky. Řeky a zejména jednotlivá povodí tak lze chápat v přeneseném významu jako ostrovy, protože mezi nimi neexistuje žádné přímé propojení. Počet druhů nacházejících se na ostrově je tak z pohledu této teorie uvažován jako výsledek dynamické rovnováhy mezi imigrací a vymíráním závislými na izolaci ostrova a jeho velikosti (Mac Artur & Wilson 1963, 1967). Autoři předpokládají, že míra imigrace klesá se vzdáleností jednotlivých ostrovů a pravděpodobnost vymírání druhů klesá s velikostí ostrova, protože na velkém ostrově je pravděpodobnost výskytu větších populací. Druhová pestrost společenstev ryb byla opakovaně prokázána jako závislá na různých parametrech popisujících velikost toku (např. velikost povodí, řád toku atp.; Hugueny 1989, Oberdorff et al., 1995) a souhlasí tak se základním principem teorie ostrovů (Mac Artur & Wilson 1963, 1967).

Vliv historických faktorů na současné složení a druhovou pestrost společenstev ryb je ve srovnání se spolupůsobícími ekologickými faktory minimální (Oberdorff et al., 1997). Přesto lze určitý vliv historických faktorů na druhovou pestrost v geografickém měřítku zaznamenat. Například vliv rozsahu zeměpisné šířky, kterou řeka protéká souvisí s vyhledáváním úkrytů během zalednění v pleistocénu. Ryby měly větší šanci najít vhodný úkryt před postupující glaciací v řekách tekoucích od severu k jihu, než v řekách tekoucích převážně od východu k západu (Moyle & Herold, 1987; Matthews & Zimmermann, 1990). Obdobně lze definovat i vztah mezi druhovou pestrostí a speciací mezi dvěma kontinenty (Oberdorff et al., 1997).

Vliv dostupnosti energie na druhovou pestrost byl dlouhou dobu uvažován pouze ve smyslu, že dostatek energie snižuje pravděpodobnost vyhynutí (Turner, 1992), a nebyl mu přikládán velký význam (Oberdorff et al., 1997). Zvrat v uvažování/hodnocení nastal s rozvojem využití nových analytických neparametrických technik, tzv. neuronových sítí. Pomocí neuronových sítí bylo vysvětleno přes devadesát procent variability druhové pestrosti ryb v globálním měřítku právě na základě dostupnosti energie a heterogenity prostředí (Guegan et al., 1998). V současnosti tak lze původní Wrightovu (1983) hypotézu o vlivu dostupnosti energie na složení společenstev považovat jako klíčovou.

Parametry vhodné pro typologii společenstev ryb v ČR

Jak vyplývá z předchozího textu, tak je do typologie důležité zahrnout proměnné působící na regionální a geografické úrovni a zároveň vysvětlení variability společenstev ryb na základě všech tří uváděných hypotéz. Důvodem zohlednění všech tří hypotéz je skutečnost, že i když je třetí energetická hypotéza považována za nejpřesnější, nelze opomenout ani hypotézy ostatní vysvětlující zbytkovou variabilitu společenstev.

Pokud budeme při vyjmenovávání vhodných parametrů postupovat od nejhrubšího k jemnému členění, lze začít s parametry působícími na geografické úrovni. Vzhledem k velikosti ČR není smysluplné zařadit

faktory jako je klima, kontinent nebo zeměpisná šířka. Na druhou stranu se jako vhodný faktor působící na geografické úrovni jeví úmoří, které vyčleňuje povodí Labe, Odry a Dunaje. Vhodnost tohoto parametru spočívá především v odlišnosti povodí Dunaje, které je považováno jako jedno z hlavních refugií rybí fauny v Evropě během zalednění v pleistocénu a je tak druhově bohatší než povodí ostatní (např. Banarescu, 1989; Tonn, 1990; Wooton 1991). Parametr úmoří tak zahrnuje i vliv tzv. *historické hypotézy*.

Z parametrů působících na regionální úrovni lze jako nejvýznamnější uvést ty, které jsou v podstatě zástupné pro dostupnost energie v prostředí. Jako vhodný se jeví souhrnný *parametr nadmořské výšky*, který v sobě zahrnuje i další parametry ovlivňující úživnost prostředí jako je teplota, vegetace a s nimi související primární produkce energie v toku. Dalším parametrem shrnujícím mimo dostupnost energie v toku i jeho velikost je *podélný gradient* (tzv. River Continuum Concept; Vannote et al., 1980) vyjádřený pomocí *řádu toku* (Horton, 1945; Strahler, 1952). *Řád toku* se vzhledem ke svému charakteru pro kategorizaci jeví jako vhodný parametr, i když má určitá omezení (Penczak & Mann, 1990). Jeho vhodnost k vysvětlení změn společenstev je dle výše citovaných autorů závislá na tom, jak dobře řád toku vyjadřuje zejména velikost, gradient a diverzitu toku. V extrémních případech tak může dojít k chybné klasifikaci. V rámci ČR lze na tento fenomén narazit např. v některých oblastech Šumavy, kde díky velkému množství pramenů dochází k rychlé tvorbě toků vyšších řádů, které svým charakter nemusí odpovídat tokům stejných řádů ve zbytku ČR. I přes tyto nedostatky lze řád toku celkově vyhodnotit jako parametr, který je pro typologii vhodný.

Posledním parametrem důležitým pro typologii společenstev ryb je *podélný sklon toku*, který určuje vhodnost prostředí pro typické druhy ryb shrnuté do tzv. *ekologických skupin* (Schiemer & Waidbacher 1992) a jejich vzájemný poměr. V prostředí s vysokým spádem by tak například mělo být majoritně zastoupeno společenstvo druhů reofilních vázaných na proudnou vodu. Význam výskytu a poměru jednotlivých ekologických skupin je důležitý i z hlediska vyjádření míry ovlivnění prostředí antropogenními faktory. V ovlivněném prostředí se tak např. majoritně vyskytují druhy eurytopní se širokou ekologickou valencí.

Shrnutí

Lze shrnout, že pro podmínky ČR lze z hlediska společenstev ryb jako pro typologii vhodné parametry doporučit úmoří, nadmořskou výšku, řád toku a spád.

3.3.2 Makrozoobentos

Mgr. et Mgr. Sylva Rödlová

Abiotické versus biotické vymezení vstupních parametrů, obecné vymezení typologie

Vzhledem ke složitosti úkolu je evidentní nutnost vymezení jednotlivých typů parametrů na abiotickém základě. Je-li cílem maximální jednoduchost, výstižnost a přehlednost, musí tomu odpovídat počet výsledných základních typů. V tom může být mírným vodítkem jejich počet v již dokončených typologiích okolních států (Německo 24, Rakousko 26, Maďarsko 19).

Biologická společenstva nemají a nemohou mít pevné hranice, prolínají se a díky některým anomáliím mohou částečně měnit či nesouhlasit s vlastní definující charakteristikou. Množství faktorů, které společenstva ovlivňuje, se liší časově i lokálně a stabilní určení pořadí dle důležitosti je často objektivně nemožné.

Určení makrozoobentosu jako základní složky určující parametry připravované typologie proto nemůže být odpovídající zadanému úkolu, neboť zvolené vodní útvary mají plnit i nadřazenější funkce, než je monitoring bezobratlých. Existence dat týkajících se složení společenstev z relativně velkého počtu odběrových míst a v relativně dlouhé časové řadě není v tomto případě relevantní. Z přibližně 100 metodik, které určují kvalitu vody na základě bioty, jsou 2/3 založeny na makrozoobentosu. Propracované systémy jeho určování a množství odborníků však nemohou být zaměňovány s právem této skupiny organismů být základem typologie, jež se budou řídit veškeré ostatní skupiny.

K modernímu závěru lze dojít pouze interdisciplinárním přístupem – tedy spoluprací mezi obecnými a specializovanými ekology, rybáři, entomology, algology, hydrology, geomorfology, mikrobiology, botaniky a mnoha dalšími, aniž by přitom byla některá skupina upřednostňována. Shrnující dimenzi pak umožňuje použití GIS (Cushing, 2006).

Důraz na fyzikální podmínky (geomorfologicko-hydrologické) jako na hlavní činitele modelující tok, v němž se přítomná biota přizpůsobuje daným podmínkám, kladou i systémy jiného určení – např. americký River Continuum Concept (RCC) (Vannote et al., 1980 in Cushing, 2006). RCC se sice jeví jako dobrý rámec pro většinu toků, pro úplnost je ale nutno větší zaměření na lokální a časové disturbance – např. povodně, příbřežní zónu, vliv přítoků. Tyto disturbance budou vždy znamenat kritickou část pro jakýkoli generalizující model vodních toků. Dle jiných autorů proto diskontinuální modely lépe vysvětlují některé reálné jevy vyskytující se více či méně ve všech tocích – např. The Network Dynamics Hypothesis (Benda et al., 2004 in Cushing, 2006), či The Patch Dynamics Concept (Townsend, 1989 in Cushing, 2006).

Dalším ztížením je, že moderní typologie toků předpokládají přírodní či semi-přírodní toky, které v některých oblastech ale prakticky chybí (Cushing, 2006). Nejvýraznějším dokladem je změna spádu některých řek až na schodovitý typ – díky vybudovaným přehradám a dalším antropogenním změnám, při kterých často došlo k úplnému opuštění původního koryta. Dalším antropogenním ovlivněním jsou zvláště u menších toků vyústění ČOV, které díky svému složení mohou naprosto měnit složení společenstva bezobratlých. Za posledních 50 let docházelo a stále dochází nejen ke změně počtu ČOV, ale i ke změně čistírenských technologií – to vše mění chemické poměry v toku. Ani prostá přítomnost lesa v příbřežní zóně není jednoznačným jevem – velkou měrou totiž záleží na praktikách lesního managementu (např. přítomnost či nepřítomnost padlých kmenů v toku).

I když existují studie zaměřené na mnoho faktorů (klima, geologie, land use, nutrienty, vodivost, teplota, velikost toku, vzdálenost od toku apod.), je velký problém s jejich interpretací. Mnoho z těchto faktorů je provázaných a ovlivněno bioticky (nemoci či parazité), a pak bývají přehlíženy nebo jsou zcela neznámé (Giller, Malmqvist, 2006).

Vstupní parametry a jejich kategorie ve vztahu k makrozoobentosu

Úmoří

Vzhledem k specifické poloze ČR na evropském rozvodí se logicky pro rajonizaci hodí více použít parametr úmoří než evropsky preferované ekoregiony. Tento fakt potvrzuje i jedna v předchozích letech zpracovaná studie snažící se o vymezení typologie vodních útvarů (Zahrádková 2005) – použitým parametrem je povodí. Druhá takto zpracovaná studie naopak používá evropské ekoregiony, zejména v oblasti hornomoravského úvalu ale vzniká rozsáhlá disproporce ve vztahu s bioregiony.

Zmíněné 3 kategorie tak nemají alternativu.

Nadmořská výška

Parametr představující několik dalších podparametrů, které prakticky slučuje a celou typologii tak zjednodušuje. Nepoužívá též zástupné názvy (typu „reliéf“) a je proto zřetelný a obecně jasný.

Nadmořská výška ovlivňuje zejména teplotní režim toků, ikdyž ten je ovlivněn i dalšími faktory (např. přítoky podzemních vod, zastínění příbřežní vegetací apod). Klima považuje Giller a Malmqvist (2006) za jeden ze dvou nejdůležitějších faktorů při porovnávání regionálních podobností a rozdílností. Allan a Castillo (2007) považují teplotu za jeden ze tří faktorů ovlivňujících společenstva tekoucích vod (další dva jsou rychlost proudu a substrát). Teplota ovlivňuje fotosyntézu i mikrobiální aktivitu a tím i metabolismus vyšších organismů, všeobecně tedy platí, že teplejší ekosystémy (nížší nadmořské výšky) jsou více produktivní (Benke, 1993 in Allan, Castillo, 2007). Mnoho studií tak dokazuje celkový pokles taxonů s narůstající nadmořskou výškou (např. Ward, 1986; Suren, 1994 in Giller, Malmqvist, 2006).

Zřetelné zvýšení počtu druhů po proudu je pozorováno u jepic a pakomárů, naopak chrostíci vykazují téměř neměnný počet druhů napříč nadmořskou výškou.

Vhodnost 4 zvolených kategorií vhodně odráží vazbu (nejen) makrozoobentosu na zmíněné nadmořské výšky a specifika povrchu ČR, což prakticky potvrzuje i identická volba kategorií v již zpracovaných studiích (Zahrádková 2005, Fuksa a Prchalová 2004).

Statzner a Higler (1986 in Giller, Malmqvist, 2006) dokládají, že přechodné zóny mezi rozdílnými hydrologickými podmínkami (výškovými stupni) jsou místem s větším počtem druhů, protože se zde přizpůsobují organismy z obou výškových stupňů. Standford et al. (1996 in Giller, Malmqvist, 2006) pojmenoval tyto přechodové zóny následovně: pramenná oblast – horské údolí, horské údolí – podhorské údolí, podhorské údolí – pobřežní údolí.

Geologie

Důležitost tohoto faktoru pro makrozoobentos (a obráceně) dokládá např. i fakt, že některé skupiny - např. Podonominae, Aphroteniinae, Diamesinae (Brundin, 1988 in Giller, Malmqvist, 2006) a některé Ephemeroptera (Edmunds, 1972 in Giller, Malmqvist, 2006) byly použity jako důkaz pro platnost teorie deskové tektoniky a pomohly určit dobu oddělení jednotlivých desek.

Parametr z hlediska makrozoobentosu důležitý zejména v návazné charakteristice – tedy ne přímo jako samotná existence horninového podloží, ale spíše jako substrát dna a chemismus vody, které jsou z něj odvozeny.

U substrátu zůstává problémem, že se jedná pouze o „odvozenou“ charakteristiku a přímá data pro celou ČR chybí. Výjimku tvoří vápenaté podloží, na kterém byla pozorována celá řada specifik a to nejen u makrozoobentosu. Protože většina lotických bezobratlých je bentos, je typ substrátu dna z hlediska typologie velmi důležitý (Giller, Malmqvist, 2006). Velikost substrátu se většinou zmenšuje směrem po toku, tuto kontinuitu však mohou přerušit hrubší nánosy přítoků (Allan, Castillo, 2007). Důležitou charakteristikou substrátu kromě jeho velikosti je i jeho textura. Ta umožňuje organismům stabilnější možnost přichycení – např. larvy některého vodního hmyzu byly schopny udržet se v proudu, který je

charakteristický pro jejich mikrohabitat, pouze na drsnějším podkladu (Lancaster and Mole, 1999 in Allan, Castillo, 2007).

Diverzita a hojnost druhů roste se stabilitou substrátu (která narůstá s průměrnou velikostí zrn) a s přítomností organického detritu. Organické látky (např. nánosy listů před překážkou v proudu) obecně podporují množství a diverzitu bentických bezobratlých v toku (Reice, 1980 in Giller, Malmqvist, 2006). Rozmanitost a množství druhů a biomasa vzrůstá se zvětšující se velikostí substrátu až do velikosti valounů, ale klesá u velkých balvanů a odhaleného skalnatého podloží (Minshall,1984 in Giller, Malmqvist, 2006; Mackay, 1992 in Allan, Castillo, 2007). V kamenných peřejích je více bezobratlých než v tůních s jemnými nánosy, pokud ale peřeje i tůně obsahují zejména štěrk, je tento rozdíl značně redukován (Allan, 1995 in Giller, Malmqvist, 2006). V tocích, kde dominují jemné pohybující se sedimenty, se naprostá většina bezobratlých shlukuje na stanovištích se stabilním podkladem – zbytky dřev ve vodě, mostní pilíře, pevné bóje či dokonce trupy místních lodí (Benke et al., 1984 in Cushing, 2006)

Všeobecné vztahy makrozoobentosu a substrátu (Giller, Malmqvist, 2006, Tabulka 3). Pro srovnání je uveden i organický substrát. (Křížky značí relativní množství a šipky naznačují rozsah).

Tabulka 3 Přehled obecných vztahů makrozoobentosu a substrátusubstrát	druhové bohaství	biomasa	hustota
Anorganický původ			
Odhalené podloží	+	+→++	+→++
Bahno	+	++	+++
Písek	++→+++	+→++	++
Štěrk	+++	++	+++→++++
Oblázky	++++	+++	+++→++++
Balvany	++	++→+++	+++
Organický původ			
Mechy	+++→++++	++++→+++++	+++++
Makrofyta	++→+++	++++→+++++	++++
Vláknité řasy	++	++	++→+++
Listy	+++→++++	++++	+++→++++
Dřevo	++	++++	++→++++

Mnoho autorů (např. Giller, Malmqvist, 2006) upozorňuje na důležitost hydrochemie jako na jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující život v lotickém prostředí. Geologické podloží ovlivňuje chemismus vod – buffer kapacita je ovlivněna množstvím uhličitanových a zvětralých silikátových minerálů a časem, po který jsou srážky vystaveny jejich účinku (Hornung et al, 1990 in Giller, Malmqvist, 2006). Toky na vyvřelinách mají většinou málo rozpuštěných solí a mohou být kyselé, zatímco toky na sedimentárních horninách mají relativně dostatek rozpuštěných solí a jsou většinou buď neutrální nebo alkalické (Giller, Malmqvist, 2006). Mírně vápenité podloží (např. slínovce, mezozoické jílovce) a silně vápnité podloží (vápence, křídy, dolomitické vápence, silně fosilní sedimenty či jejich metamorfované ekvivalenty) mají silnou neutralizační kapacitu, vysokou konduktivitu a projevují se spíše alkalicky (Hornung et al., 1990 in Giller, Malmqvist, 2006). Nízká koncentrace vápníku může způsobovat osmotické problémy a ovlivnit skořápku či kutikulární sekreci u bezobratlých (zvláště těch větších) – proto např. Gastropoda upřednostňují toky s vysokým obsahem vápníku (Pennak, 1989 in Giller, Malmqvist, 2006). Většinu vod lze agregovat do 2 skupin: silikátový typ (s malým množstvým Ca a Mg) a karbonátový typ (s velkým množstvím těchto iontů) (Braukmann, 1984 in Cushing, 2006).

Pokud byly provedeny vzorky vodních bezobratlých v místech s pH < 4-6, zdály se ostatní charakteristiky toku – jako vzdálenost od pramene či od ústí, řád toku či sklon toku jako podružné a to jak v regionálním měřítku, tak u jednotlivých menších povodí (Hildrew, Giller, 1994 in Giller, Malmqvist, 2006). Na místech s nízkým pH někteří bezobratlí chybí – např. jepice, měkkýši, přičemž jiní jsou dobře zastoupení

– pošvatky, muchničky. Zjednodušeně se dá říci, že průměrné druhové bohatství a celkový počet druhů narůstá s pH (Hildrew, Townsend, 1987 in Giller, Malmqvist, 2006).

V rámci zjednodušení se 2 výsledné kategorie jeví jako vhodně zvolené. Pokud by parametr vápennatého podloží příliš nezatížil typologii, stálo by za uvážení jeho zařazení.

Strahlerův řád toku

Vzhledem k návaznosti dalších faktorů důležitý parametr. Obsahuje jak velikost toku, tak velikost povodí a sdružuje tak tyto dvě významné charakteristiky do jednoho určujícího parametru. Dále do jisté míry zohledňuje ve spojitosti s nadmořskou výškou i spád toku, což je další, z hlediska bioty obecně důležitý faktor. Rozlišení na 3 kategorie je z pohledu ČR vhodnější a zřetelnější než původní rozdělení na 4 kategorie.

Strahlerova řádovost toku je velmi užitečná při organizaci informací o biotě a obecně o změnách v podélném profilu toku jednotlivého povodí, při srovnávání několika povodí by však měl být uplatněn i jistý stupeň obezřetnosti (Giller, Malmqvist, 2006). Model RCC předpokládá, že relativní šířka toku je důležitým indexem pro organizaci biologického společenstva a to i bez ohledu na to, do jakého toku (do jakého řádu toku) se tento daný tok vlévá (Cushing, 2006). Všeobecně málo se věnuje pozornost ovlivnění společenstev řády toků, do kterých se dané toky vlévají (tzv. řádovým křižovatkám) (Rice at al., 2001 in Cushing, 2006). Předpokládá ale největší druhové bohatství v tocích středních řádů, protože prostředí nízko- a vysoko- řádových toků je méně variabilní. Částečnou úlohu v tom může hrát i fakt, že velké nížinné toky jsou z velkého procenta antropogenně upraveny. Toky nízkých řádů mají často nižší počet druhů než toky vyšších řádů, mnoho z těchto druhů je ale vázaných pouze na malé toky a ve větších tocích se nevyskytují (Giller, Mamqvist, 2006).

3.4 Expertní posouzení potřeb složek ekologického stavu na výběr parametrů pro typologii

V rámci řešení projektu jsme rozeslali dotazníky celkem 10 expertům z různých organizací.
K závěrečnému zpracování jsme obdrželi vyplněné dotazníky od celkem 8 expertů, kteří se vyjadřovali k několika různým oblastem. Přehled expertů a oblastí, na které odpověděli, podává tabulka 4, vyplněné dotazníky jsou přiloženy jako samostatná Příloha II.

Tabulka 4 Přehled expertů a oblasti ke kterým se vyjádřili

č.	expert	hydro morfologie	fyto bentos	fyto plankton	makro fyta	makro zoobentos	ryby
1	Brabec (PřF MU)					x	
2	Fuksa (VUV Praha)	x	x	x	x	x	x
3	Grulich (PřF MU)				x		
4	Horký (VUV Praha)						x, +
5	Marvan (Limni, Brno)		x				
6	Pithart (ÚSBE AVČR)		x	x	x		
7	Rödlová (KFGG, PřF UK)					x, +	+
8	Zahrádková (PřF MU)					x	

V tabulce značí: **x** – vyplněný dotazník, **+** - podrobnější vyjádření mimo dotazník

Z tabulky je patrné, že většina dotázaných expertů se vyjádřila pouze k jedné oblasti. Odpovědi expertů na jednotlivé dotazy se dosti výrazně liší obšírností, od velmi strohých až po dosti široké. Podobně se odpovědi jednotlivých expertů často silně odlišují i po věcné stránce, v některých případech je na položenou otázku odpovězeno nepřímo na jiném místě. Z toho vyplývá i relativně obtížné zpracování do globálně použitelného materiálu. V následujícím textu a tabulkách jsme se pokusili přehledně zpracovat odpovědi expertů v rámci jednotlivých dotazovaných oblastí zejména s ohledem na výběr parametrů vhodných pro návrh typologie vodních útvarů. V následujících tabulkách je odpověď každého experta identifikována jeho pořadovým číslem z tab. 3.

3.4.1 Rozhodující faktory variability složek monitoringu

Hydromorfologie

Odpověděl jediný expert.

Rozhodující faktory prostorové i kvalitativní variability

(2) úmoří, velikost toku, nadmořská výška,

Abiotické ukazatele rozhodující pro variabilitu

(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška

Parametry vhodné pro typologii

(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, geologie

Fytobentos

Odpověděli 3 experti.

Rozhodující faktory prostorové i kvalitativní variability

(2) úmoří, velikost toku, nadmořská výška, zastínění, hloubka, průhlednost vody
(5) více, netroufá si stanovit pořadí důležitosti
(6) trofie, acidita, zastínění, rychlost proudění, diverzita proudění, kvalita substrátu

Abiotické ukazatele rozhodující pro variabilitu
(2) úmoří , řád toku, nadmořská výška
(5) iontové složení vody a s ním související faktory (pH, konduktivita, KNK, ...), nabídka živin (P, N), zastínění, rychlost proudění
(6) trofie (zejména P), zastínění, hloubka, rychlost proudění, kvalita substrátu

Parametry vhodné pro typologii
(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, geologie

(5) KNK, příp. konduktivita

(6) land cover, nadmořská výška, sklon toku, míra upravenosti toku, geologie

Fytoplankton
Odpověděli 2 experti.

Rozhodující faktory prostorové i kvalitativní variability
(2) úmoří, velikost toku, nadmořská výška, produkce, rychlost proudění
(6) trofie, acidita, zastínění, rychlost proudění, diverzita proudění

Abiotické ukazatele rozhodující pro variabilitu
(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, rychlost proudění
(6) trofie (P), zastínění, hloubka, rychlost proudění

Parametry vhodné pro typologii
(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, geologie
(6) land cover, nadmořská výška, sklon toku, míra upravenosti toku

Makrofyta
Odpověděli 3 experti.

Rozhodující faktory prostorové i kvalitativní variability
(2) úmoří, velikost toku, nadmořská výška, stav koryta a břehů
(3) –
(6) trofie, acidita, alkalita, zastínění, rychlost proudění, diverzita proudění

Abiotické ukazatele rozhodující pro variabilitu
(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, stav koryta a břehů
(3) –
(6) trofie (P), zastínění, hloubka, rychlost proudění, alkalita

Parametry vhodné pro typologii
(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, geologie
(3) řád toku, hydromorfologie toku, stabilita (rozkolísanost) průtoku
(6) land cover, nadmořská výška, sklon toku, míra upravenosti toku, geologie

Makrozoobentos

Odpověděli 4 experti.

Rozhodující faktory prostorové i kvalitativní variability

(1) teplotní a průtokový režim, sedimentačně-erozní poměry, morfologie, hydraulické parametry koryta toku
(2) úmoří, velikost toku, nadmořská výška
(7) geologie, nadmořská výška
(8) kombinace základních abiotických podmínek prostředí, které v principu nejsou ovlivňovány antropogenními vlivy

Abiotické ukazatele rozhodující pro variabilitu

(1) teplotní a průtokový režim, sedimentačně-erozní poměry, morfologie, hydraulické parametry koryta toku
(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška
(7) substrát, hydrochemie, teplota
(8) velikost toku (řád toku, velikost povodí, vzdálenost od pramene), teplotní poměry (nadmořská výška), příslušnost k povodí (úmoří), sklon toku, substrát, alkalita, konduktivita, pH

Parametry vhodné pro typologii

(1) nadmořská výška (lépe klimatický region, teplotní režim, zonalita toku), velikost toku (Strahler n. plocha povodí), geologie, klasifikace kombinující přirozený typ koryta (meandrující, divočící, …), charakter údolí a nivy, geomorfologii oblasti s důrazem na faktory, které ovlivňují odtokový/průtokový režim a charakter sedimentů
(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, geologie
(7) geologie, nadmořská výška, řád toku
(8) velikost toku (řád toku), nadmořská výška, územní členění (kombinace povodí a dalšího členění, které je schopno reflektovat rozdíly v reliéfu a alespoň rámcově v chemismu vody)

Ryby

Odpověděli 2 experti.

Rozhodující faktory prostorové i kvalitativní variability

(2) úmoří, velikost toku, celkový stav koryta, nadmořská výška
(4) Dostupnost energie v toku a heterogenita prostředí.

Abiotické ukazatele rozhodující pro variabilitu

(2) úmoří , řád toku, nadmořská výška, stav koryta/variabilita habitatů,
(4) úmoří (povodí), podélný gradient toku, nadmořská výška, spád

Parametry vhodné pro typologii

(2) úmoří, řád toku, nadmořská výška, geologie
(4) úmoří, nadmořská výška, řád toku, spád

3.4.2 Vyhodnocení a východiska pro výběr parametrů pro typologii

Odhlédneme-li od problematických parametrů (viz kap. 6.2.1), můžeme se pokusit ostatní parametry sumarizovat. Vzhledem k tomu, že typologie vodních útvarů musí být z hlediska jednotlivých složek přírodního prostředí obecná, shrnuli jsme parametry uvedené pro jednotlivé složky do jednoho celku.

V následujících tabulkách (5, 6 a 7) je pro každý parametr ve sloupci Σ uveden celkový počet odpovědí, ve sloupci Σe počet expertů uvádějících daný parametr alespoň pro jednu složku.

Tabulka 5 Rozhodující faktory prostorové a kvalitativní variability

Expert	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ	Σe
Úmoří		6x		a				a	6	1
velikost toku		6x		a				a	6	1
nadmořská výška	(1x)	6x		a			1x	a	8	3
Geologie				a			1x	a	1	1
trofie/produkce		x		a		3x		a	4	2
Acidita				a		3x		a	3	1
Alkalita				a		1x		a	1	1
zastínění		1x		a		3x		a	4	2

Pozn.: a – odpověď natolik obecná, že nelze určit žádný specifický parametr

Tabulka 6 Abiotické ukazatele rozhodující pro variabilitu

expert	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ	Σe
úmoří		6x		1x				1x	8	3
řád toku		x6						1x	7	2
nadmořská výška	(x)	x6		1x			(1x)	(1x)	10	5
geologie							1x		1	1
trofie/produkce					1x	3x			4	2
acidita					1x		1x		2	2
alkalita					1x	1x	1x	1x	4	4
konduktivita					1x		1x	1x	3	3
pH					1x		1x	1x	3	3
zastínění		1x			1x	3x			5	3
sklon toku				1x				1x	2	2

Tabulka 7 Parametry vhodné pro typologii

expert	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ	Σe
úmoří/povodí		6x		1x				1x-	8	3
řád toku	1x	6x	1x	1x			1x	1x	11	6
nadmořská výška	1x	6x		1x		3x	1x	1x	13	6
geologie	1x	6x				2x	1x		10	4
konduktivita					1x				1	1
land cover						3x			3	1
sklon toku				x		3x			4	2

Shrneme-li výsledky z předchozích tabulek, je zřejmé, že ve všech případech se většina expertů shoduje v důležitosti nadmořské výšky, resp. teplotního režimu, a v těsném závěsu následuje velikost (řád) toku. U ostatních parametrů již není stanovisko tak jednoznačné, i když z hlediska parametrů vhodných pro návrh typologie je doporučena geologie a do jisté míry i úmoří, resp. povodí.

Lze tedy konstatovat, že z doporučení expertů lze odvodit následující parametry, vhodné pro zpracování typologie:

- nadmořská výška
- řád toku
- geologie
- úmoří, resp. povodí

3.5 Analýza stavu nastavení typologie vodních útvarů v ČR

V České republice jsou v současné době zpracovány dvě metodiky, řešící nastavení typologie vodních útvarů a typologie tekoucích vod. Metodiky byly zpracovány v letech 2004-05. Typologie vodních útvarů byla zpracována týmem J.K. Fuksy ve VÚV TGM v Praze, současně s nastavením vymezení vodních útvarů. Typologie tekoucích vod byla zpracována týmem S. Zahrádkové v PřF MU v Brně.

3.5.1 Typologie Fuksa a kol.

V roce 2004 byla souběžně s vymezením vodních útvarů provedena typologie vodních útvarů povrchových vod, v roce 2005 proběhla její aktualizace (Fuksa, Prchalová et al. 2004; Fuksa and Kožený 2005). Typologie je vztažena na plochy povodí vodních útvarů povrchových vod.

Použité parametry

Výchozí typologie je založena na systému A Rámcové směrnice, přičemž zahrnuje čtyři základní parametry:

- příslušnost k ekoregionu
- nadmořská výška závěrového profilu
- geologické podloží
- plocha povodí k závěrovému profilu.

K těmto základním parametrům byl přidán doplňující parametr:

- řád toku dle Strahlera (viz Tabulka 8).

Přiřazení hodnot parametrů vodním útvarům bylo provedeno prostřednictvím závěrového profilu povodí vodních útvarů pro parametry ekoregion, nadmořská výška a plocha povodí. U parametru geologie byl typ vodního útvaru určen podle poměrného zastoupení vápnitého a křemitého typu podloží tak, že do kategorie vápnitý byl VÚ zařazen v případě, že více než 40% zastoupení vápnitého typu hornin. (Fuksa, Prchalová et al. 2004).

Tabulka 8 Použité parametry typologie vodních útvarů a jejich kategorizace. Převzato z Fuksa a kol., 2004, 2005.

Ekoregion		Kategorie nadmořské výšky [m]		Kategorie podle geologie		Kategorie plochy povodí [km^2]		Řád toku (podle Strahlera)
1	Panonská oblast (11)	1	<200 m	1	Křemité	1	<100 km²	4
2	Karpaty (10)	2	200-500 m	2	Vápenité	2	101-1000 km²	5
3	Středoevropské nížiny (14)	3	501-800 m			3	1001-10000 km²	6
4	Hercynská pohoří střední Evropy (9)	4	>800 m			4	>10000 km²	7
								8

Typologie vodních útvarů

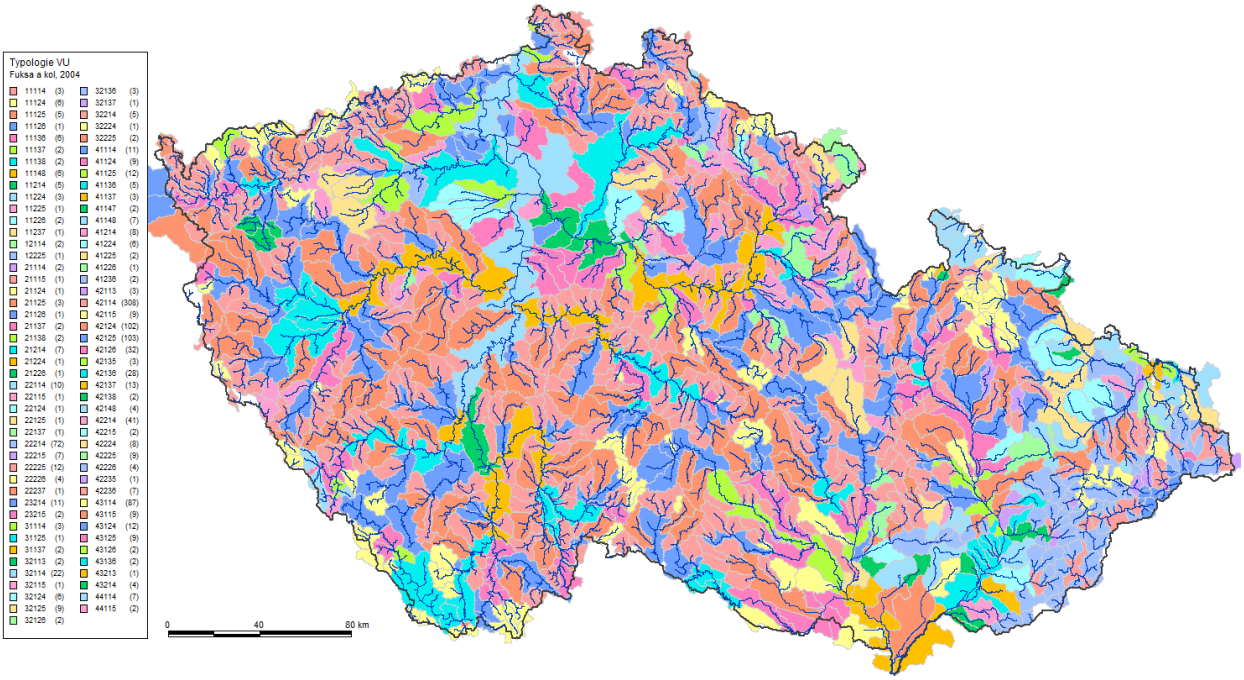
Kombinací pěti parametrů a uvedených kategorií vzniklo celkem 89 typů, pokrývajících 1103 vodních útvarů (obrázek 5). Na základě typologie byly sousedící útvary stejného typu sdruženy do skupin vodních útvarů, čímž vzniklo 220 skupin VÚ a 296 samostatných VÚ, které netvoří skupinu (Fuksa, Prchalová et al. 2004).

V roce 2005 proběhla aktualizace nastavení vodních útvarů a typologie. Na základě návrhů správců povodí a analýz došlo k upřesnění vymezení části vodních útvarů, přičemž nově je vymezeno celkem 1141 vodních útvarů povrchových vod, z toho 1070 kategorie řeky, 71 kategorie jezera.

V nastavení typologie byla provedena agregace vzácných typů, tj. typů, které zahrnují méně než 5 vodních útvarů, zpravidla ale jeden až dva. Tyto vzácné typy byly identifikovány v menších oblastech

povodí, malých ekoregionech, vyšších nadmořských výškách, tocích 7 a 8 . řádu a vápnitém typu geologie. Agregace byla provedena s ohledem na geografickou a typovou blízkost dotčených vodních útvarů, dále byl zahrnut souhrnný typ pro VÚ na tocích 7. a 8. řádu, pro které nelze nalézt referenční lokality. (Fuksa et al. 2005).

Po agregaci jsou tak vodní útvary tekoucích vod členěny do 39 typů. Podrobný popis postupu vymezení včetně tabulek s přehledem jednotlivých typů je uveden v souhrnné zprávě projektu (Fuksa et al. 2005).



Obrázek 5 Základní typologie vodních útvarů. Data: HEIS, VÚV TGM.

3.5.2 Typologie Zahrádková a kol.

V roce 2005 byla autorským týmem pod vedením S. Zahrádkové (MU Brno) zpracována Typologie tekoucích vod ČR (Zahrádková 2005). Oproti typologii vodních útvarů (Fuksa, Prchalová et al. 2004; Fuksa et al. 2005), která je vztažena k plochám povodí vodních útvarů tato typologie vychází z klasifikace vodních toků ČR.

Použité parametry

Typologie odpovídá systému B Rámcové směrnice, přičemž používá část parametrů shodných se systémem A, část parametrů je modifikována.

Typologie je založena na kombinaci tří parametrů:

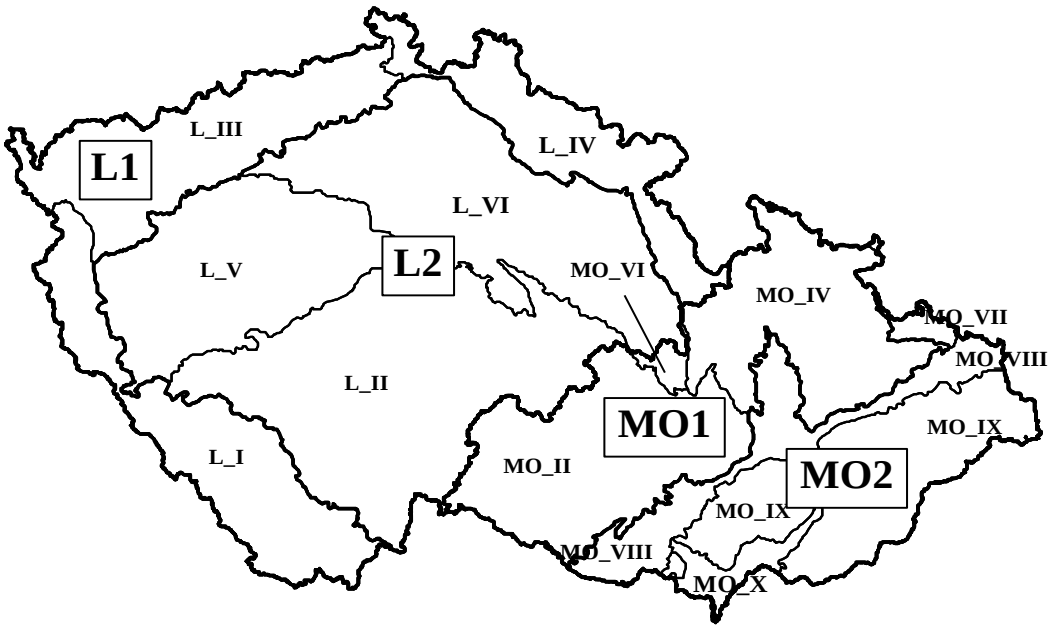
- Hydroekoregion
- Nadmořská výška
- Řád toku dle Strahlera

Hlavním charakteristickým rysem typologie je tzv. hydroekoregion, který v typologii představuje základní prvek regionálního členění. Hydroekoregion je použit namísto ekoregionu, vyžadovaného RS. Důvodem pro opuštění ekoregionu byly poznatky z projektu STAR, ze kterých vyplynulo, že pro ČR ekoregionální členění není vhodné (Zahrádková 2005). Analýzami souboru referenčních lokalit systému Perla autoři zjistili, že pro toky na území ČR hraje podstatnější roli příslušnost k povodí, zejména k povodí Labe.

Hydroekoregiony byly vymezeny jako kombinace dvou faktorů:

- příslušnost k povodí, kde jako jednotky byly uvažovány jednotky Povodí Labe a sloučené povodí Moravy a Odry, přičemž okrajová povodí v hraničních oblastech byla přiřazena k hlavním povodím.
- geomorfologické jednotky dle členění Demka, uvažující 10 základních geomorfologických jednotek (Demek 1987)

Následně bylo provedeno sloučení vnitřních geomorfologických jednotek uvnitř základních povodí. Tímto postupem vznikly čtyři základní hydroekoregiony – dva v povodí Labe, dva v povodí Moravy a Odry (Obrázek 6)



Obrázek 6 Vymezení hydroekoregionů (Převzato ze Zahrádková a kol., 2005)

Nadmořská výška je členěna v kategoriích, odpovídajících typologii Fuksa a kol. 2004, tj. základní členění RS rozšířené o vložený výškový interval s hranicí 500 m.n.m. Použity jsou následující kategorie nadmořské výšky: 0-200 m.n.m, 200-500, 500-800, 800 a více.

Parametr řádu toku dle Strahlera byl zvolen jako ukazatel odrážející velikost toku, který podle autorů zároveň koreluje s alternativními vyjádřeními velikosti toku prostřednictvím plochy povodí a vzdálenosti od pramene (Zahrádková 2005).

V základním členění je uváděno šest kategorií, přičemž jsou sloučeny řády 1-2 a 3-4, dále jsou řády kategorizovány samostatně. Nejvyšší hodnota řádu toku dosahuje řádu 8 (Tabulka 9).

Tabulka 9 Parametry typologie Zahrádková a kol. a jejich kategorizace. (Převzato ze Zahrádková, 2005)

Hydroekoregion		Nadmořská výška [m]		Řád toku (podle Strahlera)	
1	L1	1	≤200	1	1-2
2	L2	2	(200-500›	2	3-4
3	MO1	3	(500-800›	3	5
4	MO2	4	>800	4	6
				5	7
				6	8

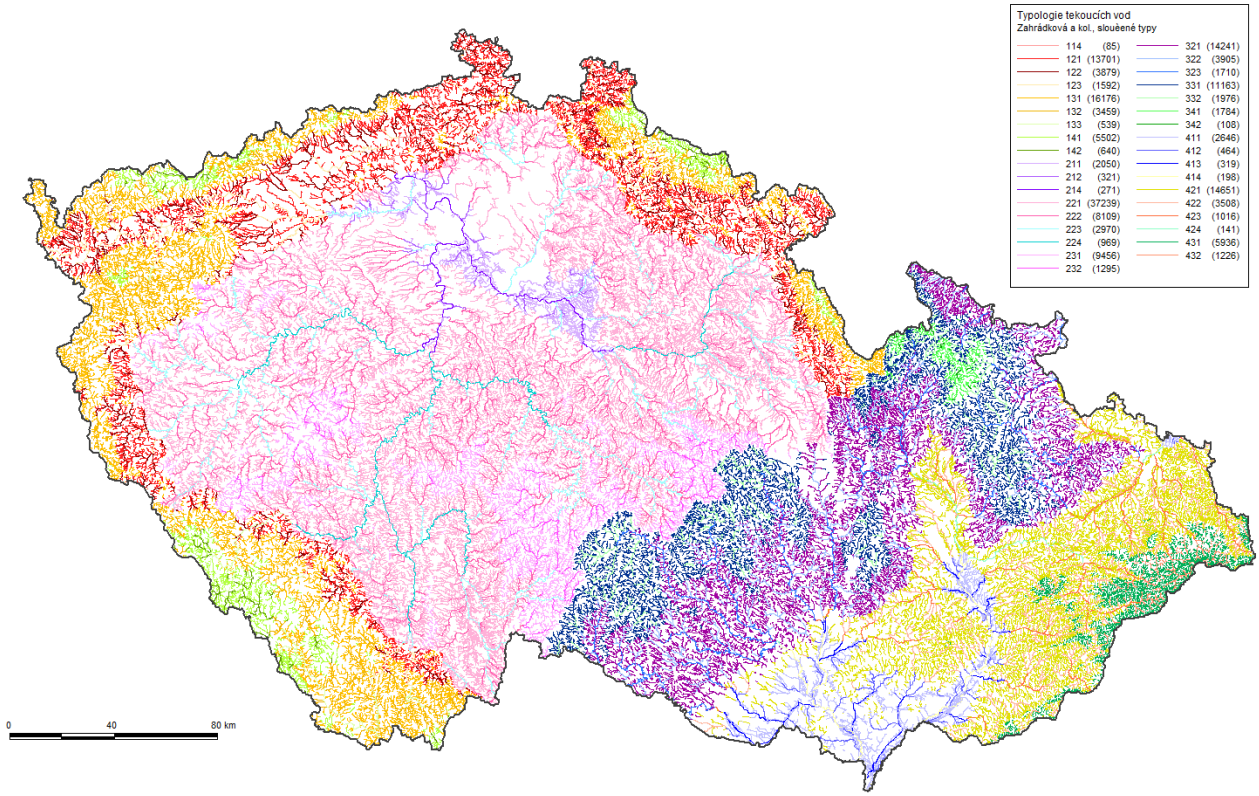
Typologie tekoucích vod

Kombinací použitých parametrů a jejich kategorií vzniklo celkem 62 základních typů vodních toků s rozdílným zastoupením na délce říční sítě. Řada z nich pokrývá velmi malý rozsah sítě – celkem 23 typů reprezentuje více než 0,5 % délky toků ČR (Zahrádková 2005). Vzhledem k tomu autoři přistoupili ke slučování některých okrajově zastoupených typů.

Při slučování byly přednostně respektovány hranice hydroekoregionů, pak kategorie řádů toků a nejméně byly respektovány kategorie nadmořských výšek.

V následném kroku byl snížen počet kategorií řádu toků tím, že byl sloučen 5-6 řád a 7-8 řád a následně opět sloučeny vzniklé vzácné typy.

Uvedeným iterativním postupem bylo vymezeno výsledných 35 sloučených typů vodních toků (obrázek 7).



Obrázek 7 Typologie tekoucích vod, sloučené typy. Data: MŽP ČR.

3.6 Analýza stavu nastavení typologie vodních útvarů v zahraničí

RNDr. Magdalena Bicanová

3.6.1 Systém typologie vodních útvarů pro vybrané státy EU

Podle Rámcové směrnice o vodách 2000/60/ES (RSV) členské státy EU zajistí ochranu a zlepšení stavu a obnovu všech útvarů povrchových vod s cílem dosáhnout dobrého stavu povrchové vody nejpozději do 15 let od data nabytí účinnosti této směrnice. Dobrý stav je obecně definován tak, že „hodnoty biologických kvalitativních složek daného typu útvaru povrchové vody vykazují mírnou úroveň narušení vzniklého lidskou činností, avšak odlišují se pouze málo od těch, které se obvykle vyskytují u tohoto typu vodního útvaru v nenarušených podmínkách“. Nenarušené podmínky jsou reprezentovány definicí tzv. referenčního stavu, který by měl být pro jednotlivé typy vodních objektů charakteristický. Z toho důvodu je nezbytné vytvořit typologii, která bude dostatečně popisovat všechny hodnocené vodní objekty.

Výsledná typologie by měla sloužit především k definici referenčních podmínek a hodnotícího systému pro jednotlivé typy vodních toků, jednoznačného označení vodních objektů a nalezení míry citlivosti vůči různým stresorům v rámci každého typu vodních objektů. Cílem je vytvoření takové typologie, která by dostatečně popisovala vodní toky na daném území, přičemž je snaha dosáhnout maximální homogenity v rámci jednotlivých typů a maximální heterogenity mezi různými typy navzájem. Z hlediska jednoduchosti a přehlednosti by pak výsledná typologie měla mít tolik kategorií, kolik je nezbytné, a tak málo, jak je to možné (Sommerhäuser, 2008). RSV umožňuje dva systémy typologií vodních objektů.

Podle systému A, tzv. systému ekoregionů, je území Evropy rozděleno do 25 ekoregionů vymezených podle výskytu vodních živočichů v evropských vnitrozemských vodách (Illies, 1978) a v jejich rámci jsou pak vodní toky děleny do jednotlivých typů podle nadmořské výšky povodí (3 skupiny: <200 m n.m., 200-800 m n.m., >800 m n.m.), velikosti povodí (4 skupiny: 10-100 km^2, 100-1000 km^2, 1000-10000 km^2, > 10000 km^2) a typu geologického podloží (3 skupiny: vápnitý, křemitý, organický).

Systém B umožňuje zahrnout do typologie více volitelných faktorů, které mohou lépe vystihnout variabilitu přírodních podmínek, za předpokladu, že bude dosaženo přinejmenším stejného stupně rozlišení, který by byl dosažen systémem A. Zároveň systém B obsahuje všechny povinné faktory, které tvoří systém A, je tedy jeho upřesněním.

Typologie vodních toků Slovenska

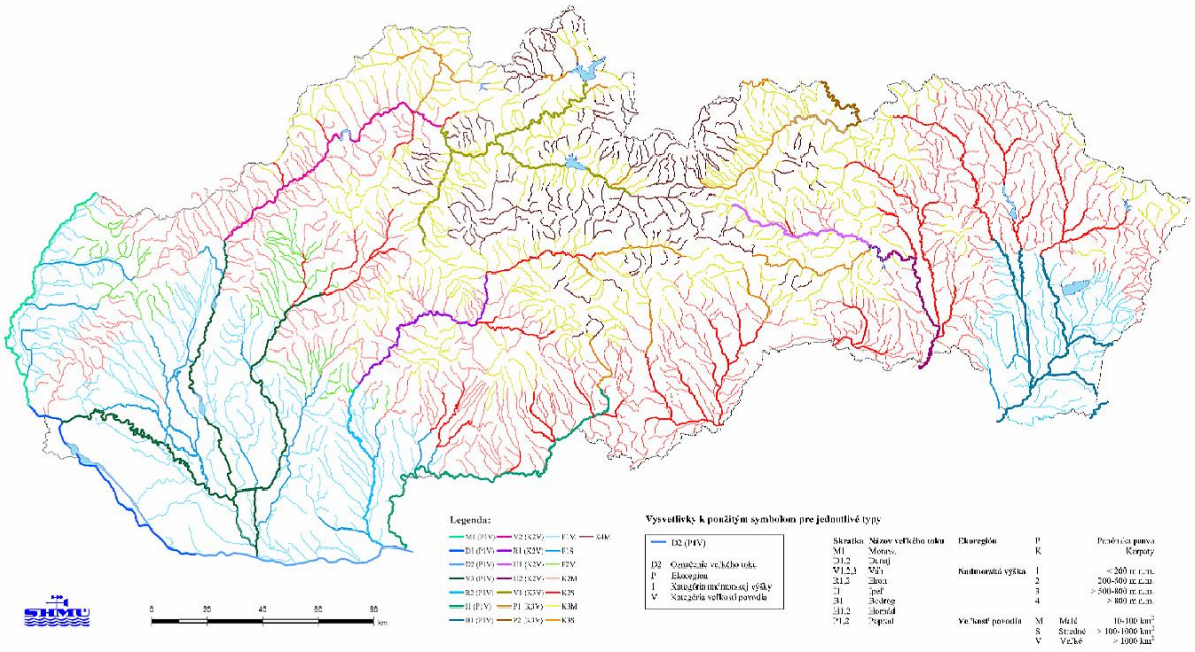
Na vytvoření typologie vodních toků a zároveň i definici referenčních stavů na Slovensku se podílel Slovenský hydrometeorologický ústav, Slovenská akademie věd – Ústav zoologie, Výskumný ústav vodného hospodárstva a Slovenská agentúra životného prostredia. Typologie byla publikována v květnu 2007.

Typy vodních toků byly vymezeny pomocí systému A. Toky na území Slovenska byly primárně rozděleny podle příslušnosti k ekoregionům (Karpaty, Panonská pánev), dále do čtyř tříd podle nadmořské výšky (< 200 m n. m., 200-500 m n. m., 500-800 m n. m., >800 m n. m.) a nakonec do tří tříd podle velikosti povodí(10-100 km^2, 100-1000 km^2, >1000 km^2). Geologie nebyla z důvodu složité geologické stavby jako rozčleňující parametr uvažována.

Takto vzniklo 24 tříd typů toků, z nich bylo 13 nelogických tříd vyloučeno (kombinace ekoregion Karpaty a nadm. výška do 200 m n. m., nebo naopak ekoregion Panonská pánev a nadm. výška nad 200 m n. m.). V případě velkých toků pak byly některé typy rozděleny do podtypů podle změn způsobených přítoky a změn v průměrném sklonu toku. V případě Dunaje pak rozhodovala průměrná rychlost a změna směru toku. Celkem bylo vytvořeno 22 typů vodních toků popsaných v Tab. 9 a zobrazených na Obr. 8.

Tabulka 10 Typy vodních toků Slovenska

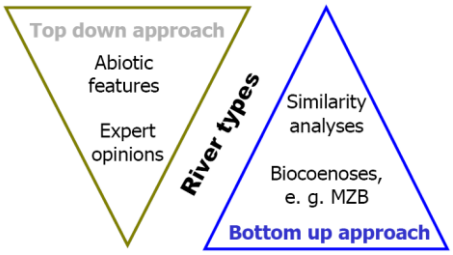
Počet typů	Označení typu	Název	Ekoregion	Kategorie velikosti	Kategorie nadm. výšky (m n.m.)	Označení velkého toku	Průměrný sklon toku ‰
1	P1M	Malé toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	M	< 200	-	
2	P2M	Malé toky v nadm. výšce 200 - 500 m v Panonské pánvi	PP	M	200-500	-	
3	K2M	Malé toky v nadm. výšce 200 - 500 m v Karpatech	K	M	200-500	-	
4	K3M	Malé toky v nadm. výšce 500 - 800 m v Karpatech	K	M	>500-800	-	
5	K4M	Malé toky v nadm. výšce nad 800 m v Karpatech	K	M	> 800	-	
6	P1S	Střední toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	S	< 200	-	
7	K2S	Středně Velké toky v nadm. výšce 200 - 500 m v Karpatech	K	S	200-500	-	
8	K3S	Středně Velké toky v nadm. výšce 500 - 800 m v Karpatech	K	S	>500-800	-	
9	D1(P1V)	Velké toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	V	< 200	D1*	<1**
10	D2(P1V)	Velké toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	V	< 200	D2*	<1***
11	M1(P1V)	Velké toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	V	< 200	M1	<1
12	V3(P1V)	Velké toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	V	< 200	V3	<1
13	R2(P1V)	Velké toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	V	< 200	R2	<1
14	I1(P1V)	Velké toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	V	< 200	I1	<1
15	B1(P1V)	Velké toky v nadm. výšce do 200 m v Panonské pánvi	PP	V	< 200	B1	<1
16	V2(K2V)	Velké toky v nadm. výšce 200 - 500 m v Karpatech	K	V	200-500	V2	1-2,5
17	H2(K2V)	Velké toky v nadm. výšce 200 - 500 m v Karpatech	K	V	200-500	H2	1-2,5
18	R1(K2V)	Velké toky v nadm. výšce 200 - 500 m v Karpatech	K	V	200-500	R1	1-2,5
19	H1(K2V)	Velké toky v nadm. výšce 200 - 500 m v Karpatech	K	V	200-500	H1	1-2,5
20	V1(K3V)	Velké toky v nadm. výšce 500 - 800 m v Karpatech	K	V	>500-800	V1	>2,5
21	P1(K3V)	Velké toky v nadm. výšce 500 - 800 m v Karpatech	K	V	>500-800	P1	>2,5
22	P2(K3V)	Velké toky v nadm. výšce 500 - 800 m v Karpatech	K	V	>500-800	P2	< 2,5



Obrázek 8 Typologie vodních toků SR

Typologie vodních toků Německa

Typologie vodních objektů Německa byla vytvořena Dr. Mario Sommerhäuserem z Institutu Ekologie na univerzitě v Essenu. Byl použit systém B a pomocí tzv. top-down a bottom-up přístupu bylo definováno celkem 25 typů vodních toků. Top-down přístup je založen na převážně geomorfologickém vymezení krajinných jednotek, v nichž by měly být abiotické podmínky pro vodní toky homogenní. Bottom-up přístup pak v rámci těchto jednotek testuje homogenitu biotických podmínek (Potgiesser, 2004). Přístup „top-down, bottom-up“ je zobrazen na obrázku 9.



Obrázek 9 Top-down, bottom-up přístup

Jako závazné faktory klasifikace byly použity ekoregiony podle Illies (1978), geologické podloží (vápnité, křemité, organické), nadmořská výška a velikost povodí (4 skupiny: 10-100 km^2, 100-1000 km^2, 1000-10000 km^2, > 10000 km^2). Z volitelných faktorů byl použit spád toku a detailnější geologické podloží. Typologické jednotky byly iteračním postupem vytvořeny v následujících krocích:

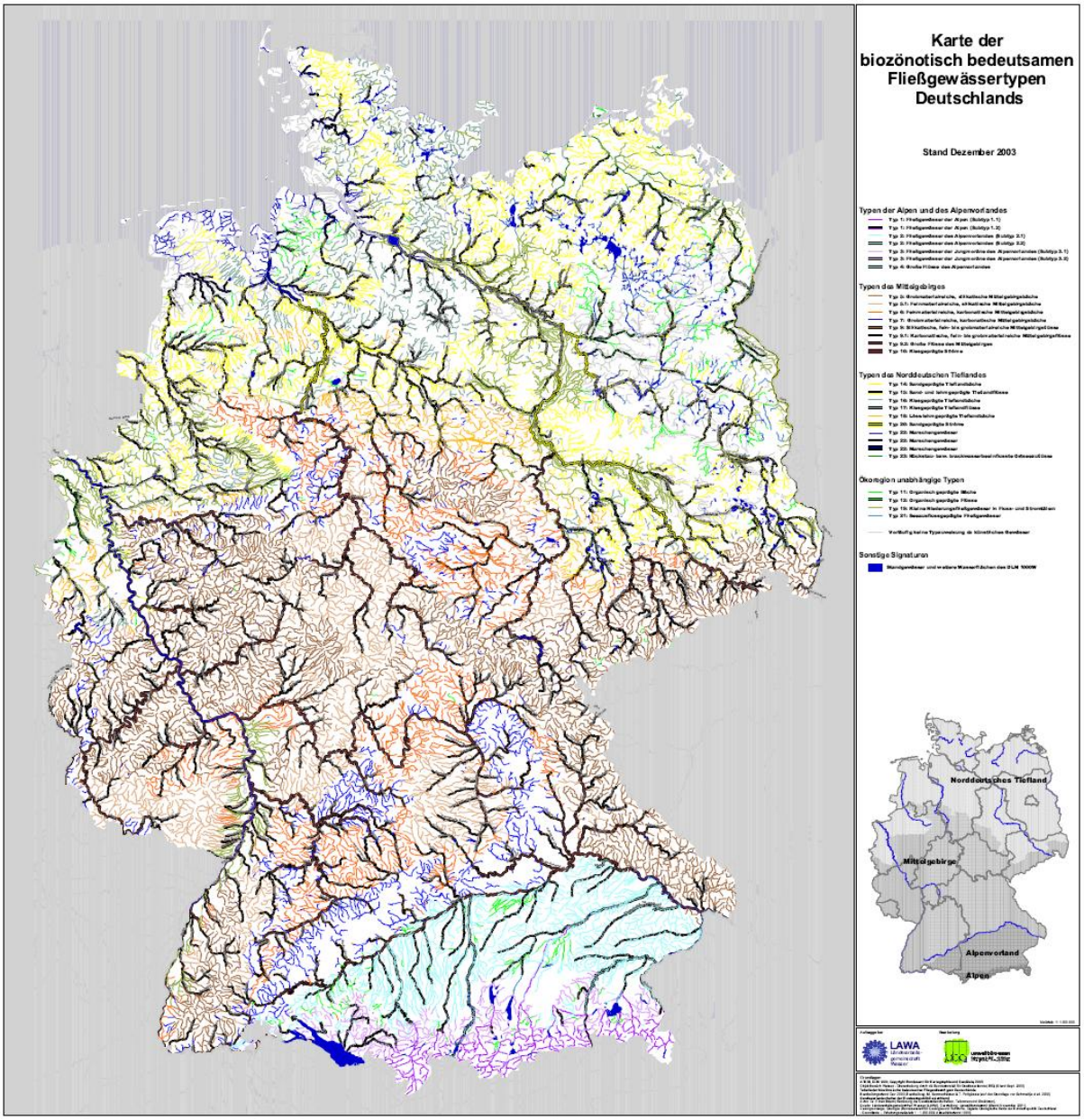
1. Na území Německa zasahují 3 ekoregiony – Alpy, Centrální vysočina a Centrální plošiny. Tyto ekoregiony byly na podkladě detailnějších geologických poměrů, spádu toku, tvaru údolí a typu substrátu zpřesněny. Celkem bylo vytvořeno 40 podtypů, jednotek tzv. vodní krajiny (aquatic landscape). Tyto jednotky jsou homogenní z hlediska abiotických podmínek, nevystihují však změny v podélném profilu toku. Dodatečně byly definovány tři typy, které jsou nezávislé na vymezení ekoregionů.
2. Jednotlivé podtypy byly sloučeny do 18 kategorií, tyto kategorie byly v dalších krocích brány jako základní vymezení, jako tzv. „super-parametr“
3. Do vymezení byl zahrnut faktor velikosti povodí - v podstatě rozdělení toků v jejich podélném profilu. Na jeho podkladě došlo k dodatečnému přerozdělení typů do 25 kategorií, z toho 2 v ekoregionu Alp, 11 v ekoregionu Centrální vysočina, 8 v ekoregionu Centrální plošiny a 4 kategorie nezávislé na ekoregionu (Tab.11)
4. Biologické ověření homogenity jednotlivých typů. Po celém území Německa bylo provedeno cca 1000 odběrů a následných biocenotických analýz, sledovány byly řasy, stáří rybí populace, bentický makrozoobentos a makrofyta. Odběrová místa byla volena tak, aby v případném hodnocení odpovídala velmi dobrému, nebo dobrému stavu (podle RSV). Pomocí korelačních statistických analýz byla zkoumána homogenita výsledků odběrů jednak v rámci vymezených 25 kategorií, a jednak v rámci celých ekoregionů.
5. Vytvoření mapy typů (Obr. 10).
6. Pro každý typ vodních toků byl vytvořen tzv. „pas“, detailní popis daného typu. V každém pasu je uvedena příslušnost k jednotce vodní krajiny, fotografie přírodního, nebo přírodě blízkého úseku, krátký popis morfologie, abiotických podmínek, fyzikálně-chemické podmínky, odtokových poměrů, popis makrofyt, fytobenthosu, bezobratlých a rybích populací, příklady typických úseků toků. Příklad pasu v příloze 6, všechny pasy dostupné ke stažení na www.wasserblick.net

Tabulka 11 Typy vodních toků Německa

Selected river landscapes and regions according to Briem (2003)	biocoenotically type			
	Size class[1) 2)]			
	small river	mid-sized river	large river	very large river
Ecoregion 4: Alps, altitude > 800 m				
Calcareous Alps, Flysch-Alps	1[3)]			
Ecoregion 9 (and 8): Central highlands and Alpine foothills, altitude ca. 200 - 800 m and higher				
Alpine foothills				
Tertiary hills, river terraces, lower river terraces, old moraines	2[4)]		4	
Pleistocene moraine landscapes	3[5)]			
Floodplains (over 300 m wide)				
Central highlands				
Gneiss, granites, schists, volcanis regions	5	9	9.2	
Buntsandstein sandstone, sandy deposits	5.1			
Loess regions, upper Triassic rocks, middle and lower Jurassic	6	9.1		
Lacustrine limstones, lower and middle Jurassic stones, upper Jurassic limestone, Cretaceous rocks	7			
Floodplains (over 300 m wide)				10
Ecoregion 14: Central plains, altitude < 200 m				
Outwash plains, sandy deposits, ground and terminal moraines	14	15		
Loess regions	18			
Ground and terminal moraines, lower river terraces	16	17		
Floodplains (over 300 m wide)				20
Marshland of the coastal plains	22[6)]			
Young moraine landscape: ground moraines	23			
Ecoregion independent stream types				
Outwash plains, loess regions, floodplains (paludificated)	11	12		
Floodplains (over 300 m wide)	19			
Outwash plains, ground and terminal moraines	21			

Základem německé typologie je mapa jednotek vodní krajiny, tato mapa byla soukromou firmou vytvářena tři roky a náklady na její vytvoření dosáhly 75 000 euro. Pro potřeby typologie však mapa byla zbytečně podrobná a bylo možné ji vytvořit s časovou i finanční úsporou. Podklady pro biocenotické analýzy byly částečně převzaty z již existující databáze, částečně provedeny v rámci vytváření typologie. Odhadem na ně bylo během 4 let investováno 60 000 eur. Mapa typů vodních toků byla soukromou firmou vytvořena za rok s náklady 60 000 eur, definice pasů byla provedena během několika měsíců zdarma národními experty (Sommerhäuser, 2004).

Protože hranice států většinou nekopírují rozvodnice, bylo v případě velkých toků přistoupeno k mezinárodní spolupráci. Konkrétně pro tok Dunaje byla typologie vyvinuta v rámci německo-rakouské spolupráce za účasti konzultantů z České republiky (VÚV TGM, Masarykova univerzita), Maďarska, Chorvatska, Bosny a Herzegoviny, Srbska, Rumunska, Bulharska a Moldávie (Moog, 2004). Celý tok Dunaje byl rozdělen do 10 sekcí, jejichž hranice většinou sledují hranice geomorfologických regionů. Referenční podmínky byly definovány v každé sekci zvlášť.



Obrázek 10 Mapa typů toků Německa

Vliv německé typologie na typologie ostatních států v povodí Dunaje je poměrně zásadní. Německá, rakouská a rumunská typologie je založena na stejných principech, liší se pouze ve výběru volitelných parametrů (v případě Rumunska velký počet volitelných parametrů popisujících klimatické podmínky). Typologie Maďarska byla vytvořena na stejných základech a stejnými institucemi jako typologie německá, jsou v podstatě identické, jen přizpůsobeny podmínkám ekoregionu Maďarské nížiny. Bulharsko doposud vytvořilo typologii pro modelové území řeky Ogosta, použit byl systém A s rozšířením o řádovost toků podle Strahlera.

Typologie vodních toků Rakouska

V rakouské typologii byl použit přístup „a priori, a posteriori“, který je založen na stejném principu jako německý přístup „top-down, bottom-up“. A priori byly na podkladě tematických vrstev a zkušeností vytvořeny abioticky homogenní jednotky, jejichž biotická homogenita byla následně testována pomocí statistické analýzy výsledků terénních pozorování a odběrů. Na základě výsledků statistické analýzy pak byly a posteriori definovány říční typy (Ofenböck, 2004).

Typologie byla vytvořena pomocí systému B. Ze závazných faktorů bylo použito dělení na ekoregiony, velikost povodí, nadmořská výška a geologické podloží, z volitelných pak odtokový režim, řádovost toků

a typy „říční krajiny“ (river landscape types). Celkem bylo a priori vymezeno 17 základních typů a 9 typů pro „velké toky“. Po biologickém ověření homogenity jednotlivých skupin bylo definováno 15 typů regionů, v nichž by měly být abiotické i biotické podmínky relativně homogenní.

Typologie dalších států EU

Francie

Francouzská typologie nebyla v podstatě navržena ani podle systému A, ani systému B. Je postavena na základě řady volitelných parametrů, ale zároveň postrádá povinné parametry systému A. Typologie byla vytvořena na základě konceptu hydro-ekoregionů (HER), pro které byly použity tematické GIS vrstvy charakteristik reliéfu, klimatu a geologie. Společné měřítko jednotlivých vrstev bylo stanoveno na 1:1 000 000. Z geologických charakteristik byla použita mapa litologických podmínek a vlastnosti hornin, hustota říční sítě (jako faktor odolnosti hornin). Z digitálního modelu území byl použit faktor nadmořské výšky, sklony svahů a spády toků. Z klimatických faktorů byly použity roční průměrné srážky, sezónní variabilita srážek, 24h maximum srážek a červencové maximum teplot (Wasson, 2002).

Typy regionů byly vymezeny na základě vizuální interpretace všech vrstev. Byly hledány výrazné diskontinuity v hodnotách jednotlivých faktorů, jejich regionální rozložení a souvislosti. Hlavním cílem bylo minimalizovat variabilitu v rámci jednotlivých typů regionů a maximalizovat variabilitu mezi různými typy regionů. V různých podmínkách měly jednotlivé faktory různou váhu (v alpských oblastech byla hlavním faktorem geologie, ve středomořské oblasti převládaly klimatické faktory). Homogenita jednotlivých typů regionů byla následně testována na populacích bezobratlých (Wasson, 2002).

V rámci hydro-ekoregionů byly definovány dvě hierarchické úrovně – HER-1 odpovídají hlavním fyzicko-geografickým a klimatickým typům, HER-2 by měly vystihovat prostorovou variabilitu HER-1. Pro území Francie bylo vymezeno 22 typů hydro-ekoregionů první úrovně (Wasson, 2002).

Severní Irsko a Velká Británie

V Severním Irsku byl použit systém A, přičemž protože se Irsko nachází v jediném ekoregionu, byly použity pouze faktory nadmořské výšky, velikosti povodí a geologického podloží. Celkem takto bylo vymezeno 12 hlavním typů vodních toků. Systém A byl použit i pro území Anglie, Walesu a Skotska, kde bylo celkem vymezeno 18 typů vodních toků (Murdock, 2005).

Španělsko

Ve Španělsku byl použit systém B a na jeho základě bylo vymezeno 32 typů vodních toků (Carballo, 2008).

Závěr

Nejpodrobněji publikovaná a pravděpodobně i nejpropracovanější je německá typologie, která byla navržena M. Sommerhäuserem. Výhodou této typologie je její komplexnost. Sleduje různé faktory abiotických podmínek a jejich homogenitu v rámci jednotlivých typů pak testuje na faktorech biotických. Typologie a způsob vymezení jednotlivých typů byly převzaty s většími či menšími odlišnostmi řadou států ležících v povodí Dunaje. Nevýhodou typologie je časová i finanční náročnost při její tvorbě i testování.

Slovenská typologie je oproti tomu časově i finančně relativně nenáročná. Vymezení jednotlivých typů však bylo provedeno pouze na základě abiotických podmínek, nebyla testována homogenita v rámci jednotlivých typů, vymezení může být místy příliš „hrubé“ a nemusí odpovídat skutečnosti.

4 Výběr a kategorizace parametrů pro typologii

4.1 Výběr parametrů typologie

Výběr parametrů pro typologii vodních toků vycházel z kombinace různých informačních podkladů a byl řešen vícestupňově.

V první fázi byl definován široký okruh potenciálně využitelných parametrů, vyjadřujících možné obecné zdroje variability monitorovaných složek ekologického stavu toků (viz kap. 3.2). Tento okruh parametrů byl definován na základě okruhu parametrů, požadovaných a doporučovaných Rámcovou směrnicí, dále z rozboru parametrů, využitých pro konstrukci typologií v jiných zemích EU a v neposlední řadě z návrhů řešitelského týmu. Důležitým zdrojem informací pro definici okruhu parametrů, zvažovaných pro typologii byly odpovědi oslovených expertů na dotazníky, ve kterých identifikovali hlavní parametry popisující variabilitu dané složky, vhodné pro konstrukci typologie (viz Příloha II).

V druhém kroku bylo pro jednotlivé možné parametry provedeno vyhodnocení možných datových zdrojů, obecné vypovídací schopnosti a zaměnitelnosti parametrů. Na tomto základě byl vybrán užší okruh parametrů, pro které byly připraveny datové podklady. Tato skupina parametrů byla následně statisticky testována. Cílem testování bylo vybrat parametry, které mají jednak širokou vypovídací schopnost, vyjadřují variabilitu více složek ekologického stavu, a které zároveň nejsou vzájemně závislé.

Na základě vyhodnocení testování byly vybrány základní parametry, použité pro návrh typologie.

4.1.1 Výběr parametrů

V následném kroku byl proveden výběr parametrů, použitých pro vlastní návrh typologie.

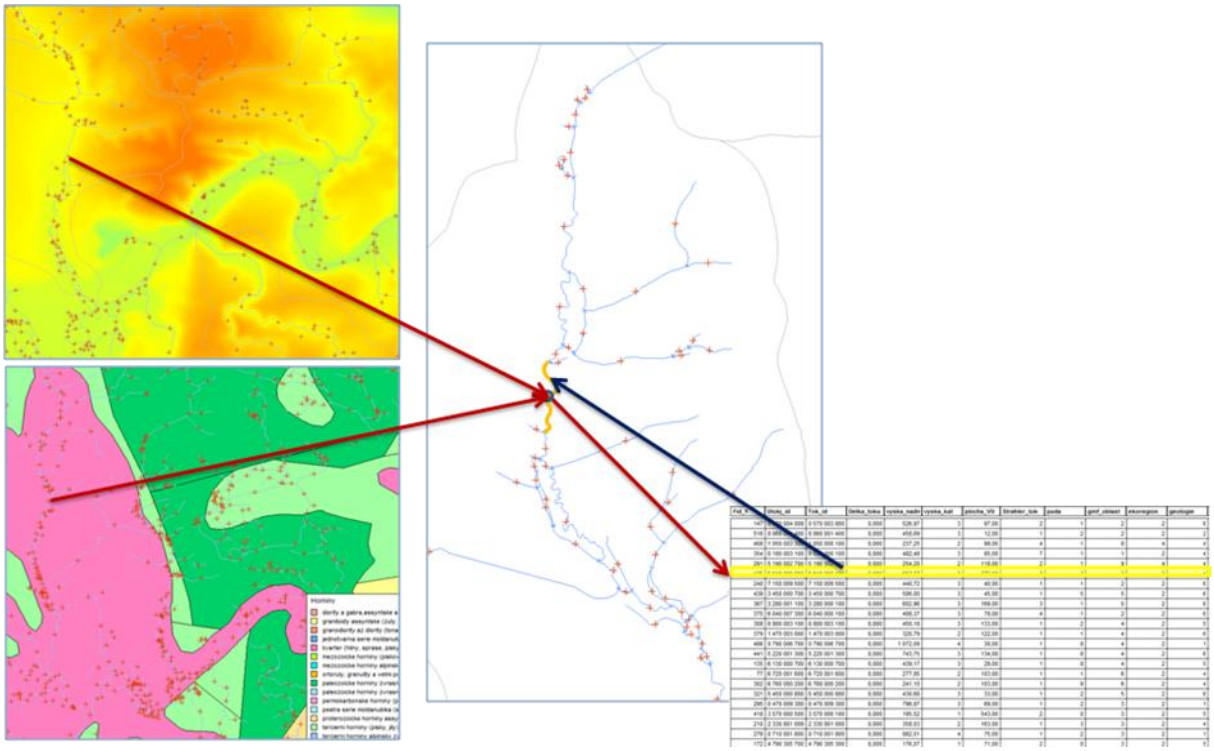
Ze širokého okruhu potenciálních parametrů vybrána užší skupina parametrů, které vyhovovaly většině z výše uvedených kritérií a pro které bylo možné získat nebo odvodit relevantní datové podklady. Do užšího výběru a následného testování byly zvoleny následující parametry (viz Tabulka 12)

Tabulka 12 Datové podklady použité pro výběr a testování parametrů

Parametr	Zdroj dat
Úmoří	Rozvodnice povodí I. řádu pro území ČR. Zdroj dat: DIBAVOD.
Ekoregion	Vrstva hranic ekoregionů dle Illiese, územní rozsah EU, oříznutá hranicemi ČR.
Geomorfologie	Zdroj dat: EEA
Geologie	doplněná vrstva ZABAGED® - Hranice geomorfologické jednotky.
Půda	Zdroj dat: Zeměměřický úřad, VÚV TGM
Nadmořská výška	geologická mapa ČR v měřítku 1:50 000, Zdroj dat: ČGS
Sklon	Digitální mapa vznikla na Katedře pedologie a geologie České zemědělské univerzity pod odborným vedením prof. J. Němečka digitalizací mapy 1: 500 000 a její transformací na digitální data říční (popř. silniční) sítě z dat DMÚ 200 poskytnutých MŽP ČR.
Plocha povodí	Digitální model terénu topogrid, územní rozsah ČR, rozlišení gridu 10 m, vertikální přesnost 1 m. Zdroj dat: DMT vytvořený ve VÚV z dat ZABAGED® (Zeměměřický úřad)
Řád toku	Vrstva odvozená výpočtem sklonitosti z vrstvy DMT v prostředí ArcGIS.

4.1.2 Testování vstupních parametrů

Pro ověření vztahů mezi jednotlivými parametry byly připraveny datové podklady pro jednotlivé vrstvy, které byly následně promítnuty do bodů, představujících těžiště úseků strukturálního modelu DIBAVOD. Tyto body, doplněné o atributová data z jednotlivých datových vrstev, představovaly základní vstupní matici pro hodnocení. Jednalo o celkem 249 904 datových bodů s daty pro následující tematické vrstvy: úmoří, ekoregion, geomorfologická oblast, geologie, půdy, nadmořský výška, řád toku, plocha povodí. Schéma geoinformatického řešení j na obrázku 11.

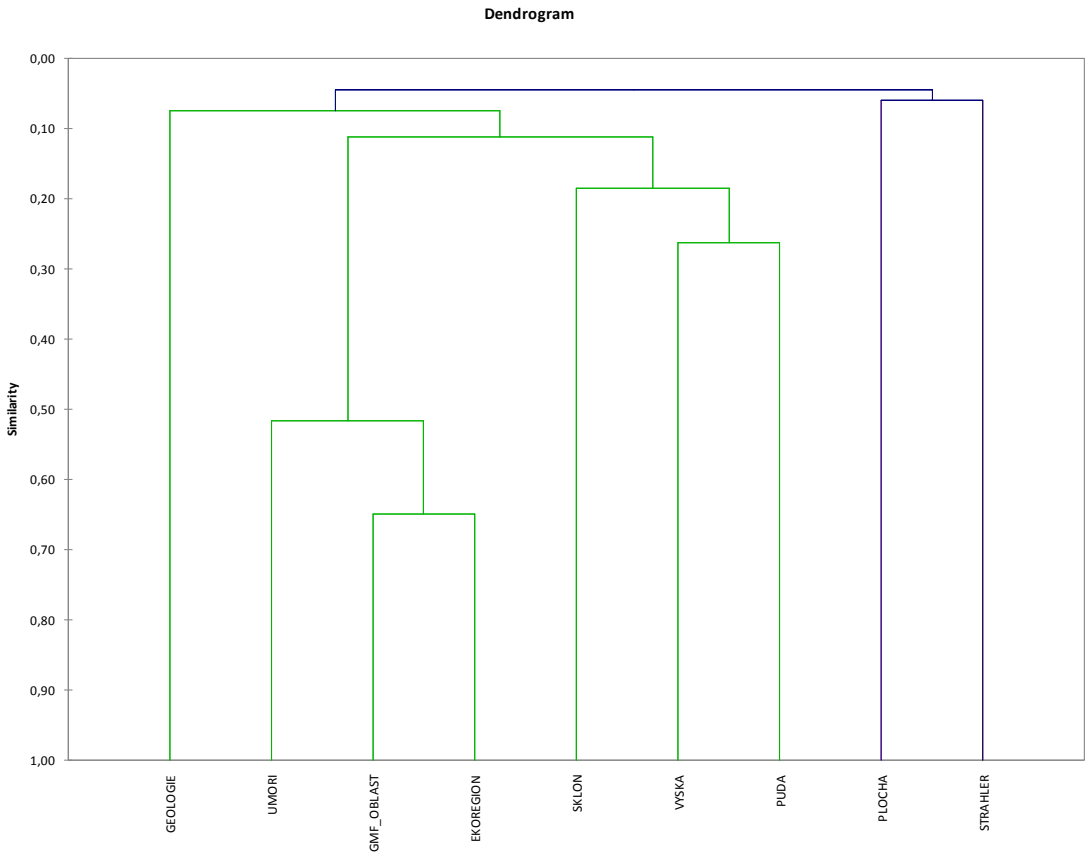


Obrázek 11 Geoinformatické řešení integrace dat

Jedním z typů využitých vstupních informací jsou morfometrické charakteristiky reliéfu, které lze odvodit z digitálního modelu reliéfu (DMR). Jedná se zejména o nadmořskou výšku, lokální výškovou členitost nebo podélný sklon úseku koryta. Nadmořskou výšku je možné odečíst přímo z rastru DMR pro každý centerpoint. Lokální výšková členitost byla vypočtena jako rozdíl maximální a minimální nadmořské výšky v kruhovém okolí o poloměru 2 km od daného centerpointu. Podélný sklon koryta je definován jako podíl výškového rozdílu mezi počátkem a koncem daného úseku a délkou linie toku a je uváděn v promile (‰).

Zvolené parametry byly následně statisticky testovány vzájemně i z hlediska vzájemných vazeb s možnými alternativními parametry. Cílem testování bylo ověřit vhodnost výběru parametrů s ohledem na možné alternativní datové vstupy a ověřit vzájemnou nezávislost zvolených parametrů.

Pro ověření vzájemných vazeb parametrů byla použita shluková analýza, konkrétně metoda aglomeračního hierarchického shlukování (AHC), hodnotící míru vzdálenosti objektů (Meloun a Militký, 2004), přičemž jako kritérium vzdálenosti byl použit Pearsonův korelační koeficient (obrázek. 12).



Obrázek 12 Shluková analýza uvažovaných datových podkladů bez kategorizace

Výsledky analýzy ukazují na následující vazby mezi uvažovaným parametry:

Ekoregion, geomorfologie, úmoří. Ekoregion vykazuje velmi výrazné vazby s geomorfologickou oblastí, oba parametry dohromady navíc s úmořím. Lze si tedy vybrat, který parametr použít pro klasifikaci. Vymezení geomorfologických oblastí v sobě zahrnuje výškové poměry, a zdvojuje tak vliv nadmořské výšky – pro klasifikaci je proto použití tohoto parametru nevhodné.

Nadmořská výška, sklon, půdy – sklony a kategorie půdy korelují s nadmořskou výškou, ta představuje nosný parametr i pro další prvky (klima, režim odtoku), proto je použita jako hlavní parametr, dále uvažovaný v hodnocení.

Geologie je relativně nezávislý parametr, vazby jsou až na horní hierarchické úrovni. Dále je ponechána jako samostatný parametr

Plocha povodí, Strahler – plocha povodí koreluje slabě s řádem toku dle Strahlera. Problematická kategorizace – závislost na způsobu vymezení VÚ, tj. na řádu toku. Jako nosný parametr je dále uvažována řádovost dle Strahlera.

4.1.3 Základní parametry typologie

Na základě výsledků testování byly pro návrh typologie vybrány čtyři parametry:

- Úmoří
- Nadmořská výška
- Geologie
- Řád toku

4.2 Kategorizace parametrů

Po výběru hlavních parametrů představuje další klíčový prvek typologie jejich vhodná kategorizace.

Členění parametrů do kategorií bylo prováděno s ohledem na následující kritéria:

- odlišení hlavních kvalitativních vlastností parametrů ve vztahu ke složkám ekologického stavu toků
- respektování kategorizace doporučené RS a souvisejících Guidances
- snaha o minimalizaci počtu kategorií s ohledem na přehlednost systému

Pro jednotlivé parametry - úmoří, nadmořská výška, geologie, řád toku byly v prostředí GIS testovány různé varianty kategorizace. U části parametrů (úmoří, nadmořská výška) byla kategorizace relativně jednoznačná, u ostatních parametrů bylo zvažováno více variant. Při výběru jednotlivých variant kategorizace byl zároveň vždy uvažován a testován souhrnný vliv kategorizace daného parametru na výsledné členění typů s cílem zachovat logičnost členění a respektovat prostorovou homogenitu.

4.2.1 Parametry typologie a jejich kategorizace

Úmoří

Příslušnost toků k povodí, resp. úmoří, je základní funkční charakteristikou hydrologického prostředí, propojeného tokem látek (média, tj. vody, i unášeného materiálu a rozpuštěných látek) a energetickým gradientem. Spojitým vodním prostředím se šíří naprostá většina vodních živočichů a rostlin, naopak rozvodí představují bariéry šíření, proto považujeme členění podle úmoří za velmi vhodné jako jeden ze vstupů do typologie, určené pro hodnocení biotických složek. Příslušnost k úmořím je velmi jednoduchým parametrem, který jako jediný není problematický z hlediska kategorizace, ani s datovými podklady v tomto případě není problém.

Pro výběr úmoří jako základního regionalizačního parametru namísto ekoregionu byly navíc důležité poznatky o nevhodnosti použití ekoregionů pro území ČR, vycházející z výsledků programu STAR i dalších studií, které naopak ukázaly na větší význam příslušnosti k povodí (Zahrádková 2005).

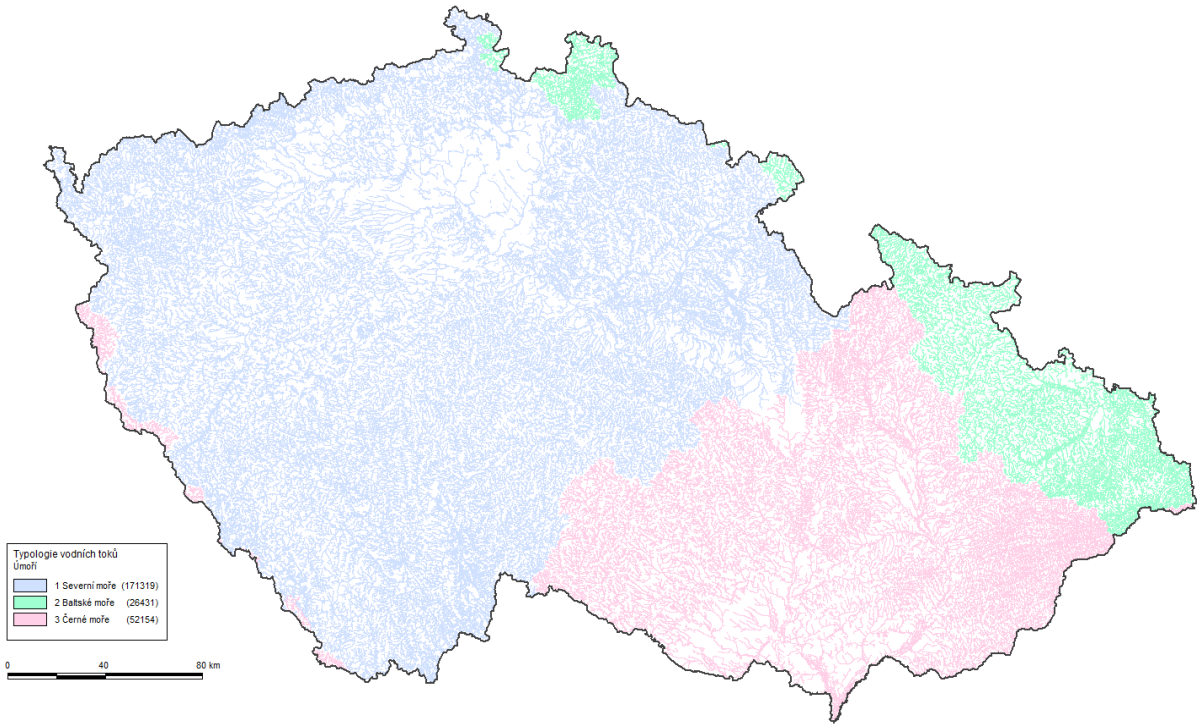
Z hlediska kategorizace úmoří je situace poměrně jednoduchá – Česká republika je členěna do tří úmoří:

- Severní moře - povodí Labe, které až na výjimky pokrývá téměř celé Čechy;
- Baltské moře – povodí Odry a Nisy, čili severní Morava a poměrně malé oblasti v severních a východních Čechách;
- Černé moře – povodí Moravy a Dyje, čili převážná část Moravy, a povodí Dunaje, čili relativně nevýznamné oblasti v pohraničí jižních a západních Čech.

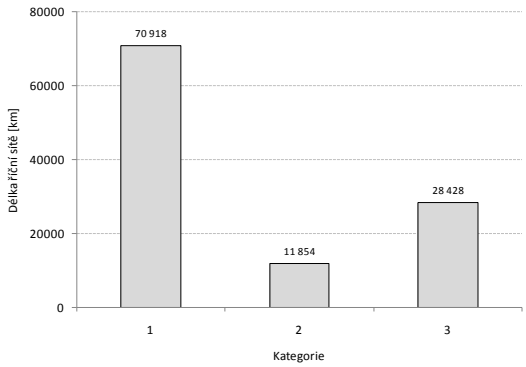
Navržená kategorizace toky ČR člení to tří výše uvedených úmoří, přičemž pro klasifikaci jsou povodím přiřazeny následující kódy (Tabulka 13, obrázek 13).

Tabulka 13 Kategorizace úmoří

úmoří	Severní moře	Baltské moře	Černé moře
kategorie	1	2	3



Obrázek 13 Kategorizace úmoří



Obrázek 14 Podíl kategorií úmoří na celkové délce říční sítě

Z hlediska četnosti výskytu i rozsahu pokrytí říční sítě je nejrozsáhlejší úmoří Severního moře, které pokrývá necelých 71 tis. km říční sítě, úmoří Černého moře 28,4 tis. km a nejmenší zastoupení připadá na úmoří Baltského moře s necelými 12 tis. km toků (Obrázek 14).

Nadmořská výška

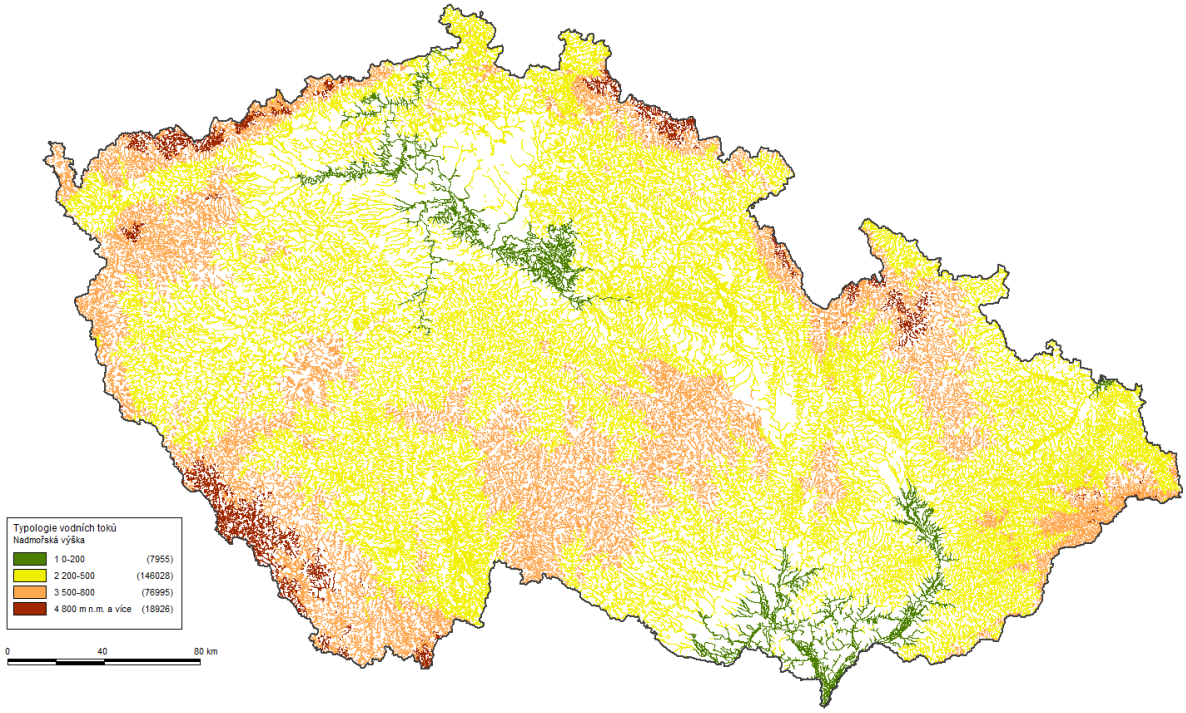
Nadmořská výška je komplexním parametrem, který do značné míry vypovídá o klimatických poměrech, které jsou zásadní pro charakter stanoviště. Jedná se zejména o teploty a jejich roční průběh, příjem srážek, zamrzání toků a podobně.

Nadmořská výška je z hlediska kategorizace dobře uchopitelnou charakteristikou, nicméně pro nastavení výškových hranic existuje celá řada možností. Obě stávající tuzemské metodiky využívají, stejně jako metodika slovenská, kategorie doporučené RS s vloženou hranicí ve výšce 500 m n.m. Výsledkem jsou čtyři kategorie - méně než 200 m n.m., 200 – 500, 500 – 800 a více než 800 m n.m.
V rámci návrhu typologie jsme testovali několik variant, nicméně podle výsledků testů rozložení a zastoupení jednotlivých kategorií vyplynulo, že toto členění (tedy s hranicemi 200, 500 a 800 m.n.m.) je optimální variantou, která nejlépe vystihuje hypsometrický charakter reliéfu ČR. Použitá kategorizace poměrně dobře odlišuje nížinné toky, toky pahorkatin, toky vrchovin a horské toky.

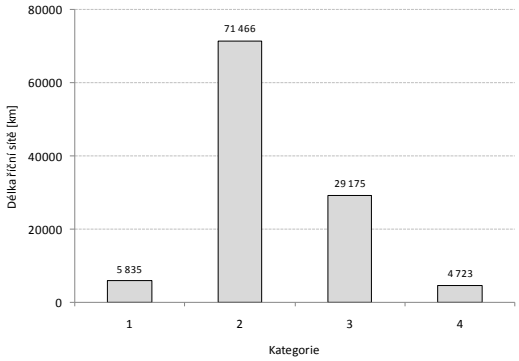
Tabulka 14 Kategorizace nadmořské výšky

nadmořská výška [m n.m.]	*<200*	*200-500*	*500-800*	*>800*
kategorie	1	2	3	4

Grafické zobrazení toků spadajících do jednotlivých kategorií nadmořských výšek podává obrázek 15, obrázek 16 potom zachycuje zastoupení jednotlivých kategorií.



Obrázek 15 Kategorizace nadmořských výšek



Obrázek 16 Podíl kategorií nadmořské výšky na celkové délce říční sítě

Geologie

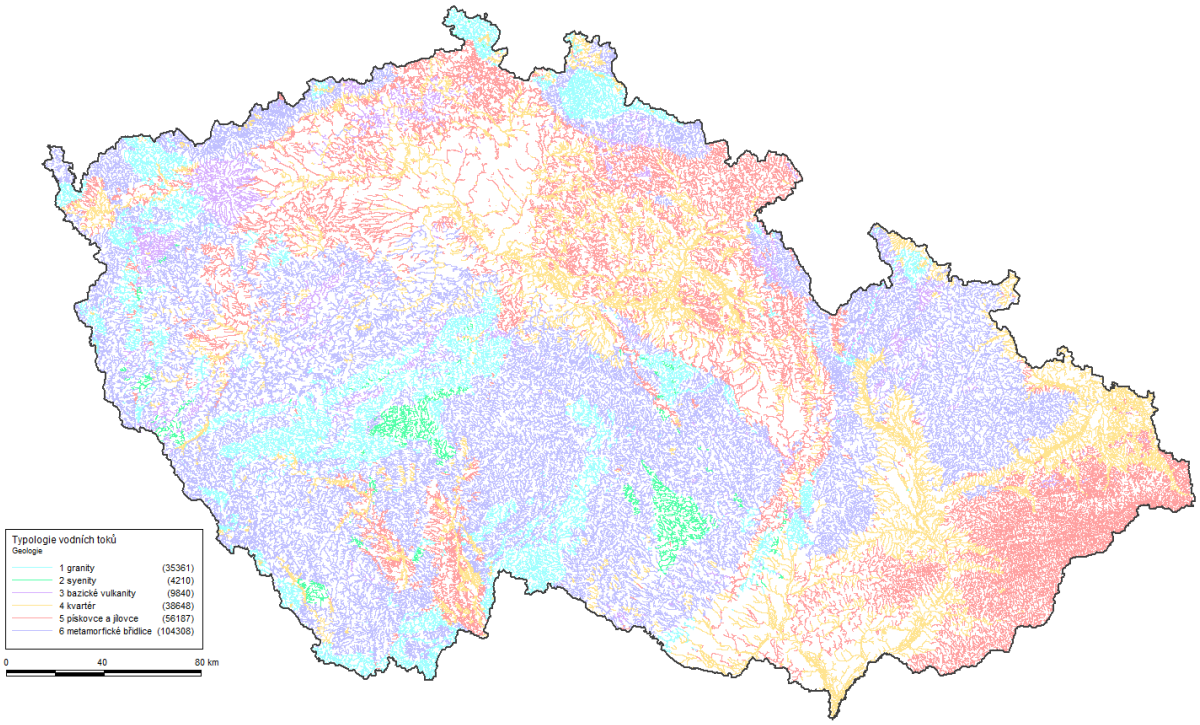
Vliv geologického podloží na charakter stanovišť na jednotlivých úsecích vodních toků je několikerého typu. Minerální a chemické složení hornin, rozpustnost a další geochemické vlastnosti ovlivňují zastoupení rozpuštěných látek ve vodním prostředí a řídí tak zejména kyselost či zásaditost vody, složení a množství živin (trofismus), atd. Podloží dále ovlivňuje charakter toků prostřednictvím svých mechanických a pevnostních vlastností, které dále ovlivňují například množství a charakter unášeného materiálu a tím i substrát dna toků, meandrování nebo zahlubování toků.

Z hlediska kategorizace představuje geologie velmi obtížný problém vzhledem ke složité a členité geologické a petrografické stavbě území České republiky. Rámcovou směrnicí doporučené dělení na horniny křemité, vápnité, organické a smíšené, použité v typologii SRN, je pro naše poměry nepoužitelné vzhledem k relativně malému a navíc silně mozaikovitému zastoupení karbonátových hornin, organické

substráty se navíc prakticky nevyskytují. Skutečné karbonáty (krystalické vápence, jurské vápence, mramory, erlany) se vyskytují jako drobné vložky nebo čočky v několika oblastech ČR (Pošumaví, Pavlovské vrchy, Javořičsko, Rychlebské hory, aj.), jedinými rozsáhlejšími souvislými oblastmi budovanými karbonáty je západní část Drahanské vrchoviny (Moravský kras) a část Barrandienu (Český kras). Říční síť v krasových oblastech nicméně není příliš hustá, navíc jimi protéká málo významnějších toků, jedinou výjimkou je Berounka mezi Berounem a Třebání, úsek je nicméně kratší než 10 km a nemá tedy zásadní význam pro změnu chemismu vody.

Z geologického pohledu lze území České republiky rozdělit do několika výrazně odlišných oblastí. Je to zejména oblast krystalinika Českého masivu, tvořená převážně metamorfity a granitoidy, v níž vystupují menší oblasti převážně bazických vulkanitů (České středohoří, Doupovské hory a řada lokálních výskytů), a která je zčásti překryta mladšími (druhohorními a terciérními) sedimenty. Zcela odlišnou jednotkou je na území ČR zasahující část západních Karpat, konkrétně oblast karpatského flyše, tvořená sedimentárními horninami. K tomu ještě přistupuje kvartérní aluvium v údolích velkých řek (Labe, Morava, Dyje).

Základní kategorizace vycházela z celkem 6 kategorií (viz obr. 16) - granity, syenity, bazické vulkanity, kvartér, pískovce a jílovce, a metamorfity.



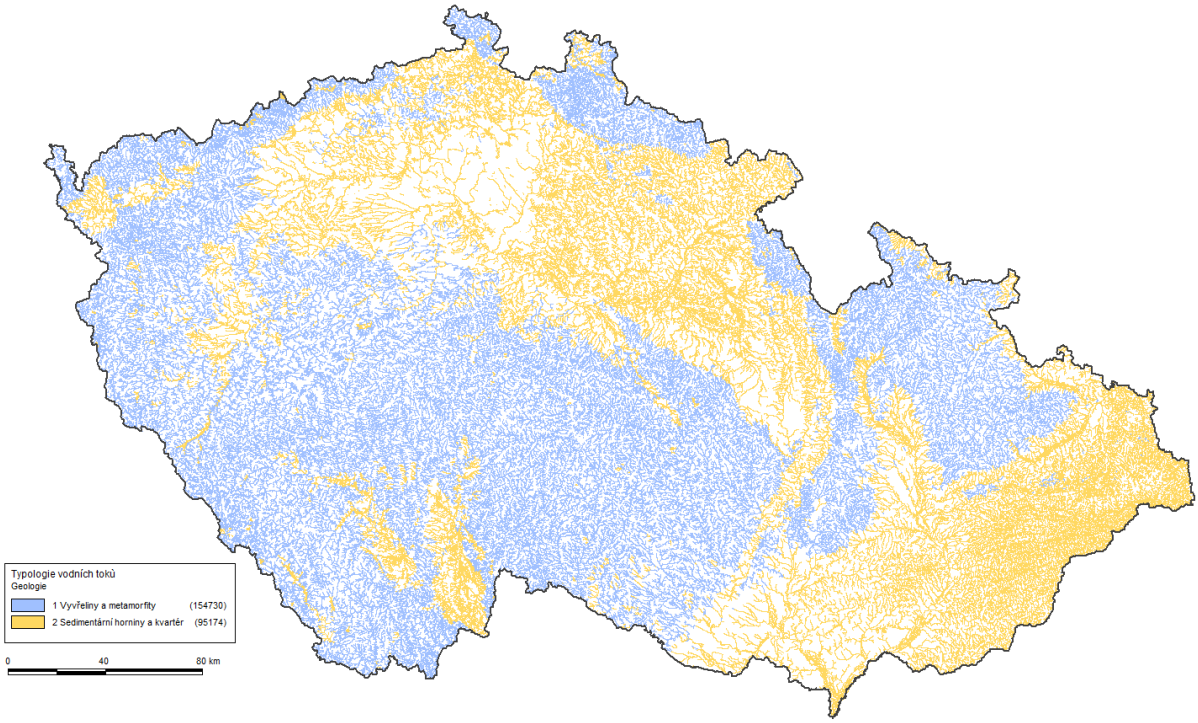
Obrázek 17 Základní varianta kategorizace geologie

Z obrázku je patrná značná mozaikovitost geologické stavby, navíc při použitých šesti kategoriích by byl výsledný počet typů příliš velký a řada typů by byla zastoupena jen okrajově. Testovali jsme tedy další varianty, přičemž jako optimální se jeví rozdělení pouze na horniny metamorfní a vyvřelé na straně jedné, na straně druhé pak horniny sedimentární a kvartér (Tabulka 15). Toto rozdělení, ač pomíjí rozdílné geochemické vlastnosti jednotlivých typů hornin, je na druhou stranu logické v tom, že uvažuje jejich odlišnou diagenezi a z ní vyplývající rozdílné fyzikální vlastnosti, které mají velký vliv na morfologii koryt vodních toků. Rovněž zčásti vystihuje trofické vlastnosti podloží.

Navržená kategorizace tedy je

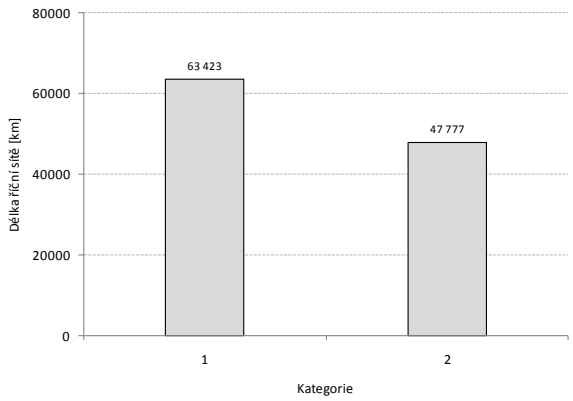
Tabulka 15 Kategorizace geologie

geologie	metamorfity a vyvřeliny	sedimentární horniny a kvartér
kategorie	1	2



Obrázek 18 Výsledná kategorizace geologie

Grafické zobrazení toků spadající do jednotlivých kategorií geologie podává obrázek 18, zastoupení kategorií obrázek 19.



Obrázek 19 Podíl kategorií geologie na celkové délce říční sítě

Strahlerův řád toku

Velikost toku je možné vyjádřit prostřednictvím různých parametrů, které mezi sebou zpravidla významně korelují. Mezi hlavní parametry patří akumulovaná plocha povodí nad daným profilem, řád toku podle Strahlera, nebo vzdálenost od pramene. Řád toku byl zvolen s ohledem na fakt, že sekundárně odráží i další související parametry, které jsou pro ekologický stav toků podstatné - průtok, částečně hloubka, šířka koryta.

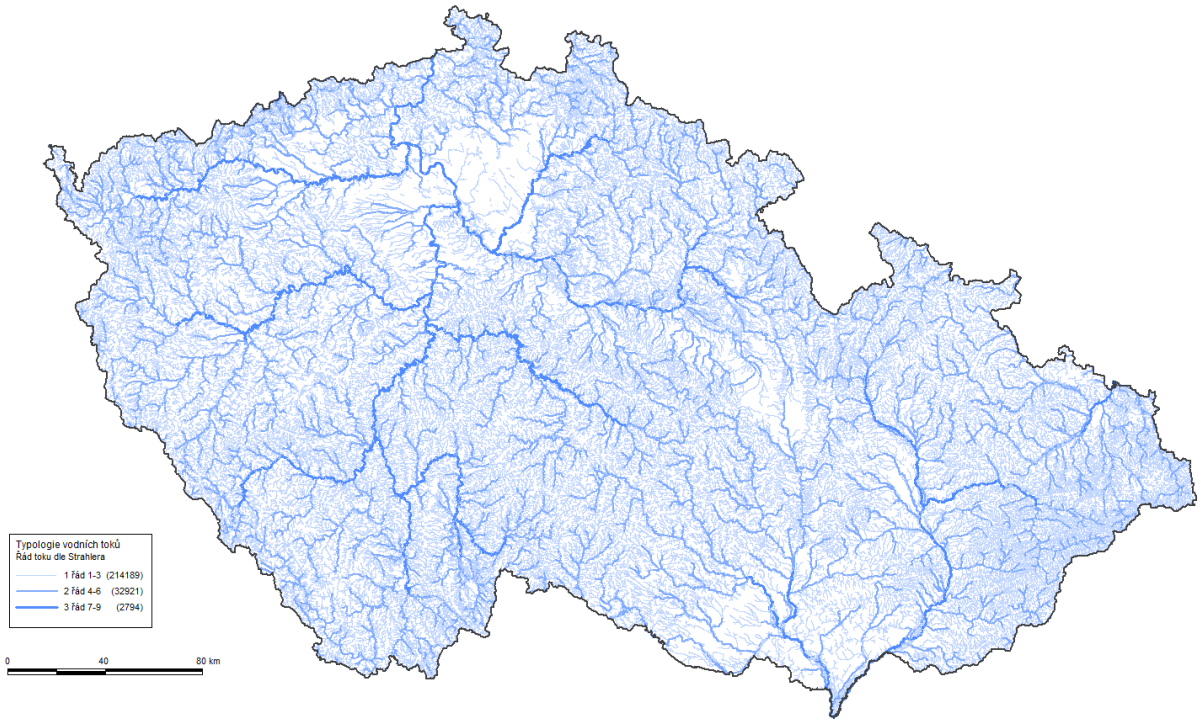
Relativní řádovost podle Strahlera vychází z následujícího principu: pramenné úseky toků mají hodnotu řádu 1, ke zvýšení řádu dochází vždy na soutoku dvou zdrojnic se stejným řádem. Při soutoku dvou toků s různou hodnotou řádu se řád nemění (na rozdíl od tzv. Shreeveho magnituda). Tato charakteristika proto velmi dobře popisuje relativní velikost vodního toku v dané síti i vazby na další parametry, známé ze základních poznatků kvantitativní hydrologie (Horton 1945; Strahler 1957; Hellweger and Maidment 1999) a potvrzené provedenou kvantitativní analýzou na datech pro území ČR.

Strahlerův řád toku vystihuje velice dobře velikost toku a koreluje s řadou dalších charakteristik. Po testování několika variant se jako optimální ukázalo rozdělení do tří kategorií, a to:
potoky (řád 1 – 3), říčky (řád 4 – 6) a velké řeky (řád 7 – 9). Navržená kategorizace tedy je následující (viz Tabulka 16).

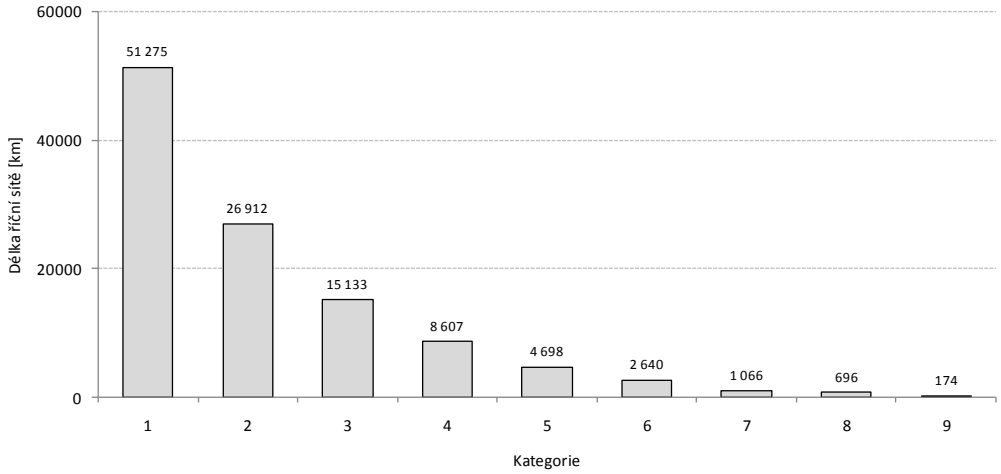
Tabulka 16 Kategorizace řádu toku

Strahlerův řád toku	**1 – 3**	**4 – 6**	**7 – 9**
kategorie	1	2	3

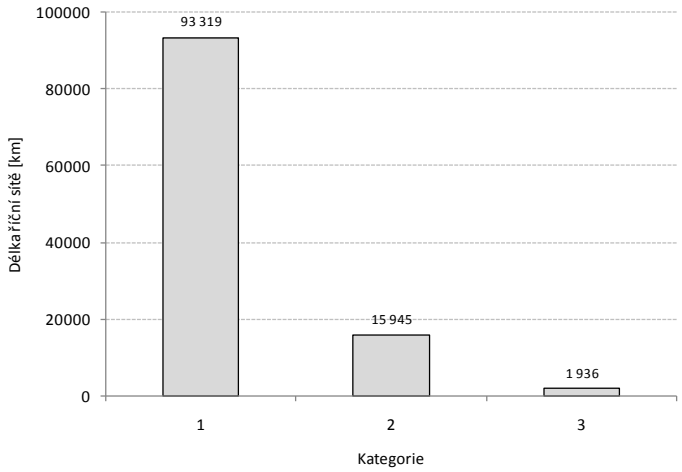
Grafické zobrazení toků spadající do jednotlivých kategorií nadmořských výšek podává obrázek 20. Na obrázku 21 ke znázorněno zastoupení jednotlivých řádu podle délky říční sítě, obrázek 22 potom ukazuje zastoupení kategorií podle celkové délky sítě.



Obrázek 20 Kategorizace říční sítě dle Strahlerova řádu toku



Obrázek 21 Podíl toků rozčleněných dle Strahlerova řádu na celkové délce říční sítě



Obrázek 22 Podíl kategorií řádu toku na celkové délce říční sítě

4.2.2 Výsledné kategorie typologie

Přehled výsledných kategorií parametrů typologie a četnost výskytu jednotlivých kategorií na celkovém počtu úseků modelu říční sítě DIBAVOD shrnují tabulky 17 a 18.

Tabulka 17 Výsledné kategorie typologie toků a vodních útvarů

Parametr	Počet kategorií	Kategorie
Úmoří	3	Severní moře Baltské moře Středozemní moře
Nadmořská výška	4	< 200 m.n.m. 200-500 500-800 800 a více
Geologie	2	Krystalinikum a vulkanity Pískovce, jílovce, kvartér
Strahler	3	Potoky (řád 1-3) Říčky (řád 4-6) Řeky (řád 7-9)

Tabulka 18 Četnost zastoupení jednotlivých kategorií vybraných parametrů

Parametr	Kategorie	Četnost	% podíl
umoří	1	171319	68,554
	2	26431	10,576
	3	52154	20,870
výška	1	7955	3,183
	2	146027	58,433
	3	76996	30,810
	4	18926	7,573
geologie	1	154730	61,916
	2	95174	38,084
řád	1	214189	85,709
	2	32921	13,173
	3	2794	1,118

4.2.3 Testování kategorizovaných parametrů

Pro kategorizované parametry bylo provedeno testování nezávislosti parametrů, které mělo za cíl ukázat, zda použitá kategorizace nevedla k zamlžení rozdílů mezi parametry a vytvořené kategorie nejsou substituovatelné. Pro testování byla použita vstupní datová matice 249 904 datových bodů s atributovými daty, odpovídajícími kategorizovaným parametrům. Jako testovací techniky byly použity korelační analýza a shluková analýza.

Korelační analýzaTabulka 19 Korelační analýza vztahů mezi klasifikovanými parametry typologie

Correlation matrix (Pearson):

Variables	UMORI_KAT	VYSKA_NADM	GEOLOGIE_K	STRAHLER_K
UMORI_KAT	**1**	**-0,086**	**0,133**	**-0,019**
VYSKA_NADM	**-0,086**	**1**	**-0,428**	**-0,141**
GEOLOGIE_K	**0,133**	**-0,428**	**1**	**0,030**
STRAHLER_K	**-0,019**	**-0,141**	**0,030**	**1**

Values in bold are significantly different from 0 with a significance level alpha=0,05

p-values:

Variables	UMORI_KAT	VYSKA_NADM	GEOLOGIE_K	STRAHLER_K
UMORI_KAT	**0**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
VYSKA_NADM	**< 0,0001**	**0**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
GEOLOGIE_K	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**0**	**< 0,0001**
STRAHLER_K	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**0**

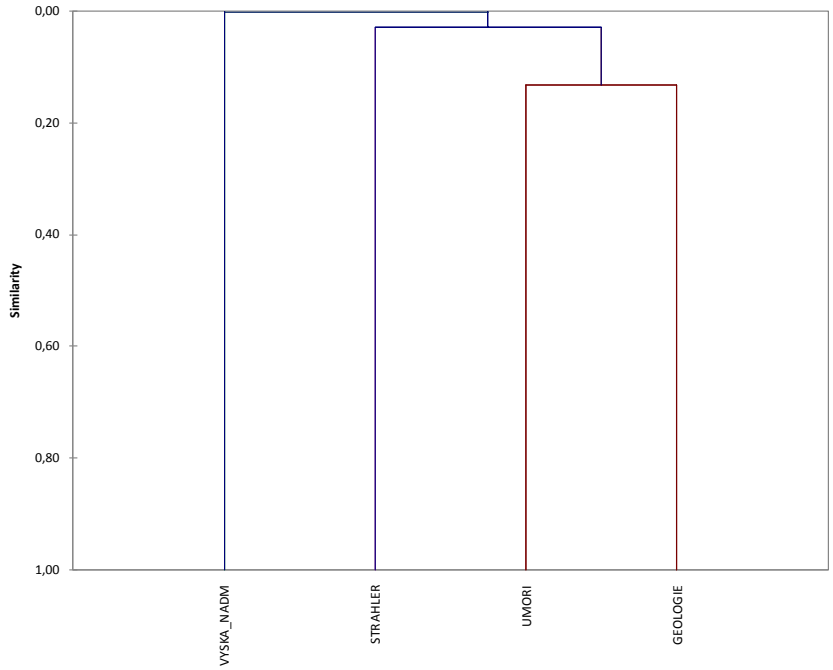
Values in bold are significantly different from 0 with a significance level alpha=0,05

Coefficients of determination (R_c):

Variables	UMORI_KAT	VYSKA_NADM	GEOLOGIE_K	STRAHLER_K
UMORI_KAT	**1**	**0,007**	**0,018**	**0,000**
VYSKA_NADM	**0,007**	**1**	**0,183**	**0,020**
GEOLOGIE_K	**0,018**	**0,183**	**1**	**0,001**
STRAHLER_K	**0,000**	**0,020**	**0,001**	**1**

Shluková analýza

Jako základní metoda pro shlukovou analýzu bylo použito Aglomerační hierarchické shlukování (AHC), hodnotící míru vzdálenosti objektů, jako kritérium vzdálenosti byl použit Pearsonův korelační koeficient, jako aglomerační metoda Single linkage. Vstupní matice dat obsahovala soubor 249 904 bodů.



Obrázek 23 Shluková analýza klasifikovaných parametrů, použitých pro typologii

4.2.4 Výsledky testování

Zvolené parametry jsou jak v nekategorizované, tak kategorizované podobě navzájem nezávislé, kategorizace nezměnila rozdíly mezi parametry. U shlukové analýzy agregace nastává až na nejvyšší úrovni, což opět potvrzuje vysokou míru nezávislosti parametrů.

Zvolené parametry a jejich kategorie proto lze považovat za nezávislé a lze je použít pro konstrukci typologie.

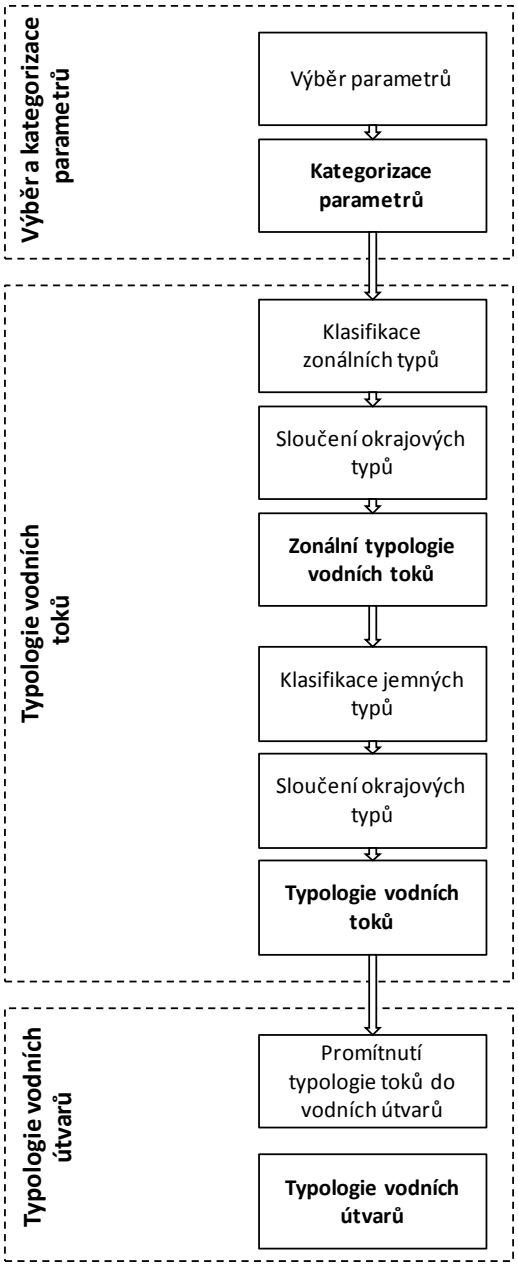
5 Typologie vodních toků a vodních útvarů

5.1 Postup zpracování typologie

Při konstrukci typologie vodních útvarů je dle našeho názoru primární typologie vodních toků, která musí předcházet typologii vodních útvarů, které představuji arbitrárně vymezené správní jednotky. Z hlediska požadavků RS vyplývá, že jednotlivé vodní útvary musí být z hlediska typologie homogenní. Typologie vodních toků proto musí předcházet vymezení a typologii vodních útvarů.

Na tomto východisku je založen zvolený postup při vytváření typologie vodních toků a vodních útvarů.

Použitý postup sestával ze sledu následujících kroků (obrázek 24):



Obrázek 24 Postup zpracování typologie vodních toků a vodních útvarů

První fázi typologie představuje odvození typů vodních toků.

V prvním kroku jsou vytvořeny tzv. zonální typy vodních toků, vytvářené parametry, které mají výrazný zonální charakter:

- Úmoří
- Nadmořská výška
- Geologie.

Tyto zonální typy popisují základní regionální variabilitu abiotických podmínek pro společenstva vodních toků a zároveň je možné toto členění považovat za regionalizaci, tj. rozčlenění plochy území na areálové regiony, jejichž uvažované vlastnosti jsou maximálně homogenní uvnitř a maximálně heterogenní vůči okolí. Hlavní výhodou regionalizace je možnost popisu vlastností pomocí charakteristiky polohy - tj. například horské toky na krystaliniku v povodí Vltavy lze zjednodušeně označit jako Šumavské toky.

Typy jsou vytvořeny prostorovou kombinací uvedených zonálních vrstev ve výše uvedeném pořadí. Výsledný kód zonálního typu toku je proto trojmístný v pořadí úmoří – nadmořská výška – geologie. Čísla kódů odpovídají kategorizaci parametrů, uvedené v Tabulce 20. V následném kroku je vyhodnocen výskyt potenciálně okrajových typů. Typy, které představují rozsahem okrajové kategorie a které je možné bez ztráty obsahové hodnoty spojit se sousedními, jsou takto sloučeny.

V následném kroku je do zonálních typů promítnut parametr řádovosti říční sítě. Tento parametr má oproti předchozím liniový charakter a je proto třeba jej z hlediska pravidel geografické regionalizace zařadit až za parametry zonální. Výsledné jemné členění vznikne přiřazením kategorie řádu toku ke sloučeným zonálním typům. Kód typu je čtyřmístný, v pořadí úmoří – nadmořská výška – geologie – řád toku. Po klasifikaci opět proběhne ověření a sloučení okrajových typů, přičemž výsledné kategorie představují typologii vodních toků.

Tabulka 20 Kódování parametrů typologie

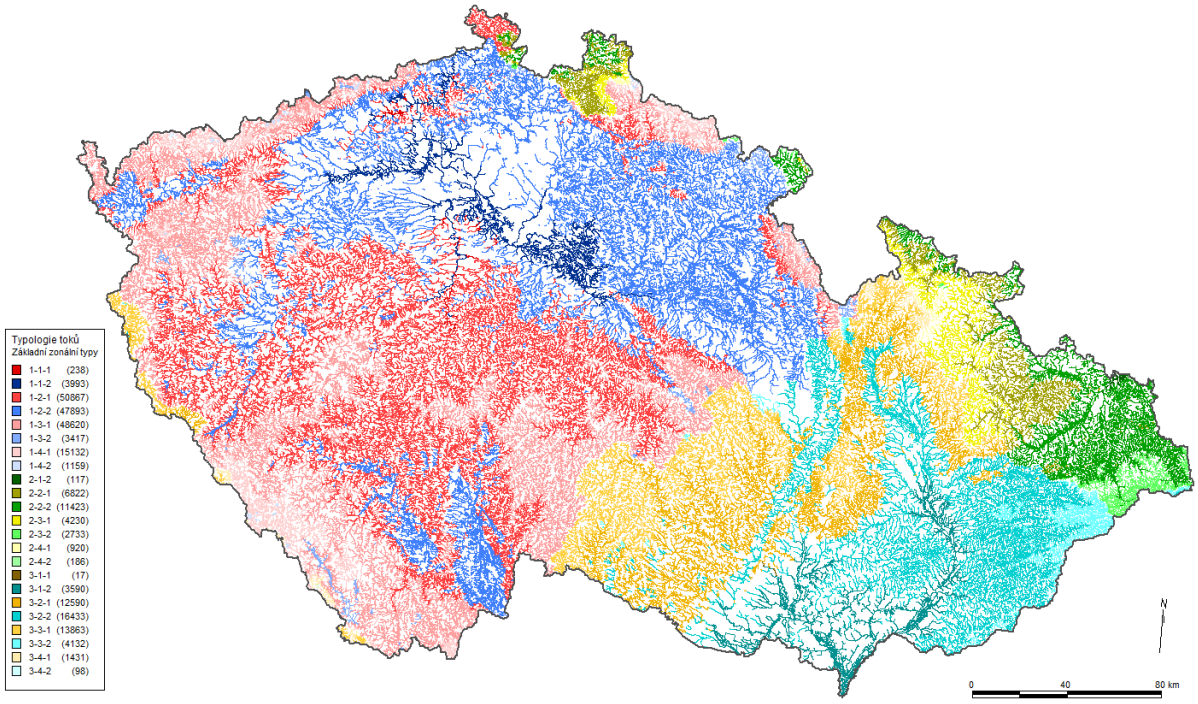
Parametr	Kód	Kategorie
Úmoří	1	Severní moře
	2	Baltské moře
	3	Středozemní moře
Nadmořská výška	1	< 200 m.n.m.
	2	200-500
	3	500-800
	4	800 a více
Geologické podloží	1	Krystalinikum a vulkanity
	2	Pískovce, jílovce, kvartér
Řád toku dle Strahlera	1	Potoky (řád 1-3)
	2	Říčky (řád 4-6)
	3	Řeky (řád 7-9)

Typologie vodních útvarů vznikne propojením typologie vodních toků s vymezenými vodními útvary. Z hlediska aktuálního nastavení vymezení vodních útvarů v ČR (Fuksa et al. 2005) jde o promítnutí typologie vodních toků modelu DIBAVOD do systému ploch povodí vodních útvarů.

5.2 Vymezení zonálních typů vodních toků

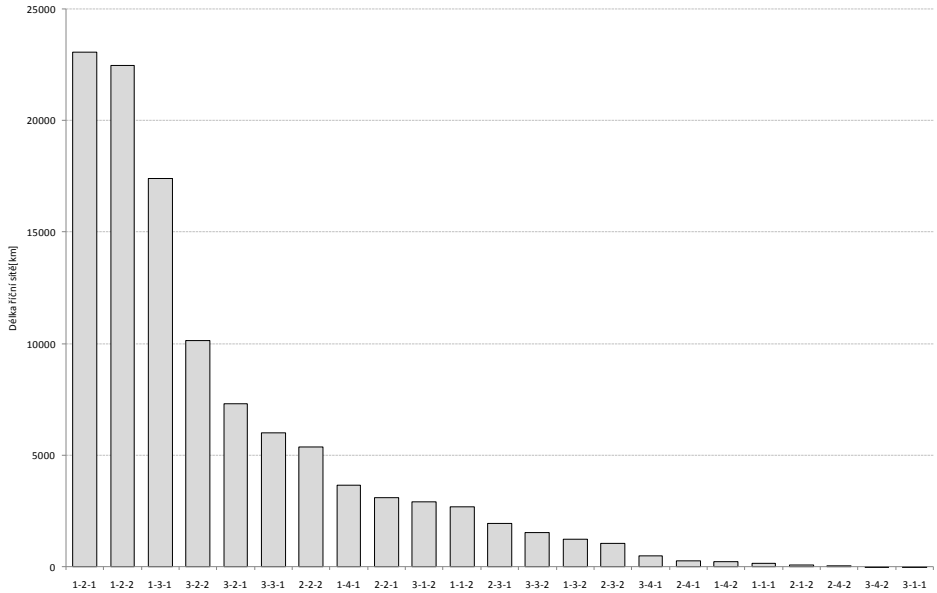
5.2.1 Základní zonální členění

Kombinací základních zonálních parametrů, které představují úmoří, výška a geologie, kategorizovaných dle tabulky 19 je vytvořena základní zonální typologie vodních toků. Základní zonální členění představuje celkem 23 základních typů vodních toků (obrázek. 25).



Obrázek 25 Základní zonální typy toků

Frekvenční zastoupení ukazuje na výrazné rozdíly v četnosti pokrytí říční sítě jednotlivými typy. Pět nejčetnějších typů pokrývá více než 72% délky říční sítě, přičemž z nichž každý z nich reprezentuje více než 5% délky toků (obrázek 26). Naproti tomu 5 nejméně frekventovaných typů pokrývá dohromady méně než 0,3 % délky říční sítě.



Obrázek 26 Podíl základních zonálních typů na celkové délce říční sítě ČR

5.2.2 Okrajové typy

Z výsledných 23 typů má celkem pět typů velmi malé zastoupení jak z hlediska frekvence výskytu, tak z hlediska podílu na celkové délce říční sítě. Jedná se o typy 111, 142, 212, 311 a 342. Tyto málo četné typy představují dohromady méně než 0,3 % délky klasifikované říční sítě, přičemž nejméně četný typ sestává z pouhých 17 úseků.

Přestože uvedené typy mají v celkovém rozložení typologie malé zastoupení, není možné je mechanicky eliminovat a vyřadit z dalšího hodnocení, protože představují v některých případech sice málo četné, ale funkčně charakteristické jednotky.

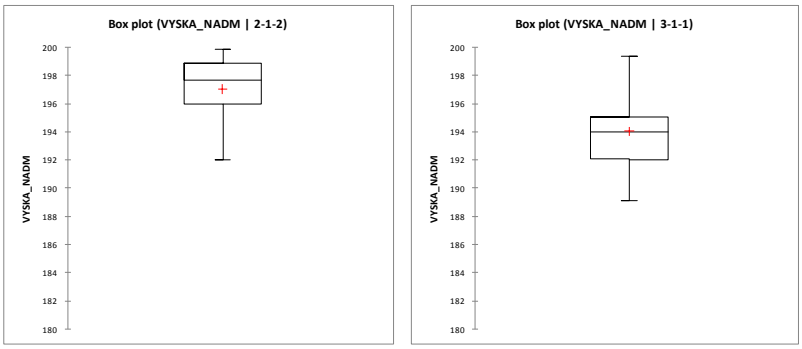
Případné sloučení těchto málo četných typů s jiným typem je možné pouze v případě, že toto sloučení bude věcně oprávněné a nezanese do další úrovně členění systematickou chybu. Generalizace by neměla pominout specifické typy, potenciálně významné z hlediska ovlivnění monitorovaných složek. Kritériem pro označení typu za okrajový by tak vedle minimální četnosti měla být funkční substituovatelnost typů. Z hlediska použitých parametrů se v tomto ohledu jako nejvhodnější parametr jeví nadmořská výška, která má na rozdíl od geologie a úmoří spojitý charakter a kde arbitrárně stanovené hranice pro jednotlivé složky nepředstavují absolutní rozlišovací kritérium (Marvan, 2009).

Statistická analýza variability nadmořské výšky v jednotlivých typech ukázala na dva typy, které je možné označit za okrajové a které je možné bez významné chyby sloučit s typem sousedním – jde o typy 2-1-2 a 3-1-1. (Tabulka 21).

Tabulka 21 Variabilita hodnot nadmořské výšky pro základní typy toků

Statistic	1-1-1	1-1-2	1-2-1	1-2-2	1-3-1	1-3-2	1-4-1	1-4-2	2-1-2	2-2-1	2-2-2	2-3-1	2-3-2	2-4-1	2-4-2	3-1-1	3-1-2	3-2-1	3-2-2	3-3-1	3-3-2	3-4-1	3-4-2
No. of observations	238	3993	50866	47893	48621	3417	15132	1159	117	6822	11423	4230	2733	920	186	17	3590	12590	16433	13863	4132	1431	98
No. of missing values	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minimum	131,370	114,970	200,040	200,000	500,000	500,030	800,000	800,330	189,870	208,160	200,000	500,020	500,090	800,380	800,230	189,090	145,290	200,640	200,000	500,000	500,000	800,140	800,110
Maximum	199,750	199,990	499,990	499,990	799,990	799,630	1483,580	1520,210	199,920	499,890	499,980	799,650	799,860	1324,260	1029,730	199,380	199,990	499,990	499,990	799,550	799,030	1344,450	978,140
Freq. of minimum	1	1	1	1	7	2	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	2	1	1	1
Freq. of maximum	1	1	8	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1
Range	68,380	85,020	299,950	299,990	299,990	299,600	683,580	719,880	10,050	291,730	299,980	299,630	299,770	523,880	229,500	10,290	54,700	299,350	299,990	299,550	299,030	544,310	178,030
1st Quartile	169,045	167,970	381,003	259,170	544,790	527,630	833,940	833,220	195,960	336,750	242,595	544,513	564,950	851,668	817,220	192,050	168,035	341,560	254,560	531,150	534,003	852,365	816,250
Median	186,605	184,540	429,490	340,390	604,750	562,760	880,395	858,210	197,690	392,195	294,760	592,475	635,860	908,940	835,245	194,030	176,890	409,545	325,020	567,820	574,635	937,140	834,565
3rd Quartile	192,740	191,020	464,728	419,540	698,520	675,480	969,100	948,605	198,900	442,508	372,780	655,528	702,640	974,680	863,405	195,080	189,808	459,248	403,340	617,475	634,843	1036,200	861,808
Mean	181,406	178,591	415,865	340,282	623,968	600,259	916,214	906,127	197,065	388,039	312,026	607,439	636,439	927,525	847,153	194,063	177,146	396,678	332,443	582,149	592,514	958,147	846,670
Variance (n)	215,288	290,124	3911,656	7486,631	8215,403	8056,448	11919,545	13527,409	4,721	4470,842	6187,680	5979,447	6771,856	9407,264	1771,503	7,019	198,031	5342,781	7458,280	4222,337	5180,688	15340,317	1675,026
Variance (n-1)	216,196	290,196	3911,733	7486,788	8215,572	8058,806	11920,333	13539,091	4,761	4471,497	6188,222	5980,861	6774,335	9417,500	1781,079	7,458	198,086	5343,205	7458,734	4222,642	5181,942	15351,044	1692,294
Standard deviation (n)	14,673	17,033	62,543	86,525	90,639	89,758	109,177	116,307	2,173	66,864	78,662	77,327	82,291	96,991	42,089	2,649	14,072	73,094	86,361	64,980	71,977	123,856	40,927
Standard deviation (n-1)	14,704	17,035	62,544	86,526	90,640	89,771	109,180	116,358	2,182	66,869	78,665	77,336	82,306	97,044	42,203	2,731	14,074	73,097	86,364	64,982	71,986	123,899	41,138
Variation coefficient	0,081	0,095	0,150	0,254	0,145	0,150	0,119	0,128	0,011	0,172	0,252	0,127	0,129	0,105	0,050	0,014	0,079	0,184	0,260	0,112	0,121	0,129	0,048
Skewness (Pearson)	-0,588	-1,137	-0,962	0,053	0,447	0,733	1,341	2,152	-0,985	-0,243	0,584	0,688	0,096	1,096	1,616	0,297	-0,200	-0,484	0,237	1,031	0,851	0,796	1,160
Skewness (Fisher)	-0,591	-1,138	-0,962	0,053	0,447	0,733	1,341	2,154	-0,998	-0,243	0,584	0,688	0,096	1,098	1,629	0,326	-0,200	-0,484	0,237	1,031	0,851	0,797	1,179
Skewness (Bowley)	-0,482	-0,438	-0,158	-0,013	0,220	0,525	0,313	0,567	-0,177	-0,049	0,199	0,136	-0,030	0,069	0,219	-0,307	0,187	-0,155	0,053	0,150	0,194	0,078	0,196
Kurtosis (Pearson)	-0,668	0,963	0,470	-1,377	-1,085	-0,985	1,617	5,231	0,476	-0,852	-0,758	-0,449	-1,097	1,208	2,792	-0,515	-1,024	-0,791	-1,145	0,658	-0,052	-0,099	0,531
Kurtosis (Fisher)	-0,657	0,966	0,470	-1,377	-1,085	-0,984	1,618	5,259	0,550	-0,852	-0,757	-0,448	-1,097	1,221	2,902	-0,249	-1,024	-0,791	-1,145	0,659	-0,051	-0,095	0,623
Standard error of the mean	0,953	0,270	0,277	0,395	0,411	1,536	0,888	3,418	0,202	0,810	0,736	1,189	1,574	3,199	3,094	0,662	0,235	0,651	0,674	0,552	1,120	3,275	4,156
Lower bound on mean (95%)	179,529	178,063	415,322	339,507	623,162	597,248	914,474	899,421	196,665	386,452	310,583	605,108	633,352	921,246	841,048	192,659	176,685	395,401	331,122	581,067	590,319	951,722	838,423
Upper bound on mean (95%)	183,284	179,120	416,409	341,057	624,773	603,270	917,953	912,833	197,465	389,626	313,469	609,771	639,526	933,804	853,258	195,467	177,606	397,955	333,764	583,230	594,710	964,572	854,918
Standard error(Skewness (Fishe	0,158	0,039	0,011	0,011	0,011	0,042	0,020	0,072	0,224	0,030	0,023	0,038	0,047	0,081	0,178	0,550	0,041	0,022	0,019	0,021	0,038	0,065	0,244
Standard error(Kurtosis (Fisher	0,314	0,077	0,022	0,022	0,022	0,084	0,040	0,144	0,444	0,059	0,046	0,075	0,094	0,161	0,355	1,063	0,082	0,044	0,038	0,042	0,076	0,129	0,483
Mean absolute deviation	12,614	13,731	49,966	77,653	78,039	77,287	85,882	84,230	1,744	56,292	66,974	63,474	70,661	76,576	31,691	2,136	11,962	62,157	74,822	51,622	58,749	101,066	32,785
Median absolute deviation	10,360	9,370	39,770	80,320	69,670	48,490	58,170	33,740	1,360	52,985	59,550	52,895	68,620	61,150	20,750	1,980	11,485	56,730	73,310	41,640	47,560	88,490	21,475
Geometric mean	180,790	177,704	410,484	328,964	617,579	593,940	910,253	899,693	197,053	381,950	302,635	602,733	631,101	922,756	846,157	194,045	176,578	389,289	321,194	578,741	588,377	950,556	845,715
Geometric standard deviation	1,087	1,108	1,183	1,301	1,153	1,154	1,119	1,122	1,011	1,198	1,278	1,132	1,139	1,105	1,049	1,014	1,084	1,221	1,302	1,113	1,124	1,133	1,049
Harmonic mean	180,151	176,732	404,272	317,660	611,429	588,046	904,786	894,115	197,041	375,539	293,913	598,248	625,774	918,265	845,208	194,027	176,003	381,229	310,185	575,538	584,469	943,375	844,792

Oba označené typy spadají do první kategorie nadmořské výšky v intervalu do 200 m.n.m. Oba typy mají velmi nízké rozpětí hodnot nadmořské – pouhých 10 m, které navíc leží těsně při horní hranici intervalu se sousedícím četnější kategorií. Hodnoty nadmořské výšky se u typu typ 2-1-2 (celkem 117 úseků) pohybují v rozmezí 189,9-199,9 m.n.m. , u typu 3-1-1 (17 úseků) v rozmezí 188,1-199,4 m n.m. (Obrázek 27).



Obrázek 27 Box-plot zastoupení kategorií nadmořských výšek u typů 2-1-2 a 3-1-1

Z hlediska vlivu na monitorované složky je výškový rozdíl 10 metrů možné považovat za nevýznamný. Na přesnost stanovení hodnoty nadmořské výšky má navíc vliv použitých datových podkladů - digitálního modelu reliéfu, jeho generalizace a geoinformatického zpracování.

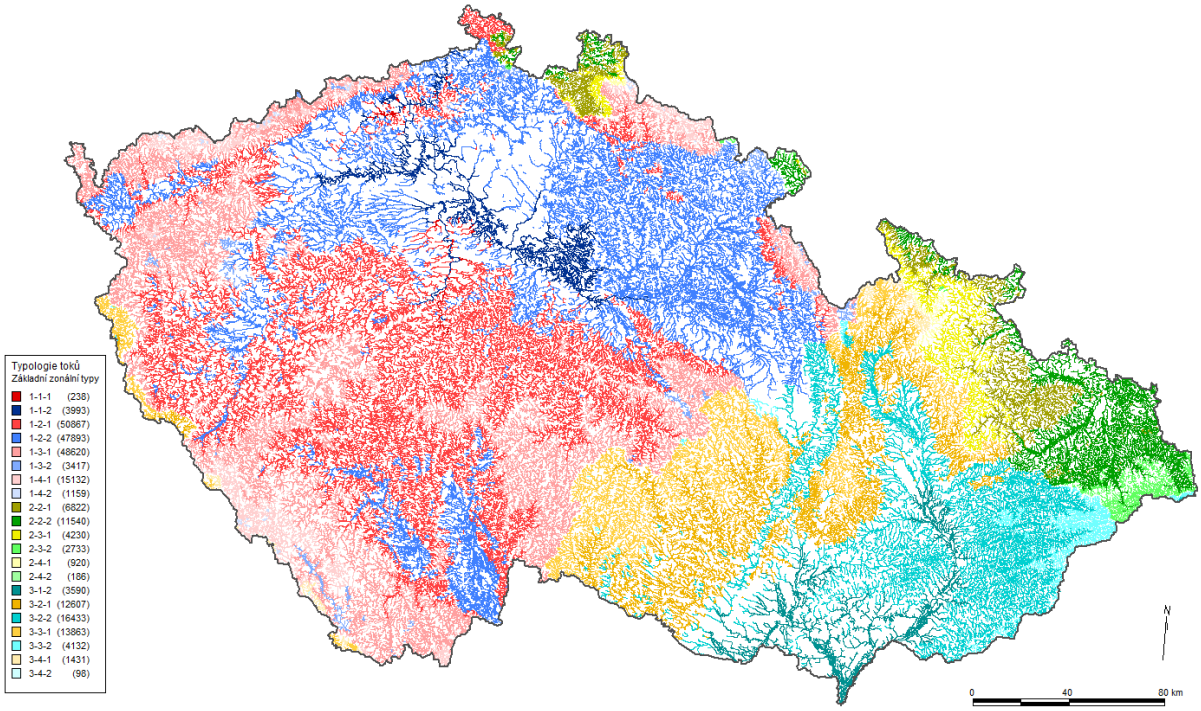
Vzhledem k výše uvedenému lze oba uvedené typy označit jako okrajové a sloučit je s typy se stejnými kategoriemi úmoří i geologie a navazující kategorií nadmořské výšky.

Typ 2-1-2 tak je pro další analýzy sloučen s typem 2-2-2, typ 3-1-1 s typem 3-2-1.

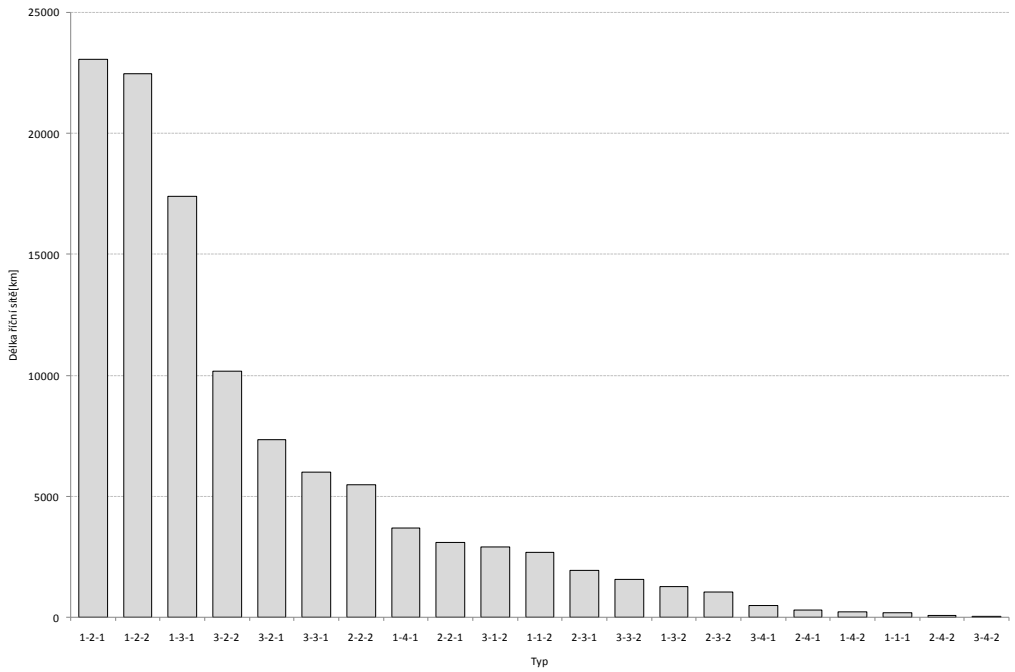
5.2.3 Sloučené zonální typy toků

Po sloučení dvou okrajových typů je říční síť rozčleněna na celkem 21 základních zonálních typů vodních toků.

Rozložení výsledných základních zonálních typů toků představuje mapa na obrázku 28, obrázek 29 ukazuje jejich zastoupení podle délky říční sítě.



Obrázek 28 Sloučené zonální typy toků ČR

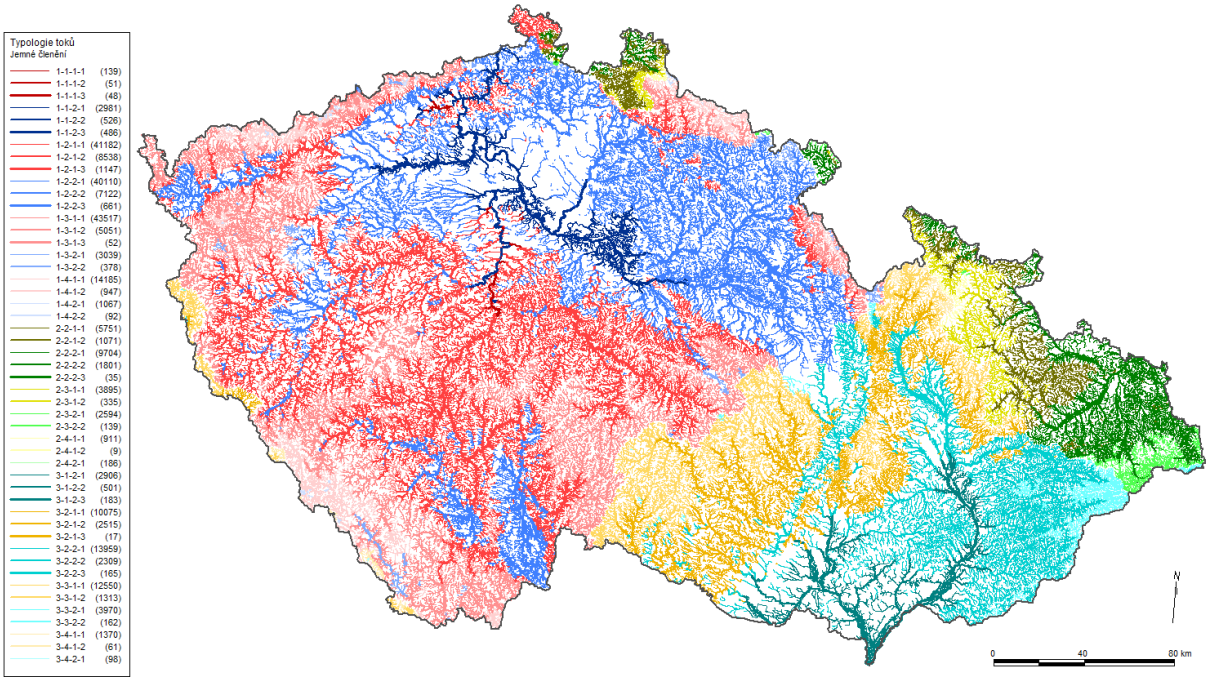


Obrázek 29 Podíl zonálních typů vodních toků na délce říční sítě ČR

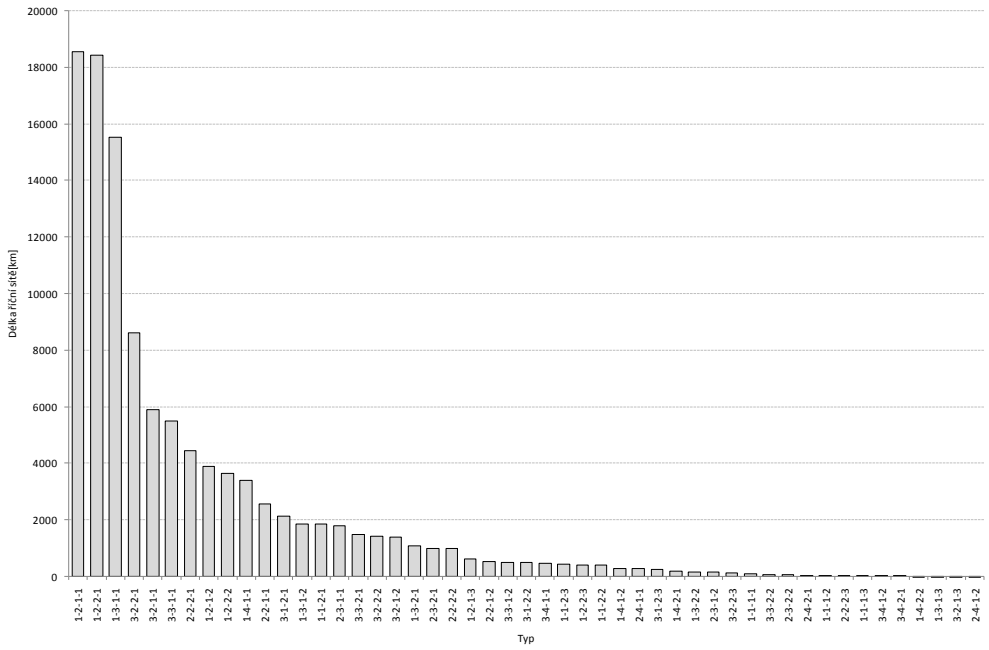
5.3 Vymezení typů vodních toků

5.3.1 Základní jemné členění

Zařazením čtvrtého parametru – řádovosti toků se říční síť rozdělí na celkem 49 typů vodních toků (obrázek 30 a 31). Vzhledem k tomu, že na rozdíl od zonálních typů má řádovost toku liniový charakter, nelze stejně snadno jako u základních typů charakterizovat regionální výskyt jednotlivých typů. Zařazením liniového vstupu se totiž mění charakter výsledných dat a nejde již o regionalizaci. Nicméně právě toto jemné členění vystihuje nejlépe charakter daného úseku vodního toku, neboť zahrnuje i informaci o velikosti toku (a tedy i proxy informace o jeho šířce, hloubce, unášeném materiálu a charakteru dna).



Obrázek 30 Základní jemné členění typů říční sítě ČR



Obrázek 31 Podíl jemných typů vodních toků na délce říční sítě ČR

5.3.2 Okrajové typy

Vyhodnocení četnosti výskytu jednotlivých typů ukázalo na několik potenciálně okrajových typů, u kterých je vhodné uvažovat o sloučení.

Jako kritéria pro posouzení možnosti sloučení byla uvažována následující:

- rozsah výskytu typu
- funkční význam typu
- variabilita hodnot řádovosti
- prostorová návaznost s ostatními typy.

Z hlediska četnosti výskytu byly jako řídce zastoupené označeny typy, zahrnující méně než 100 úseků říční sítě (Tabulka 22). Z těchto řídce zastoupených úseků byly vyloučeny velké toky, tj. typy s kategorií řádovosti 3, zahrnující řád 7-9 dle Strahlera. Jedná se o typy 1113, 1313, 2223 a 3213. Toky nejvyšších řádů, přestože jsou málo četně zastoupené, představují vzhledem k antropogennímu ovlivnění významný prvek, odlišný od četněji zastoupených toků stejného zonálního typu, ale nižšího řádu, který nelze mechanicky eliminovat. Z možného slučování byl dále vyloučen rovněž typ 3421, který nemá vhodnou sousedící kategorii, se kterou by mohlo dojít ke sloučení.

Tabulka 22 Variabilita hodnot řádovosti u potenciálně okrajových typů toků

Statistic	1-1-1-2	1-1-1-3	1-3-1-3	1-4-2-1	1-4-2-2	2-2-2-3	2-4-1-1	2-4-1-2	3-2-1-3	3-4-1-1	3-4-1-2	3-4-2-1
No. of observations	51	48	52	1067	92	35	911	9	17	1370	61	98
Minimum	4,000	7,000	7,000	1,000	4,000	7,000	1,000	4,000	7,000	1,000	4,000	1,000
Maximum	6,000	9,000	7,000	3,000	5,000	7,000	3,000	5,000	7,000	3,000	4,000	3,000
Freq. of minimum	12	4	52	586	77	35	552	7	17	834	61	81
Freq. of maximum	28	6	52	139	15	35	100	2	17	162	61	4
Range	2,000	2,000	0,000	2,000	1,000	0,000	2,000	1,000	0,000	2,000	0,000	2,000
1st Quartile	5,000	8,000	7,000	1,000	4,000	7,000	1,000	4,000	7,000	1,000	4,000	1,000
Median	6,000	8,000	7,000	1,000	4,000	7,000	1,000	4,000	7,000	1,000	4,000	1,000
3rd Quartile	6,000	8,000	7,000	2,000	4,000	7,000	2,000	4,000	7,000	2,000	4,000	1,000
Mean	5,314	8,042	7,000	1,581	4,163	7,000	1,504	4,222	7,000	1,509	4,000	1,214
Variance (n)	0,686	0,207	0,000	0,504	0,136	0,000	0,470	0,173	0,000	0,486	0,000	0,250
Variance (n-1)	0,700	0,211	0,000	0,504	0,138	0,000	0,470	0,194	0,000	0,487	0,000	0,253
Standard deviation (n)	0,828	0,455	0,000	0,710	0,369	0,000	0,685	0,416	0,000	0,697	0,000	0,500
Variation coefficient	0,156	0,057	0,000	0,449	0,089	0,000	0,456	0,098	0,000	0,462	0,000	0,412
Harmonic mean	5,169	8,016	7,000	1,328	4,135	7,000	1,274	4,186	7,000	1,274	4,000	1,103

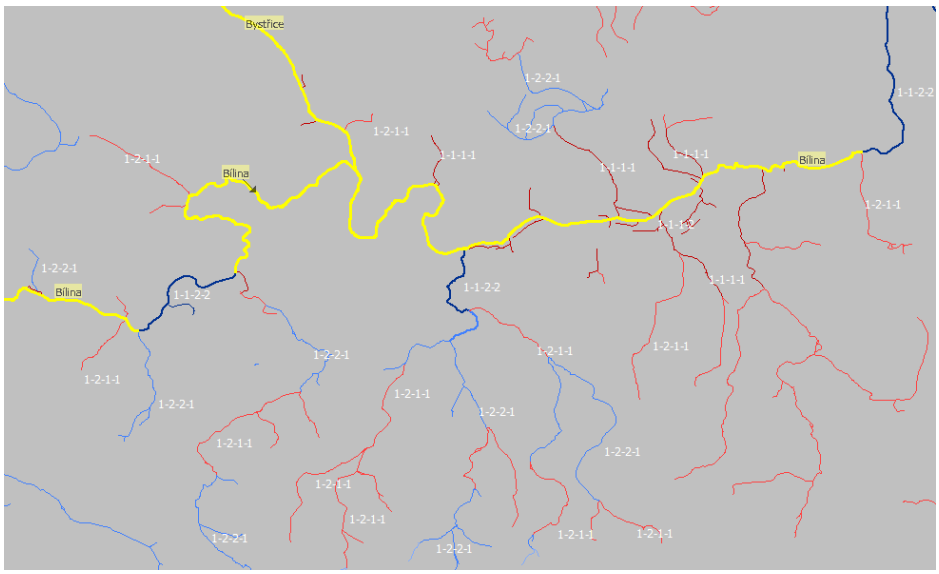
Jako typy, kde je o sloučení možné uvažovat, byly identifikovány následující: 1-1-1-2 (51 úseků), 1-4-2-2 (92 úseků), 2-4-1-2 (9 úseků), 3-4-1-2 (61 úseků).

Typ 1-1-1-2

Typ sestává z 51 úseků v celkové délce 45,51 km toků v kategorii říček na krystaliniku, v nížinách povodí Labe. Polovinu z tohoto typu zaujímá tok Bíliny a její přítok Bystřice (22,4 km) a dále dolní úseky přítoků Vltavy (Kocába, Kunratický potok, Rokytka, Zákolanský potok).

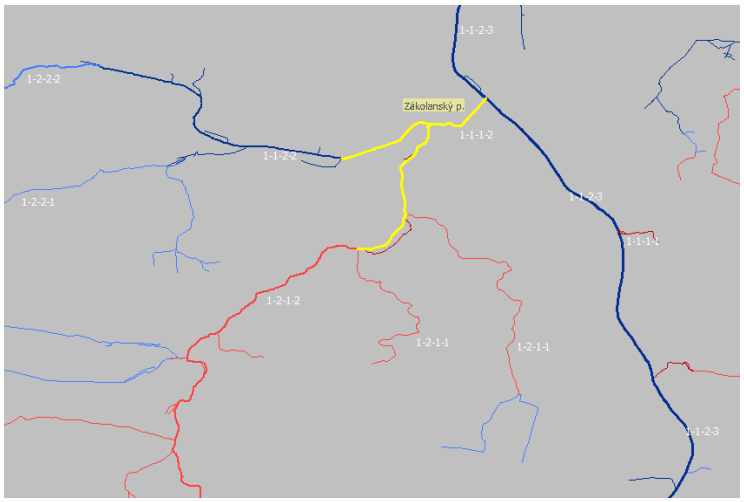
Přestože z hlediska četnosti výskytu a středních hodnot řádovosti se nabízí možnost sloučit s četnějším typem 1111, mechanické sloučení obou typů by nebylo vhodné z hlediska odlišného charakteru toků v jednotlivých typech. Toky v typu 1112 představují úseky toků střední velikosti, navíc navazující na toky stejné velikostní kategorie ale odlišného zonálního typu. Úseky tohoto typu představují výrazné toky, které nelze mechanicky sloučit se sousedícími typy.

Příkladem jsou úseky na středním toku střední tok Bíliny, kde typ 1112 pokrývá koryto hlavního toku (obrázek 32). Možnost věcně správného sloučení se sousedícími typy zde není – sloučení s četněji zastoupeným typem 1111 by posunulo část koryta hlavního toku Bíliny do řádovostně nižší kategorie oproti navazujícím i předcházejícím úsekům, sloučení s navazujícím typem hlavního toku 1122 by znamenalo pominutí odlišného charakteru geologie v dané oblasti.



Obrázek 32 Typ 1112 v povodí Bíliny

Obdobná situace je i u ostatních toků – např. na dolním toku Zákolanského potoka, ústícího do Vltavy pod Prahou (obrázek 33). Typ 1112 zde představuje závěrový úsek toku před ústím do Vltavy, navazující na výše položené toky střední velikosti (typy 1122 a 1212). Navazující úsek logicky nemůže představovat typ nižšího řádu toku.



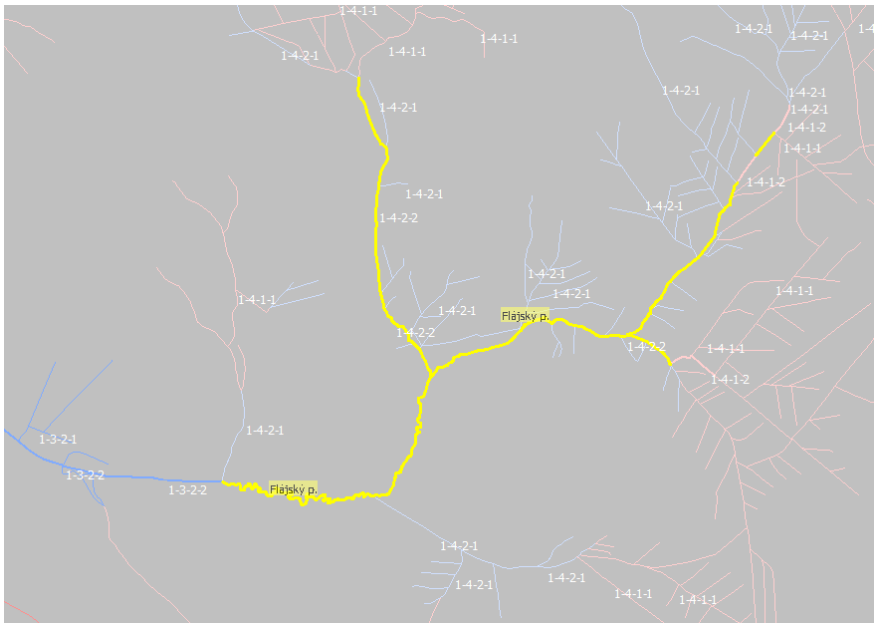
Obrázek 33 Typ 1112 – Zákolanský potok

Výsledek: typ 1112 nelze mechanicky sloučit s jiným typem, přes relativně řídký výskyt jde o samostatný typ, který je třeba zachovat.

Typ 1-4-2-2

Typ 1422 pokrývá 92 úseků o celkové délce 16,21 km. Zahrnuje říčky ve vysoké nadmořské výšce na vápencích, pískovcích, jílovcích nebo kvartéru. Přes vyšší četnost (92 úseků) jde zpravidla o velmi krátké úseky toků v pramenných oblastech, celková délka toků tohoto typu dosahuje 16,21 km. Jedná se především o toky v Krušných horách Flájský potok, Chomutovka, Blatenský příkop, aj. a izolované úseky toků v oblasti Šumavy (Roklanský potok, Častá).

Toky dosahují 4 - 5. řádu dle Strahlera, zpravidla však řádu 4 Mechanické sloučení tohoto typu není vhodné. U větších toků (Flájský potok, Chomutovka) typ 1422 prosotorově navazuje na typy stejné řádovostní kategorie s odlišným geologickým podložím. Sloučení četněji zastoupenou sousedící zonální kategorií 1421 by přineslo nevhodný posun řádovostní kategorie hlavního toku.



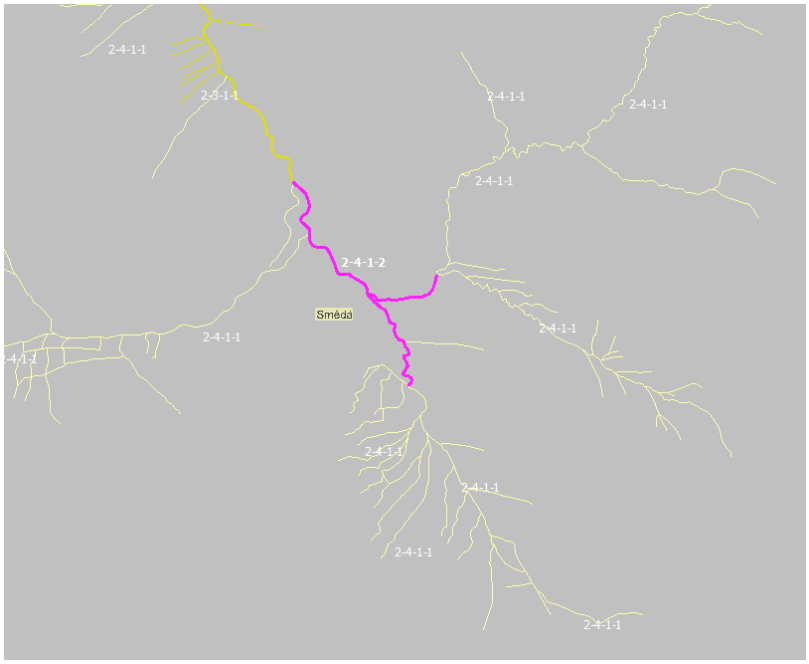
Obrázek 34 Typ 1422 v povodí Flájského potoka

Výsledek: Typ 1422 nelze sloučit s typem 1421.

Typ 2-4-1-2

Typ 2412 zahrnuje pouhých 9 úseků říční sítě, 5,15 km. Z celkových 9 úseků je 8 lokalizováno v povodí Smědé, 1 úsek v povodí Opavy (obrázek 35). Vzhledem k minimálnímu rozsahu je typ možné označit jako okrajový.

Pro sloučení se nabízí sousední typ 2411. Tato varianta je vhodná především s ohledem na nízké hodnoty maximálního řádu toku (4), které v typu 2412 pouze těsně přesahují hranicí pásma dané kategorie i vzhledem k prostorové návaznosti na sousedící úseky toků v rámci povodí, které jsou klasifikovány typem 2411.



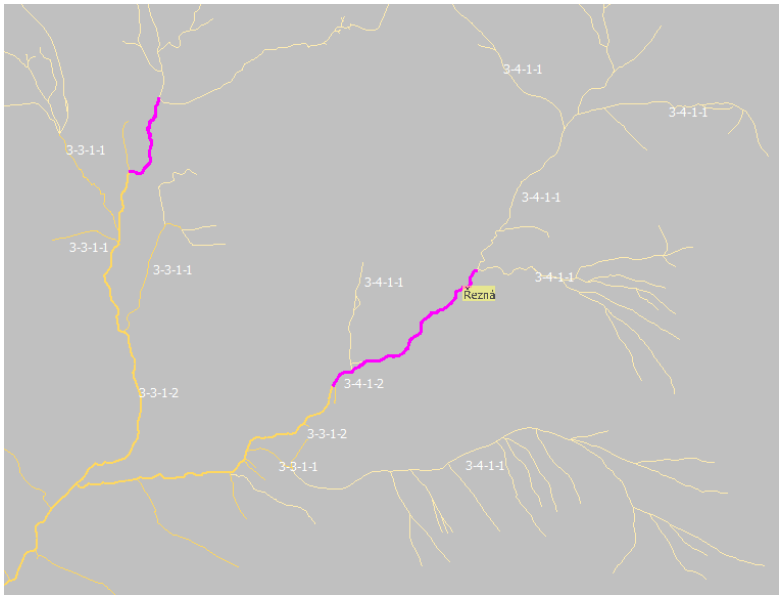
Obrázek 35 Typ 2412 v povodí Smědé

Výsledek - typ 2412 lze sloučit s typem 2411.

Typ 3-4-1-2

Typ 3412 zahrnuje 61 úseků o celkové délce 28,68 km. Typově jde o toky střední velikosti na krystaliniku, ve vysoké nadmořské výšce, odvodňované do úmoří Černého moře. Do tohoto typu spadají především toky v pramenné oblasti Šumavy, odvodňované do povodí Dunaje. Podstatnou část typu (18,6 km) tvoří Schwarzenberský kanál, dále vybrané úseky v povodí Řezné (obrázek 36), Špičáckého potoka a dalších hraničních toků, a dále dva úseky v pramenné oblasti Moravy.

Z hlediska prostorového rozložení je možné uvažovat o sloučení tohoto typu s typem 3411, který má stejné zonální charakteristiky, ale nižší řádovost a se kterým úseky typu 3412 sousedí. Na možnost sloučení ukazuje struktura řádovosti úseků - ve všech povodích, kde se daný typ vyskytuje, dosahuje maximální hodnota řádu toku typu 3421hodnoty 4, tj. minimální hodnoty, těsně nad hranicí kategorie. Z tohoto hlediska sloučení nepředstavuje výrazný zásah do klasifikačního systému. Z hlediska prostorové homogenity je sloučení rovněž neproblematické – jde zpravidla o izolované úseky, navazující na toky stejného zonálního typu ale nižšího řádu, kde sloučením vznikne homogenní celek.



Obrázek 36 Typ 3412 v povodí Řezné

Výsledek: Typ 3412 lze sloučit s typem 3411

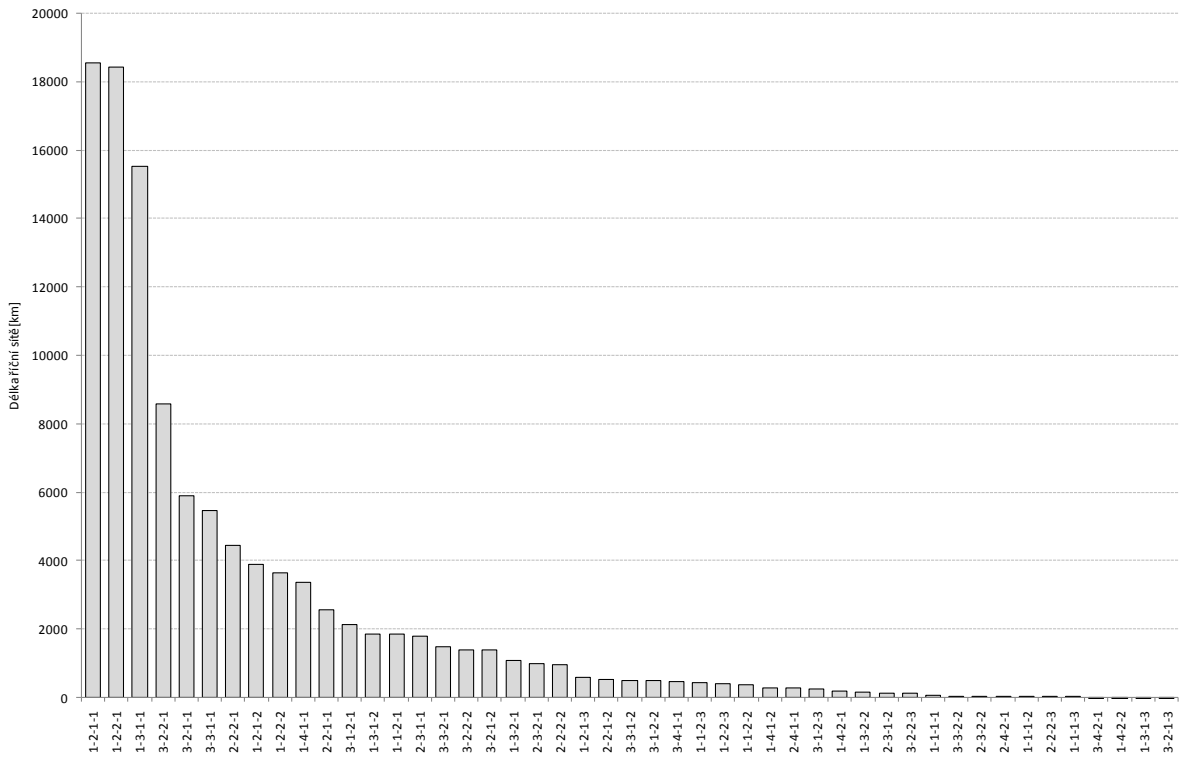
5.3.3 Výsledné jemné členění typů vodních toků

V jemném členění typologie vodních toků (obrázek 37 a 38) je tedy na základě výše uvedené analýzy sloučen typ 2412 s typem 2411 a 3412 je sloučen s typem 3411.

Výsledné jemné členění typologie vodních toků tedy sestává z celkem 47 typů (obrázek 38).

Frekvenční zastoupení typů na délce říční sítě (obrázek 37) potvrzuje asymetrické rozdělení říční sítě mezi jednotlivé typy, které je díky nárůstu počtu typů výraznější než u zonálního členění. Pět nejčetnějších typů (1-2-1-1, 1-2-2-1, 1-3-1-1, 3-2-2-1, 3-2-1-1) pokrývá 60,2 % délky říční sítě, zatímco pět nejméně četných typů (1-1-1-3, 3-4-2-1, 1-4-2-2, 1-3-1-3, 3-2-1-3) pouhých 0,09 %.

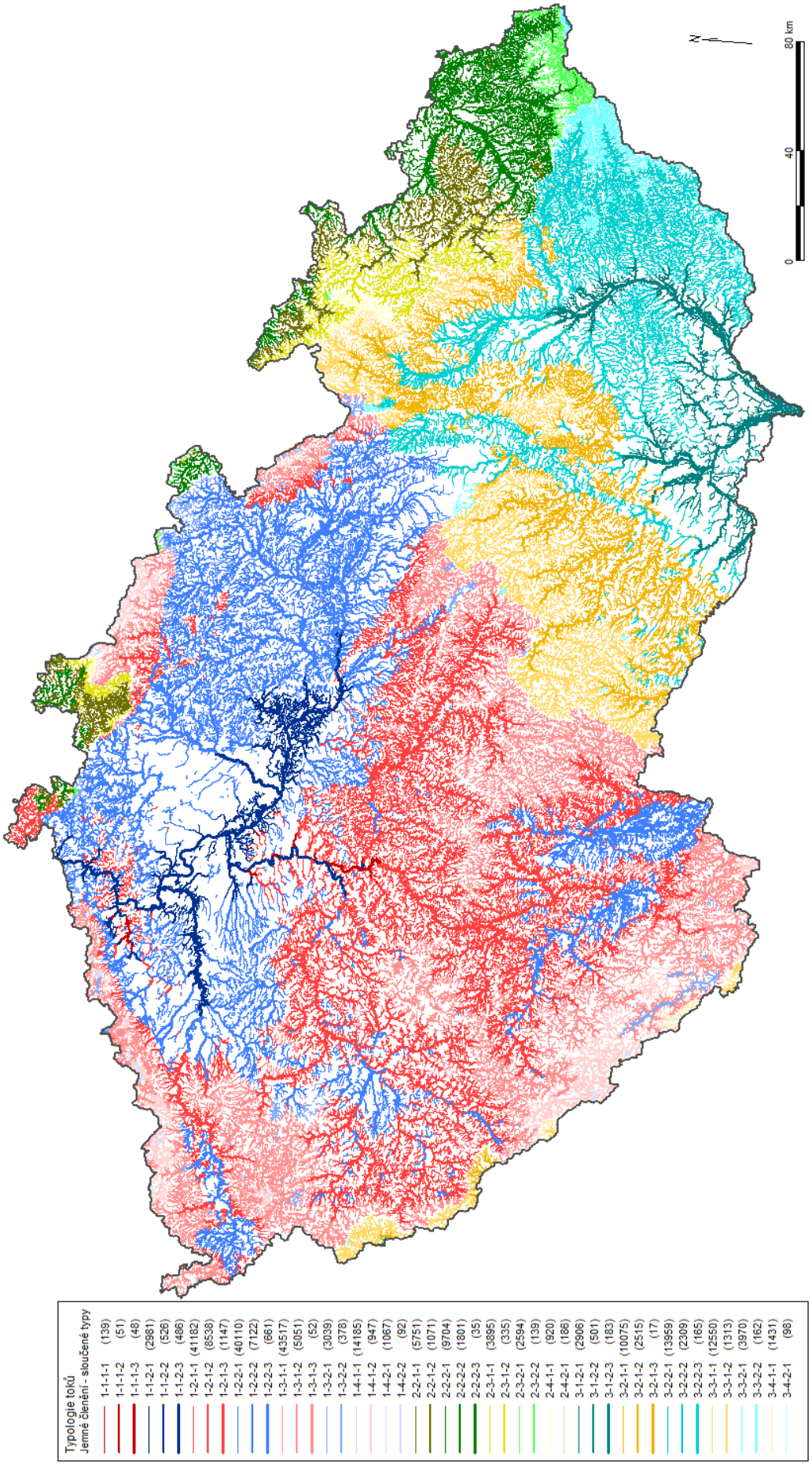
Celkový přehled délky toků, pokrytých jednotlivými typy jemného členění shrnuje tabulka 23.



Obrázek 37 Podíl sloučených typů vodních toků na délce říční sítě ČR

Tabulka 23 Délka toků podle typů jemného členění

Typ	*Délka toků (km)*	*Typ*	*Délka toků (km)*
1-2-1-1	18 538,36	3-1-2-2	507,75
1-2-2-1	18 425,48	3-4-1-1	481,30
1-3-1-1	15 533,71	1-1-2-3	435,65
3-2-2-1	8 599,89	1-2-2-3	406,69
3-2-1-1	5 907,75	1-1-2-2	391,30
3-3-1-1	5 485,43	1-4-1-2	286,42
2-2-2-1	4 440,05	2-4-1-1	277,47
1-2-1-2	3 907,06	3-1-2-3	255,05
1-2-2-2	3 643,91	1-4-2-1	201,44
1-4-1-1	3 389,54	1-3-2-2	154,92
2-2-1-1	2 563,47	2-3-1-2	148,44
3-1-2-1	2 145,90	3-2-2-3	134,08
1-3-1-2	1 863,54	1-1-1-1	87,30
1-1-2-1	1 849,53	3-3-2-2	53,80
2-3-1-1	1 788,66	2-3-2-2	51,51
3-3-2-1	1 486,93	2-4-2-1	46,74
3-2-2-2	1 412,78	1-1-1-2	45,51
3-2-1-2	1 407,55	2-2-2-3	35,81
1-3-2-1	1 085,22	1-1-1-3	32,51
2-3-2-1	995,11	3-4-2-1	23,87
2-2-2-2	977,57	1-4-2-2	16,21
1-2-1-3	609,52	1-3-1-3	13,82
2-2-1-2	529,11	3-2-1-3	12,61
3-3-1-2	513,59	**Celkem**	**111 199,81**



Obrázek 38 Výsledné jemné členění typů vodních toků

5.4 Vymezení typů vodních útvarů

Jedním z požadavků zadání bylo klasifikovat stávající plošné vodní útvary podle navrhované typologie. Z hlediska RS by každý vodní útvar měl totiž být charakterizován jedním typem. Tento stav vychází z předpokladu, že typologie vodních toků je využita jako nástroj při vymezování vodních útvarů, tak jak to předpokládá Guidance č. 2 (EC 2003).

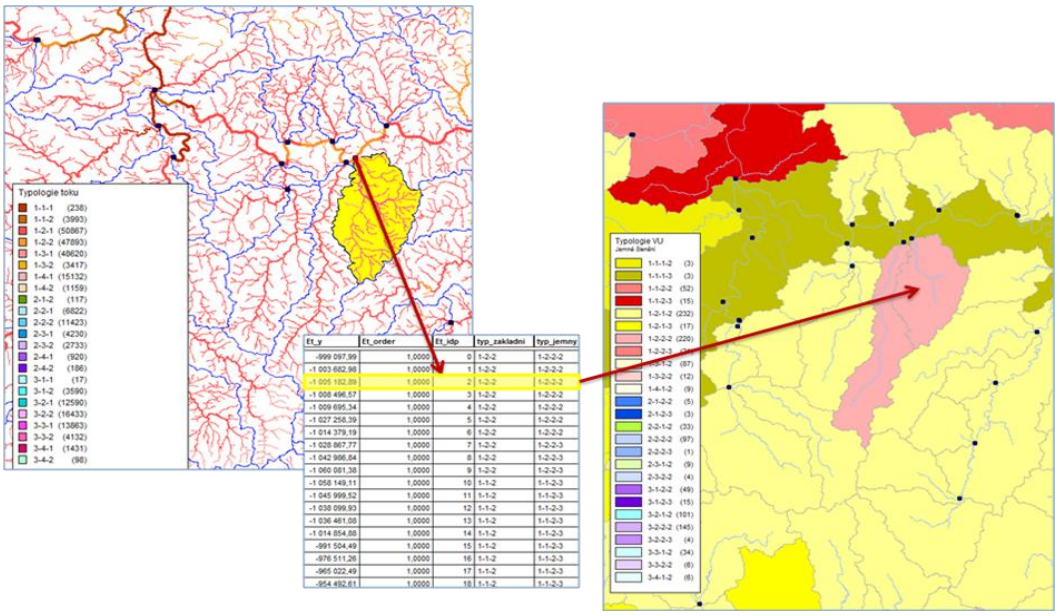
Situace v ČR však tomuto východisku neodpovídá. Vodní útvary v ČR jsou vymezeny jako koherentní subpovodí v rámci oblastí povodí a jejich vymezení proběhlo souběžně s nastavením typologie vodních útvarů. Jednotlivá dílčí povodí tak mohou snadno zahrnovat více kategorií jednotlivých parametrů typologie a ve výsledku tak obsahovat vodní toky více typů.

5.4.1 Postup vymezení

Vzhledem k rozdílnému topologickému typu obou datových souborů (VÚ jsou plochy, typologie je aplikována na linie úseků vodních toků, respektive jejich centerpointy) je třeba převést liniovou typologii do plochy. To je možné provést několika způsoby:

1. Přiřazení typu podle závěrového profilu

   Přiřazení typu podle závěrového profilu říční sítě v dílčím povodí vychází z logické hydrologické organizace povodí. Závěrový profil představuje bilanční prvek pro hodnocení dílčího povodí, promítají se do něj veškeré vlivy v rámci daného subpovodí a vyjadřuje nejvyšší řád toku v daném VÚ z pohledu relativního hierarchického členění. Tento přístup rovněž odráží charakter vodních útvarů, které jsou definovány jako povodí páteřních toků 4. řádu (obrázek 39).
   Nevýhodou tohoto přístupu může být nehomogenita, která vychází z pominutí vnitřní variability typů v rámci úseku i z přirozené rozdílnosti hierarchického uspořádání říční sítě.

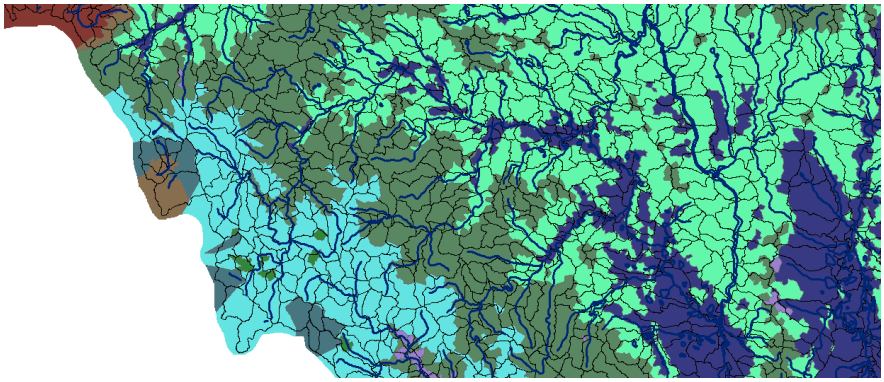


Obrázek 39 Princip promítnutí typologie toků do vodních útvarůprostřednictvím závěrového profilu

2. Přiřazení podle převládajícího typu toků.

   Alternativním přístupem je přiřazení typu vodního útvaru na základě převládajícího typu toků. Způsob určení převládajícího typu přitom může být různý: např. podle počtu úseků, podle celkové délky těchto úseků nebo plochy jejich povodí.
   Výhodou tohoto postupu je vyšší dosažená homogenita typů. Nevýhodou naopak skutečnost, že může docházet k nadhodnocení významu okrajových úseků nižších toků řádů a naopak potlačení úseků toků vysokých řádů, které jsou sice málo četné, ale z hydrologického a vodohospodářského hlediska významné.

Testovány byly všechny uvedené varianty (viz obr. 40). Výsledky hodnocení byly využity pro ověření vnitřní variability typů vodních útvarů.



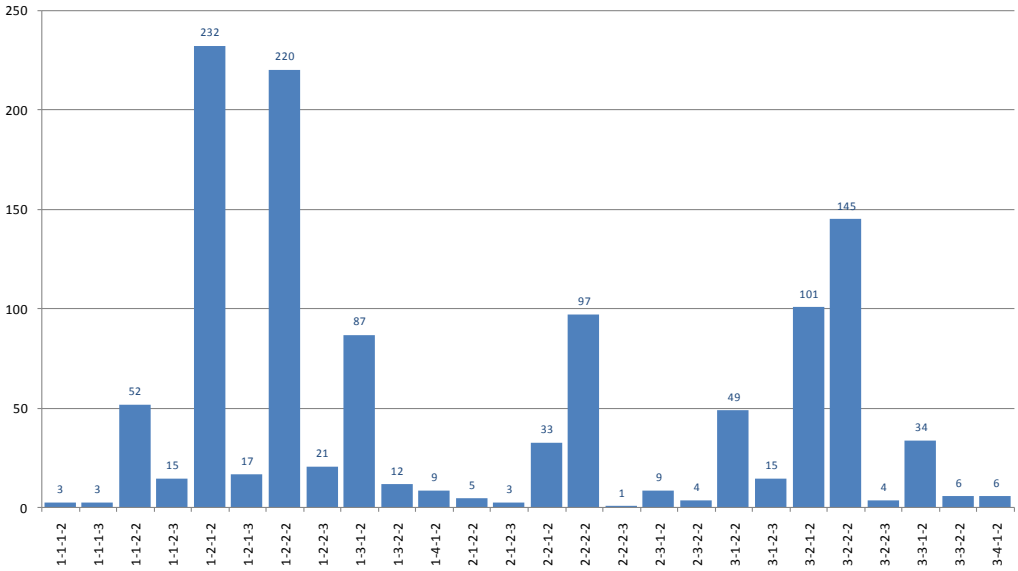
Obrázek 40 Ukázka přeřazení typu VÚ podle plochy převládajících typů. Plocha je vyjádřena pomocí Thiessenových polygonů, převládající typ je VÚ přiřazen na základě plochy převládajícího typu.

5.4.2 Typologie vodních útvarů

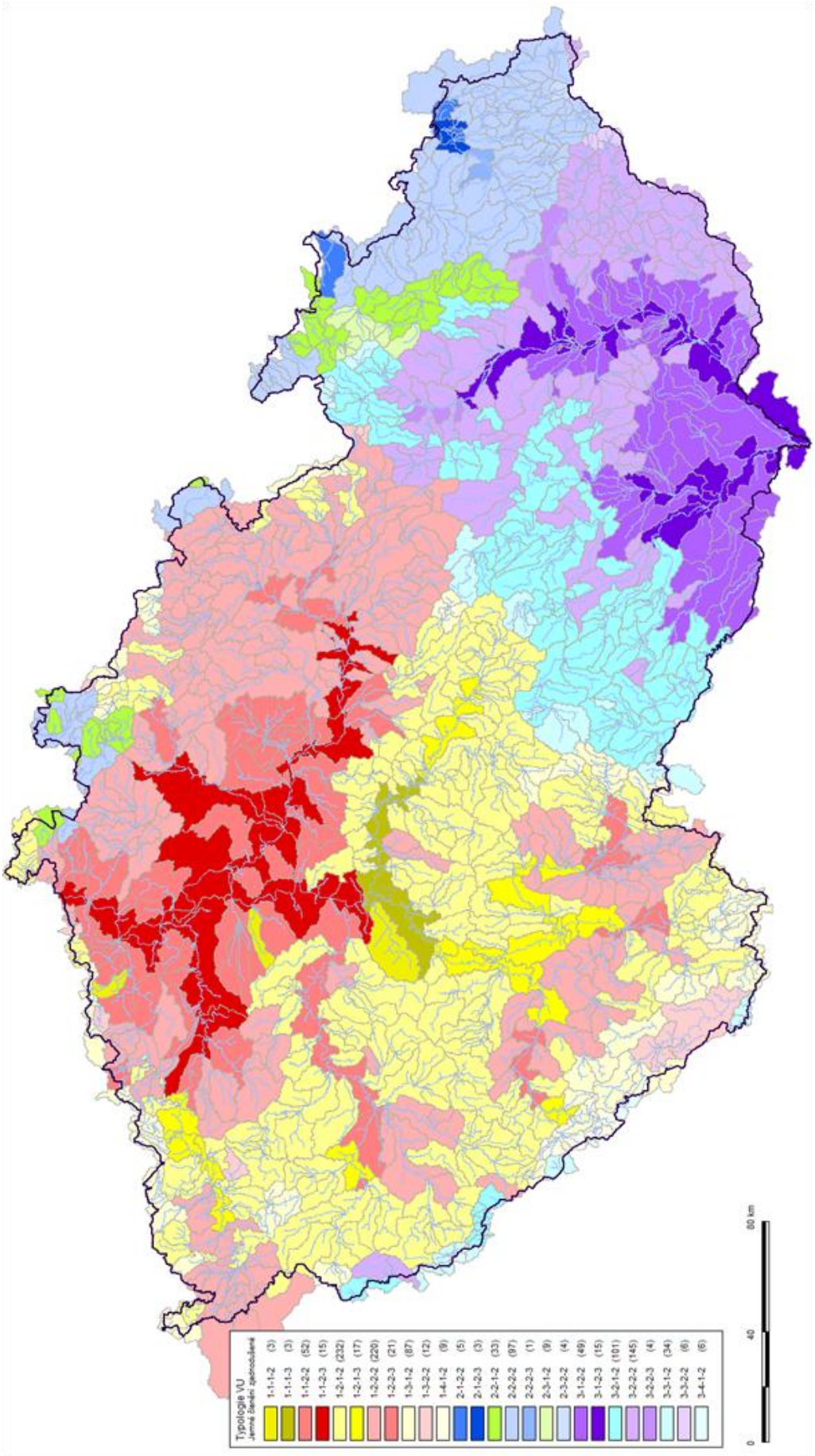
Pro vymezení typů vodních útvarů byla použita metoda přiřazení podle závěrového profilu vzhledem k tomu, že odpovídá hierarchickému principu organizace říční sítě a možnostem bilančního vyjádření parametrů ekologické kvality a ovlivňujících činitelů v rámci dílčího povodí.

Po promítnutí jemného členění vodních toků do vodních útvarů můžeme rozlišit celkem 26 typů vodních útvarů (obr. 42). Frekvenční zastoupení jednotlivých typů zobrazuje histogram na obr. 41.

Výsledné typologické členění VÚ je poměrně konzistentní, což dokládá výskyt jednotlivých typů v souvislých pásech či regionálních clusterech. Tato konzistentnost je zřejmá zejména z jemného členění, kde má hlavní význam pro určení typu Strahlerův řád páteřního toku. Z obrázku jsou tak patrné typologicky příbuzné, homogenní oblasti, například Polabí, moravské úvaly nebo jihočeské pánve.



Obrázek 41 Četnost výskytu typů vodních útvarů(jemné členění, 26 typů)



Obrázek 42 Typologie vodních útvarů – jemné typy

6 Ověření homogenity typologie

Závěrečným krokem návrhu typologie je ověření homogenity typů ve vztahu k monitorovaným složkám ekologického stavu. Homogenita typů je významná, protože vymezení typů vodních útvarů je základem pro definici referenčních stavů jednotlivých složek a navazující činnosti v oblasti monitoringu a vyhodnocování.

Homogenita byla ověřována ve dvou aspektech:

- Homogenita vodních útvarů vzhledem k typům vodních toků,
- Homogenita parametrů typologie vzhledem k parametrům variability složek ekologického stavu.

6.1 Homogenita vodních útvarů vzhledem k typům vodních toků

Převádění typologicky klasifikovaných liniových nebo bodových vrstev do plošných útvarů, vymezených na základě odlišných kritérií vede zákonitě ke vzniku vnitřní nehomogenity mezi výsledným typem plošného útvaru a typy, vyskytujícími se v rámci říční sítě daného celku. Tato nehomogenita závisí na řadě faktorů – zejména proměnlivosti přírodních podmínek v rámci jednoho vodního útvaru, ale stejnou měrou i na způsobu jeho vymezení i na jeho velikosti.

V rámci ověření homogenity byly ověřovány základní zdroje možné nehomogenity, tj. variabilita hlavních parametrů typologie v rámci vodních útvarů, dále absolutní četnost zastoupení hlavních parametrů typologie a homogenita z pohledu dominance výskytu převládajícího typu toku v rámci útvaru.

6.1.1 Zdroje variability kategorií parametrů typologie ve vodních útvarech

Protože VÚ jsou vymezeny jako plochy, příslušející k páteřnímu toku jako povodí / mezipovodí, je zřejmé, že mohou zahrnovat více kategorií vstupních parametrů s výjimkou úmoří.

Nadmořská výška

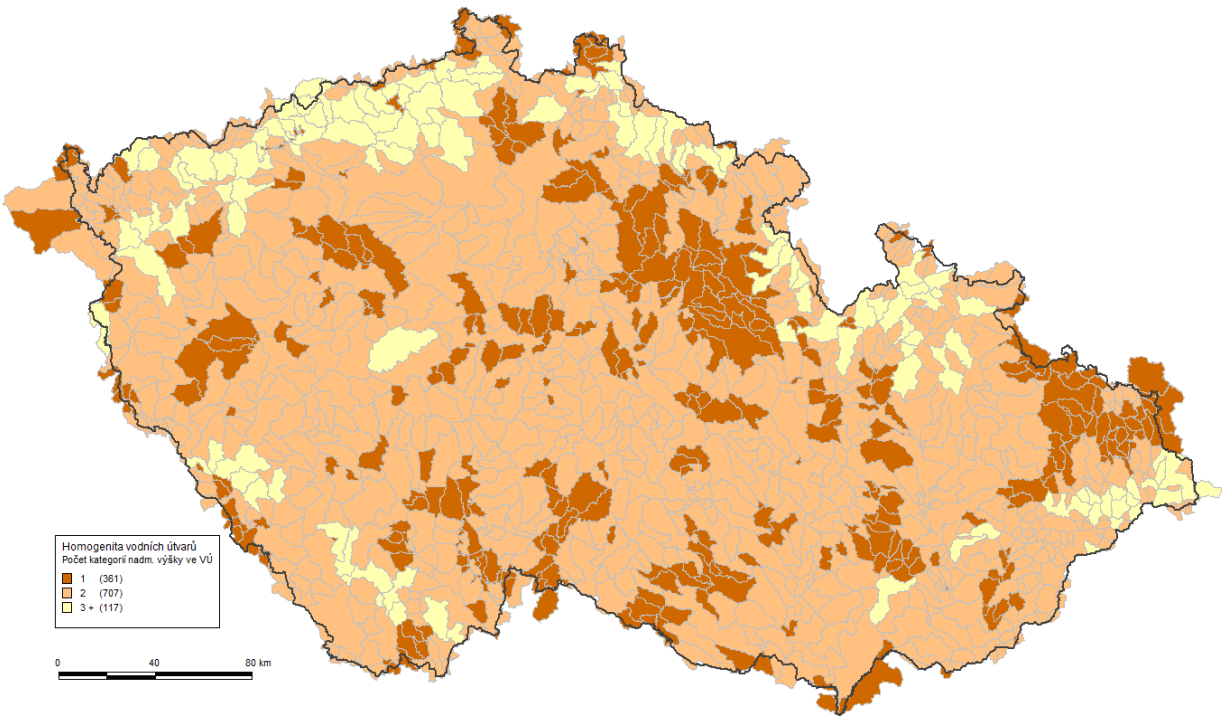
Z hlediska variability kategorií nadmořské výšky lze říci, že více kategorií se vyskytuje ve výškově členitých VÚ - tedy oblastech se strmými svahy (Krušné Hory, okraje Šumavy, Beskydy). Naopak pánve a plošiny jsou relativně homogenní (obrázek 43).

Geologické podloží

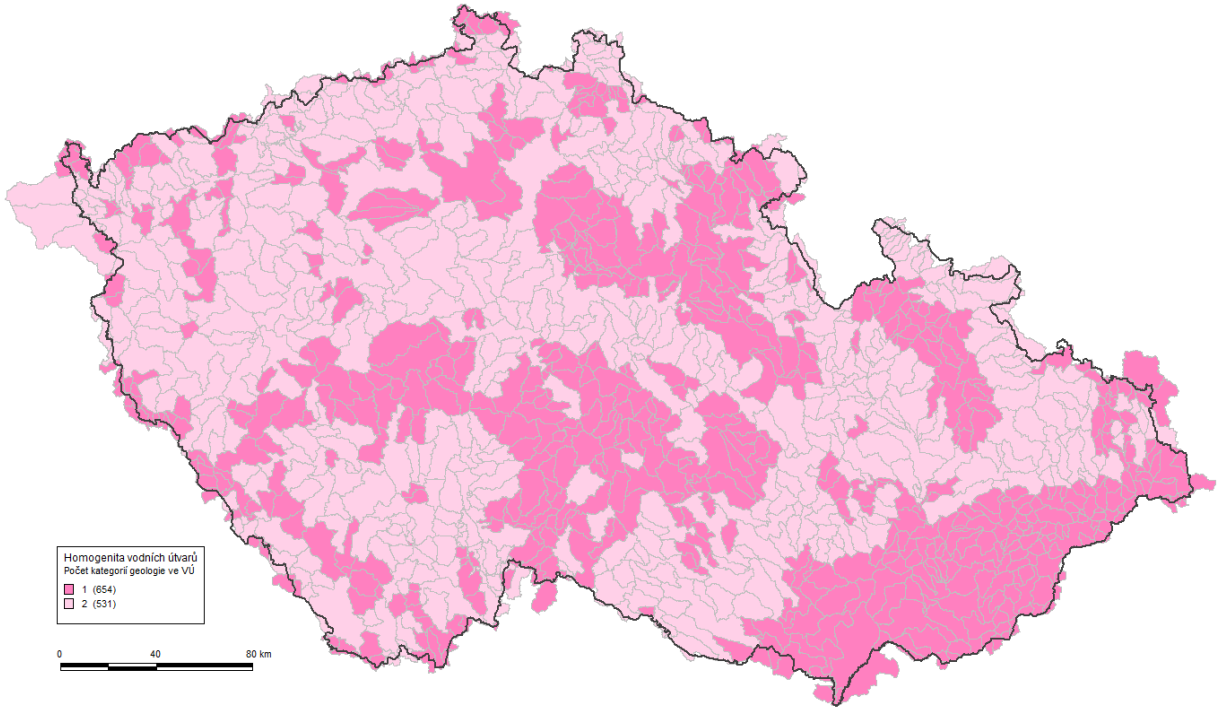
Přirozeně i kategorie geologického podloží se mohou vyskytovat nezávisle na vymezení VÚ, ale vzhledem k dělení pouze na dvě kategorie jen přibližně polovina VÚ obsahuje obě (obr. 44). Lze si představit poměrně jednoduché určení převládajícího typu podloží a jednoznačnou klasifikaci VÚ.

Strahlerův řád

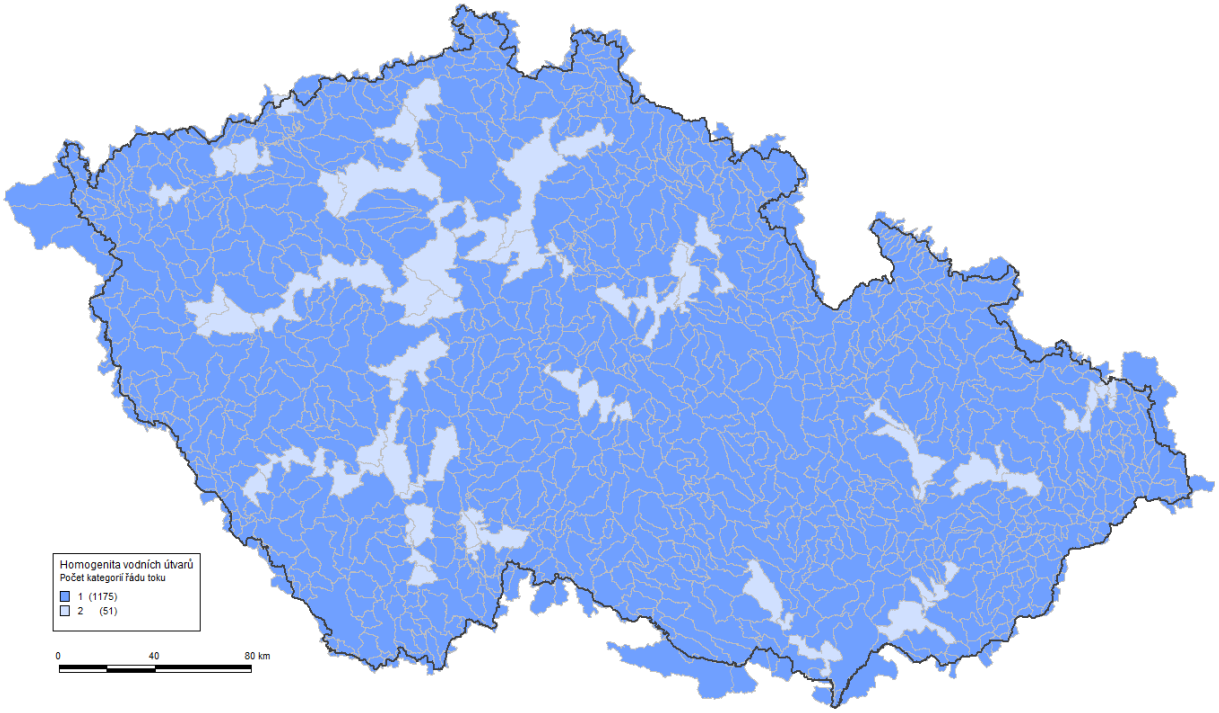
V případě jemného členění je třeba u řádu toku uvažovat pouze horní dvě kategorie, protože řády 1-3 nejsou z logiky vymezení VÚ relevantní. Přirozeně se tedy VÚ s oběma kategoriemi vyskytují pouze velkých toků, a to v nevelké míře (obr. 45)



Obrázek 43 Četnost zastoupení kategorií nadmořské výšky ve vodních útvarech

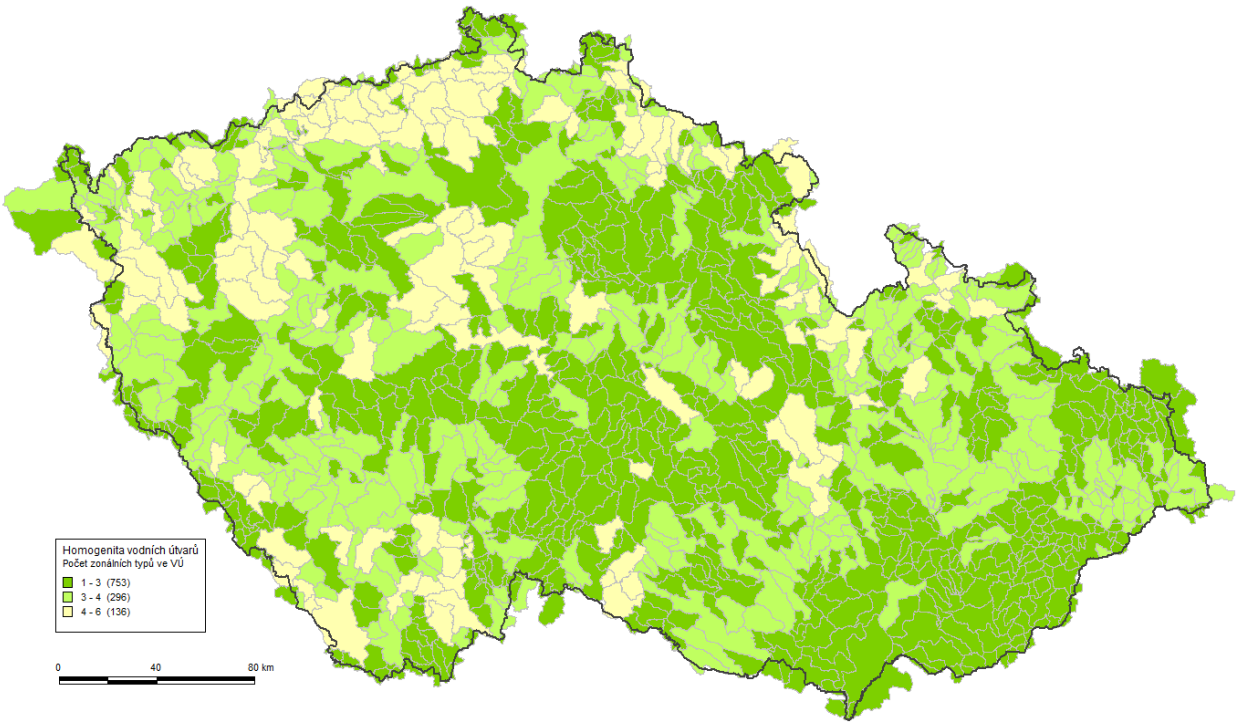


Obrázek 44 Četnost zastoupení kategorií geologického podloží ve vodních útvarech



Obrázek 45 Četnost zastoupení kategorií řádovosti toku ve vodních útvarech. Uvažovány jsou pouze kategorie 2 a 3, tj. toky s řádem 4 a vyšším.

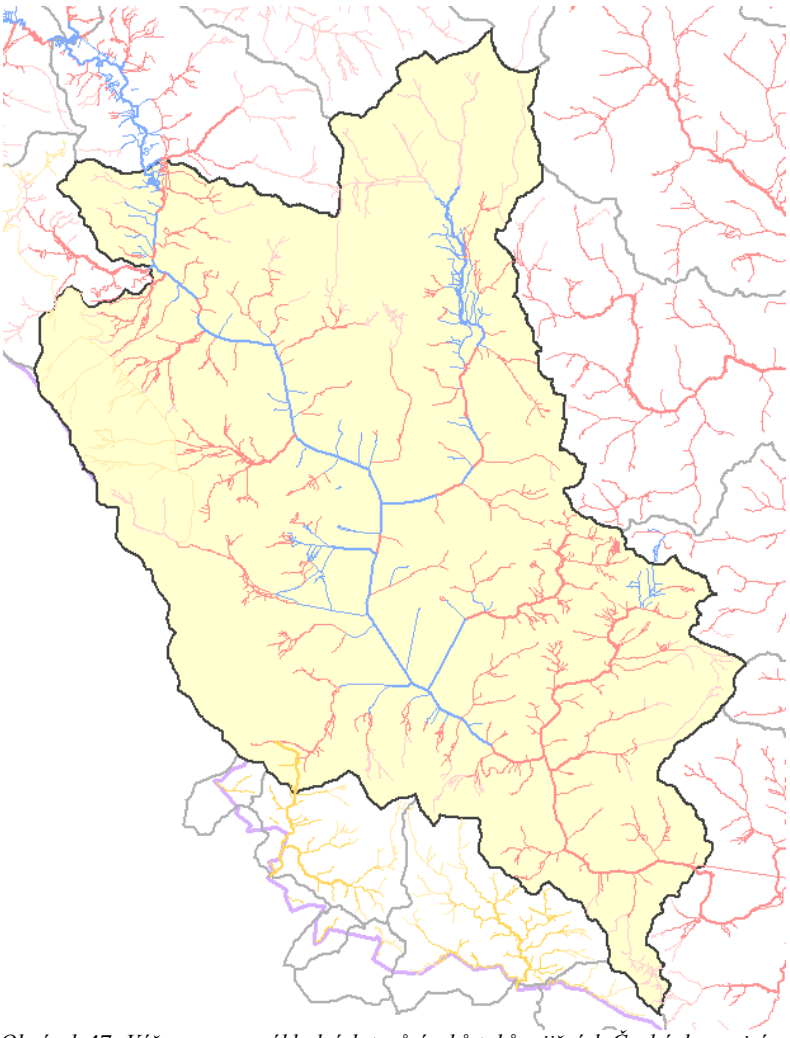
6.1.2 Četnost výskytu zonálních typů toků ve vodních útvarech



Obrázek 46: Počet typů vodních toků v rámci jednotlivých vodních útvarů (základní členění)

Uvažujeme-li jen zonální parametry, tj. základní typologické členění podle úmoří, nadmořské výšky a geologického podloží, pohybuje se variabilita mezi 1-6. Nejrozmanitější jsou relativně velké VÚ v Českém Středohoří, Krušných Horách, Sudetských pohořích a JV Šumavě (viz obrázek 46), zejména kvůli značné výškové členitosti těchto oblastí. Naopak velmi homogenní jsou VÚ ve východním Polabí, kde plochý terén a jednotná litologie ukazují na relativně podobné a stálé přírodní podmínky.

Variabilita může být ilustrována na příkladu značně rozmanitého VÚ (s celkem 5 typy toků) v okolí Lipenské vodní nádrže. Tento VÚ je jednak značně rozsáhlý (plocha přesahuje 400 km^2, přičemž průměr plochy VÚ je přibližně 65 km^2), nachází se ve výškově členitém reliéfu JV Šumavy a konečně zahrnuje i drobná povodí, odvodňovaná do Dunaje a tedy náležící k jinému úmoří (obrázek 47)

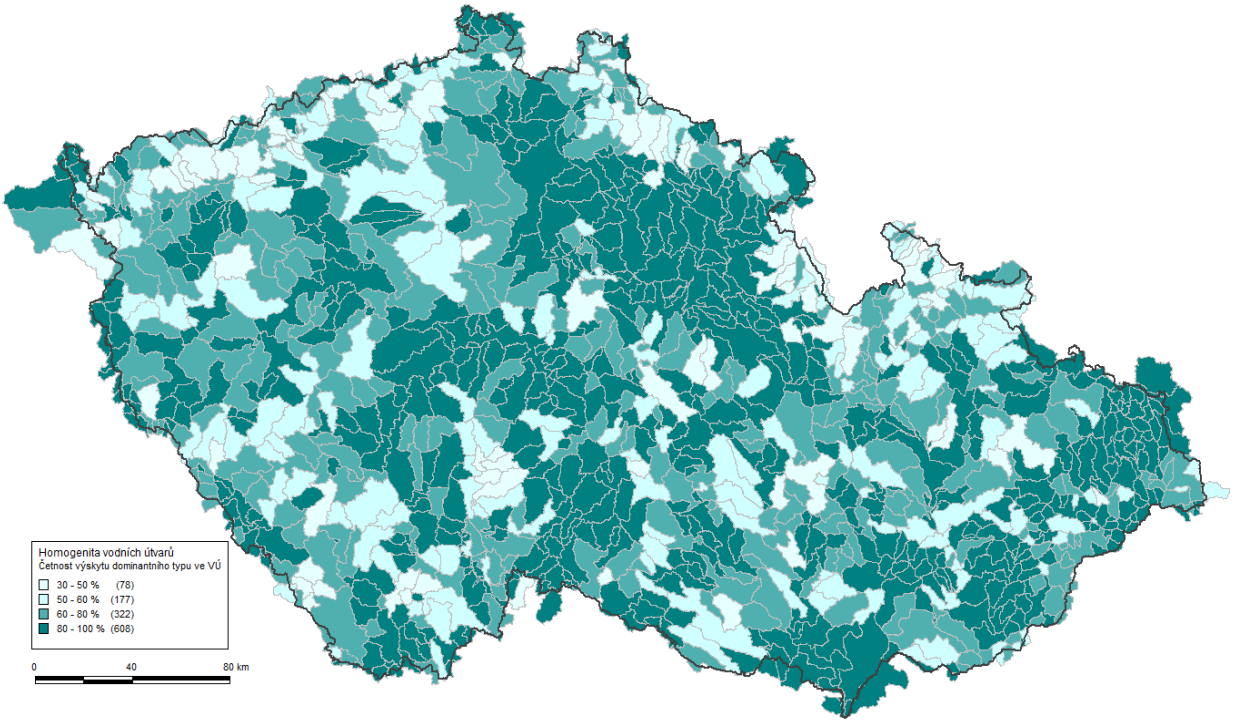


Obrázek 47: Výřez z mapy základních typů úseků toků v jižních Čechách – nejvíce variabilní VÚ 11448000 okolo Lipenské přehrady.

Uvažujeme-li jemné členění typů vodních toků, tj. včetně Strahlerova řádu, variabilita se výrazně zvyšuje. To ovšem souvisí spíše s faktem, že řád toku není zonálním parametrem – ve většině VÚ se nachází nejméně dvě kategorie řádu (1-3 a 3-5) a především s mechanismem vymezení vodních útvarů.

6.1.3 Dominance zastoupení převládajících typů toků ve VÚ

Absolutní počet typů toků v rámci VÚ nicméně nevypovídá dostatečně o skutečné prostorové variabilitě typů v rámci povodí. Pomocí GIS analýzy byla proto vyjádřena míra dominance jednotlivých typů v rámci vodních útvarů (obr. 48). Tato hodnota byla vypočtena jako procentuální zastoupení dominantního typu v rámci každého VÚ podle délky úseků toků daného typu v každém VÚ.



Obrázek 48 Mapa percentuálního zastoupení převládajících typů toků podle vodních útvarů (typ podle závěrového úseku). Hodnota v procentech značí podíl převládajícího typu podle počtu úseků na daném VÚ

6.1.4 Shrnutí

Analýza vnitřní homogenity vodních útvarů z hlediska typologie toků ukázala na rozdílnou variabilitu typů v rámci vodních útvarů.

Nejvíce homogenní z hlediska typologie jsou tedy VÚ, kde dominantní typ představuje největší podíl – nejvíce jich je soustředěno v České křídové tabuli a v Moravských úvalech, ale relativně vyhraněné VÚ se nachází i v jiných částech ČR. Naopak nejméně homogenní jsou VÚ na přechodech mezi typickými regiony – okraje pohoří, tabulí, a pod - typicky například svahy Šumavy, Krušných Hor nebo Jeseníků.

Přestože značná část vodních útvarů vykazuje nízkou míru variability výskytu typů VÚ, je zřejmé, že stav, kdy povodí vodního útvaru tekoucích povrchových vod zahrnuje toky s více typy, neodpovídá požadavkům RS a souvisejících Guidances. Přiřazení jednoho typu toků celé ploše vodního útvaru – ať je provedeno libovolnou metodou – neřeší věcnou podstatu tohoto rozporu. V rámci jednotlivých stávajících povodí VÚ se totiž vyskytují toky s odlišnými charakteristikami, které mají odlišné požadavky na definici referenčních podmínek a pro které není možné najít jeden společný typ. Na základě provedené analýzy proto vidíme jako účelné přistoupit k úpravě vymezení vodních útvarů tak, aby respektovaly typologii vodních toků.

6.2 Variabilita parametrů typologie ve vztahu k variabilitě složek ekologického stavu

Princip vyhodnocení homogenity vychází ze základního předpokladu nastavení typologie, kterým je vytvoření homogenních jednotek říční sítě, pro které je možné určit referenční stav. Jde tedy o prostorové jednotky, které by měly být homogenní bez ohledu na aktuální úroveň ovlivnění antropogenní činností.

Ověření homogenity takto definovaných prostorových jednotek ve vztahu k monitorovaným složkám by proto mělo být založeno na parametrech, které řídí obecnou prostorovou variabilitu jednotlivých složek. Srovnání není možné založit na parametrech, vyjadřujících stav dané složky, protože by toto hodnocení bylo závislé na intenzitě antropogenního ovlivnění, které je časově a prostorově proměnlivé a je řízeno socioekonomickými, nikoli přírodními procesy.

Pro ověření homogenity proto jsou použity parametry, které byly v rámci rešeršních prací i vyjádření oslovených expertů identifikovány jako klíčové faktory, řídící prostorovou i kvalitativní variabilitu jednotlivých složek ekologického stavu. Ověřována byla míra prostorové i funkční vazby mezi těmito parametry variability a typologie i výslednými typy.

6.2.1 Rozhodující parametry variability složek ekologického stavu

Výběr parametrů variability složek ekologického stavu byl proveden na základě rešerše požadavků složek ekologického stavu na typologii a zejména na základě vyjádření oslovených expertů. Ti v rámci strukturovaného dotazníku uváděli hlavní parametry, které řídí variabilitu jednotlivých složek (Tabulka 4). Nejčastěji byly experty zmiňovány níže uvedené parametry, u kterých se liší možnosti jejich prostorového vyjádření, existence a dostupnost datových podkladů i jejich obecná vypovídací schopnost:

Zastínění – souvisí s břehovými porosty a jejich stavem. Bylo by možné použít údaje z databáze CORINE –land cover, ovšem jen v případě lesních porostů kolem toku. V případě doprovodného porostu v úzkém pásu podél břehů však nejsou údaje k disposici.

Rychlost proudění – nejlépe fyzikálně vyjádřená jako tzv. střední průřezová rychlost. Ta však není v čase konstantním parametrem, mění se s průtokem, navíc závisí na parametrech koryta, takže i při ustáleném průtoku se může měnit (a mění) po délce koryta. Údaje o střední průtokové rychlosti prakticky nejsou k disposici, jediným možným způsobem je její přibližné vyjádření pomocí sklonu koryta.

Diverzita proudění – platí totéž co pro rychlost proudění, navíc silně závisí na tvaru koryta a jeho morfologii. Údaje nejsou k disposici.

Trofie, produkce, nabídka živin – trofický potenciál je měřitelný, ale data nejsou dostupná. Jako míra produkce by mohl sloužit trofický potenciál, totéž pro nabídku živin.

Míra upravenosti toku – je otázkou, jak tento parametr vůbec definovat. Koryto může mít upravené nebo i opevněné břehy, v některých případech i opevněné dno. Někdy lze úpravu velmi obtížně zjistit i rekognoskací na místě – časem dochází k přetváření i upraveného koryta. Dále je otázkou, jak zohlednit různé typy opevnění, případně i různý stupeň jejich narušení. Navíc v rámci údržby vodních toků dochází k opravám poškozeného opevnění. Relevantní data nejsou k disposici. Kromě toho se již jedná o antropogenní zásah do toku, přičemž ale typologie by měla vycházet z antropogenně neovlivněného stavu koryta.

Stav koryta a břehů – zřejmě se jedná o jinak nazvanou míru antropogenní upravenost; dá se předpokládat, že se jedná o prakticky totožný případ s předchozím.

Hydromorfologie toku, sedimentačně erozní poměry – morfologie je s erozními a sedimentačními poměry úzce svázána. Bylo by možné použít klasifikaci např. dle Rosgena (1994) nebo její modifikaci. Rosgenova klasifikace však má sama o sobě již v první, nejobecnější, úrovni 9 kategorií, v nejpodrobnější úrovni pak 94 kategorií. Některá data pro klasifikaci by bylo možné získat ze stávajících podkladů, ovšem

již pro jeden ze základních parametrů první úrovně – poměr šířky a hloubky koryta – údaje nejsou k disposici.

Stabilita průtoku, resp. průtokový režim – zde je otázkou, jaký fyzikální parametr zvolit. Nabízí se např. součinitel variace, bylo by možné použít poměr vhodných m-denních průtoků (např. Q_{330}/Q_{30} a pod.). Hodnoty podléhají občasnému přehodnocení, jak se prodlužují měřené časové řady. Je otázkou, zda by bylo možné okamžitě získat data pro všechny vodní útvary.

Hydraulické parametry koryta toku – relevantní data o šířce a hloubce koryta a jeho hydraulické drsnosti nejsou k disposici. Navíc všechny parametry koryta mohou být značně variabilní i v rámci jediného úseku vodního toku, otázka jakou metriku zvolit.

Hydrochemie – zde je třeba zvolit několik parametrů typu pH, alkalita, acidita, KNK, CHSK, vybrané koncentrace aniontů a kationtů. V podmínkách ČR jsou tyto hodnoty zpravidla antropogenně ovlivněné. Totéž platí obecně pro všechny navrhované chemické parametry. Přitom ale typologie vodních útvarů by měla vycházet z antropogenně neovlivněného stavu.

Substrát – substrát, resp. jeho zrnitostní složení, alespoň pro toky s hrubozrnným substrátem (d_{84} > 20 mm) a vyššími gradienty (i > 0,002) vcelku přijatelně koreluje se sklonem (viz Mattas a Švelch 2009).

Teplotní režim –Teploty dobře korelují s nadmořskou výškou, kterou lze použít jako zástupný parametr.

Zonalita toku – bylo by možné použít zonaci např. podle Illiese (1961) či Hueta (1959). Je zde však zásadní otázka, a to nastavení polohy dělicích bodů mezi zónami. V případě použití Huetovy klasifikace je problémem určení šířky toku, pro kterou nejsou dostupná data. Navíc je známo, že přirozená zonace může být a je antropogenně ovlivňována (jezy, přehrady) – viz též Serial Discontinuity Concept (Ward and Stanford. 1983).

Spád – spádem se obecně rozumí rozdíl nadmořské výšky hladin mezi dvěma profily, v tomto případě mezi začátkem a konce daného úseku. V hydraulice se spíše používá ze spádu a délky úseku koryta odvozený podélný sklon (gradient) toku, obvykle udávaný v promile (1000‰ = 45°).

Pro vypovídací schopnost těchto parametrů při použití k ověření homogenity je rozhodující míra antropogenního ovlivnění, kterou by použité parametry neměly vykazovat. Tomuto kritériu odpovídají pouze abiotické parametry, ze kterých jsou mimo okruh parametrů, použitých pro konstrukci typologie, uvažovány dva – velikost toku a sklon.
Ostatní parametry již vyjadřují antropogenní ovlivnění – ať se jedná o zastínění, vyjádřené prostřednictvím přítomnosti lesního porostu, nebo o vybrané fyzikálně-chemické a biologické parametry jakosti vody. Vzhledem k intenzitě antropogenní zátěže toků nelze jednotky, hodnoty z dlouhodobého monitoringu kvality vody přímo vztahovat k jednotkám, potenciálně považovat za reprezentativní pro ověření U těchto parametrů je proto výsledkem analýzy informace o variabilitě hodnot pro jednotlivé typy toků.

6.2.2 Ověření vybraných parametrů variability složek ekologického stavu a typologie

Pro ověření vazby parametrů typologie a parametrů, řídících variabilitu složek ekologického stavu vodních toků byly použity parametry odrážející obecné abiotické poměry a jako doplněk byly zařazeny i parametry, odrážející fyzikálně-chemické a biologické poměry toků.

Z abiotických poměrů byly hodnoceny:

- velikost toku
- sklon toku
- sinuosita toku

Z hlediska fyzikálně-chemických a biologických parametrů byly hodnoceny následující:

- průtok
- teplota vody
- pH
- Konduktivita
- Rozpuštěné látky
- Nerozpuštěné látky
- Vápník
- Rozpuštěný kyslík
- BKS5
- CHSKCr
- N-NO3
- N-NH4
- celkový fosfor
- AOX
- chlorofyl (ethanolem)
- index sprobity bentosu
- index saprobity biosestonu
- index saprobity abiosestonu

Zdrojem dat pro ověření byla databáze výsledků monitoringu Arrow, ze které byly správcem, společností Hydrosoft Veleslavín, vybrány podle požadavků údaje, pokrývající v daných parametrech maximum rozsahu říční sítě a maximum pozorovaného období. Data obsahovala pro jednotlivé parametry následující hodnoty:

- průměr
- medián
- minimum
- maximum

U jednotlivých záznamů bylo následně ověřeno prostorové a časové pokrytí říční sítě a byly vyhodnoceny výše uvedené parametry. Pro tyto parametry byla provedena integrace hodnot pro profily měrných sítí ČHMÚ, podniků povodí i ZVHS do GIS, kde byly následně propojeny s hodnotami parametrů typologie a podkladových analytických vrstev. Pro parametry bylo provedeno statistické vyhodnocení variability hodnot v jednotlivých kategoriích typologie, pomocí shlukové analýzy byly ověřeny vazby na tyto parametry a byla provedena vizualizace prostorové variability hodnot.

Výsledky vyhodnocení jsou představeny na vybraných parametrech (viz kap. 5.4.5 – 5.4.7), které představují ukazatele, specifické z pohledu abiotických prvků, resp. antropogenního ovlivnění.

6.2.3 Abiotické parametry

Velikost toku

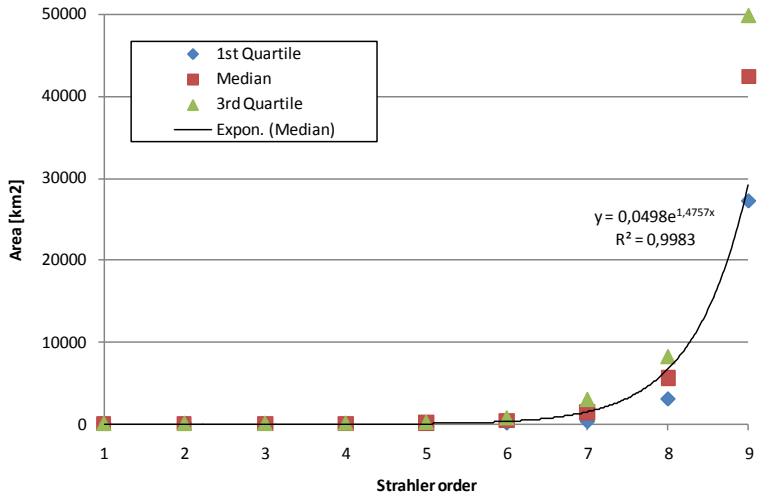
Velikost toku je obecně možné vyjádřit různými parametry, které jsou vzájemně zpravidla silně závislé. Mezi základní patří plocha povodí, řád toku a dlouhodobý průměrný průtok (Maidment, 1999). Z hlediska dostupnosti dat pro celý rozsah říční sítě v podrobnosti odpovídající strukturálnímu modelu DIBAVOD je možné použít parametry řád toku – který je však již zahrnut v typologii - plochu povodí.

Mezi plochou povodí a relativním řádem toku dle Strahlera je vztah, který definuje model hierarchického uspořádání říční sítě (Strahler 1953, Goudie 1997). Tento model předpokládá exponenciální závislost plochy povodí daného řádu na čísle řádu toku. Charakter závislosti je však regionálně proměnlivý a pro každé povodí platí odlišný funkční vztah (Maidment, 1999), nicméně tento vztah vždy v určité podobě existuje.

Ověření vztahu mezi plochou povodí a řádem toku dle Strahlera bylo provedeno odvozením plochy povodí ke všem bodům úsekového modelu říční sítě DIBAVOD na území ČR. Pro ověření přitom není možné využít standardní datové podklady, udávající hodnoty ploch povodí, vymezených v rámci modelu říční sítě, protože reflektují hodnoty vztažené k povodím, již vymezeným na základě řádovosti a zároveň neřeší problém postupné akumulace plochy povodí po toku. Pro všechny závěrové body úsekového modelu říční sítě DIBAVOD byla proto provedena analýza DMT a pro každý z 294 tis. bodů vypočtena hodnota akumulované plochy povodí. Výsledné hodnoty byly ověřeny a odfiltrovány byly odlehlé hodnoty, vzniklé při generování ploch nad DMT v místech nejednoznačného nebo nespojitého průběhu říční sítě (Tabulka 24).

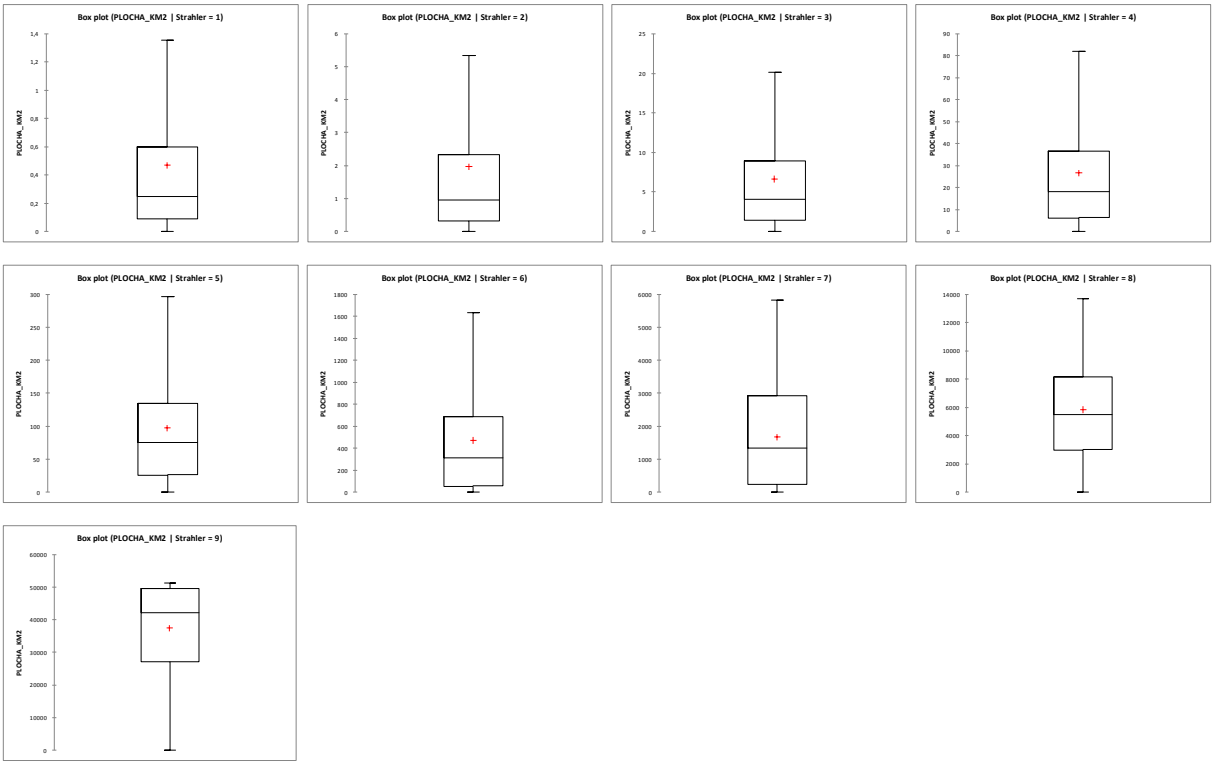
Tabulka 24 Vyhodnocení variability hodnot plochy povodí dle Strahlerova řádu toku. Data: DIBAVOD, VÚV TGM

Strahler order	1	2	3	4	5	6	7	8	9
No. of observations	101168	56196	30572	17893	9260	5047	1668	921	205
No. of missing values	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum of weights	101168	56196	30572	17893	9260	5047	1668	921	205
Minimum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
Maximum	9,780	19,960	49,960	199,860	499,880	7507,810	5841,130	26682,020	51403,900
Freq. of minimum	122441	166921	192451	205097	213709	217907	221281	222021	1
Freq. of maximum	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Range	9,780	19,960	49,960	199,860	499,880	7507,810	5841,130	26682,020	51403,880
1st Quartile	0,090	0,310	1,390	6,180	25,868	53,185	231,953	2995,940	27266,340
Median	0,250	0,960	4,100	18,230	74,950	313,550	1328,760	5526,420	42334,800
3rd Quartile	0,600	2,330	8,910	36,550	134,580	687,420	2923,943	8146,090	49781,570
Sum	47399,770	109994,520	202796,290	474569,230	895643,060	2374945,960	2770505,370	5384833,730	7682830,610
Mean	0,469	1,957	6,633	26,523	96,722	470,566	1660,974	5846,725	37477,222
Variance (n)	0,347	8,191	59,953	848,926	8858,902	301440,104	2221075,893	20541059,466	229366092,726
Variance (n-1)	0,347	8,191	59,955	848,974	8859,858	301499,843	2222408,272	20563386,705	230490436,317
Standard deviation (n)	0,589	2,862	7,743	29,136	94,122	549,036	1490,327	4532,225	15144,837
Standard deviation (n-1)	0,589	2,862	7,743	29,137	94,127	549,090	1490,774	4534,687	15181,911
Variation coefficient	1,257	1,462	1,167	1,099	0,973	1,167	0,897	0,775	0,404



Obrázek 49 Vztah mezi řádem toku a akumulovanou plochou povodí úseku toku. Data: DIBAVOD

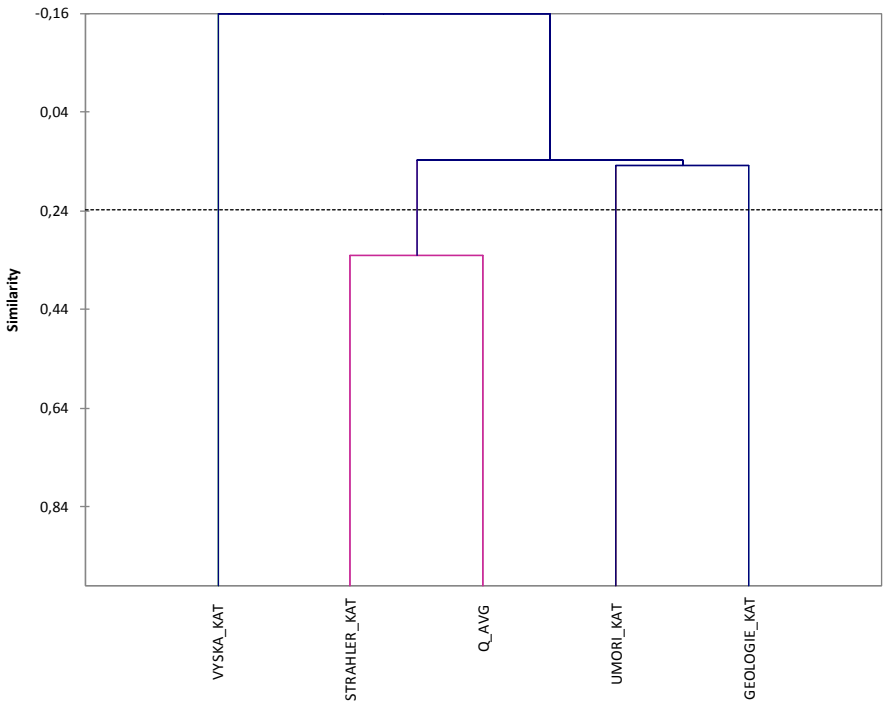
Výsledky detailní analýzy, provedené pro celé území ČR potvrzují základní teoretická východiska Strahlerova řádovostního modelu říční sítě, a potvrzují závislost plochy povodí daného řádu na čísle řádu toku (Obr. 49). Obecný exponenciální charakter vztahu je však třeba vždy interpretovat s vědomím rozdílné variability hodnot plochy pro jednotlivé kategorie řádu toku, dané vysokou variabilitou fyzicko-geografických poměrů ČR (Obr. 50)



Obrázek 50 Variabilita hodnot plochy povodí v závislosti na řádu toku. Data: DIBAVOD, VÚV TGM

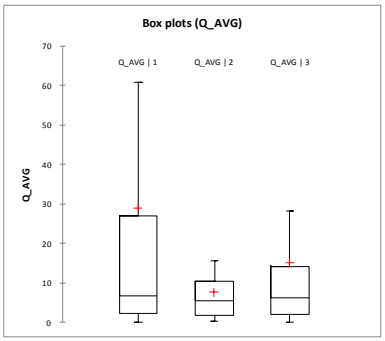
Pro zpracování typologie i vymezení vodních útvarů je z provedené analýzy důležité rovněž zjištění vztahu hraničních hodnot plochy povodí toku a řádu toku, použité pro vymezení vodních útvarů. Metodika Rámcové směrnice zde jako dolní hranici uvádí hodnotu 10 km^2, zatímco pro vymezení VÚ v ČR byly jako základ použity hranice povodí 4. řádu dle Strahlera, doplněné o vybraná povodí 3 a 5. řádu. Ze středních hodnot (medián, kvartily) rozdělení ploch podle řádu toku je zřejmé, že hranice obě hodnoty spolu korespondují – úseky toku s plochou povodí 10 km^2 představují dominantně toky 4. řádu, doplněné o toky 3 a 5. řádu. Promítnutí typologie toků do závěrových profilů stávajících vodních útvarů tedy představuje generalizaci stejné úrovně, jakou požaduje RS.

Z databáze výsledků monitoringu byla rovněž ověřena vazba hodnot mezi dlouhodobým průměrným průtokem a parametry typologie. Výsledky (obrázek 51) potvrzují obecně platné předpoklady, tj. vazbu hodnoty průtoku na řád toku dle Strahlera.

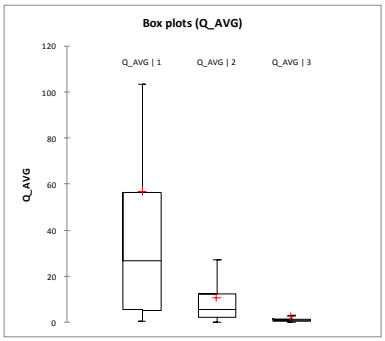


Obrázek 51 Shluková analýza hodnot dlouhodobého průměrného průtoku a hlavních souvisejících parametrů

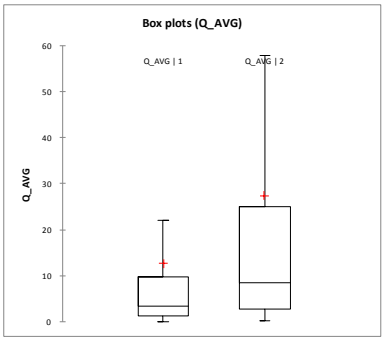
Variabilita hodnot průtoků podle jednotlivých kategorií ukazuje na zanedbatelný význam regionálního členění dle úmoří, výrazný pokles středních hodnot i variability průtoků ve vztahu k nadmořské výšce, vyšší hodnoty průtoku i rozpětí hodnot u profilů, odvodňujících toky na sedimentárním a kvartérním podloží konečně logický nárůst hodnot průtoku spolu s řádem toku (obrázek 52).



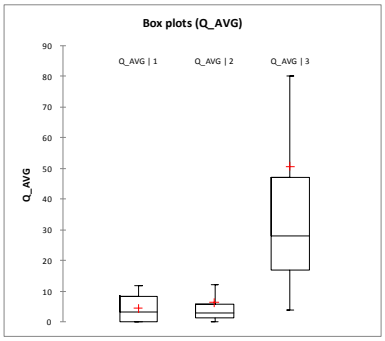
Úmoří



Výška



Geologie



Strahler

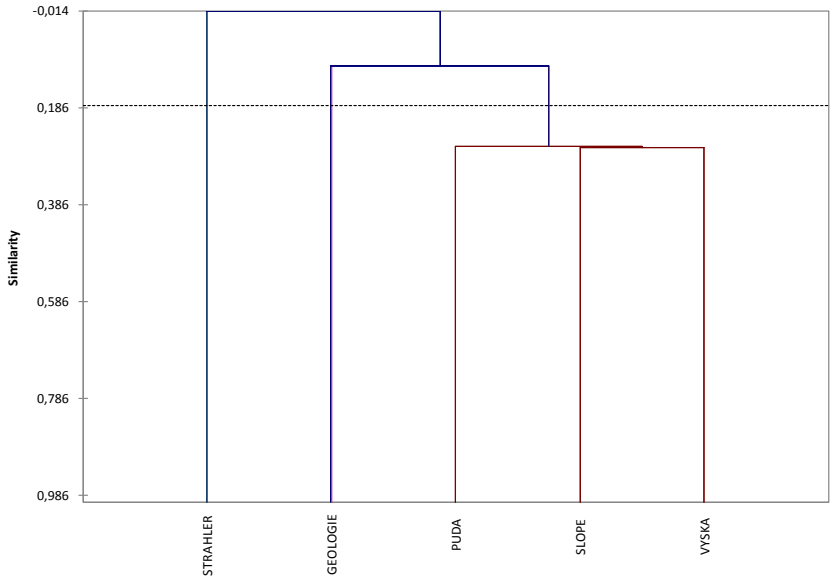
Obrázek 52 Variabilita hodnot dlouhodobého průměrného průtoku v rámci parametrů typologie

Sklon

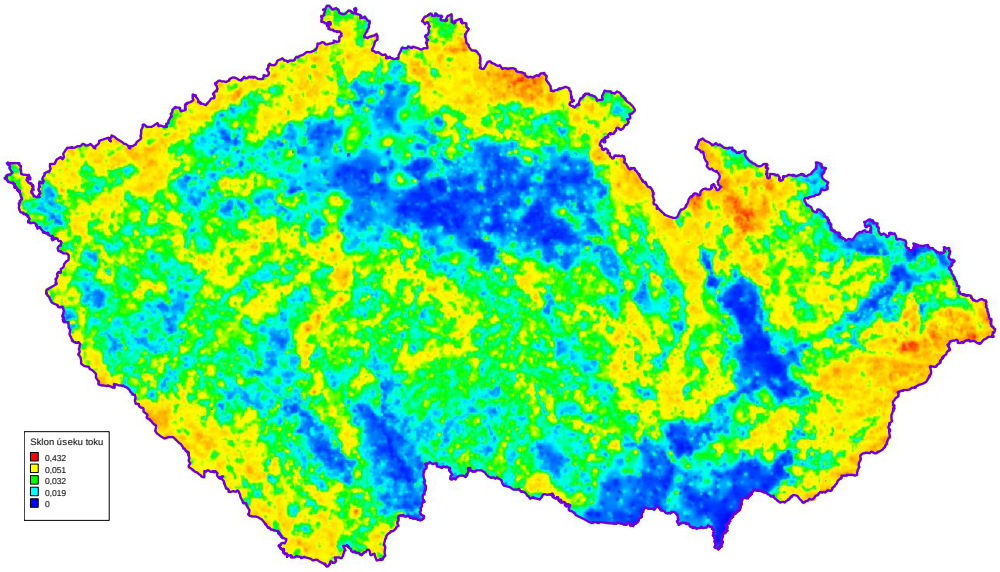
Podélný sklon toku je parametr významný pro řadu biologických složek, zejména jako určující faktor charakteru a rychlosti proudění vody v korytě. Sklon koryta byl vypočítán z DMR pro všechny uvažované úseky toků a připojen do databáze k jejich centerpointům.

Testování mělo za cíl vyhodnotit vazby na možné ovlivňující a související parametry – nadmořskou výšku, geologii, akumulovanou plochu povodí, Strahlerův řád toku, geomorfologickou oblast a délku úseku.

Výsledky shlukové analýzy metodou AHC na plném vzorku datových bodů, představujících centerpointy úseků modelu říční sítě DIBAVOD ukázaly na nejtěsnější vazbu na nadmořskou výšku (obrázek 53 a 54). Vazba mezi nadmořskou výškou a sklonem je zároveň nejvýraznější ze všech testovaných parametrů -k vytváření shluku dochází na nejnižší úrovni. Naopak relativně nezávislý je parametr sklonu na řádu toku i ploše povodí.



Obrázek 53 Shluková analýza sklonu úseku a hlavních souvisejících parametrů



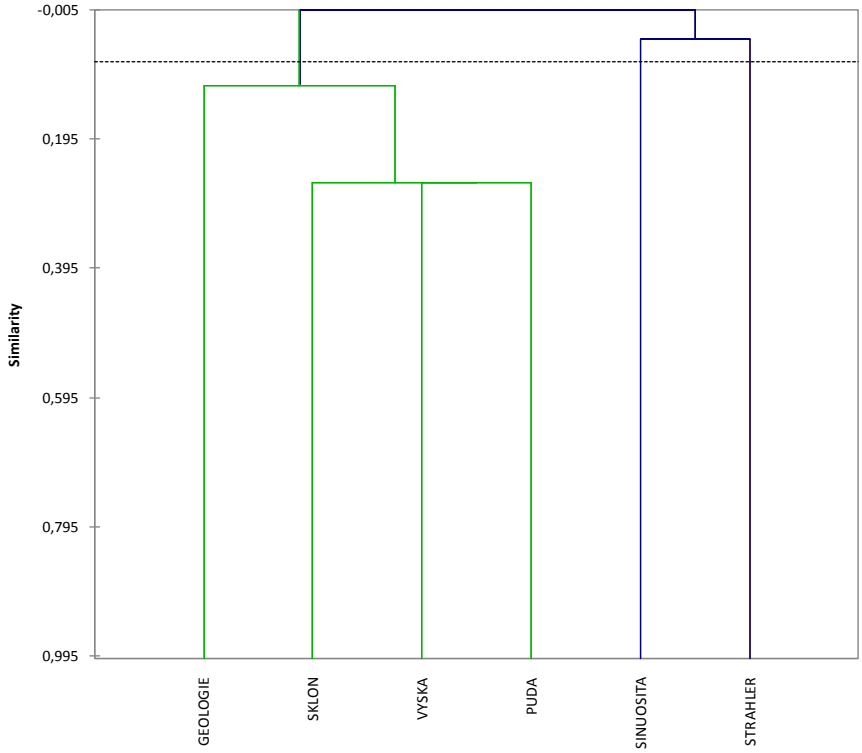
Obrázek 54 Rozložení sklonů

Sinuosita

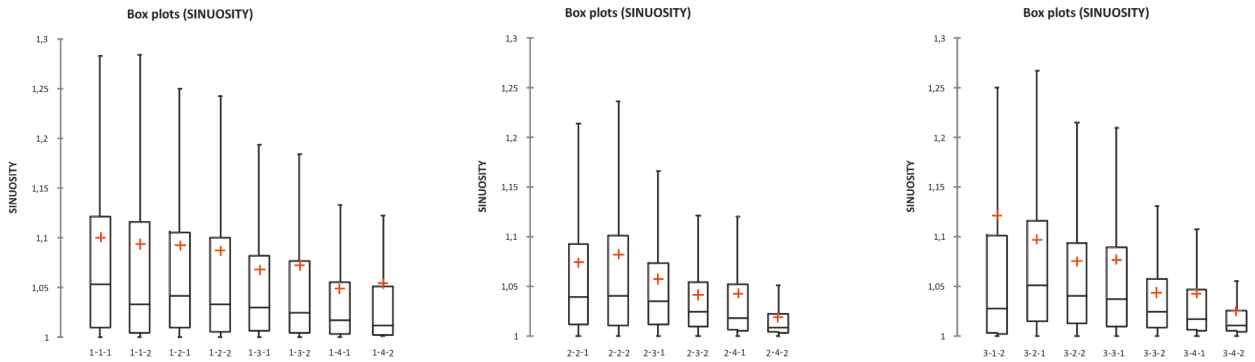
Sinuosita je významný hydromorfologický parametr, který odráží hydraulické poměry proudění v korytě toku, které jsou podstatným ukazatelem ovlivňujícím podmínky pro život organismů v toku.

Pro potřeby hodnocení byla sinuosita úseku vypočtena v prostředí GIS jako poměr mezi skutečnou a přímkovou délkou úseku (Burbank and Anderson, 2001).

Sinuosita toku byla testována na vazby mezi parametry, které z hlediska hydromorfologie mohou být pro trasu toku signifikantní. Jedná se zejména o nadmořskou výšku, sklon toku, řád toku, geologické podloží, nebo geomorfologickou oblast (obr. 55 a 56). Výsledky ukazují na slabé vazby těchto parametrů ve vztahu k sinuositě, zřetelná je pouze vazba na řádovost toku.



Obrázek 55 Vazby mezi parametry, potenciálně ovlivňujícími sinuositu toku



Obrázek 56 Variabilita sinuosity toku podle zonálních typů

Vyhodnocení variability sinuosity po jednotlivých typech základního členění ukazuje nárůst jak střední hodnoty sinuosity, tak variability hodnot spolu s klesající nadmořskou výškou. Nížinné typy toků ve všech hlavních povodích vykazují přirozeně nejvyšší míru sinuosity toku, stejně jako vysokou variabilitu hodnot. Tento fakt odráží jak přirozené faktory, které sinuositu řídí, kde klíčový proces představuje meandrování, tak v plochých údolních nivách, tak antropogenní ovlivnění, kdy právě toky v nížinných oblastech byly v minulosti intenzivně napřimovány za účelem protipovodňové ochrany nebo intenzivního zemědělství (Langhammer 2008)

Shrnutí

Výsledky potvrzují obecné předpoklady vazby mezi hlavními abiotickými parametry a parametry použitými pro konstrukci typologie

Analýza *velikosti toku*, která sledovala různé způsoby vyjádření velikosti toku – prostřednictvím plochy povodí a průměrného dlouhodobého průtoku potvrdila v obou případech teoreticky předpokládanou vazbu na řád toku dle Strahlera. Zanedbatelný je v tomto případě význam regionálního členění dle úmoří, u průtoku je výrazný pokles středních hodnot i variability průtoků ve vztahu k nadmořské výšce, vyšší hodnoty průtoku i rozpětí hodnot u profilů, odvodňujících toky na sedimentárním a kvartérním podloží a nárůst hodnot průtoku spolu s řádem toku

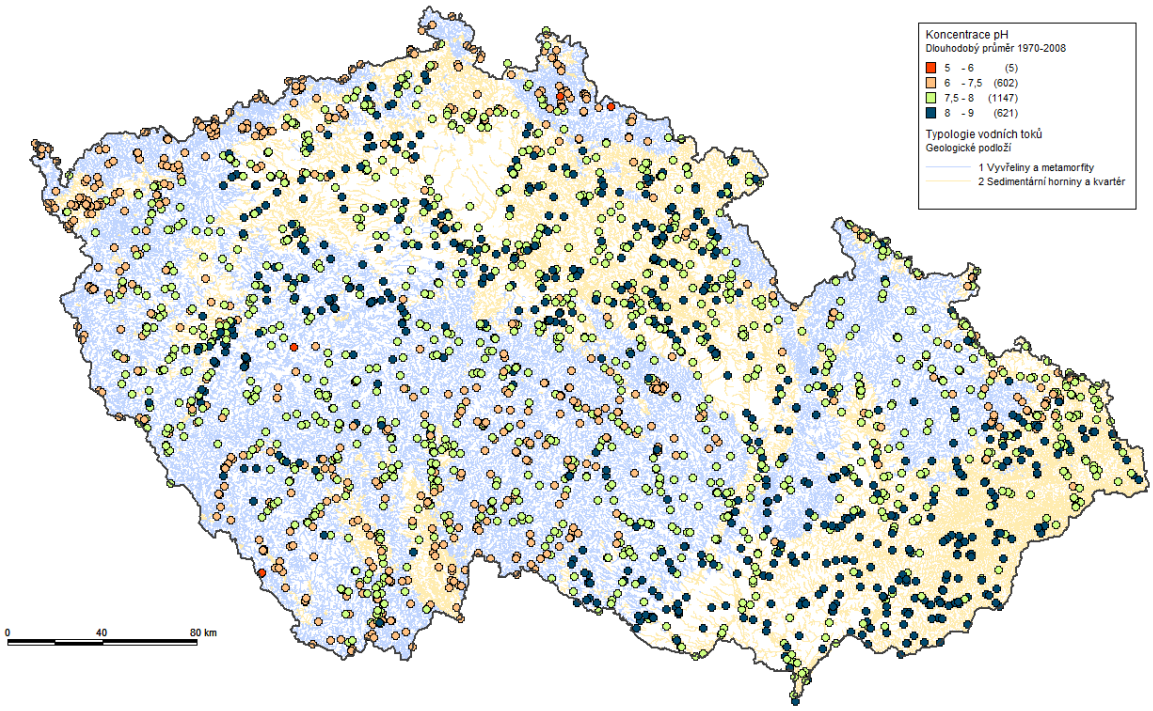
Testování *sklonu toku* jako parametru, zmiňovaného experty mezi významnými činiteli variability společenstev, potvrdilo nejtěsnější vazbu na nadmořskou výšku. Naopak relativně nezávislý je tento parametr sklonu na řádu toku i ploše povodí.

Sinuosita toku byla testována na vazby mezi parametry, které z hlediska hydromorfologie mohou být pro trasu toku signifikantní. Jedná se zejména o nadmořskou výšku, sklon toku, řád toku, geologické podloží, nebo geomorfologickou oblast. Výsledky ukazují na slabé vazby těchto parametrů ve vztahu k sinuositě, zřetelná je pouze vazba na řádovost toku.

6.2.4 Fyzikálně-chemické parametry

pH

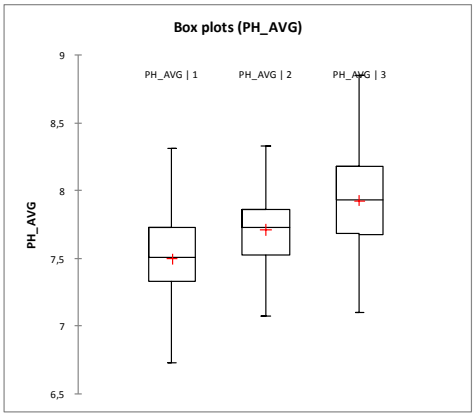
Reakce vody pH je hodnota, která ukazuje na množství kationtů vodíků v roztoku, resp. míru kyselosti či zásaditosti roztoku. Její rozmezí je od 0 (kyselost) až po 14 (zásaditost). V neznečištěných povrchových vodách ovlivňuje pH vody nejvíce horninové prostředí, přičemž hodnoty pH se pohybují zpravidla v rozmezí 4,5–8,3; pH podzemních vod se potom pohybuje nejčastěji v rozmezí 5,5–7,5 (Pitter, 1992). Vlivem antropogenním činnosti, stejně jako vyplavováním bazických iontů z půd a geologického podloží dochází k acidifikaci povrchových i podzemních vod.



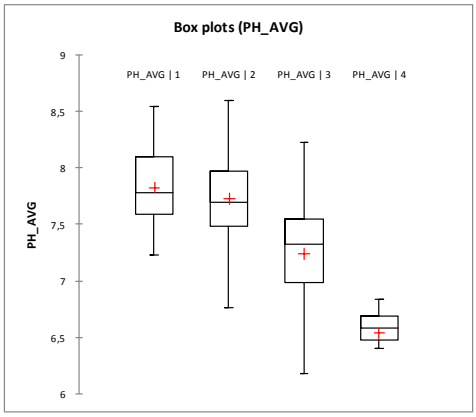
Obrázek 57 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot pH na síti monitorovacích profilů

Rozložení dlouhodobých průměrných koncentrací pH na sledovaných profilech vykazuje značnou míru regionálního uspořádání v rámci ČR. Statistické vyhodnocení ukázalo na výrazné vazby hodnot pH vzhledem k parametrům typologie. Základní vazbu představuje vztah hodnot pH, naměřených v období 1970-2008 na profilech monitorovací sítě ke geologickému podloží. Tato vazba se dále promítá i do variability hodnot v rámci jednotlivých úmoří.

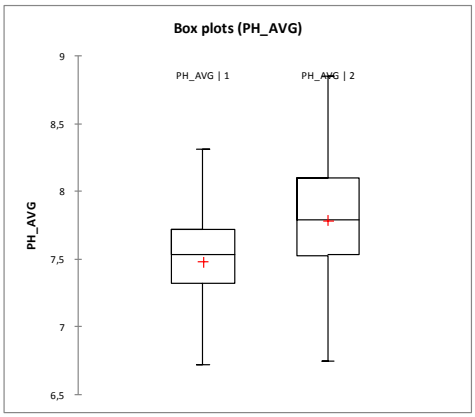
V jednotlivých úmořích, resp. hlavních povodích ČR se střední hodnoty pH, pozorované na síti profilů, vzájemně odlišují (obrázek 57). Nejnižší průměrné hodnoty vykazuje oblast povodí Labe, nejvyšší povodí Moravy. Tato variabilita může odrážet odlišné zastoupení kategorií geologického podloží v těchto povodích, na jehož strukturu jsou hodnoty pH nejsilněji vázané. V povodí Labe je podíl toků na krystalických a vyvřelých horninách nejvyšší (63% délky toků v rámci povodí), naproti tomu v povodí Moravy a Odry nacházíme nadpoloviční podíl sedimentárních hornin a kvartéru, na který je vázána vyšší alkalita. Výrazný je pokles středních hodnot pH s rostoucí kategorií nadmořské výšky. Naopak vazba hodnot pH na řád toku je nezřetelná.



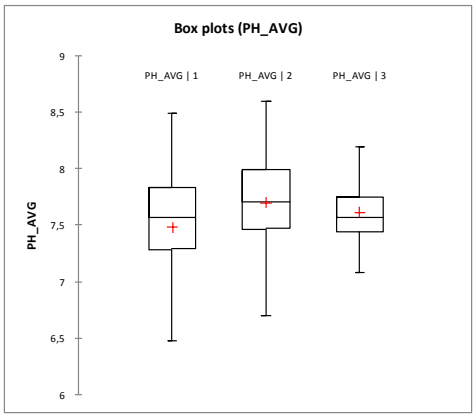
Úmoří



Výška



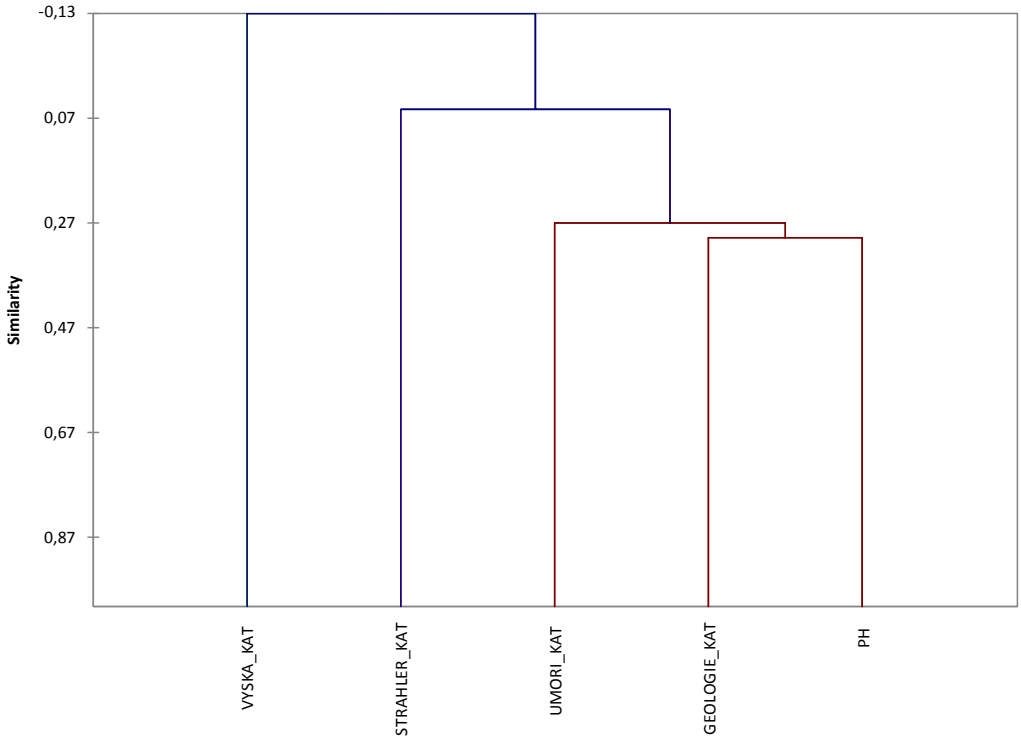
Geologie



Strahler

Obrázek 58 Variabilita hodnot pH v rámci kategorií parametrů typologie vodních toků

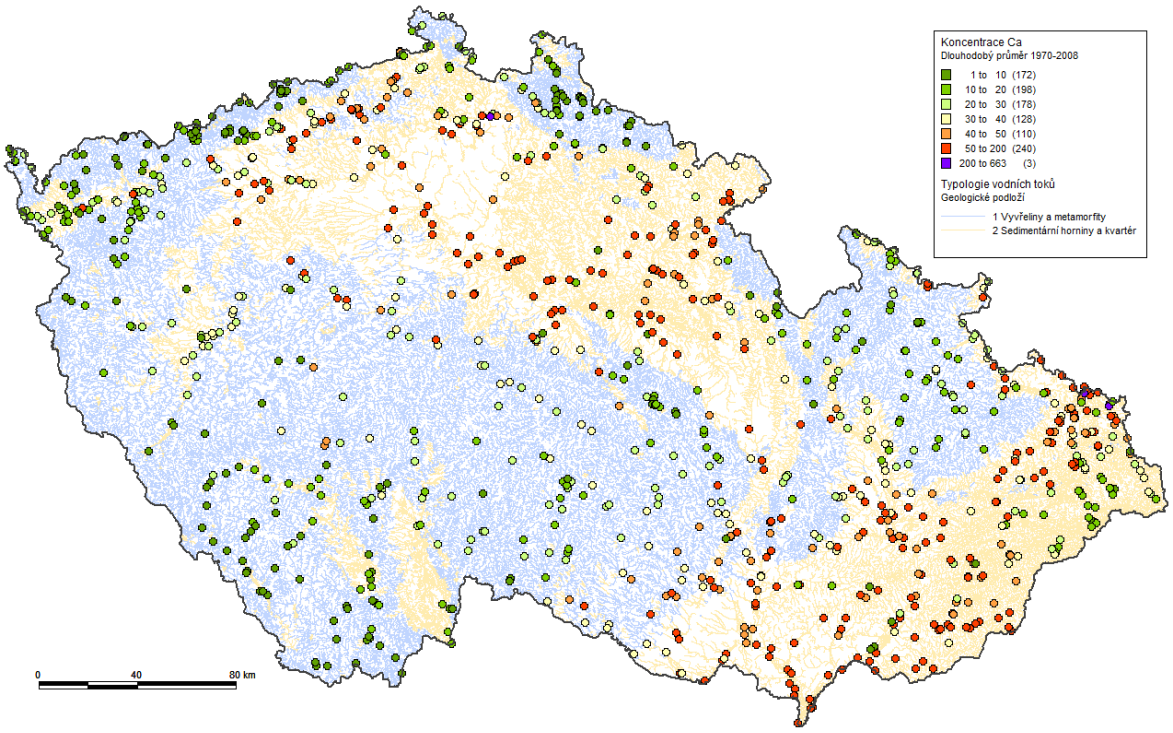
Shluková analýza potvrzuje nejsilnější vazbu hodnot pH na kategorie geologického podloží. Druhá nejsilnější vazba je potom na úmoří, kde se může projevovat zmíněný vliv odlišné struktury podloží v rámci jednotlivých povodí (obázek 58 a 59).



Obrázek 59 Shluková analýza vazeb mezi pH a parametry typologie

Vápník

Vápník patří k nejdůležitějším kationtům v povrchových vodách. V přírodním prostředí se do povrchových vod dostává mj. vyluhováním vápence, dolomitu, sádrovce a dalších minerálů. Vzhledem k hojnému rozšíření vápníku a hořčíku v přírodě jsou i přírodní vody na tyto prvky obvykle velmi bohaté. V běžných podzemních i povrchových vodách se pohybuje koncentrace vápníku od desítek po několik set mg/l (Otyepková, Kvítek et al. 2005). Z antropogenních zdrojů mohou být zdrojem vápníku např. průmyslové odpadní vody z důlní činnosti nebo chemického průmyslu.



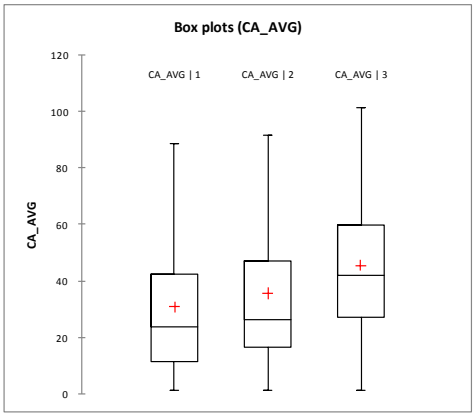
Obrázek 60 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot vápníku na síti monitorivacích profilů

Rozložení středních hodnot i prostorové variability koncentrací vápníku je komplementární k rozložení hodnot pH a můžeme zde pozorovat analogické funkční i prostorové vazby. Základním zdrojem variability je opět vazba na geologické podloží, kde průměrné dlouhodobé koncentrace vápníku v kategorii sedimentárních hornin a kvartéru je výrazně vyšší než u kategorie krystalických hornin.

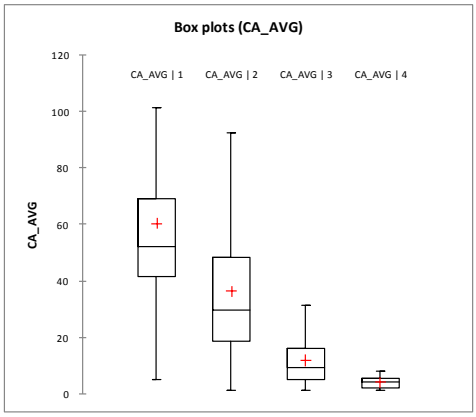
Prostorové rozložení koncentrací tuto vazbu, stejně jako v případě ukazatele pH, vystihuje velmi dobře. Statistické vyhodnocení ukázalo dále opět na vazbu směrem k úmoří, kde opět oblast povodí Labe vykazuje nejnižší průměrné střední hodnoty, oblast povodí Moravy nejvyšší (obrázek 60).

Výrazný pokles hodnot, korespondující s vyšší aciditou, je rovněž patrný s narůstající nadmořskou výškou. Vazba koncentrací vápníku k řádu toku je, stejně jako v případě ukazatele pH, neurčitá.

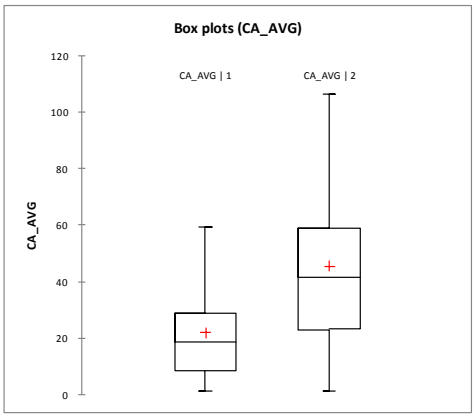
Shluková analýza potvrzuje nejsilnější vazbu mezi koncentracemi vápníku kategorií geologického podloží, v další úrovni poté k úmoří (obrázek 61 a 62).



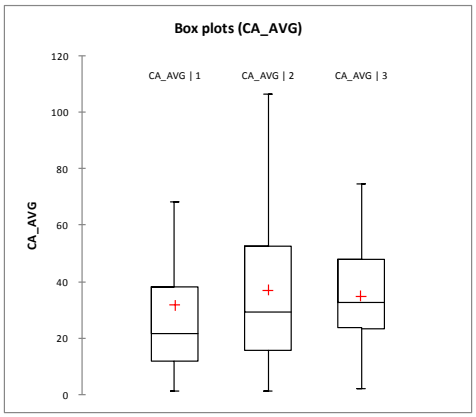
Úmoří



Nadmořská výška

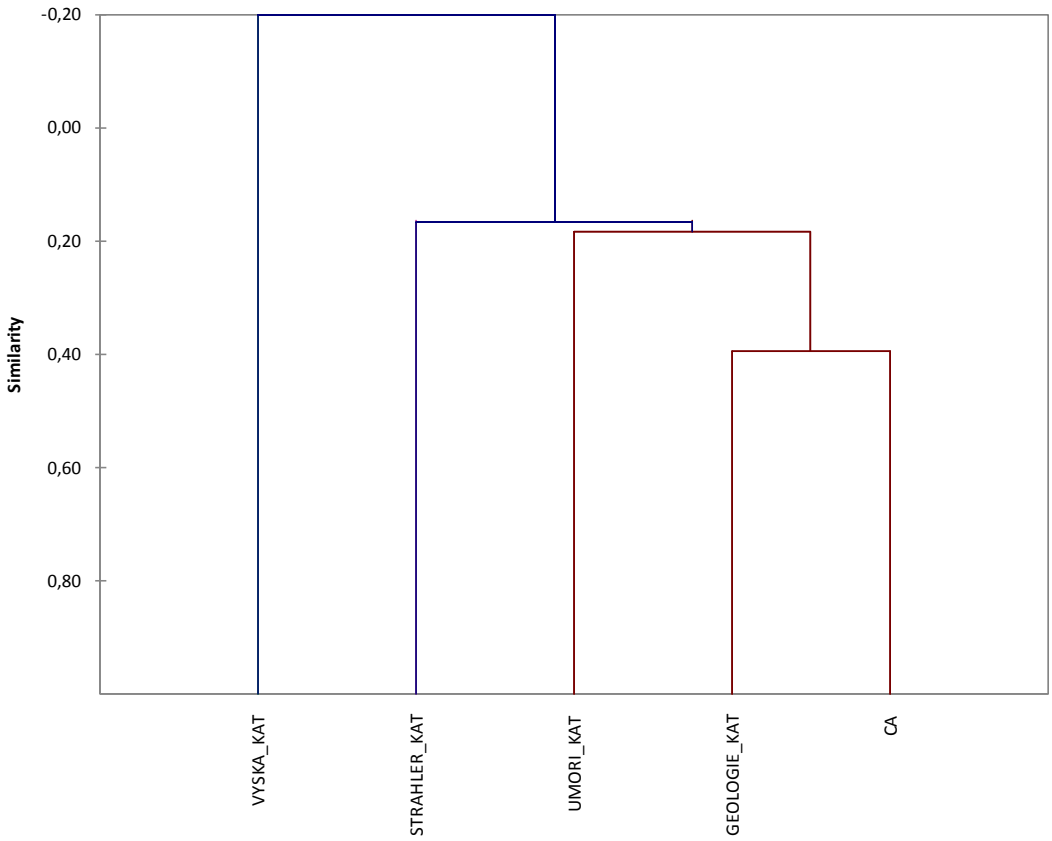


Geologie



Strahler

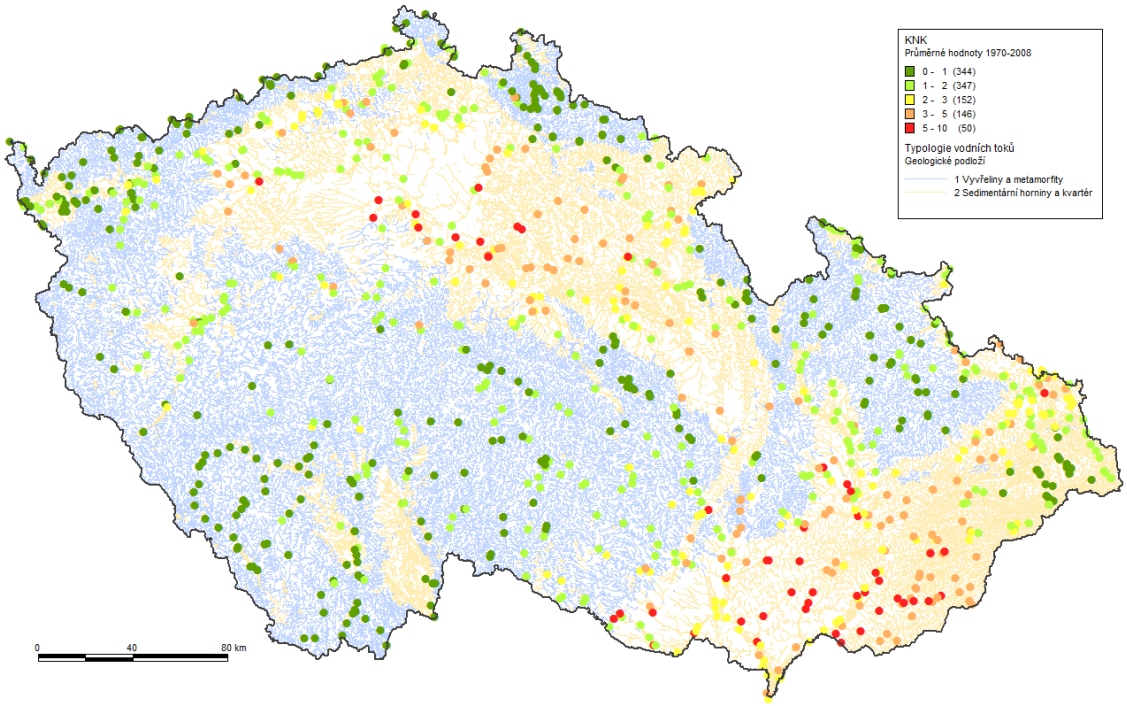
Obrázek 61 Variabilita hodnot koncentrací Ca v rámci kategorií parametrů typologie vodních toků



Obrázek 62 Shluková analýza vazeb mezi koncentracemi Ca a parametry typologie

KNK 4,5

Neutralizační kapacita (NK) obecně popisuje schopnost vody vázat oxoniové či hydroxidové ionty a udržovat tak do jisté míry konstantní hodnotu pH (Pitter, 1992). Neutralizační kapacita je důležitá zejména z hlediska průběhu biologických procesů v přírodních vodách, na nichž např. závisí mimo jiné samočisticí schopnost vody. Je rozlišována kyselinová kapacita, označovaná KNK4,5 a zásadová kapacita ZNK 8,3. Ukazatel KNK4,5 bývá rovněž označován jako alkalita .(Otyepková, Kvítek et al. 2005)..



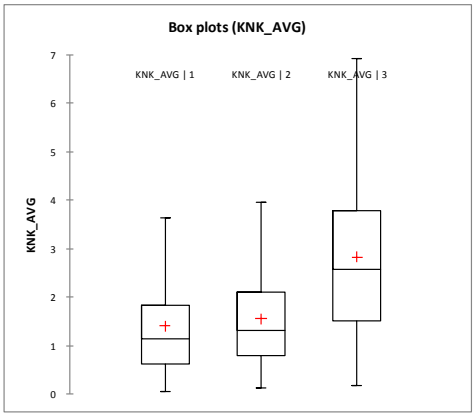
Obrázek 63 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot KNK 4,5na síti monitorivacích profilů

Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot KNK 4,5 kopíruje prostorovou i funkční variabilitu hodnot pH.

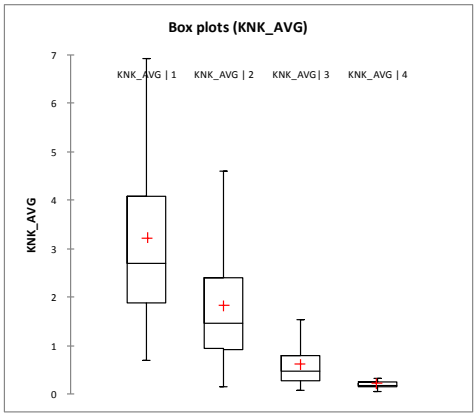
Z hlediska funkční závislosti je opět primární vazba mezi hodnotami KNK 4,5 a kategoriemi geologického podloží. Analogické je i rozdělení hodnot v rámci hlavích povodí, kde opět nejvyšší hodnoty jsou pozorovány v povodí Moravy, stejně jako rozdělení hodnot v sledovaných kategoriích nadmořské výšky. Ze schématu variability nevybočuje ani nezřetelná vazba k řádovosti říční sítě. Potvrzení shodných vzorců variability KNK 4,5 s variabilitou hodnot pH z hlediska vlivu na složky ekosystému vypovídá o stabilitě poměrů acidity toků z hlediska jejich prostorové variability (obrázek 63).

Shluková analýza opět potvrzuje primární vazbu na kategorie geologického podloží a následně oblasti hlavních povodí (obrázek 64 a 65).

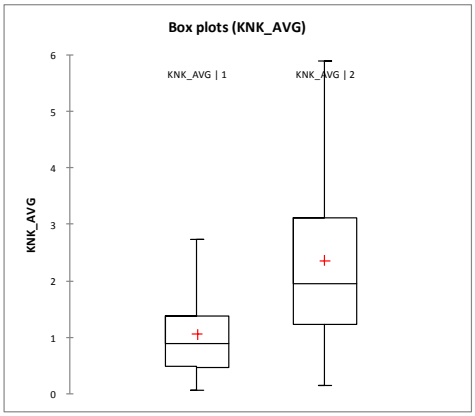
Společným rysem všech tří ukazatelů – pH, vápníku a KNK 4,5 je nezřetelná variabilita hodnot ve vztahu ke kategoriím řádu toku. Tu lze interpretovat jako potvrzení faktu, že uvedené ukazatele nejsou zásadním způsobem determinovány antropogenním ovlivněním. V případě ukazatelů, kde variabilita je řízena antropogenním znečištěním je totiž zřejmá vazba mezi hodnotami daného ukazatele a velikostí toku (Langhammer, 2009). Absence tohoto vztahu ukazuje, že zdroje variability jsou mezi parametry odrážejícími charakteristiky přírodního prostředí. Vazba na zonální parametry typologie pak ukazuje, že uvedené parametry, označené experty jako prvky, řídící variabilitu vybraných složek ekologického stavu, korespondují s parametry a kategorizací typologie a jsou jí věrohodně vyjádřeny.



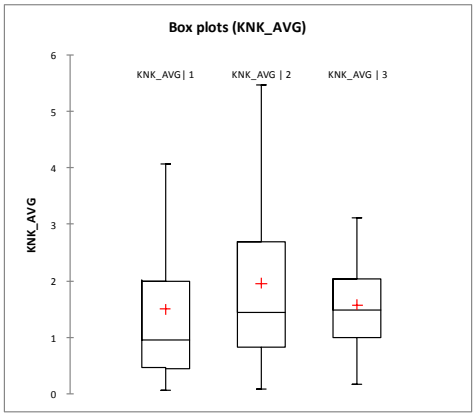
Úmoří



Nadmořská výška

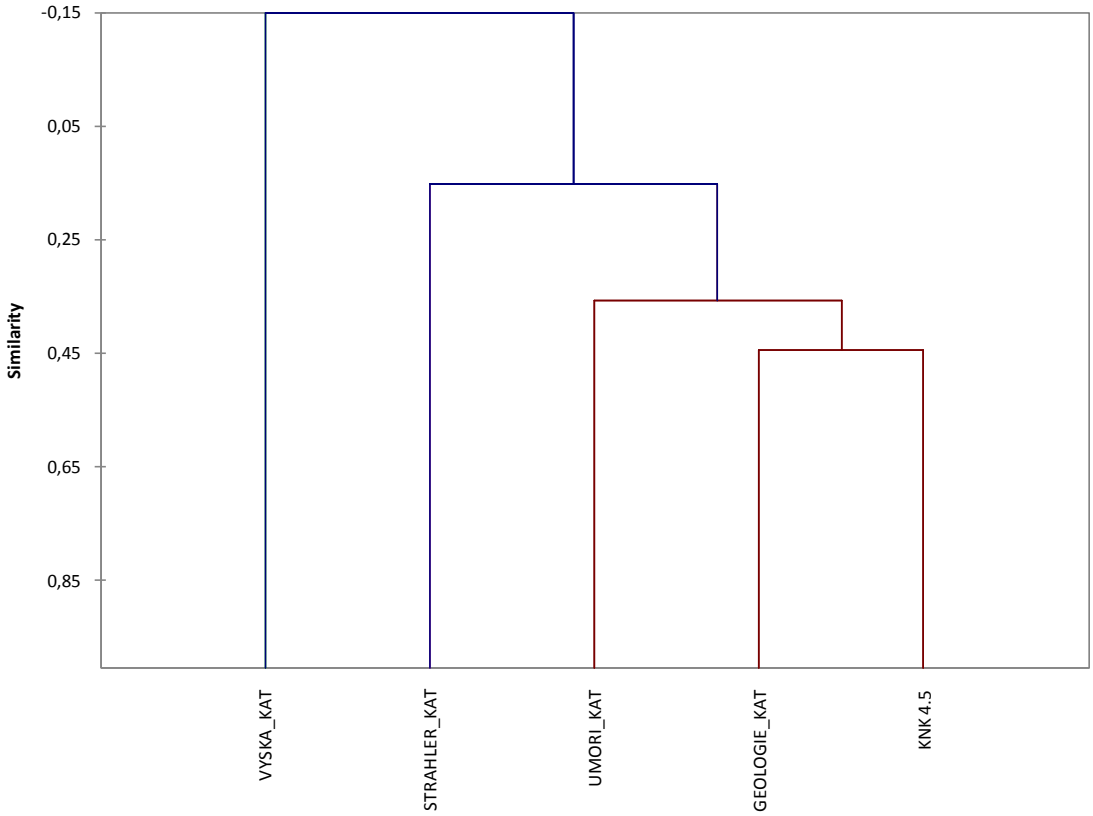


Geologie



Strahler

Obrázek 64 Variabilita hodnot KNK 4,5 v rámci kategorií parametrů typologie vodních toků

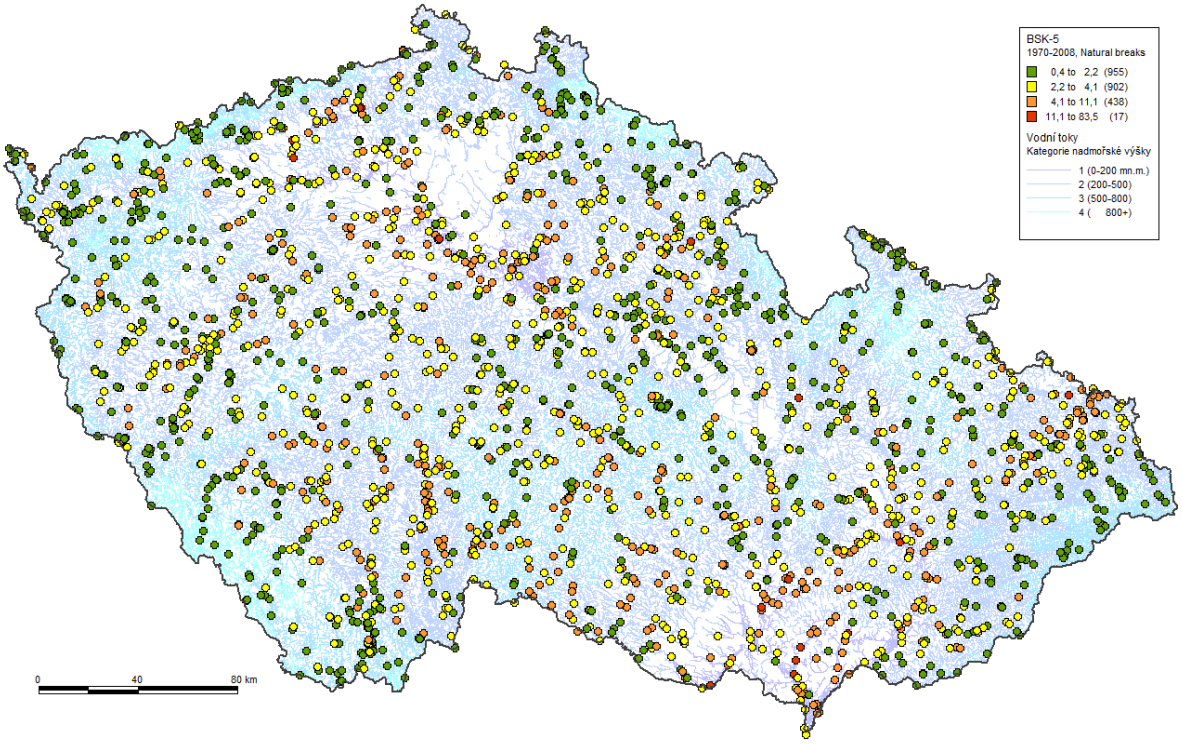


Obrázek 65 Shluková analýza vazeb mezi koncentracemi KNK 4,5 a parametry typologie

BSK_5

Ukazatel Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní (BSK5) odráží zatížení vod biologicky rozložitelným organickým znečištěním. BSK vyjadřuje množství kyslíku, spotřebované mikroorganismy při biochemické oxidaci za aerobních podmínek za pět dní. Slouží jako je nepřímý ukazatel množství biologicky rozložitelných organických látek ve vodě (Pitter, 1992).

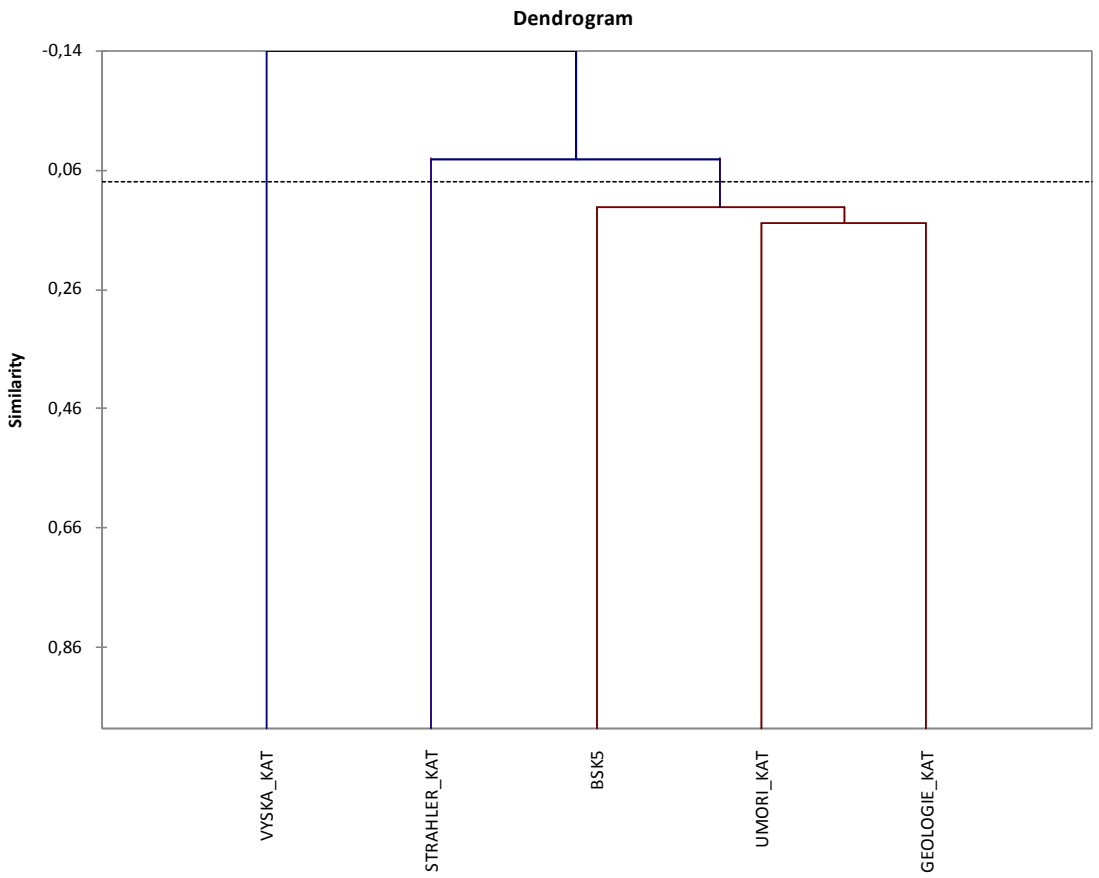
Vzhledem k tomu, že postihuje pouze znečištění biologicky rozložitelnými látkami, je tento ukazatel využíván jako indikátor komunálního znečištění.



Obrázek 66 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot BSK5 na síti monitorovacích profilů

U parametrů, kde naměřené hodnoty odrážejí významně antropogenní ovlivnění odpovídá regionální variabilita rozložení zdrojů antropogenní zátěže. Prostorová variabilita tak primárně neodráží přírodní charakteristiky ani variabilitu parametrů typologie toků (obrázek 66). Příkladem takového parametru je právě Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní (BSK_5).

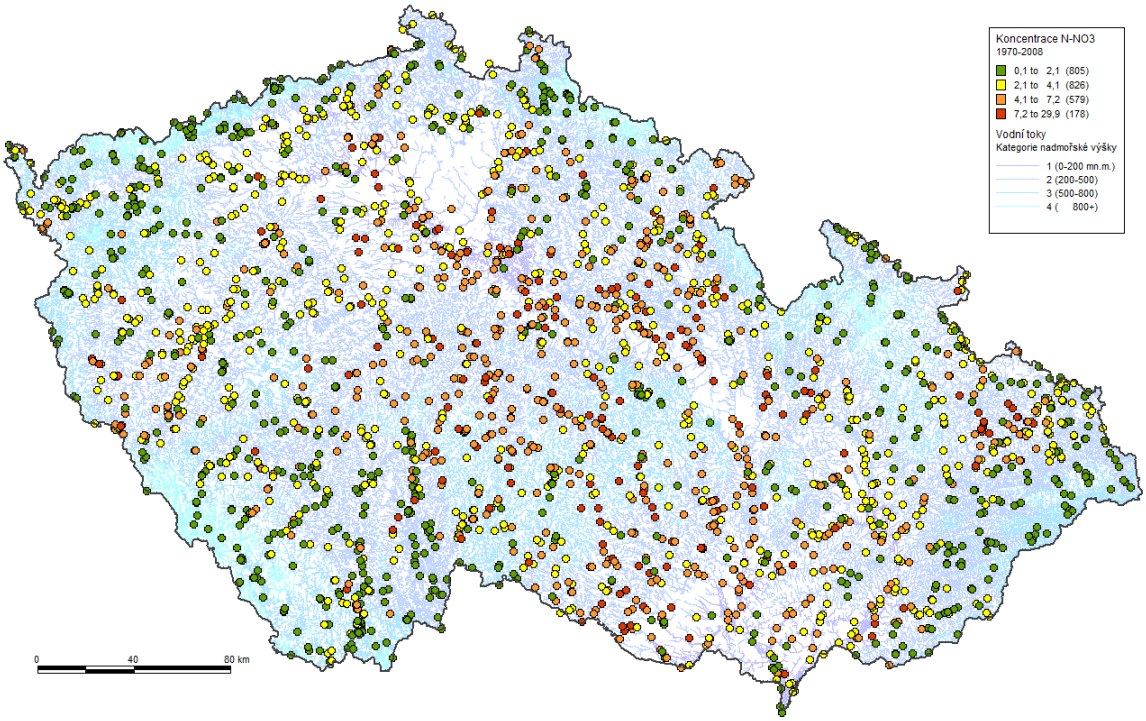
Nevýraznou prostorovou variabilitu, ve které není zřejmá prostorová zonalita, odráží i výsledek shlukové analýzy (obrázek 67). Koncentrace BSK5 vykazují vazbu na úmoří, což odráží spíše rozdíly v intenzitě antropogenních vlivů mezi jednotlivými povodími, než funkční vazbu k charakteristikám přírodního prostředí. Úroveň vazby je navíc slabá.



Obrázek 67 Shluková analýza vazeb mezi koncentracemi BSK5 a parametry typologie

Dusičnanový dusík

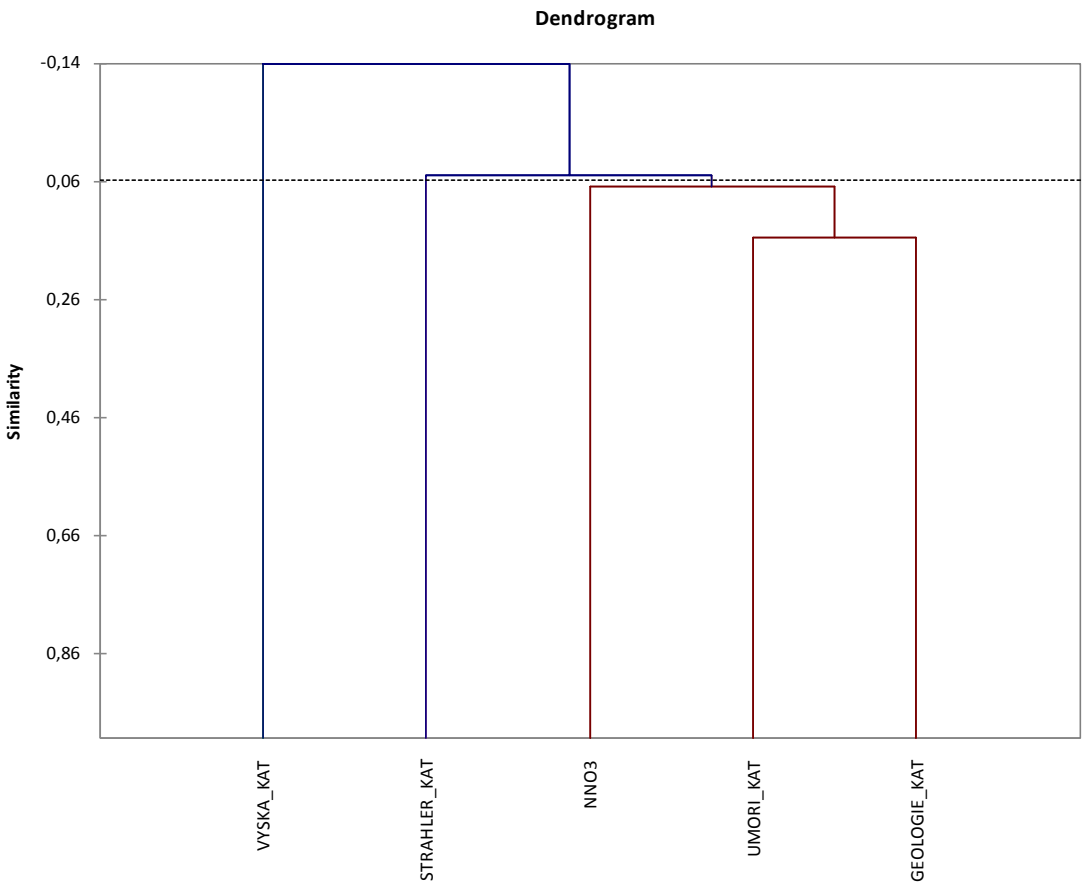
Dusičnany jsou, obdobně jako amoniakální dusík, v nízkých koncentracích přítomny prakticky ve všech povrchových vodách, přičemž jejich výraznější výskyt je zpravidla podmíněn antropogenními vlivy. Dusičnany představují konečný stupeň rozkladu organických dusíkatých látek nitrifikačními procesy. Hlavním antropogenně podmíněným zdrojem dusičnanů jsou plošné a difúzní zdroje, zejména z oblasti zemědělství. Zdrojem dusičnanů jsou rovněž atmosférické depozice, jako důsledek emisí ze spalování fosilních paliv, jejich podíl na celkové bilanční zátěži je však celkově nízký.



Obrázek 68 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot N-NO3na síti monitorovacích profilů

Prostorová distribuce dlouhodobých průměrných hodnot N-NO3 je, stejně jako v případě ukazatele BSK5 determinována antropogenním ovlivněním, byť odlišného původu a s rozdílným mechanismem transportu. Zátěž dusičnany je typickým produktem zemědělské výroby a odráží vliv plošných zdrojů znečištění, které mají v celkovém bilančním pohledu dominantní vliv na zátěž v tomto ukazateli (Langhammer, 2009). Prostorové rozložení vykazuje koncentrace odpovídající hlavním zemědělským produkčním oblastem, nicméně neodpovídá rozložení faktorů, odrážejících přírodní charakteristiky území (obrázek 68).

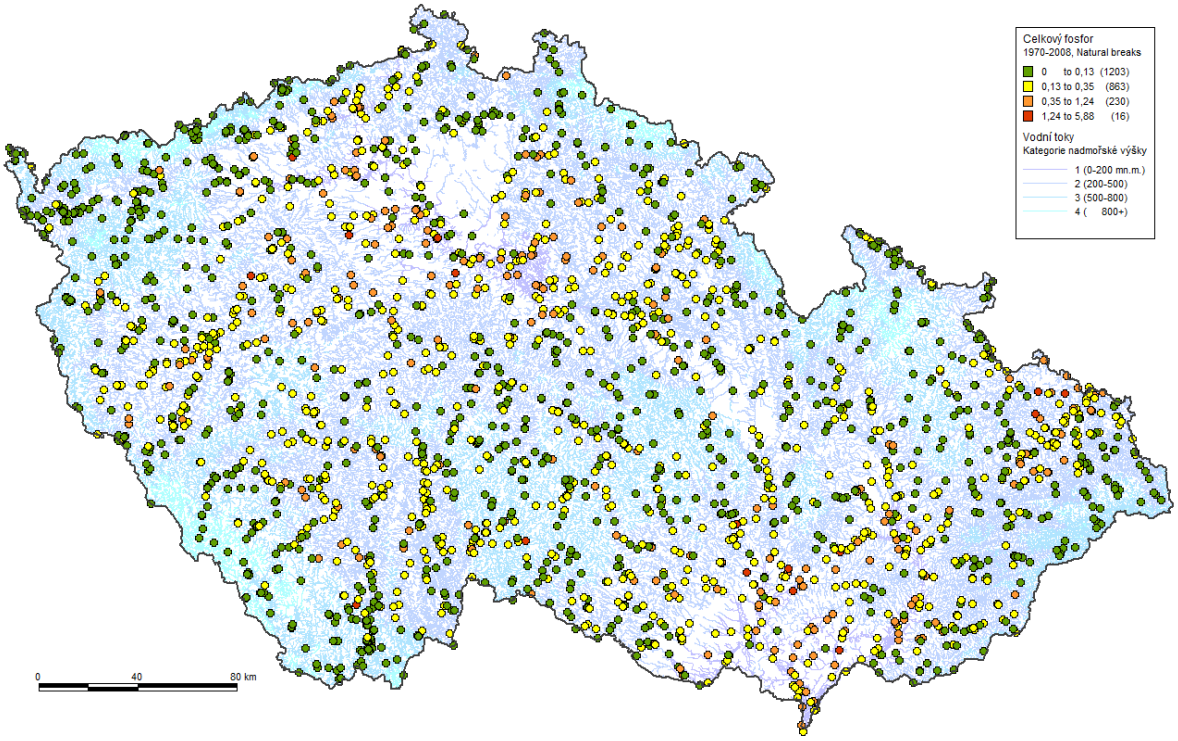
Absence silné funkční a prostorové vazby na parametry typologie je zřetelná i z výsledků shlukové analýzy. Vazba na kategorie úmoří, zřetelná na dendrogramu má prakticky nulovou sílu a vztah mezi zátěží dusičnany a abiotickými parametry prostředí, použitými pro konstrukci typologie, lze označit jako nezávislý (obrázek 69).



Obrázek 69 Shluková analýza vazeb mezi koncentracemi N-NO3 a parametry typologie

Celkový fosfor

Sloučeniny fosforu hrají, podobně jako sloučeniny dusíku, velmi významnou roli v koloběhu látek v přírodě a jednotlivých biochemických procesech. V oblastech s pouze pozaďovým znečištěním, bez vlivu lidských aktivit, představuje zdroj fosforu ve vodách jeho rozpouštění z některých zvětralých hornin a minerálů (Pitter, 1992). Hlavním zdrojem fosforu v povrchových vodách jsou však antropogenní aktivity. Zdroje fosforu jsou přitom rozmanité. Zásadní roli v bilančním pohledu hrají plošné zdroje ze zemědělské činnosti, mezi bodové zdroje patří jak odpadní vody komunální, tak průmyslové. Fosfor představuje živinu, nezbytnou pro rozvoj a růst fytoplanktonu. Nadměrný obsah fosforu v povrchových vodách tekoucích i stojatých vede k nadměrnému rozvoji řas a sinic v důsledku eutrofizačních procesů.

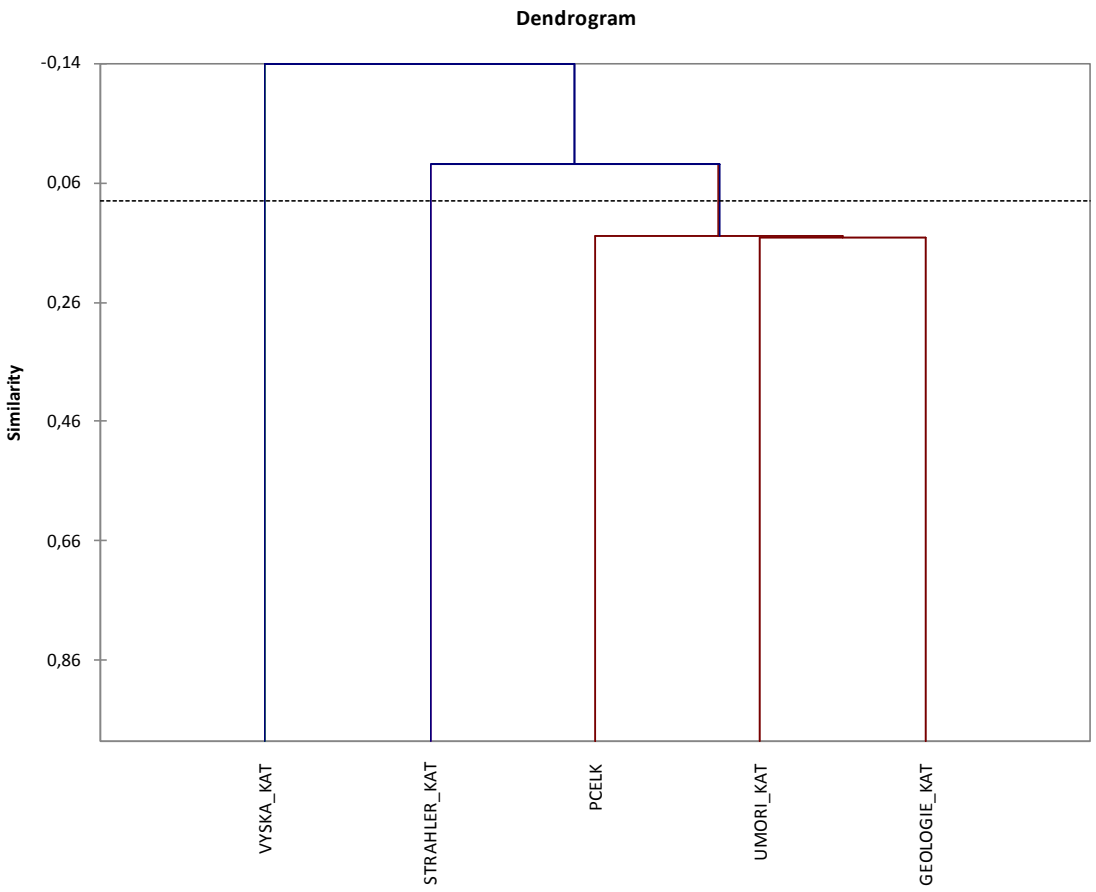


Obrázek 70 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot Pcelk na síti monitorovacích profilů

Prostorová distribuce zátěže toků fosforem, který je významným zdrojem živin pro fytoplankton, odráží, obdobně jako u předchozích ukazatelů, rozložení příčinných zdrojů znečištění. Dlouhodobé průměrné hodnoty koncentrací fosforu vykazují prostorové vazby na hlavní sídelní a průmyslové oblasti – střední Polabí, Plzeňskou pánev, severozápadní Čechy, jižní Moravu nebo Ostravsko. Prostorová zonalita, odrážející fyzicko-geografické prvky krajiny však v rozložení tohoto ukazatele přítomna není (obrázek 70)..

Neexistenci funkční vazby na abiotické parametry, popisující variabilitu přírodních podmínek, ukazuje i dendrogram výsledků shlukové analýzy. Slabou vazbu ke kategoriím úmoří nelze hodnotit jako funkční vztah, rozložení koncentrací fosforu je proto třeba vnímat jako nezávislé na parametrech, popisujících variabilitu přírodního prostředí (obrázek 71).

Koncentrace fosforu, stejně jako dusičnanů a BSK5 potvrdily, že ukazatele, determinovaných antropogenním ovlivněním, není možné použít jako parametry, ověřující nebo vysvětlující variabilitu složek ekologického stavu toků a případně referenčních stavů. Přestože zátěž v těchto ukazatelích zásadně ovlivňuje tyto složky, její prostorová distribuce je řízena aktuální úrovní znečištění a neodpovídá tedy přirozeným podmínkám toků, které by referenční stav měl vyjadřovat.



Obrázek 71 Shluková analýza vazeb mezi koncentracemi Pcelk a parametry typologie

Shrnutí

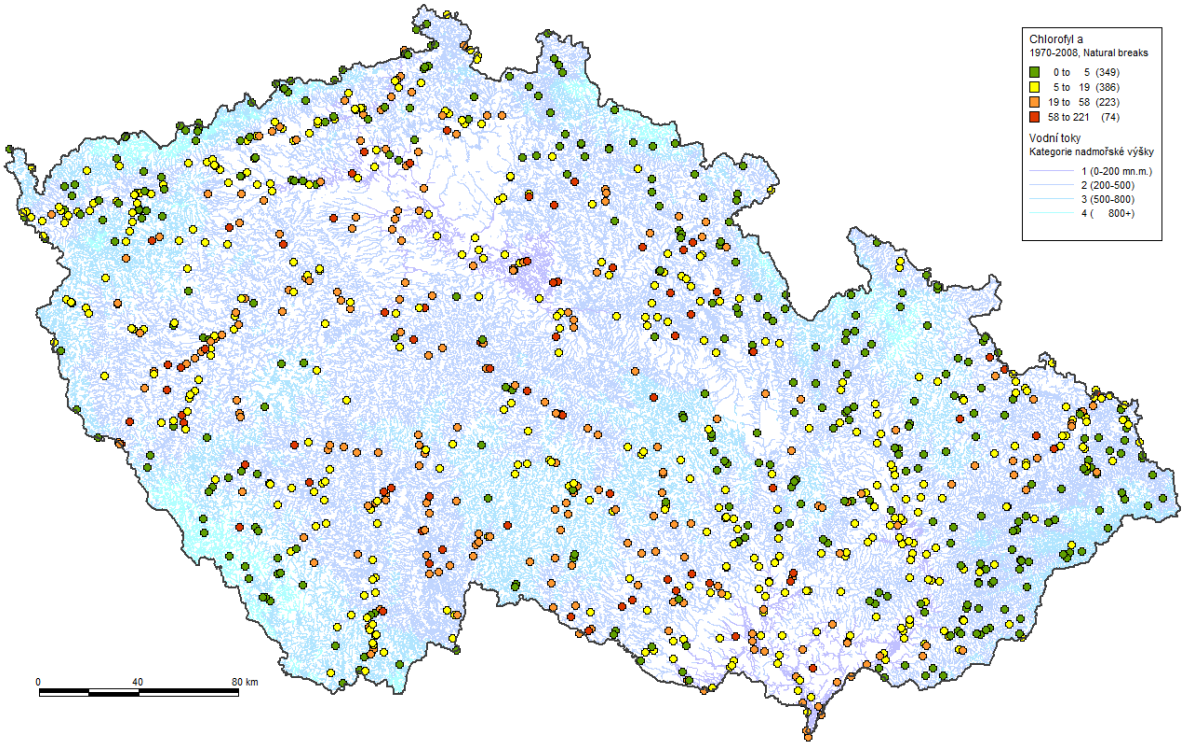
Mezi fyzikálně-chemickými parametry jsou zřejmé rozdíly mezi parametry podle míry, do jaké je hodnota daného ukazatele přímo ovlivněna antropogenními procesy. U ukazatelů reakce vody pH, vápníku a kyselinové neutralizační kapacity, kde lze předpokládat výrazný vliv přírodních činitelů se potvrdila výrazná prostorová zonalita. Hodnoty těchto ukazatelů jsou silně vázány zejména na prostorové rozložení použitých kategorií geologického podloží.

Parametry, odrážející zátěž organickými (BSK_5) i anorganickými látkami ($N\text{-}NO_3^-$, celkový fosfor), naproti tomu ukazují, že jejich prostorová variabilita je řízena především rozložením antropogenních zdrojů znečištění. Tato situace je analogická u všech ukazatelů, které přitom mají odlišný mechanismus transportu polutantů – jak z bodových zdrojů (BSK5), ze zdrojů plošných ($N\text{-}NO_3^-$), tak z kombinace obou skupin zdrojů emisí (celkový fosfor). Ukazatele, odrážející primárně antropogenní zátěž proto není vhodné uvažovat jako referenční parametry pro ověřování homogenity typologie.

6.2.5 Biologické parametry

Chlorofyl

Jedním z významných ukazatelů kvality vody je koncentrace chlorofylu-a. Údaj o koncentraci chlorofylu-a podává informaci o množství autotrofních mikroorganismů, to znamená sinic a řas, přítomných ve vodě. Podle úrovně koncentrace chlorofylu-α lze jakosti vody rozlišit do.tříd trofie.

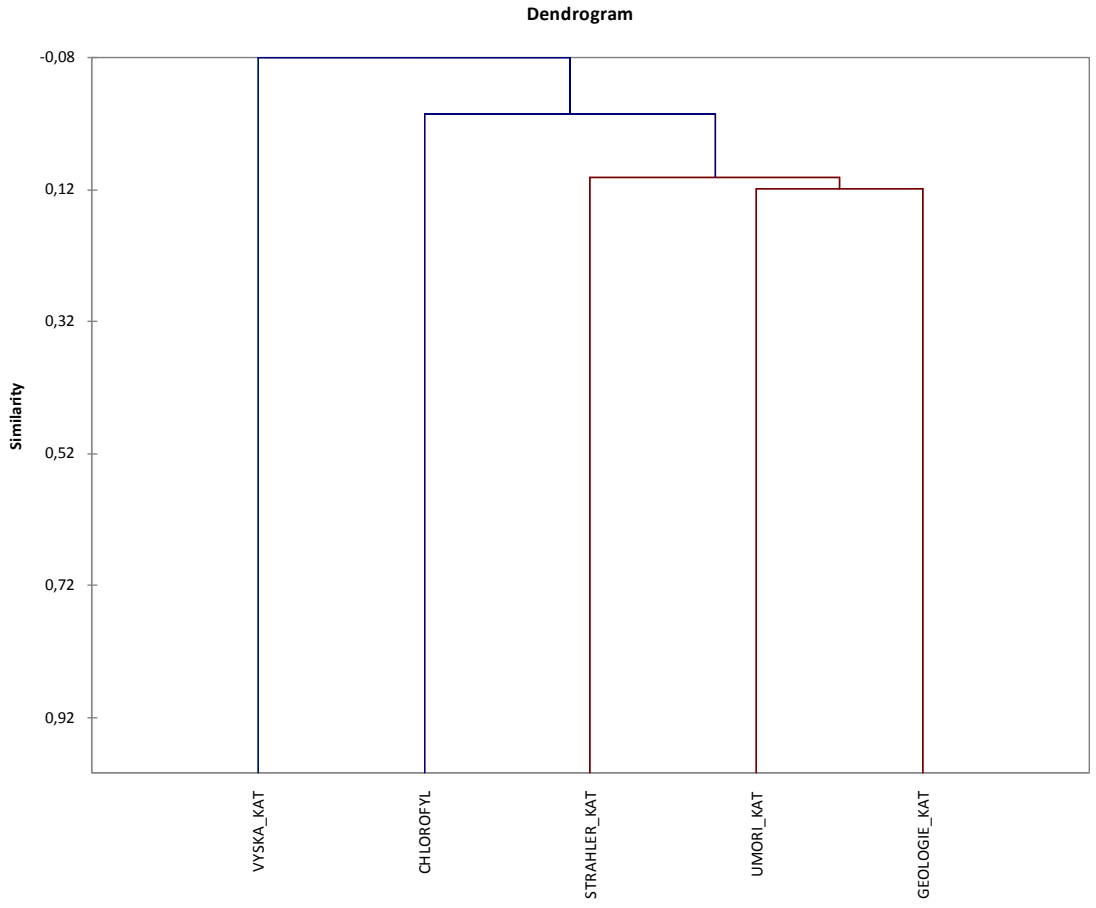


Obrázek 72 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot chlorofylu-a na síti monitorovacích profilů

Prostorová variabilita hodnot chlorofylu je významně ovlivněna přísunem živin, tzn. že do značné míry odpovídá rozložení zdrojů nutrietů, kterými jsou dusík a fosfor. Prostorové rozložení hodnot dlouhodobých koncentrací chlorofylu-α proto odráží koncentraci antropogenních aktivit – zejména sídelních celků a zemědělské činnosti. Vazba na parametry, odrážející variabilitu přírodních podmínek není patrná (obrázek 72).

Výsledky shlukové analýzy tento závěr potvrzují – na dendrogramu se ukazatel chlorofylu-α jeví jako prakticky nezávislý, ke spojení na zonální parametry dochází na prakticky nulové úrovni síly vazby(obrázek 73).

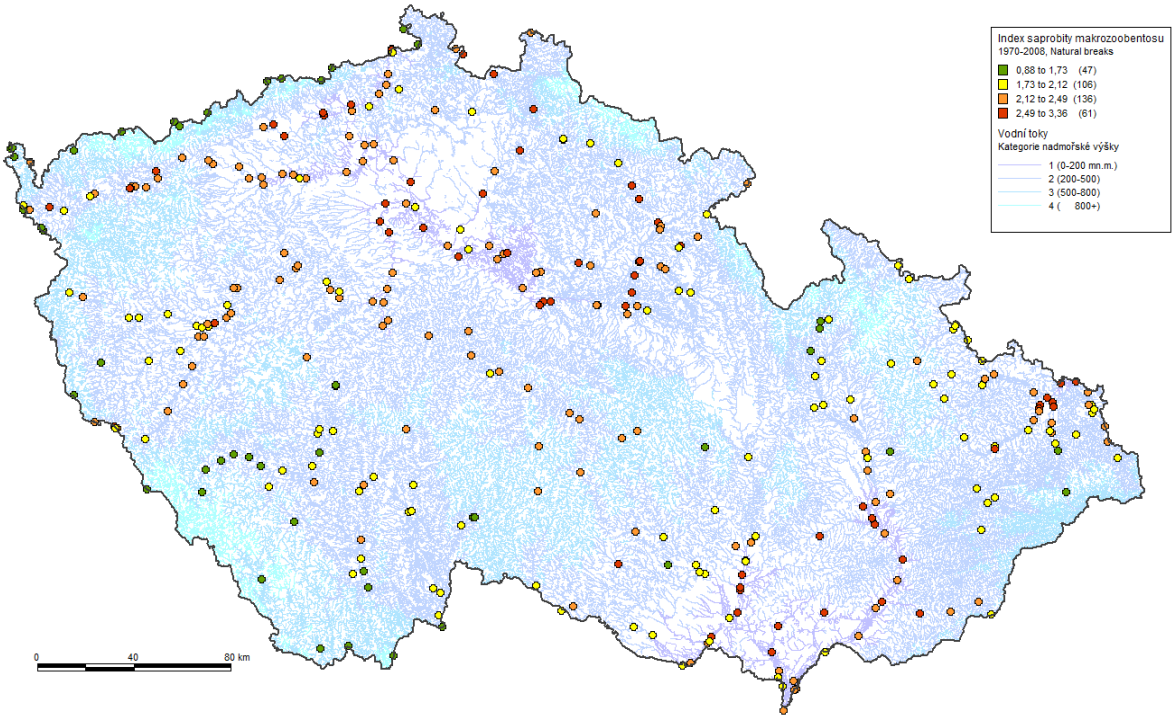
Výsledky monitoringu v parametru chlorofyl-α, odrážející podmínky trofie vodních toků, nelze proto uvažovat mezi parametry, využitelné pro hodnocení variability přirozených typů toků s ohledem na podmíněnost hodnot antropogenní zátěží a neexistenci funkčních vazeb na parametry, odrážející přírodní zdroje variability vodního prostředí.



Obrázek 73 Shluková analýza vazeb mezi koncentracemi chlorofylu-α a parametry typologie

Index saprobity makrozoobentosu

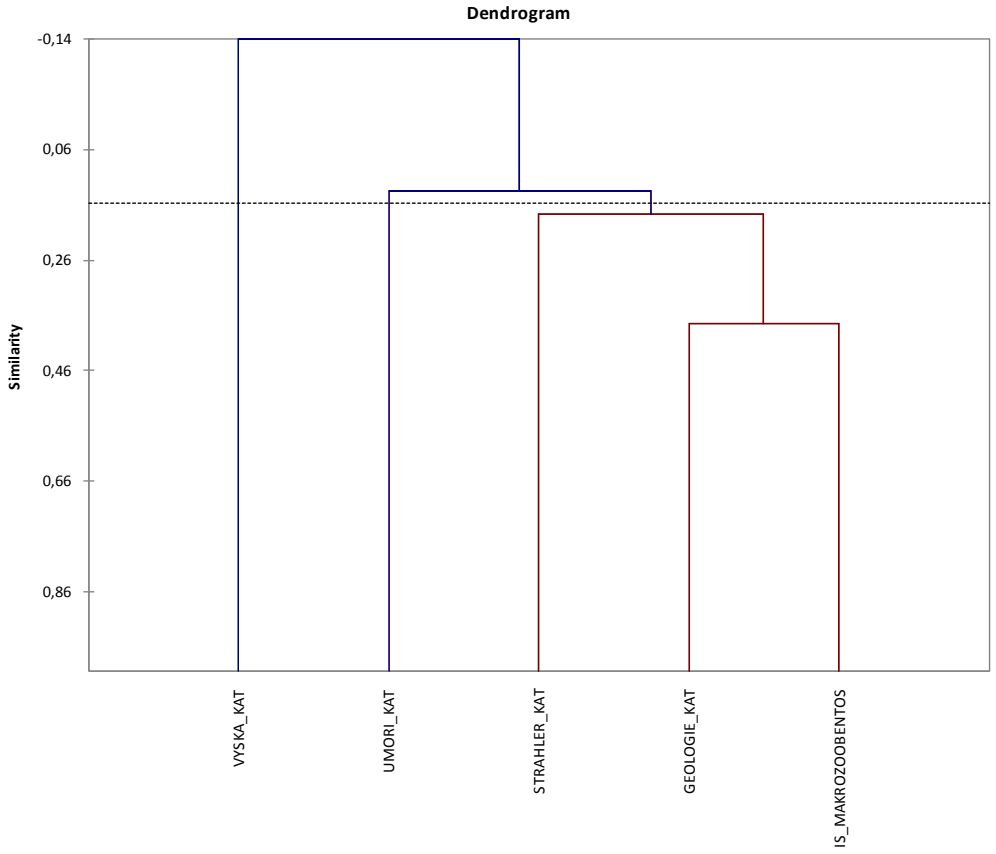
Saprobita je metrika založená na citlivosti vybraných taxonů vůči zatížení vod lehce rozložitelnou organickou hmotou. Tento index je standardně a dlouhodobě používaný v rámci biomonitoringu vod v ČR.



Obrázek 74 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot indexu saprobity makrozoobentosu na síti monitorovacích profilů

Prostorová variabilita hodnot indexu saprobity makrozoobentosu i statistické vyhodnocení vykazují – na rozdíl od ostatních biologických ukazatelů - relativně výraznou vazbu na parametr geologie. Zde se patrně zprostředkovaně uplatňuje rozložení hodnot pH, resp. acidity. Další stupeň vazby je patrný ve vztahu k řádovosti toků, což odpovídá obecným předpokladům u tohoto ukazatele, vazby jsou však relativně slabé (obrázek 74).

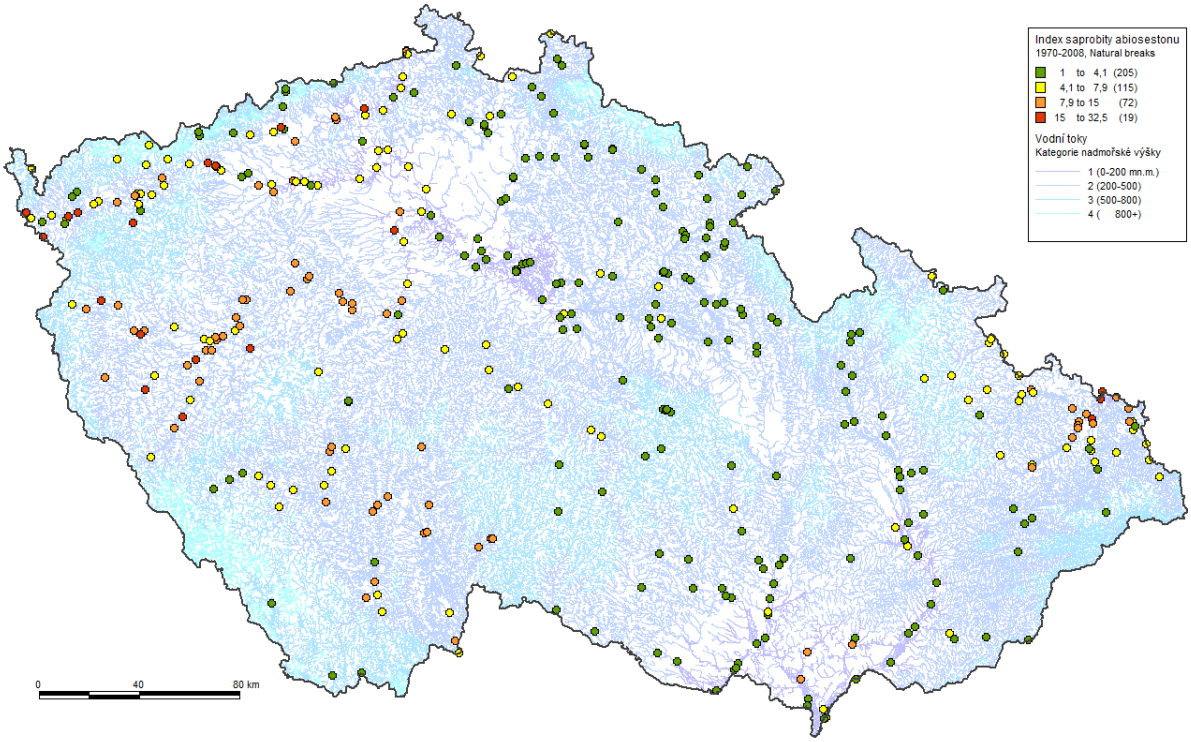
Pro interpretaci lze konstatovat, že index saprobity makrozoobentosu vykazuje vazbu na typologii prostřednictvím parametru kategorií geologického podloží a částečně i řádu toku (obrázek 75).



Obrázek 75 Shluková analýza vazeb mezi hodnotami indexu saprobity makrozoobentosu a parametry typologie

Index saprobity abiosestonu

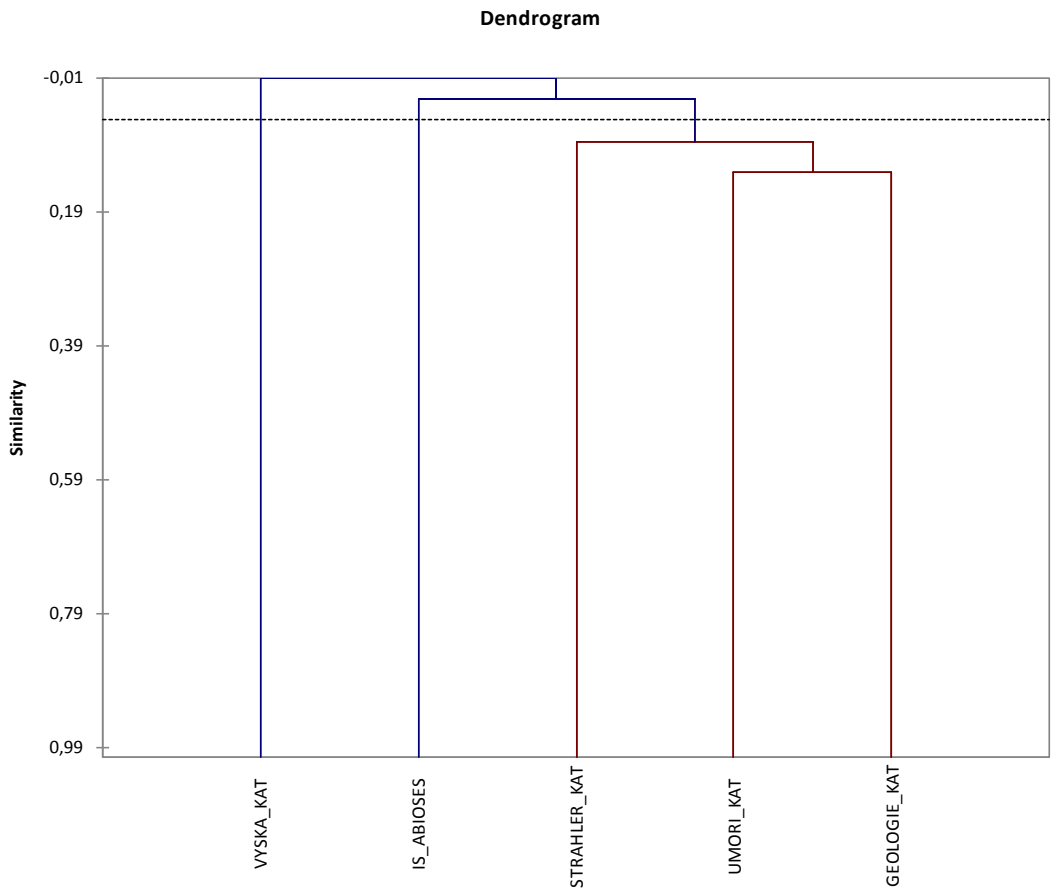
Abiosestonem, je dle normy ČSN 75 7713, míněn tzv. neživý materiál, který se stanovuje při mikroskopické analýze. Příkladem abiosestonu jsou anorganické partikule, škrobová zrna, textilie, popílek, vločky koagulantu, písek, zbytky rostlinného původu, schránky řas, pylová zrna, zbytky živočišného původu aj. (Říhová-Ambrožová, 2007). Indikační hodnota abiosestonu může indikovat zdroj znečištění, původ nežádoucích suspenzí, kontaminací, zvíření sedimentů, splachy z půdy a povodí, smyvy.



Obrázek 76 Rozložení dlouhodobých průměrných hodnot indexu saprobity abiosestonu na síti monitorovacích profilů

Prostorové rozložení hodnot indexu saprobity abiosestonu ukazuje na regionální vazby k centrům antropogenní zátěže, které jsou výrazně silnější než vazby na parametry, charakterizující přírodní zdroje variability vodního prostředí (obrázek 76).

Shluková analýza toto zjištění potvrzuje – index saprobity abiosestonu je na ostatních parametrech nezávislý (obrázek 77). Ke shlukování, patrnému na dendrogramu, dochází v úrovni prakticky nulové síly vazby. Vazba tohoto ukazatele na typologii, resp. ověření její homogenity proto není prokazatelná a tento parametr proto není možné využít jako referenční pro hodnocení homogenity typů vodních toků.



Obrázek 77 Shluková analýza vazeb mezi hodnotami indexu saprobity abiosestonu a parametry typologie

Shrnutí

Biologické ukazatele velmi silně odrážejí antropogenní zátěž toků. Výsledky potvrzují obecně platné předpoklady vazeb mezi biologickými parametry jakosti vody a zátěží toků. Týká se to jak saprobního systému s vazbou na kyslíkový režim a organické znečištění, tak trofického systému, vázaného na přítomnost nutrietů v toku.

Index saprobity makrozoobentosu představuje jediný ukazatel, kde jsou zřejmé výrazné prostorové i funkční vazby na kategorie geologického podloží, které zprostředkovaně odrážejí úroveň acidity vodního prostředí.

Prostorová variabilita ostatních ukazatelů nicméně odráží rozložení zdrojů antropogenní zátěže a není zde zřejmá geografická zonalita. U těchto ukazatelů však jednotlivé parametry nevykazují při statistickém vyhodnocení zřejmé funkční vazby na jednotlivé parametry typologie. Tyto ukazatele, odrážející primárně antropogenní zátěž proto není vhodné uvažovat jako parametry pro ověřování homogenity a vypovídací schopnosti typologie.

7 Závěr

Typologie vodních útvarů představuje nástroj pro vodohospodářskou správu, plánování, monitoring a reporting v kontextu Rámcové směrnice o vodní politice ES. Řešení typologie proto musí být jednak věcně správné, být v souladu s požadavky RS a zároveň být srozumitelné a transparentní pro praktickou aplikaci.

Typologické členění vodních toků ze své definice, dané požadavky Rámcové směrnice i účelem využití, představuje zjednodušení velmi četných a pestrých přírodních podmínek, které ovlivňují složení vodních ekosystémů. Zdaleka ne všechny informace o těchto podmínkách jsou dostupné, a i z dostupných datových zdrojů jen některé jsou vyjádřitelné v geoinformaticky použitelné podobě. Ověření jeho funkčnosti typologie je navíc limitováno antropogenními vlivy na vodní prostředí, které je mnohdy zcela odlišné od přirozeného stavu.

Předkládaná typologie postihuje hlavní typy vodních prostředí České Republiky, a to na základě jednoduchých, dostupných zdrojových dat zpracovaných srozumitelným a průhledným způsobem tak, aby eliminovala vliv výše popsaných omezujících faktorů. Vzhledem k tomu, že vymezení vodních útvarů v ČR předcházelo typologii toků, bylo třeba řešit vazbu mezi typologií vodních toků a typologií již vymezených vodních útvarů. Řešení pokládá za základní prvek typologii vodních toků, která je následně promítnuta do stávajících povodí vodních útvarů prostřednictvím závěrového profilu povodí vodního útvaru.

Navržené typologické členění je založeno na čtyřech vstupních parametrech: úmoří, nadmořské výšce, geologickém podloží a řádu toku podle Strahlera. Jednotlivé parametry jsou dále členěny do kategorií, vyjadřujících minimální možný počet obecných kategorií při zachování funkční heterogenity. Parametr úmoří je členěn do 3 kategorií, nadmořská výška do 4, geologie do 2 a řád toku do 3 kategorií.

Typologie vodních toků je navržena jako dvoustupňová.

První úroveň představuje zonální členění vycházející z parametrů, které vyjadřují základní regionální variabilitu abiotických podmínek pro společenstva vodních toků - úmoří, nadmořská výška a geologie. Zonální typologie představuje rozčlenění plochy území na areálové regiony, jejichž uvažované vlastnosti jsou maximálně homogenní uvnitř a maximálně heterogenní vůči okolí. V této úrovni členění je říční síť rozčleněna na celkem 21 základních zonálních typů vodních toků.

Druhou úroveň představuje jemné členění, do kterého je promítnut řád toku. Jemné členění typologie vodních toků zahrnuje celkem 47 typů. Dvoustupňové řešení typologie vodních toků umožňuje pružné využiti typologie v závislosti na účelu použití při zachování transparentnosti.

Po promítnutí jemného členění vodních toků do vodních útvarů můžeme rozlišit celkem 26 typů vodních útvarů. Výsledné typologické členění VÚ je konzistentní, což dokládá výskyt jednotlivých typů v souvislých pásech či regionálních clusterech.

Při řešení bylo na obou úrovních typologie vodních toků provedeno sloučení okrajových typů, vzniklých při klasifikaci mechanickou kombinací vstupních kategorií. Jedná se o typy, které pokrývají minimální rozsah říční sítě a především nepředstavují samostatně funkční entity. Možnosti sloučení byly u všech potenciálně okrajových typů testovány z hlediska funkční a prostorové návaznosti.

Při návrhu typologie i ověření výsledků byly využity názory panelu expertů, oslovených v rámci řešení. Vyhodnocení vyjádření expertů potvrdilo volbu parametrů typologie a vedlo k návrhu ukazatelů pro ověření homogenity typologie.

Testování homogenity typologie vzhledem k výsledkům dlouhodobého monitoringu bylo založeno na testování vazeb mezi parametry typologie a parametry, řídícími variabilitu jednotlivých složek ekologického stavu. Výsledky analýzy ukázaly, že u těch parametrů, kde naměřené hodnoty nejsou absolutně determinovány antropogenním ovlivněním, je zřejmá vysoká míra funkční i prostorové shody variability mezi parametry typologie a hodnotami daného ukazatele. Naopak u parametrů, silně ovlivněných antropogenním znečištěním nemá prostorová variabilita hodnot ukazatelů přímou vazbu na prvky, odrážející přírodní procesy.

Testování vnitřní homogenity vodních útvarů vzhledem k výskytu typů vodních toků ukázalo na celkově vysokou, ale prostorově proměnlivou míru homogenity. Značná část vodních útvarů vykazuje minimální míru variability výskytu typů vodních toků. U části vodních útvarů je však variabilita výrazná. Je to dáno různorodostí přírodních poměrů, velikostí vodních útvarů, ale především odlišným postupem vymezení vodních útvarů a typů vodních toků. Na základě provedené analýzy proto vidíme jako účelné přistoupit k úpravě vymezení vodních útvarů tak, aby respektovaly typologii vodních toků.

8 Literatura

Allan, J.D., Castillo, M.M., 2007. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Springer, Dordrecht. 436 s. ISBN 978-1-4020-5582-9

Banarescu, P. (1989) Zoogeography and history of the freshwater fish fauna of Europe. *The freshwater fishes of Europe* (ed. by J. Holcik), pp. 89 – 107. Aula-Verlag, Wiesbaden.

Benda, L., Poff, N.L., Miller, D., Cunne, T., Reeves, G., 2004. The network dynamics hypothesis: how channel networks structure riverine habitats. *BioScience*, 54: 413-427. in Cushing, 2006.

Benke, A.C., 1993. Concepts and patterns of invertebrate production in running waters. Verhandlungen der Internationalen Vereiningung für Theoretische und Angewandte Limnologie. 25: 15-38. in Allan, Castillo, 2007.

Benke, A.C., VanArsdall, T.C., Gillespie, D.M., Parrish, F.K., 1984. Invertebrate productivity in a subtropical balckwater river: the importance of habitat and life history. *Ecol. Monogr*., 54: 25-63. in Cushing, 2006.

Braukmann,U., 1984. *Biologischer Beitrag zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie*, Dr.-Thesis. Univ.Gießen, 473pp. in Cushing, 2006

Brown. H and Maurer, A B (1989) Macroecology The division of food and space among species on continents. *Science* **243**, 1145-1150

Brundin, L.Z., 1988. Phylogenetic biogeoraphy. In Analytical biogeography, en integrated approach to the study of animal and plant distributions (ed. A.A. Myers and P.S. Giller), pp. 343-69. Chapman and Hall, London. in Giller, Malmqvist, 2006

Burbank D., W. and Anderson R., S., 2001. Tectonic Geomorhology. Blackwell Scientific, Oxford, 270 pp.

Capone, T A andKushlan, J A 1991 Fish commumty structure in dry-season stream pools - *Ecology* **72**, 983-992

Carballo, R. (2008): WFD Indicators and Definition of the Ecological Status of Rivers, Water Resources Managment, Springer Netherlands, Publisher online 1573-1650

Cushing, C.E., Cummins, K.W., Minshall G.,W. (eds.), 2006. River and Stream Ecosystems of the world. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, 2nd edition.ISBN 0-520-24567-9, 817 p.

Demek, J. (1987). Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Praha, Academia.

EC (2003). Guidance document No 10. River and lakes – Typology, reference conditions and classification systems. W. G. o. W. Bodies. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 94.

EC (2003). Guidance Document No 2. Identification of Water Bodies. W. G. o. W. Bodies. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 28.

Edmunds Jr., G.F., 1972. Biogeography and evolution of Ephemeroptera. *Annual Review of Entomology*, 17, 21-42. in Giller, Malmqvist, 2006

ES (2000). Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. ES. Brusel, ES. 2000/60/ES: 98.

FAME Consortium (2004). Manual for the application of the European Fish Index - EFI. A fish-based method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive. Version 1.1

Fausch K.D., Lyons J., Karr J.R. & Angermeier P.L. (1990) Fish communities as indicators of environmental degradation. In: Biological Indicators of Stress in Fish. pp. 123 – 144. Američan Fisheries Society Symposium 8, Bethesda, MD.

Fuksa, J. K. and E. al. (2005). Aktualizace vymezení vodních útvarů povrchových a podzemních vod 2005. Praha, VÚV TGM: 63 pp.

Fuksa, J. K. and P. Kožený (2005). Vodní útvary, hodnocení VU, typologie VU. Praha: 23 pp.

Fuksa, J. K., H. Prchalová, et al. (2004). Vodní útvary v ČR. Výchozí vymezení vodních útvarů povrchových a podzemních vod a typologie vodních útvarů povrchových vod. Praha, VÚV TGM.

Giller, P.S., Malmqvist, B., (2006). The Biology of Streams and Rivers. Biology of Habitats. Oxford University Press. Oxford, 296 s. ISBN 0 19 85497 6

Gorman, O. T. & Karr, J. R. (1978). Habitat structure and stream fish communities. *Ecology* **59**, 507-515.

Grossman, G. D. (1982). Dynamics and organization of a rocky intertidal fish assemblage the persistence and resilience of taxocene structure. *American Naturalist* **119,** 611-637.

Grünvald, A. (1997). Hydrochemie. Praha: ČVUT.

Guégan, J. F., Lek, S. & Oberdorff, T. (1998). Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature* **391,** 382-384.

Hellweger, F. and D. Maidment (1999). "Definition and Connection of Hydrologic Elements using Geographic Data." Journal of Hydrologic Engineering 4(1): 10-18.

Hildrew, A.G., Giller, P.S., 1994. Patchiness, species interactions and disturbance in the stream benthos. In *Aquatic Ecology: scale pattern and process*, 34th Symposium of the British Ecological Society (ed. P.S. Giller, A.G. Hildrew and D.G. Rafaelli), pp. 21-62. Blackwell, Oxford. in Giller, Malmqvist, 2006

Hildrew, A.G., Townsend, C.R., 1987. Organization in freshwater benthic communities. In *Organization of commuities: past and present* (ed. J.H.R.Gee and P.S. Giller, pp. 347-71). Blackwell, Oxford. in Giller, Malmqvist, 2006

Hornung, M., Le-Grice, S., Brown, N., Norris, D., 1990. The role of geology and soils in controlling surface water acidity in Wales. In Acid Waters in Wales (ed. R.W. Edwards et al.), pp. 55-66. Kluwer, Dordrecht. in Giller, Malmqvist, 2006

Horton, R. E. (1945). "Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology." Geological Society of America Bulletin 56(3): 275-370.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* **56,** 275-370.

Huet, M. (1959): Profiles and biology of western European streams as related to fish management. Trans. Am. Fish. Soc. 88, 155-163

Hughes, R M, Rexstad, E and Bond, C E (1987) The relationship of aquatic ecoregions, nver basins, and physiographic province to the lchthyogeographic regions of Oregon -*Copeia* **2**, 423-432

Hughes, R. M. & Omernik, J. M. (1983). An alternative for characterizing stream size. In *Dynamics of Lotic Ecosystems* (Fontaine, T. D. & Bartel, S. M., eds), pp. 87-101. Ann Arbor Science Publ., Ann Arbor.

Hugueny, B. (1989) West African rivers as biogeographic islands: species richness of fish communities. *Oecologia*, **79**, 235 – 243.

Illies, J. (1961):Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. – Int. Rev. ges. Hydrobiol. 46, 205-213

Illies, J. (Ed): Limnofauna Europaea. A checklist of the Animals inhabiting European Inland Waters, with Acount of their Distribution and Ecology. Second revised and enlarged Edition. – G. Fischer, Stuttgart and Swets &Zeitlinger, Amsterdam 1978. 532 pages

Karr, J.R., (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6: 21-27.

Kokeš, J., S. Zahrádková, et al. (2006). " The PERLA system in the Czech Republic: a multivariate approach for assessing the ecological status of running waters." Hydrobiologia 566(1): 343-354.

Kolkwitz R. & Marsson M. (1908) Okologie der pflanzlichen Saprobien. *Berichte der Deutchen Botanischen Gesellschaft*, **26**, 505 -19

Kolkwitz R. & Marsson M. (1909) Okologie der tierischen Saprobien Beitrage zur lehrevon der biologischen Gewasserbeurteilung. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, **2**, 125 – 152

Kuehne, R. A. (1962). A classification of streams, illustrated by fish distribution in an eastern Kentucky creek. *Ecology* **43**, 608-614.

Lancaster, J., Mole, A., 1999. Interactive effects of near-bed flow and substratum texture on the microdistribution of lotic macroinvertebrates. Archives für Hydrobiologie. 146: 83-100. in Allan,

MacArthur, R.H. & Wilson E.O. (1963). An equilibrium theory of island biogeography. *Evolution* **17**, 373- 387.

Langhammer, J. (2008). Analysis of hydromorphological state of streams as supporting tool for flood protection management. Case study: Blanice river basin, Czech Republic. Environmental Monitoring and Assessment. DOI: 10.1007/s10661-008-0323-5

Langhammer, J. (2009). Water quality changes in the Elbe River Basin, Czech Republic, in the context of the post-socialist economic transition. GeoJournal, Springer. DOI: 10.1007/s10708-009-9292-7

MacArthur, R.H. & Wilson E.O. (1967). The theory of island biogeography. Princetown University Press, Princetown, New Jersey.

Mackay, R.J., 1992. Colonization by lotic macroinvertebrates – a review of processes and patterns. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 49: 617-628. in Allan, Castillo, 2007

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 Academie des Sciences Serie III – Sciences de la Vie – Life Sciences **321 (5)**, 423-428.

Mattas, D., a Švelch, T. (2009). Zrnitostní složení substrátu v závislosti na sklonu koryta. In: Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami. Sborník vědeckého semináře k VZ MSM6840770002 ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, str. 92-96

Matthews W.J. & Zimmerman E.G. (1990) Potential effects of global warming on native fishes of the southern Great Plains and the southwest. *Fisheries* **15**, 26 – 31.

Minshall, G.W.,1984. Aquatic insect-substratum relationships. In The ecology of aquatic insects (ed. V.H. Resh and D.M. Rosenberg), pp. 358-400. Praeger, New York. in Giller, Malmqvist, 2006.

Moog, O. (2006): Typology of the Danube River based on „top-down“ and „bottom-up“ approaches [online], cit 1ý.2. 2009, http://www.oen-iad.org/conference/docs/6_invertebrates/moog_et_al.pdf

Moyle P.B. & Herbold B (1987) Life-history patterns and community structure in stream fishes of Western North America: comparisons with Eastern North America and Europe. *Community and evolutionary ecology of North American stream fishes* (ed. By W.J. Matthews and D.C. Heins) pp-25 – 32. University of Oklahoma Press, Norman London.

Moyle, P. B. & Vondracek, B. (1985). Persistence and structure of the fish assemblage in a small California stream. *Ecology* **66**, 1-13.

Murdock, A. (2005):Water Framework Directive, Summary Report of the characterisation and impact analyses required by Article 5, Northern Ireland [online], cit. 23.1. 2009, http://www.doeni.gov.uk/index/information/foi/recent-releases/publications-details.htm?docid=2660

Oberdorff, T., Guégan J.F. & Hugueny B. (1995). Global scale patterns in freshwater fish species diversity. *Ecography*, **18**, 345 – 352.

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., Hugueny, B. & Guégan, J. F. (1997). Is there an influence of historical events on contemporary fish species richness in rivers? Comparisons between western Europe and north America. *Journal of Biogeography* **24(4)**, 461-467.

Ofenböck, T. (2004): Developing a Typology and Definition of Reference Conditions in Austria [online], cit. 8.2.2009, http://eu.wfd.info/3_surface_water/31_typology/austrian_typology.pdf

Otyepková, E., L. Kvítek, et al. (2005). Cvičení z vybraných fyzikálně-chemických metod. Olomouc, Univerzita Palackého Olomouc, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzikální chemie.

Penczak, T. & Mann, R. H. K. (1990). The impact of stream order on fish populations in the Pilica drainage basin, Poland. *Polish Archives of Hydrobiology* **37**, 243-261.

Pitter, P. (1992). Hydrochemie. Praha: ČVUT.

Pottgiesser, T.(2004): Profile sof German Stream Types [online], cit. 8. 2. 2009, http://wasserblick.net/servlet/is/24739/Begleittext_ENG.pdf

Preston, F.W. (1962) The canonical distribution of commonness and rarity: I and II. *Ecology* **43**, 185 – 215 and 410 – 432.

Reice, S.R., 1980. The role of substratum in benthic macroinvertebrate microdistribution and litter decomposition in a woodland stream. Internationale *Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 20, 1396-400. in Giller, Malmqvist, 2006

Rice, S.P., Greenwood, M.T., Joyce, C.B., 2001. Tributaries, sediment sources, and the longitudinal organization of macroinvertebrate fauna along river systems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58: 828-840. in Cushing, 2006

Rosgen, D.L., 1994: A classification of natural rivers. CATENA 22 (1994), pp 169-199Ross, S T, Matthews, W J andEchelle, A A 1985 Persistence of stream fish assemblages eflfects of environmental change. *Am Nat* **126**, 24-40.

Říhová-Ambrožová, J. (2007) Encyklopedie hydrobiologie : výkladový slovník [online]. Praha: VŠCHT Praha. [cit. 2009-07-20]. Available from www: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=S033>

SHMÚ, (2007):Metodika pre odvodenie referenčných podmienok a klasifikačných schém pre hodnotenie ekologického stavu vôd [online], cit. 3.2.2009, http://www.vuvh.sk/rsv/docs/metodika/METODIKA_28-5-07.ZIP

Schiemer, S., & Waidbacher, H. (1992). Strategies for conservation of a Danubian fish fauna. In *River conservation and management* (Boon, P. J., Calow P. & Petts, G. E., eds), pp. 363–382. Chichester: Wiley & Sons Ltd.

Schlosser, I. J. (1985). Flow regime, juvenile abundance, and the assemblage structure of stream fishes. *Ecology* **66**, 1484–1490.

Sommerhäuser, M. (2004): Biocenotically relevant stream types for Germany – Quality element Makrozoobenthos [online], cit. 3.2.2009, http://fliesgewaesse-bewertung.de/downloads/eng_table_river_types.pdf

Sommerhäuser, M. (2008): Introduction to the development of German typology of surface waters and definitiv of reference conditions, Biological Workshop 21-22.4.2008, Implementation of Water Framework Directive in Croatia, Twinning Project

Standford, J.A. et al., 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers*, 12, 391-413. in Giller, Malmqvist, 2006

Statzner, B., Higler, B., 1986. Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology*, 16, 127-39. in Giller, Malmqvist, 2006

Strahler, A. N. (1952). Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin* **63**, 923 - 938.

Strahler, A. N. (1957). "Quantitative analysis of watershed geomorphology." Transactions of the American Geophysical Union 8(6): 913-920.

Suren, A.M., 1994. Macroinvertebrate communities of streams in western Nepal: effects of altitude and land use. *Freshwater Biology*, 32, 323-36. in Giller, Malmqvist, 2006.

Tonn, W. M., Magnuson, J. J., Rask, M., & Toivonen, J. (1990). Intercontinental comparison of small-lake fish assemblages: the balance between local and regional processes. *American Naturalist* **136**, 345-375.

Townsend, C.R., 1989. The patch dynamics concept of stream community ecology. *J.North Am. Benthol. Soc.*, 8: 35-50 in Cushing, 2006.

Turner, J.R.G. (1992) Stochastic processes in populations: the horse behind the cart? *Genes in ecology*. (ed. by R.J. Berry T.J. Crawford and GM Hewitt) pp. 29 – 33, Blackwell, Oxford.

Ube, (2003): Karte der biozönotisch bedeutsamen Fließgewässertypen Deutschlands [online], cit. 3.2.2009, http://fliessgewaesser-bewertung.de/downloads/typ_typenkarte_dez:2003.pdf

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**, 130-137.

Ward, J.V., 1986. Altitudinal zonation in a Rocky Mountain stream. *Archiv für Hydrobiologie*, 2, 133-99. in Giller, Malmqvist, 2006.

Ward, J.V., 1992. *Aquatic insect ecology*. 1. Biology and habitat. Wiley, New York. in Giller, Malmqvist, 2006

Ward, J. V., and Stanford, J. A., 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems, Dynamics of Lotic Ecosystems. In: The Dynamics of Lotic Ecosystems, T.D. Fontaine,III and S.M. Bartell (eds.), pp. 29-42 Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.

Wasson, J.-G. (2002): Typology and reference condition for surface water bodls in France – the hydro-ecoregion approach [online], cit. 23.1. 2009, http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/Dossiers_pdf/HERfrance.PDF

Whittaker, R.H. (1977) Evolution of species diversity in land communities. *Evol. Biol.* **10,** 1 -67.

Winemiller, K. O. (1996). Dynamic diversity in fish assemblages of tropical rivers. – In: Cody, M. L. and Smallwood, J. (eds), Long term studies of vertebrate communities. Academic Press, pp. 99–132.

Wooton, R.J. (1991) Ecology of teleost fishes. Chapman & Hall, London.

Wright, D.H. (1983). Species energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos*, **41**, 495-506.

Zahrádková, S. (2005). Typologie tekoucích vod ČR. Brno, MŽP..