

**Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie**

**Charles University, Faculty of Science
Department of Physical Geography and Geoecology**

Doktorský studijní program: Fyzická geografie a geoekologie
Doctoral study programme: Physical geography and geoecology

Autoreferát disertační práce
Summary of the Doctoral thesis



Hydromorfologie jako nedílná složka ekologického stavu vodních toků
Hydromorphology as a component part of ecological condition of water bodies

Mgr. Kateřina Kujanová

Školitel/Supervisor: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Praha, 2018

Abstrakt

Pozornost studia fluvialně-morfologických procesů je v současnosti spojena s hodnocením hydromorfologického stavu vodních toků a návrhy revitalizačních opatření. Nezbytným předpokladem hodnocení aktuálního hydromorfologického stavu vodních toků je stanovení referenčních podmínek na úrovni jednotlivých typů vodních toků, které slouží jako srovnávací prvek a představují cílový stav revitalizačních opatření.

Cílem předkládané práce je vytvoření jednotného přístupu pro stanovení typově specifických referenčních podmínek pro vodní toky na území České republiky (ČR) a jejich stanovení. Vytyčený cíl práce je plněn prostřednictvím vývoje metodického přístupu REFCON pro stanovení referenčních lokalit a záznam charakteristik referenčního stavu a aplikací tohoto přístupu ve 44 lokalitách. Dále je dosažení vytyčeného cíle podmíněno vytvořením typologie vodních toků na území ČR z pohledu hydromorfologie a rozřazení 4187 úseků vodních toků do typů, což umožní popsat typová specifika referenčních podmínek vodních toků na území ČR.

Hlavní výzkumnou hypotézou práce bylo ověřit možnost stanovení referenčních podmínek vodních toků z pohledu hydromorfologie v podmínkách současné kulturní krajiny na základě kombinace distančních dat a detailního terénního průzkumu. Další výzkumnou hypotézou bylo, že stanovení referenčních podmínek nelze striktně omezit rozpětím prahových hodnot a uvažovat je jako nepřekročitelné, proto bylo cílem předkládané práce vytvoření průhledného a jednoduše aplikovatelného přístupu, který umožní uživateli vlastní zpřesnění na základě dat získaných terénním průzkumem, identifikaci regionálně specifických referenčních podmínek a tedy reálné využití.

Přístup pro stanovení referenčních lokalit je založen na splnění kritérií minimálního antropogenního vlivu, která jsou posuzována na základě distančních dat a následně ověřena terénním průzkumem. Parametry nadmořská výška, sinuosita a sklon údolí pro rozřazení úseků vodních toků do typů byly vybrány na základě výsledků statistických metod aplikovaných na 3197 úseků vodních toků na území ČR. Rozřazení úseků vodních toků do 9 typů bylo validováno terénním průzkumem ve 44 lokalitách. V 16 lokalitách, které byly určeny jako referenční, byl proveden detailní záznam a zaměření charakteristik přirozeného chování vodních toků. Charakteristiky zaznamenané v referenčních lokalitách dále sloužily jako podklad pro vytvoření popisu typově specifických referenčních podmínek.

Rozřazení vodních toků ČR do 9 typů potvrdilo významnou odlišnost chování vodních toků v podmínkách České vysočiny and flyšového pásma Západních Karpat. Identifikována byla specifická skupina vodních toků v zarovnaných vrcholových partiích České vysočiny, která se v geomorfologicky zcela odlišném systému Západních Karpat nevyskytuje. Terénní průzkum a zaměření charakteristik v referenčních lokalitách potvrdily, že odlišnosti mezi typy jsou zřejmé, ale hranice typů nejsou vždy zcela ostré. Úsekům vodních toků označeným jako pravděpodobně nebo potenciálně upravené byl přiřazen nejbližší typ neupraveného vodního toku. Zároveň charakteristiky referenčních lokalit potvrdily, že nelze striktně vymezit prahové hodnoty jednotlivých posuzovaných charakteristik typů vodních toků. Referenční podmínky je třeba posuzovat jako sadu charakteristik, protože oddělené posuzování charakteristik nebo jejich prahových hodnot může zkreslit celkovou interpretaci referenčních podmínek.

Předkládaná práce potvrdila význam kombinovaného využití distančních podkladů a nezbytné validace terénním průzkumem.

Předkládané typově specifické referenční podmínky byly stanoveny pro fyzicko-geografické podmínky vodních toků v ČR a lze je využít k hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků i jako cílový stav revitalizačních opatření. Navíc popsany metodický přístup umožňuje uživateli provést individuální stanovení lokálních/regionálních referenčních podmínek pro daný vodní tok na základě reálných dat získaných terénním průzkumem.

Klíčová slova: hydromorfologie, referenční podmínky, typ vodního toku, referenční lokalita

Abstract

Today, the study of fluvial-morphological processes is focused on evaluating hydromorphological status of streams and on proposing restoration measures. A fundamental prerequisite for assessing the current hydromorphological status of streams is establishing reference conditions for each stream type that serve as a benchmark and represent the target status after restoration.

The aim of this thesis is to develop a uniform approach to establishing type-specific reference conditions for rivers in the Czech Republic and to establish these conditions. This defined aim is accomplished through the developing of REFCON method for establishing reference sites and recording characteristics of reference status and its application at 44 sites. Achieving the target further required developing rules for hydromorphological river typology and classifying 4187 river reaches into types that enable to describe type-specific reference conditions for rivers on the territory of the Czech Republic.

Main hypothesis was to validate the possibility of establishing hydromorphological reference conditions in anthropogenically influenced landscape on the basis of combined use of available cartographic data and detailed field survey. According to further hypothesis the reference conditions cannot be neatly determined as accurate, constant threshold values, therefore, the object of this thesis was to develop transparent and easily applicable method which enables user to individually establish regional specific reference conditions for each stream when required on the basis of conducted field survey.

The approach to establishing reference sites is based on meeting the criteria of having minimal anthropogenic impact that are first assessed using cartographic data and subsequently verified through field survey. Parameters – altitude, sinuosity, and valley floor slope – for classifying river reaches into types were determined on the basis of the results of statistical methods applied on 3197 river reaches covering the whole territory of the Czech Republic. The classification of river reaches into 9 river types was verified through field survey at 44 sites. Detailed field survey and measurements of characteristics of natural channel behavior were conducted at sixteen sites that met criteria of reference site. The river characteristics recorded at reference sites further served as the basis of the describing the type-specific reference conditions.

Classifying river reaches on the territory of the Czech Republic into 9 types confirmed a significant difference between channel behavior in the Bohemian Massif and on the flysch belt of the Western Carpathians. Classification identified a specific group of streams located in the flattened, high-altitude areas of mountains in the Bohemian Massif, which do not occur in the completely geomorphologically different system of the Western Carpathians. Field surveys and measurements of characteristics at reference sites confirmed that differences between types are clear, but the boundaries between river types, are not always so clear. The nearest unmodified type was derived for river reaches that were marked as probably modified channels and potentially modified channels. The characteristics of reference sites also confirmed that threshold values of river type characteristics are not always clear. Reference conditions are necessary to describe as a set of characteristics because assessing the characteristics or their threshold values separately may skew the overall interpretation of reference conditions.

The thesis confirmed the importance of combined use of available cartographic data and necessary verification through field survey.

Presented type-specific reference conditions have been determined for physiographic conditions of rivers on the territory of the Czech Republic and can be used for the assessment of hydromorphological status of streams and also as restoration target conditions. Developed REFCON method enables user to individually establish local or regional reference conditions for each stream when required on the basis of conducted field survey.

Key words: hydromorphology, reference conditions, river type, reference site

1. Úvod

Referenční podmínky by měly být určeny pro každý typ vodního toku tak, aby odrážely nenarušené podmínky toku, tzn. přirozený materiál dna i břehů včetně přirozeného příčného profilu a půdorysného tvaru řeky, pohyb koryta inundačním územím bez omezení, přirozený pohyb sedimentu, organismů i proudění vody, přirozený břehový porost odpovídající říčnímu typu a zeměpisné poloze řeky (CEN, 2004). Referenční podmínky je však třeba chápat v podmínkách vývoje kulturní krajiny (Kondolf et al., 2003a; Matoušková, 2008a; Dufour and Piégay, 2009), definování referenčních podmínek jako nedotčených má pro management vodních toků i revitalizační opatření malé praktické využití (Dufour and Piégay, 2009; Wyžga et al., 2012; Rinaldi et al., 2013). Autoři upouští také od využití historických referenčních podmínek, o jejichž nedotčenosti lze v mnoha případech pochybovat, a uvádí, že pro stanovení referenčních podmínek třeba vycházet ze současných environmentálních podmínek (Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Dufour and Piégay, 2009; Wyžga et al., 2012).

Zařazení vodních toků do typů, na základě společných charakteristik jejich přirozeného chování, představuje užitečný nástroj pro porozumění fluvialně-morfologickým procesům a vývoji říční krajiny. Geomorfologické klasifikace toků jsou zpravidla založeny na sběru velkého množství dat a jejich posouzení pomocí statistických metod za účelem objektivního definování parametrů klasifikace a skupin toků. Prahové hodnoty parametrů pro stanovení hranic skupin nejsou vždy zcela jednoznačné (Schumm, 1977; Rosgen, 1994; Thorne, 1997; Kondolf et al. 2003a; Rinaldi et al., 2016) a rozhraní hodnot parametrů tak mohou být širší nebo klouzavá popř. závislá na hodnotách dalších parametrů (Gurnell et al., 2016). Nejpoužívanějším přístupem pro vymezení typů vodních toků je respektování kontinua říčního vzorce a posouzení tvarů koryta (Thorne, 1997). Za historicky první je považována klasifikace říčních vzorců založená na vztazích mezi dodávkou sedimentů a stabilitou koryta (Schumm, 1977), která třídí vodní toky od přímých přes meandrující k divočícím bez ostrých přechodů mezi jednotlivými typy. Koncept kontinua proměnných v rámci úseků toku zdůrazňuje i výrazně mladší a neméně významná typologie Rosgen (1994).

Vstupem do Evropské unie se Česká republika (ČR) zavázala k implementaci Rámcové směrnice o vodách (European Commission, 2000, dále RSV) do svého právního řádu. Cílem RSV je zabránit dalšímu zhoršování stavu, ochrana a zlepšení stavu vod. Smyslem hodnocení ekologického a chemického stavu vodních toků podle požadavků RSV je zjištění současného stavu vodních toků a v případě nedosažení dobrého stavu návrh a následná realizace opatření, které povedou k dosažení dobrého stavu. Ekologický stav je určen na základě stavu biologických, hydromorfologických a chemických a fyzikálně chemických složek. Účelem hodnocení stavu hydromorfologických složek je získání informace, zda jsou hydromorfologické podmínky vodního toku dostatečné pro podporu biologických složek.

Od zavedení RSV dochází postupně v evropských státech k hodnocení stavu vod a navrhování nápravných opatření pro dosažení dobrého stavu vod. Nezbytným předpokladem hodnocení aktuálního hydromorfologického stavu vodních toků je stanovení referenčních podmínek na úrovni jednotlivých typů vodních toků, které slouží jako srovnávací prvek a představují cílový stav revitalizačních opatření.

Definováním cílového stavu revitalizačních opatření se v posledních desetiletích zabývalo několik studií (Jungwirth et al., 2002; Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Dufour and Piégay, 2009). Revitalizační úsilí, později umocněné a podporované požadavky RSV, vedlo v Evropě k vyvinutí velkého počtu metod pro hodnocení hydromorfologické kvality řek (např. Raven et al., 1997; Agences de l'Eau and Ministère de l'Environnement, 1998; LAWA, 1999; Kern et al., 2002). Přehled 121 metod vytvořených mezi lety 1983 a 2013 uvádí Belletti et al. (2015). V souladu s požadavky RSV byly za účelem hodnocení hydromorfologické kvality vodních toků pro podmínky ČR vytvořeny metody EcoRivHab (Matoušková, 2003, 2008a,b) a HEM (Langhammer, 2007, 2008, 2014; Langhammer and Hartvich, 2014). Stanovení referenčních podmínek je však na základě těchto metod obtížně uchopitelné a i na lokální úrovni časově náročné. Vytvoření jednoduše aplikovatelného přístupu pro stanovení

referenčních lokalit a referenčních podmínek se tedy z hlediska hodnocení stavu i návrhu opatření na úrovni ČR jeví jako velmi důležité. Zároveň výstupy provedeného hydromorfologického výzkumu v odlišných fyzicko-geografických podmínkách ČR poukázaly na význam stanovení typových specifík referenčních vodních toků.

2. Cíle práce

Cílem předkládané práce je vytvoření jednotného přístupu pro stanovení typově specifických hydromorfologických referenčních podmínek aplikovatelného pro vodní toky na území celé ČR v souladu s požadavky RSV a jeho aplikace.

K naplnění stanoveného cíle vedlo několik dílčích cílů, které jsou v předkládané práci sledovány:

- Vytvoření metodického přístupu pro stanovení referenčních lokalit vodních toků, který umožňuje stanovení současných reálných referenčních podmínek, zohledňuje variabilitu vodních toků i rozpětí fyzicko-geografických podmínek a antropogenních vlivů na území ČR.
- Stanovení typů vodních toků na území ČR z pohledu hydromorfologie a zařazení vodních toků na území ČR do typů na základě jejich přirozeného chování – fluviálně-morfologických procesů.
- Výběr významných typově specifických hydromorfologických charakteristik a popis typově specifických hydromorfologických referenčních podmínek.

Hlavní výzkumnou hypotézou celé práce bylo ověřit možnost stanovení referenčních podmínek vodních toků z pohledu hydromorfologie v podmínkách současné kulturní krajiny na základě kombinace distančních dat a detailního terénního průzkumu. Další výzkumnou hypotézou bylo, že stanovení referenčních podmínek nelze striktně omezit rozpětím prahových hodnot a uvažovat je jako nepřekročitelné, proto bylo cílem předkládané práce vytvoření průhledného a jednoduše aplikovatelného přístupu, který umožní uživateli vlastní zpřesnění na základě dat získaných terénním průzkumem, identifikaci regionálně specifických referenčních podmínek a tedy reálné využití.

Předpokladem praktické aplikace výstupů je postupné vytvoření databáze referenčních lokalit (současných reálných referenčních podmínek), která bude sloužit širokému okruhu uživatelů, pro účely hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků v souladu s požadavky RSV, jako předloha pro návrh revitalizačních opatření, ale také jako databáze úseků vodních toků, které zasluhují ochranu před potenciálními zásahy člověka.

3. Materiál a metodika

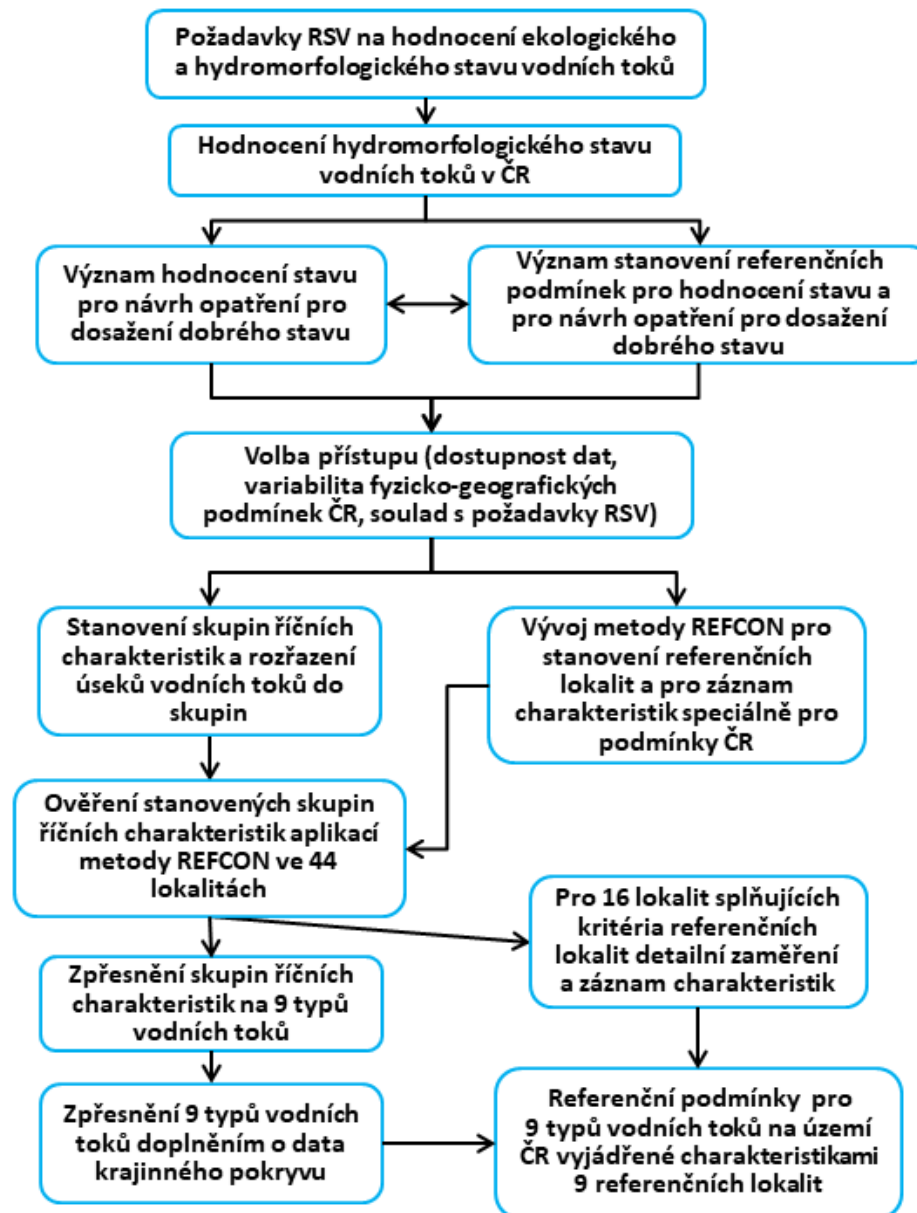
3.1. Metoda stanovení referenčních lokalit a záznamu charakteristik

Pro stanovení hydromorfologických referenčních podmínek byl zvolen přístup prostorového určení na základě dat z průzkumu referenčních lokalit. Tento přístup byl vybrán s ohledem na nedostupnost aktuálních i historických dat, která by systematicky pokrývala území ČR, a nároky na vytvoření funkčního modelu na úrovni státu. Zároveň byly zohledněny zkušenosti evropských států, které již referenční podmínky pro hydromorfologické i biologické složky v obdobných podmínkách odvozovaly. V neposlední řadě bylo prověřováno, zda je možné nalézt na území ČR dostatek referenčních lokalit z pohledu hydromorfologie.

Zásadní kroky metodického postupu jsou shrnuty v **Obr. 1**.

Za účelem stanovení referenčních lokalit a určení hydromorfologických charakteristik pro stanovení typově specifických hydromorfologických referenčních podmínek vodních toků ve fyzicko-geografických podmínkách ČR byla vyvinuta metoda REFCON (Kujanová and Matoušková, 2017a). Metoda REFCON je založená na datech získaných nebo ověřených terénním průzkumem a měřeními v referenčních lokalitách. Určení lokality jako referenční je podmíněno současným splněním těchto kritérií:

- neovlivněný hydrologický režim, tzn. žádné významné vodní nádrže nad referenční lokalitou, žádná soustava 2 a více rybníků v rámci vodního útvaru nad referenční lokalitou, žádné významné odběry, odklony vody nebo špičkování v referenční lokalitě, žádné příčné překážky nad 0,5 m v referenční lokalitě,
- neupravené břehy, dno a trasa koryta v referenční lokalitě,
- přirozená vegetace příbřežní zóny v referenční lokalitě, tzn. les, trvalý travní porost, mokřad, skalní výstup nebo povrch ponechaný přirozené sukcesi.



Obr. 1 Schéma metodického postupu práce.

Všechna tato kritéria jsou nejprve prověřována na základě aktuálních (ZABAGED), historických (2. vojenské mapování) a vodohospodářských map a leteckých snímků. Následně jsou kritéria ověřena terénním průzkumem lokality. Referenční lokalita je úsek toku o délce nejméně 500 m, uvedená kritéria

však musí být splněna zároveň pro úsek 500 m nad a 200 m pod referenční lokalitou. Metoda REFCON je tedy aplikována na úsek o délce nejméně 1200 m.

3.2. Rozřazení vodních toků do skupin na základě distančních dat

Za účelem rozřazení vodních toků do skupin na základě jejich přirozeného chování (Kujanová et al., 2016) bylo třeba:

1. nalézt s využitím statistických analýz parametry významné z hlediska přirozeného chování vodních toků, které zároveň zohledňují variabilitu fyzicko-geografických podmínek ČR,
2. stanovit prahové hodnoty parametrů pro vymezení teoretických typů a na základě poznatků fluvialní morfologie rozřadit teoreticky vymezené typy do skupin,
3. stanovené skupiny říčních charakteristik validovat pomocí terénního průzkumu.

V rámci výše uvedeného bodu 1 byly nejprve vodní toky (vodní útvary v kategorii řeka) rozděleny na úseky pomocí rozvodnic pro 4424 povodí vymezených ČHMÚ k roku 2013 pro účely hydrologického monitoringu a předpovědi. Pro každý ze 4424 úseků byly stanoveny a dále testovány tyto parametry: maximální a minimální nadmořská výška úseku (z DMT s rozlišením 10 x 10 m), dále byla na základě GIS podkladů určena délka úseku, délka údolí a přiřazen řád toku dle Strahlera (1957) v závěrovém profilu úseku, dopočítán byl sklon toku (rozdíl maximální a minimální nadmořské výšky ku délce úseku), sklon údolí (rozdíl maximální a minimální nadmořské výšky ku délce údolí), sinuosita (poměr délky úseku ku délce údolí) a nadmořská výška úseku (průměrná hodnota maximální a minimální nadmořské výšky úseku). Dále byly pro jednotlivé úseky doplněny charakteristiky hydrologického režimu: měsíc s nejvyšším průměrným průtokem a rozkolísanost průtoků (stanovená jako poměr průměrných průtoků měsíce s nejvyšším a nejnižším průměrným průtokem) za období 2003 – 2012. Následně byly vyloučeny úseky velkých nížinných řek (řádu 7–9) s předpokládaným významným antropogenním ovlivněním a úseky v pramenných oblastech (řádu 1–2) vykazující vysokou variabilitu parametrů, úseky zatopené vzdutím vodních nádrží a modifikované úseky s hodnotou sinuosity 1,0 (Kujanová et al., 2016). Do statistických analýz tak vstupovalo 10 parametrů za 3197 úseků vodních toků o celkové délce 15 636 km.

Za účelem redukce počtu původních proměnných a výběru vzájemně nezávislých parametrů vystihujících chování vodních toků byla aplikována analýza hlavních komponent (PCA). Pro ověření vzájemných vazeb mezi parametry byla použita metoda aglomerativního hierarchického shlukování (AHC). Vztahy mezi jednotlivými parametry byly dále posuzovány pomocí korelací a regresí. Na základě výsledků analýz byly jako nezávislé parametry popisující přirozené chování vodních toků vybrány parametry nadmořská výška, sinuosita, sklon údolí a řád toku.

Na základě histogramů a literatury byly stanoveny prahové hodnoty parametrů (bod 2 výše) následovně: nadmořská výška (< 300 m, 300 – 599 m, ≥ 600 m), sinuosita (1,00 – 1,19, 1,20 – 1,49, 1,50 – 3,50), sklon údolí (< 0,50 %, 0,50 – 1,79 %, ≥ 1,80 %). Kombinací 3 kategorií těchto 3 parametrů vzniklo 27 teoretických typů vodních toků. Teoretické typy byly přiřazeny ke všem úsekům vodních toků vyjma úseků zatopených vzdutím vodních nádrží. Teoretické typy byly dále sloučeny v rámci parametru sinuosita, který je velmi významný pro odlišení přirozené a upravené trasy toku, ale zároveň v závislosti na délce a vymezení posuzovaného úseku vykazuje vysokou variabilitu. Počet teoretických typů se tím snížil na 17 (**Tabulka 1**). Sinuosita byla vždy posuzována společně se sklonem údolí. Při kombinaci podmínek sklonu údolí do 0,5 % a sinuosity do 1,2 byl úsek toku považován za *pravděpodobně upravený*, v případě sklonu 0,5 – 1,79 % a sinuosity do 1,2 byl úsek toku považován za *potenciálně upravený*. Tento předpoklad byl následně potvrzen terénním průzkumem. Kombinací kategorií vybraných parametrů uvedenou v **Tabulce 1** byly úseky vodních toků rozřazeny do 7 skupin říčních charakteristik (A–G; Kujanová et al., 2016).

Jako další zásadní parametry přirozeného chování vodních toků byly posuzovány velikost toku vyjádřená řádem toku a litologie vyjádřená jako příslušnost úseku ke geomorfologické jednotce Česká vysočina nebo Západní Karpaty.

Tabulka 1 Princip určení skupin říčních charakteristik, typů vodních toků a nejbližšího typu neovlivněného toku na základě prahových hodnot vybraných parametrů a zastoupení jednotlivých typů vodních toků na celkové délce posuzovaných vodních toků v rámci území ČR, v rámci jednotlivých geomorfologických jednotek a v rámci řádů toku; zvýrazněno sloučení kategorií v rámci parametru sinuosita.

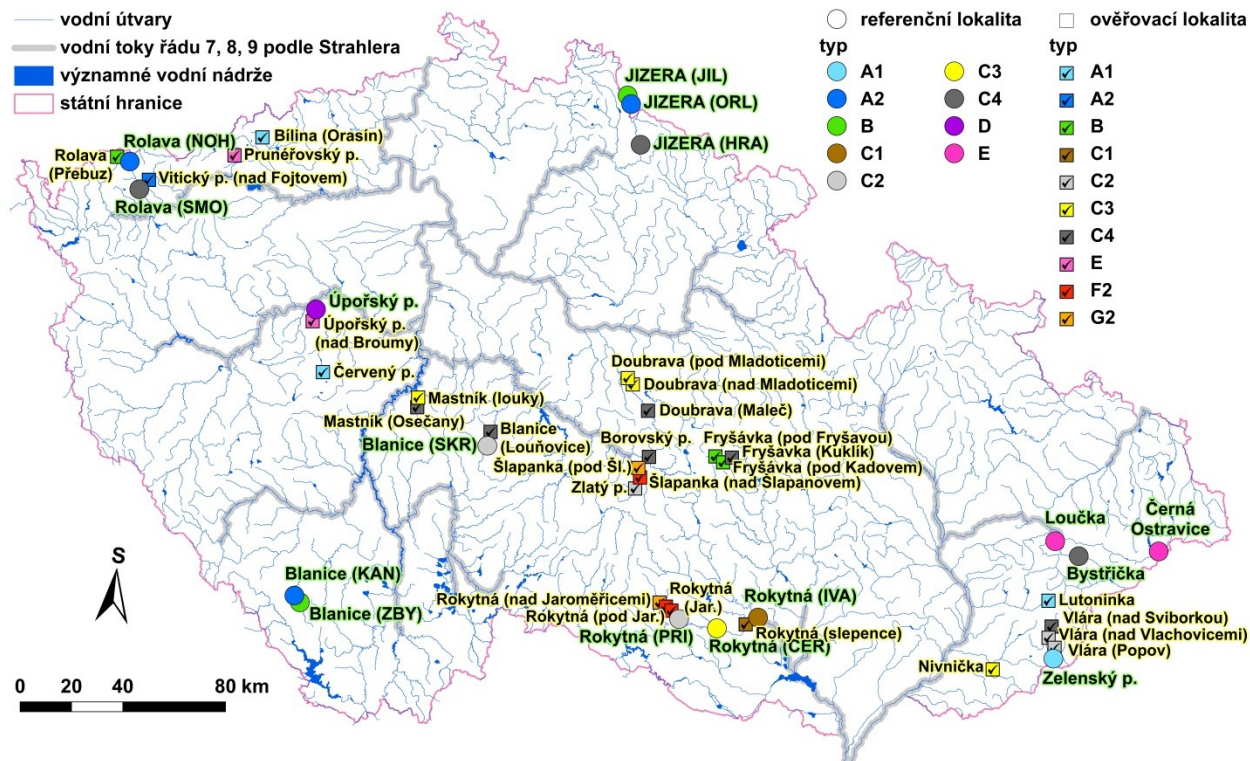
Prahové hodnoty vybraných parametrů pro odvození typů vodních toků			Zastoupení typů na celkové délce posuzovaných vodních toků (%)								
Nadmořská výška	Sinuosita	Sklon údolí	Skupiny říčních charak.	Typy vodních toků	Nejbližší typ neovliv. toku	Území ČR	Česká vysočina	Západní Karpaty	Toky řádu 1–3	Toky řádu 4–6	Toky řádu 7–9
300–599 m	1,00–1,19	≥ 1,80 %	A	A1		7,1	6,7	9,2	18,6	6,3	
≥ 600 m	0,50–1,79 %										
≥ 600 m	1,00–1,49	≥ 1,80 %		A2		8,2	9,0	4,2	14,0	8,4	
≥ 600 m	≥ 1,50	≥ 1,80 %	B	B		2,9	3,5		1,9	3,4	0,2
	≥ 1,20	< 0,5 %									
	≥ 1,20	0,50–1,79 %									
< 300 m	≥ 1,20	< 0,5 %	C	C1		10,1	8,5	18,8	3,0	8,9	30,1
300–599 m	≥ 1,20	< 0,5 %		C2		10,2	11,9	0,9	1,0	10,8	16,6
< 300 m	≥ 1,20	0,50–1,79 %		C3		4,7	4,7	4,8	2,8	5,5	0,8
300–599 m	≥ 1,20	0,50–1,79 %		C4		19,1	21,5	5,5	14,9	21,9	0,9
< 300 m	všechny hodnoty	≥ 1,80 %	D	D		0,5	0,5	0,4	0,9	0,4	
300–599 m	1,20–1,49	≥ 1,80 %	E	E		9,2	9,4	8,2	21,1	8,5	
	≥ 1,50										
< 300 m	1,00–1,19	< 0,5 %	F	F		15,9	12,5	33,9	5,5	13,1	50,7
300–599 m	1,00–1,19	< 0,5 %									
< 300 m	1,00–1,19	0,50–1,79 %	G	G		12,1	11,8	14,0	16,3	12,8	0,7
300–599 m	1,00–1,19	0,50–1,79 %									

Dalším krokem bylo posouzení možnosti využití podrobných dat krajinného pokryvu příbřežní zóny pro zpřesnění popisu typů vodních toků a referenčních podmínek z pohledu hydromorfologie. Zdrojem podrobných dat krajinného pokryvu byla Konsolidovaná vrstva ekosystémů (AOPK ČR, 2013). Z dat krajinného pokryvu byl pro každý posuzovaný úsek vodního toku vytvořen „round buffer“ ve vzdálenosti 50 m a 200 m (od vodního toku vyjádřeného linií). Z původních 4424 úseků byly vyloučeny úseky zatopené vzdušným vodním nádrží a z důvodu zásadních překryvů bufferů také úseky kratší než 500 m. Pro každý z 3937 bufferů ve vzdálenosti 50 m a 200 m, které vstupovaly do dalších analýz, byla spočítána celková plocha každé ze 41 kategorií krajinného pokryvu zastoupená v daném bufferu. Vytvořený buffer 50 m podél posuzovaných vodních toků byl tvořen 741 401 polygony a buffer 200 m obsahoval 2 232 094 polygonů. Pro účely dalších analýz byly kategorie krajinného pokryvu slučovány. S využitím deskriptivní statistiky (krabicových grafů) a vizualizace sloupcovými grafy bylo posuzováno zastoupení kategorií krajinného pokryvu v rámci každého bufferu ve vztahu k typům vodních toků stanoveným pro jednotlivé úseky a dále ve vztahu k řádu toku pro buffer 50 m i 200 m (Kujanová et al., 2018).

3.3. Výběr lokalit a jejich význam v postupu práce

S ohledem na cíl práce bylo širěji vymezenou zájmovou oblastí území ČR, resp. vodní útvary v kategorii řeka na území ČR podle Evidence vodních útvarů povrchových vod MŽP ČR k roku 2013. Posuzované vodní toky jsou znázorněny v **Obr. 2**.

Rozdělení úseků toků do 17 teoretických typů a stanovení 7 skupin říčních charakteristik bylo ověřeno prostřednictvím terénního průzkumu ve 44 lokalitách vybraných na základě předběžného posouzení mapových podkladů a dostupných dat tak, aby pokrývaly variabilitu fyzicko-geografických podmínek vodních toků na území ČR (**Obr. 2**). V každé ze 44 lokalit byla aplikována metoda REFCON. Výsledkem terénního průzkumu bylo zpřesnění 7 skupin říčních charakteristik na 9 typů neovlivněných vodních toků a 2 typy *pravděpodobně* nebo *potenciálně upravené* (Kujanová and Matoušková, 2017b).



Obr. 2 Rozložení lokalit ověřených terénním průzkumem a měřeními na území ČR a jejich příslušnost k typům vodních toků.

Mnoho potenciálních referenčních lokalit bylo vyloučeno již na základě předběžného posouzení dostupných mapových podkladů, cca 60 % předběžně posouzených referenčních lokalit bylo následně vyloučeno na základě terénního průzkumu. 16 ze 44 lokalit splnilo kritéria metody REFCON a bylo určeno jako referenční. V těchto 16 referenčních lokalitách byl proveden detailní záznam charakteristik a měření za účelem stanovení typově specifických referenčních podmínek. Pro 16 referenčních lokalit byly dále aplikací PCA analýzy s využitím grafů biplot posouzeny vztahy mezi charakteristikami 88 příčných profilů získanými v referenčních lokalitách, stanovenými typy vodních toků a kategoriemi krajinného pokryvu příbřežní zóny úseků vodních toků, ve kterých se referenční lokality nacházejí.

Z 16 referenčních lokalit byla následně pro každý z 9 typů neovlivněných vodních toků vybrána jedna lokalita nejlépe reprezentující daný typ (Kujanová et al., 2018) a na základě syntézy všech poznatků a výsledků byly popsány typově specifické referenční podmínky.

4. Výsledky a diskuse

4.1. Metoda REFCON

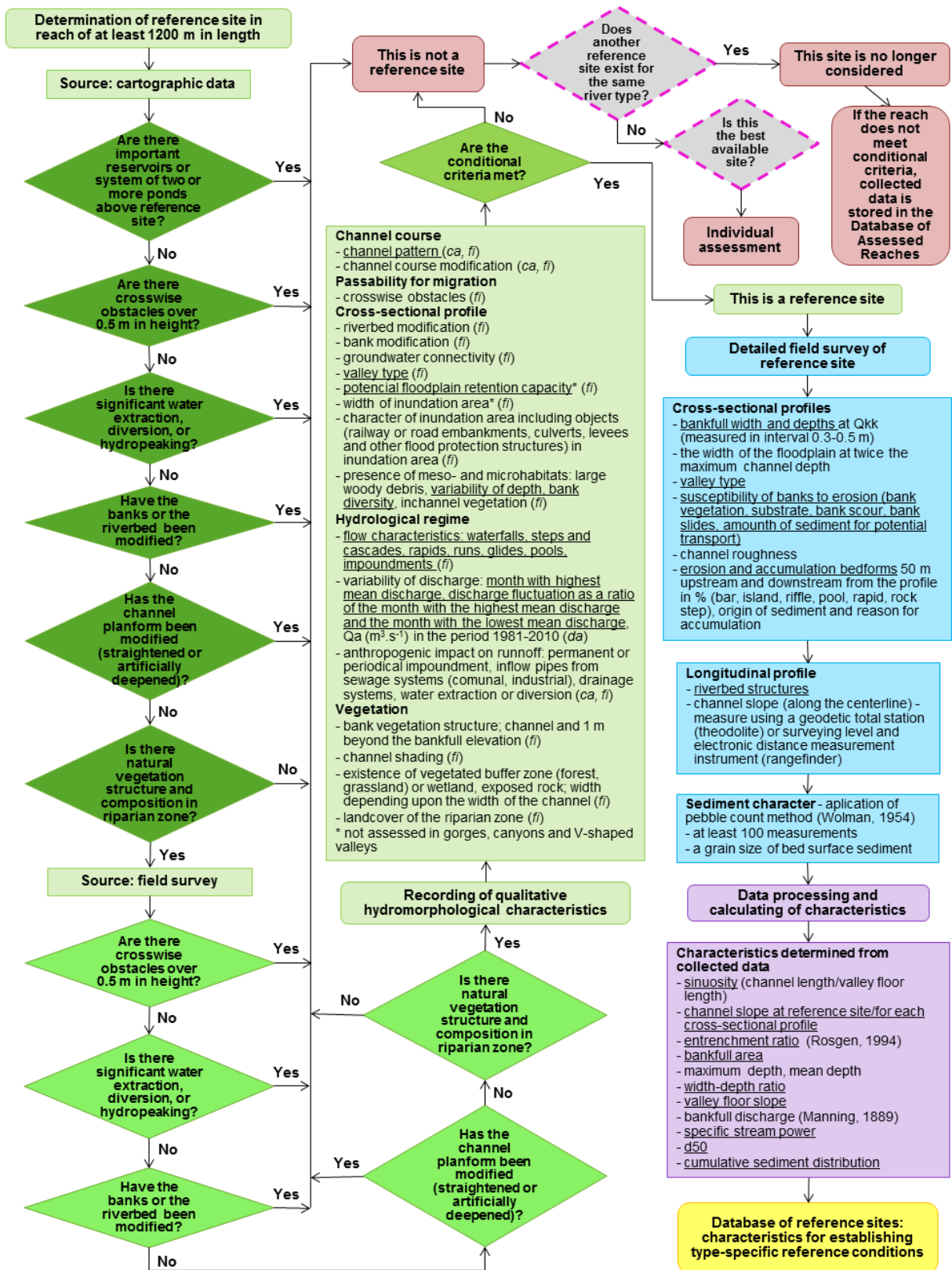
Metoda REFCON je v souladu s postupem pro stanovení referenčních podmínek (European Commission, 2003), je založena na stanovených typech vodních toků, aplikuje ekologická kritéria, resp. „screening“ antropogenních vlivů, na základě rozhodnutí o dostupnosti potenciálních referenčních lokalit identifikuje síť referenčních lokalit a způsob záznamu charakteristik, které dále slouží ke stanovení typově specifických referenčních podmínek. Jednotlivé kroky aplikace metody REFCON jsou znázorněny na Obr. 3.

Stejně jako německý (Pottgiesser and Sommerhäuser, 2004, 2008), rakouský (Wimmer et al., 2012b) a slovenský (Magulová et al., 2007) přístup je metoda REFCON založena na datech z referenčních lokalit. Zatímco pro Německo, Rakousko a Slovensko je velmi dobrý nebo dobrý hydromorfologický stav důležitým kritériem pro stanovení referenčních lokalit, pro území ČR zatím není systematické hodnocení hydromorfologického stavu k dispozici. Proto je prvním krokem stanovení referenčních lokalit podle metody REFCON „screening“ antropogenních vlivů v podobě splnění stanovených kritérií.

Vzhledem ke skutečnosti, že je na území ČR evidováno 74 866 vodních ploch (ČUZK, 2013) a přibližně 6600 příčných překážek na vodních tocích vyšších než 1 m (Slavíková et al., 2014), bylo dle očekávání ovlivnění hydrologického režimu největší komplikací hledání referenčních lokalit. Z celkové délky posuzovaných vodních toků bylo 33,8 % ovlivněno významnými vodními nádržemi. Vliv významné vodní nádrže nebo soustavy 2 a více rybníků v rámci vodního útvaru se projevil na 63,2 % délky posuzovaných vodních toků, které se tím na základě stanovených kritérií staly nevhodné pro stanovení referenčních lokalit (Kujanová and Matoušková, 2017a).

Metoda REFCON byla navržena tak, aby bylo možné relativně rychle a snadno rozhodnout, zda lokalita může být považována za referenční nebo nikoli a až poté věnovat čas záznamu detailních charakteristik příčných profilů, podélného profilu a sedimentu. Součástí terénního průzkumu lokality je záznam kvalitativních charakteristik trasy koryta, podélné konektivity toku, příčných profilů, hydrologického režimu a vegetace reprezentujících celý úsek (1200 m). V lokalitách, které splnily kritéria referenční lokality je následně proveden detailní terénní průzkum, který zahrnuje: zaměření minimálně 5 charakteristických příčných profilů včetně jejich detailního vyhodnocení ve vzdálenosti 50 m/100 m po a proti proudu (v závislosti na šířce koryta toku), hodnocení charakteru sedimentu na základě aplikace metody „Pebble count“ (Wolman, 1954) a zaměření podélného profilu lokality včetně záznamu charakteristik dna (Kujanová and Matoušková, 2017a). Detail terénního průzkumu odpovídá požadavku na využití typově specifických referenčních podmínek jako cílového stavu revitalizačních opatření. Pro návrh vhodných parametrů revitalizovaného koryta je třeba vycházet ze současných fyzicko-geografických podmínek revitalizované lokality (Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Dufour and Piégay, 2009; Wyžga et al., 2012) a referenčního stavu vodního toku v obdobných fyzicko-geografických podmínkách (Matoušková, 2008b; Wyžga et al., 2012). Úspěch revitalizačních opatření se do značné míry odvíjí od vhodně navržené trasy (a sklonu dna), šířky a hloubky koryta, přiměřené kapacity koryta a od schopnosti předvídat vývoj revitalizovaného koryta (břehová eroze, zahlubování koryta, transport a ukládání materiálu).

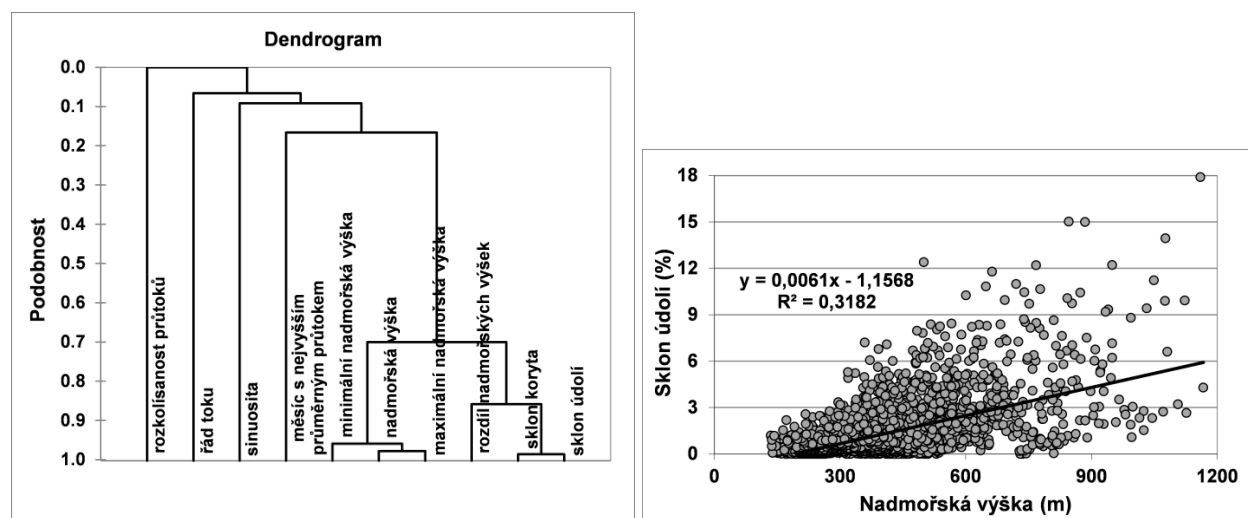
Metoda REFCON byla vytvořena pro vodní toky na úrovni vodních útvarů ČR, ale kritéria stanovení referenčních lokalit i záznam charakteristik lze aplikovat i na menší vodní toky. Nastavená kritéria stanovení referenčních lokalit i záznam kvalitativních hydromorfologických charakteristik lze aplikovat v podmínkách střední Evropy. Detailní terénní průzkum a měření jsou nastaveny pro toky, které lze brodit. Hlavní principy metody REFCON jsou aplikovatelné s ohledem na podobnost fyzicko-geografických podmínek (klíma, geomorfologie, krajinný pokryv, antropogenní vlivy).



Obr. 3 Jednotlivé kroky aplikace metody REFCON; ca – kartografická data, fi – terénní průřez, da – databáze, Q_{kk} – korytotvorný průtok, charakteristiky významné pro stanovení referenčních podmínek jsou podtrženy (Kujanová and Matoušková, 2017a).

4.2. Typy vodních toků z pohledu hydromorfologie

Podle výsledků AHC analýzy (**Obr. 4**) jsou parametry rozkolísanost průtoků řád toku, sinuosita i měsíc s nejvyšším průměrným průtokem relativně nezávislé. Při výběru parametrů pro rozřazení vodních toků do typů byl zohledňován jejich význam pro identifikaci přirozeného chování vodních toků. Vybrané parametry by dále měly reprezentovat příčný a podélný profil i trasu toku. Sklon údolí na rozdíl od sklonu toku není ovlivněn zkrácením a jinými modifikacemi říční sítě. Parametr nadmořská výška zohledňuje do značné míry charakteristiky klimatu (srážky a teploty) a částečně tedy i odtokového režimu. Naopak parametry měsíc s nejvyšším průměrným průtokem a rozkolísanost průtoků jsou do určité míry ovlivněny přítomností vodních nádrží a navíc zřejmě s ohledem na počet sledovaných profilů vysvětlují variabilitu souboru méně než parametr nadmořská výška. Kombinace parametrů sklon údolí a nadmořská výška v rámci zájmového území vykazuje značnou variabilitu (**Obr. 5**). Sinuosita reprezentuje trasu koryta toku i podélný profil a lze ji využít k identifikaci upravených úseků vodních toků. Řád toku je úpravami nedotčený parametr vhodně vyjadřující velikost. Na základě výsledků PCA, AHC, korelace a regrese byly jako signifikantní parametry popisující přirozené chování vodních toků ve fyzicko-geografických podmínkách ČR určeny parametry nadmořská výška, sinuosita, sklon údolí a řád toku (**Kujanová et al., 2016**).



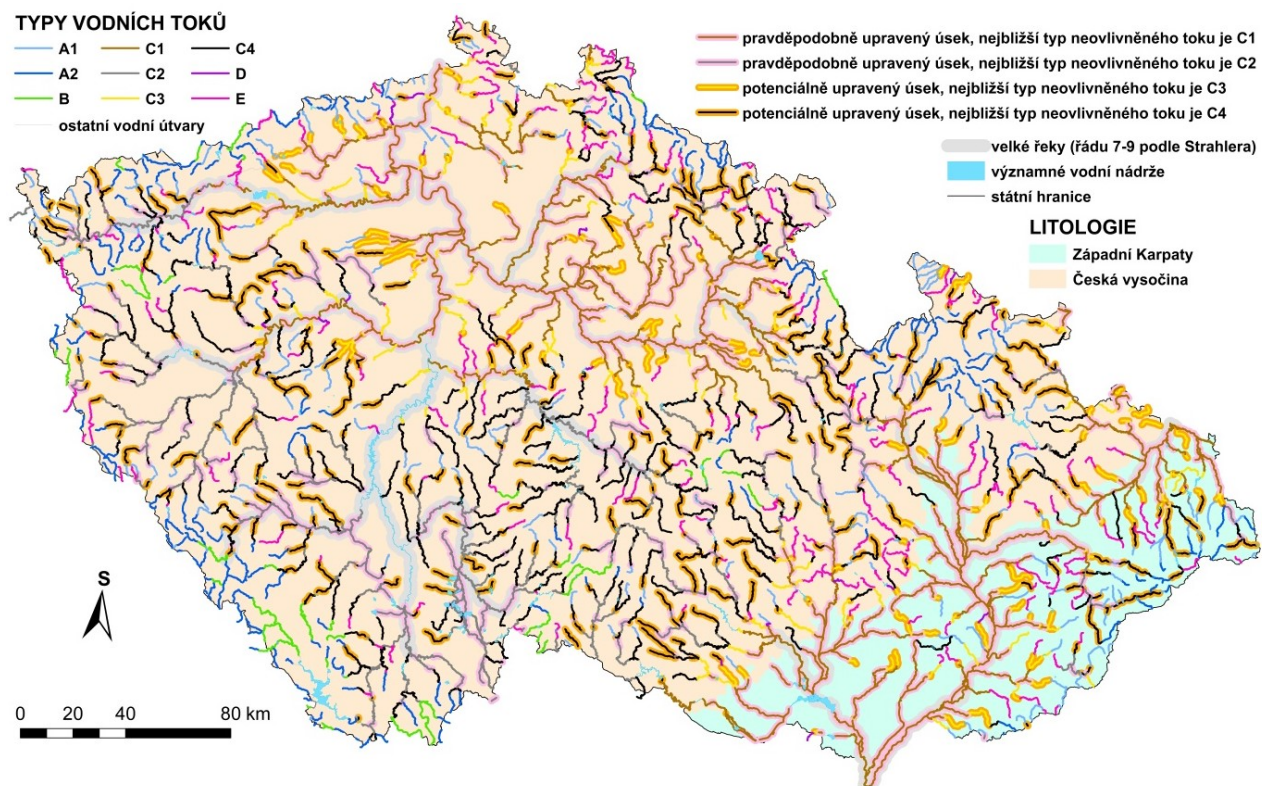
Obr. 4 (vlevo) Ověření vzájemných vazeb mezi proměnnými pomocí metody aglomerativního hierarchického shlukování (**Kujanová et al., 2016**); **Obr. 5** (vpravo) Vztah sklonu údolí a nadmořské výšky vyjádřený pro 3197 úseků vodních toků (**Kujanová et al., 2016**).

Ověřením a zpřesněním terénním průzkumem bylo vymezeno 9 typů neovlivněných vodních toků a 2 typy *pravděpodobně* nebo *potenciálně upravené* (**Kujanová and Matoušková, 2017b**). Vymezení jednotlivých typů a procentuální zastoupení jednotlivých typů vodních toků na celkové délce posuzovaných vodních toků v rámci území ČR, v rámci geomorfologických jednotek a řádů toku shrnuje **Tabulka 1**. Rozložení typů vodních toků na území ČR včetně zohlednění litologie a řádu toku je znázorněno na **Obr. 6**.

V případě *pravděpodobně* a *potenciálně upravených* úseků vodních toků (typ F a G) je nemožné objektivně posoudit charakteristiky přirozeného chování vodních toků. Referenční podmínky by však měly být stanoveny pro všechny typy vodních toků. Pro úseky vodních toků typu F a G byl proto stanoven a uplatněn princip odvození nejbližšího typu neovlivněného vodního toku. Nadmořská výška a sklon údolí, tzn. 2 z 3 parametrů, nejsou ovlivněny úpravami koryt vodních toků. Naopak parametr sinuosita je úpravami koryt silně ovlivněn. Nejbližší typ neovlivněného toku byl proto odvozen jako typ stejné kategorie nadmořské výšky a sklonu údolí. Za těchto podmínek vždy existuje pouze jeden nejbližší typ neovlivněného toku. Princip odvození nejbližšího typu neovlivněného toku je naznačen v **Tabulce 1**.

Úseky vodních toků typu F a G s odvozeným nejbližším neupraveným typem jsou na **Obr. 6** zvýrazněny červeným a oranžovým podbarvením.

Vodní toky Západních Karpat zasahujících na území ČR (**Obr. 6**) tvoří 15,5 % z celkové délky posuzovaných vodních toků. Ve srovnání s územím České vysočiny je v Západních Karpatech z typů neupravených vodních toků nejčastěji zastoupen typ C1, který je reprezentován zejména velkými nížinnými řekami, a dále je zde specifické četnější zastoupení typu A1, který reprezentuje pramenné úseky ve střední a vyšší nadmořské výšce. Naopak typ B není na území Západních Karpat zastoupen vůbec a typ C2 pouze minimálně. Česká vysočina je specifická výskytem typu B, který reprezentuje úseky vodních toků vyskytující se na zarovnaných vrcholových partiích českých hor (Krušné hory, Šumava, Novohradské hory, Slavkovský les, Českomoravská vrchovina). Dále je zde specifiky vyšší výskyt typu A2, který reprezentuje pramenné úseky v nejvyšších horských oblastech, a téměř výhradní výskyt typu C2. Nejčastěji zastoupený je na území celé ČR typ C4 (sinuózní až meandrující vodní toky ve střední nadmořské výšce se sklonem údolí 0,5 – 1,8 %), který je podstatně výrazněji zastoupen na území České vysočiny. Vzhledem k poloze zájmového území na hlavním evropském rozvodí tvoří významný podíl v obou geomorfologických jednotkách sinuózní a meandrující pramenné úseky řek a jejich menší přítoky ve střední nadmořské výšce avšak se značným sklonem údolí (typ E).



Obr. 6 Typy vodních toků stanovené pro úseky vodních útvarů v kategorii řeka na základě kombinace parametrů nadmořská výška, sinuosita a sklon údolí včetně zohlednění litologie, řádu toku a nejbližšího typu neovlivněného vodního toku (Kujanová and Matoušková, 2017b).

Vodní toky řádu 1–3 tvoří 11,4 % z celkové délky posuzovaných vodních toků, přičemž řád 1–2 je v rámci posuzovaných vodních toků zastoupen zcela minimálně. Jedná se především o typy A1, A2 a E s nejvyššími hodnotami sklonu údolí a dále o typ C4, resp. potenciálně upravené úseky (typ G). Vodní toky řádu 7–9 tvoří 9,2 % z celkové délky posuzovaných vodních toků. Jsou reprezentovány zejména typem C1 a F, pro který je typ C1 nejbližším typem neovlivněného toku. Dále je výrazněji zastoupen typ C2. Řád 4–6 tvoří 79,4 % délky posuzovaných vodních toků, tato skupina reprezentuje s dostatečnou

četností všechny typy vodních toků (**Tabulka 1**) a je považována za optimální pro stanovení referenčních podmínek.

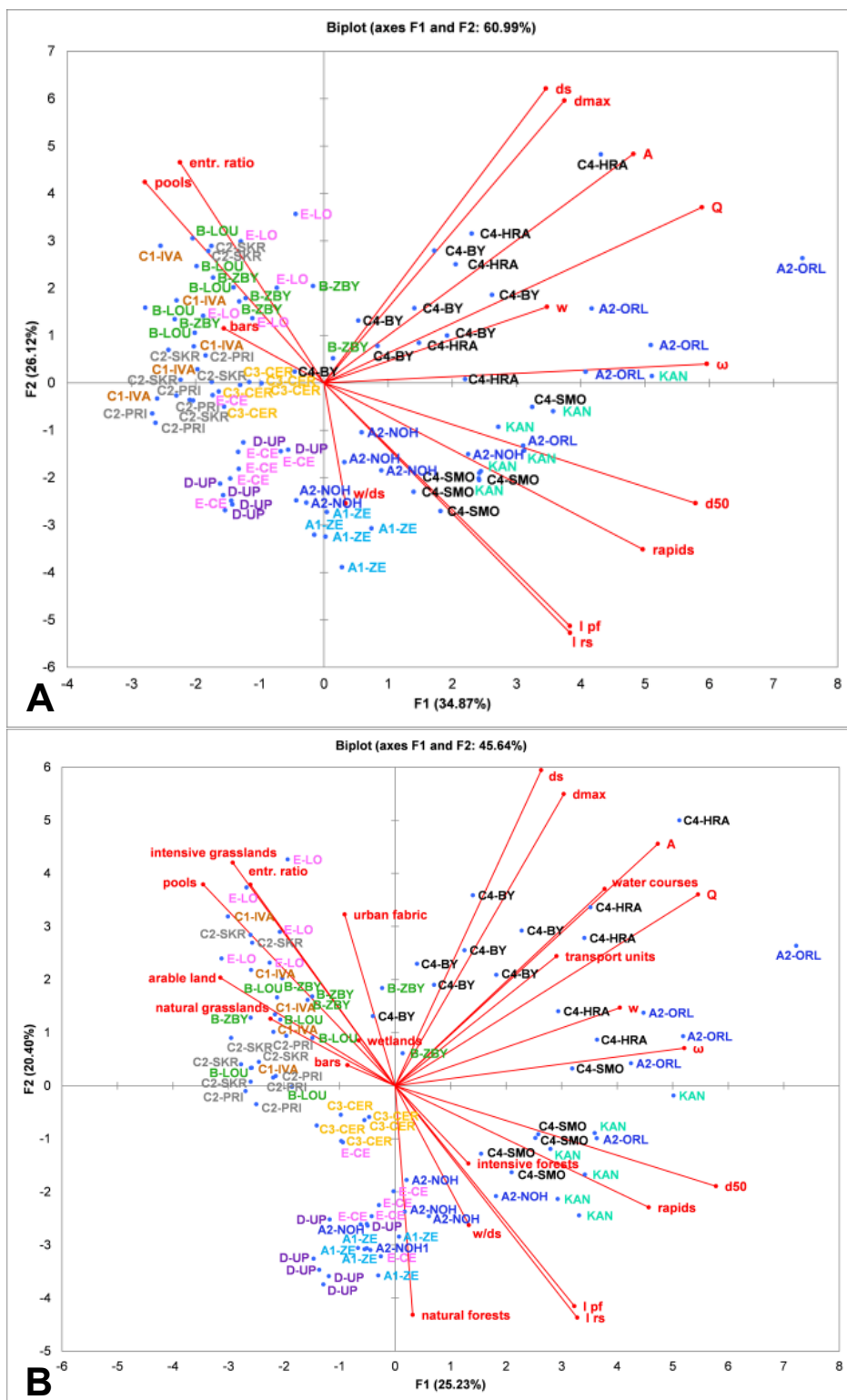
Předkládané rozdělení vodních toků na území ČR do typů potvrdilo významnou odlišnost chování vodních toků v podmínkách České vysočiny a flyšového pásma Západních Karpat. Řád toku byl vyhodnocen jako důležitá informace při výběru reprezentativních referenčních lokalit a pro popis typově specifických podmínek.

4.3. Využití dat krajinného pokryvu příbřežní zóny pro zpřesnění popisu typů vodních toků a referenčních podmínek

Z výsledků aplikace PCA analýzy na 14 charakteristik zaměřených v 88 příčných profilech referenčních lokalit je zřejmá korelace mezi charakteristikami meandrujících koryt s vyvinutou údolní nivou (např. koeficient zahloubení, tůň a lavice) a korelace mezi koryty s významným sklonem dna, hrubším sedimentem a peřejemi jako převládající strukturou dna (**Obr. 7A**). Pozice příčných profilů je označena odpovídajícím typem vodního toku a zkratkou názvu referenční lokality.

Rozšířením vstupních dat PCA analýzy o charakteristiky krajinného pokryvu se příslušnost jednotlivých příčných profilů k typům vodních toků zvyrazňuje (**Obr. 7B**). Odděluje se skupina příčných profilů s dominantní kategorií přirozených lesů, samostatně se profiluje typ sinuózních až meandrujících koryt v nížině. Dobře vyvinuté nivy představující meandrující koryta toků jsou využívány jako hospodářské louky nebo jako orná půda. Kategorie přirozených luk zůstává soustředěna zejména do niv meandrujících toků, které svými podmínkami nejsou vhodné pro zemědělské hospodaření (nadmořská výška, obtížný přístup, zamokření). V rámci meandrujících koryt se projevuje obecně málo zastoupená kategorie mokřadů. Analýzy potvrdily, že hydromorfologické charakteristiky jako trasa toku, velikost sedimentu nebo struktury dna úzce souvisí s krajinným pokryvem příbřežní zóny a podrobná data krajinného pokryvu lze vhodně využít k doplnění popisu referenčních podmínek ([Kujanová et al., 2018](#)).

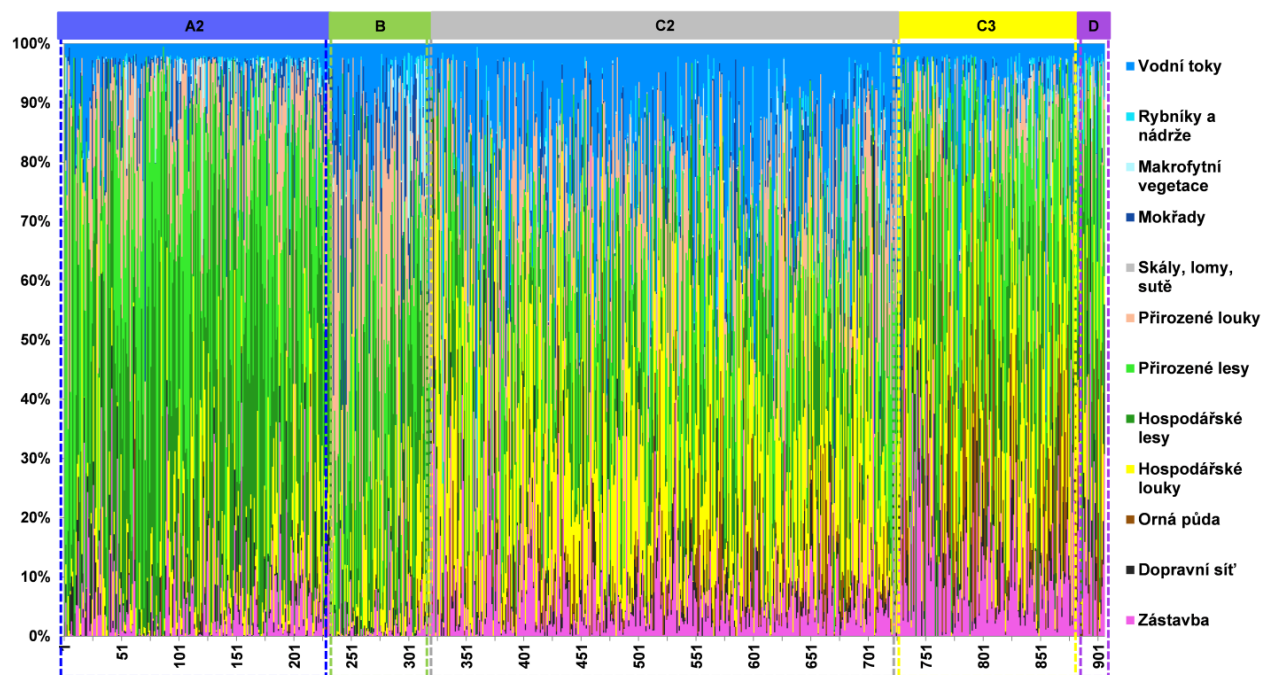
Výsledky analýz zastoupení kategorií krajinného pokryvu příbřežní zóny ve vztahu k typům vodních toků provedených pro 3937 úseků vodních toků potvrdily, že podrobná data krajinného pokryvu přispívají k popisu typů vodních toků a lze je využít k vysvětlení odlišností mezi typy vodních toků. Pro typy vodních toků s nižším antropogenním ovlivněním příbřežní zóny (A2, B, C2, C3 a D) byly určeny signifikantní kategorie krajinného pokryvu (**Tabulka 2**), které typ odlišují od ostatních a zároveň umožňují popsání typu pomocí dat krajinného pokryvu ([Kujanová et al., 2018](#)). **Obr. 8** je vyjádřením 12 sloučených kategorií krajinného pokryvu pro 906 úseků reprezentujících tyto typy, které zároveň dokumentuje signifikantní kategorie krajinného pokryvu těchto typů. Data krajinného pokryvu obsahují cennou informaci o šířce koryta, která v kombinaci s dalšími charakteristikami krajinného pokryvu přispívá k identifikaci charakteru proudění, trasy koryta nebo struktury dna. Dále napomáhají při hledání referenčních lokalit a přispívají ke stanovení míry antropogenního vlivu v příbřežní zóně, která se z příbřežní zóny zpravidla přenáší i na samotné koryto toku. Charakter příbřežní vegetace i podél člověkem silně ovlivněných toků svědčí o současných a probíhajících fluvialních procesech a zároveň reflektuje stádium vývoje koryta ([Hupp and Rinaldi, 2007](#); [Gurnell et al., 2016](#)). Podrobné zmapování využití příbřežní zóny jako prostoru vyvážené ochrany ekologických a socio-ekonomických cílů ([Kondolf et al, 2003b](#); [Dufour and Piégay, 2009](#)) slouží také jako jedno z důležitých kritérií při návrhu revitalizačních opatření vodních toků a managementu.



Obr. 7 Pozice analyzovaných charakteristik 88 příčných profilů referenčních lokalit v rámci prvních dvou komponent PCA – A, rozšíření vstupních dat PCA analýzy o charakteristiky krajinného pokryvu – B (Kujanová et al., 2018); w/ds—poměr šířky ku hloubce, Irs – sklon dna v referenční lokalitě, Ipf – sklon dna v příčném profilu, ω – specifická energie proudění, w – šířka koryta, Q – plnokapacitní průtok, A – plocha příčného profilu, dmax – maximální hloubka koryta, ds – průměrná hloubka koryta, entr. ratio – koeficient zahloubení. Pozice příčných profilů je označena odpovídajícím typem vodního toku a zkratkou názvu referenční lokality, barevné označení typů odpovídá Tabulce 1.

Tabulka 2 Kvalitativní hodnocení vztahů mezi typy vodních toků a krajinným pokryvem pro typy vodních toků s nižším antropogenním ovlivněním příbřežní zóny (Kujanová et al., 2018); ++ významný výskyt, + vyskytuje se, - minimální výskyt, -- zcela nepatrný výskyt.

Typ vodního toku	Signifikantní kategorie krajinného pokryvu
A2	++ hospodářské lesy ++ přirozené lesy + přirozené louky
B	++ přirozené louky + lesy + mokřady
C2	++ hospodářské louky + aluviální a vlhké louky + vodní toky
C3	++ hospodářské louky + lesy + zástavba
D	++ lesy (++) přirozené lesy) + hospodářské louky + zástavba



Obr. 8 Krajinný pokryv pro 906 úseků reprezentujících typy s nižším antropogenním ovlivněním příbřežní zóny – A2, B, C2, C3 a D (Kujanová et al., 2018).

4.4. Referenční podmínky pro 9 typů neovlivněných vodních toků na území ČR

Referenční stav by měl být založen na podmínkách aktuálně nebo potenciálně existujících v rámci současných environmentálních podmínek v povodí ve spojení s minimálním vlivem člověka na koryto, příbřežní zónu a nivu (Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Wyzga et al., 2012). Metoda REFCON stanovuje referenční podmínky na základě současných fyzicko-geografických podmínek pomocí systému referenčních lokalit s existujícím přirozeným chováním vodních toků, vybraných tak, aby byla pokryta variabilita vymezených typů vodních toků.

Typ vodního toku může být charakterizován pomocí specifické sady charakteristik, která je odlišná od sady charakteristik ostatních typů, pokud typu porozumíme, můžeme rozhodnout o relevanci jednotlivých charakteristik (Lehotský and Grešková, 2007). Typově specifické referenční podmínky pro vodní toky na území ČR jsou stanoveny jako sada charakteristik zjištěných terénním průzkumem a měřeními v referenčních lokalitách tak, aby reprezentovaly typický charakter vodního toku, nikoli jako extrémní nebo výjimečné hodnoty. Popis referenčních podmínek je založen na konkrétních kvantitativních i kvalitativních charakteristikách referenční lokality (stručně shrnuté v **Tabulce 3**), nesnaží se o zobecnění prahových hodnot charakteristik v rámci typu, ale naopak vybízí uživatele k posouzení celkové sady charakteristik, které by mělo vést k porozumění typu.

Variabilita podmínek vodních toků v ČR není zachytitelná statistikou ani dostatečně vysokým počtem popsaných referenčních lokalit. Předkládaná práce proto nabízí průhledný a snadno aplikovatelný metodický přístup ke stanovení typově specifických referenčních podmínek vytvořený tak, aby si uživatel mohl stanovit lokální/regionální typově specifické referenční podmínky pro daný vodní tok na základě reálných dat získaných terénním průzkumem. Uživateli se doporučuje tento postup:

1. Zjistit stanovený typ vodního toku (**Obr. 6**), resp. zařadit posuzovaný úsek vodního toku, který není vodním útvarem v kategorii řeka, do typu na základě hodnot parametrů nadmořská výška, sinuosit a sklon údolí. Protože hranice mezi typy vodních toků nejsou nikdy zcela ostré, je třeba prahové hodnoty pro vymezení typů chápat nikoli jako striktní, ale jako pohyblivé s možností výskytu přechodných typů (Schumm, 1977; Rosgen, 1994; Thorne, 1997; Kondolf et al., 2003a; Rinaldi et al., 2016). Souvislosti mezi stanovenými typy a případný směr přechodných typů naznačují *příbuzné typy vodního toku* (typy vodních toků, které mají k posuzovanému typu charakterem blízko – v **Tabulce 3** žlutě podbarveny).
2. Seznámit se s příslušným listem referenčních podmínek pro daný typ vodního toku, popř. s listy referenčních podmínek příbuzných typů. V rámci využívání stanovených referenčních podmínek je třeba objektivně přihlídnout k velikosti posuzovaného úseku vodního toku, ke kterému jsou referenční podmínky vztahovány.
3. Pokud posuzovaný úsek vodního toku nebude vykazovat obdobné charakteristiky jako uvedené referenční podmínky, doporučuje se aplikovat přístup pro stanovení referenčních lokalit a určení typických charakteristik představujících referenční podmínky pro daný vodní tok – metodu REFCON a lokální/regionální referenční podmínky daný vodní tok stanovit individuálně. Význam individuálního posouzení lokálních podmínek zdůrazňují např. Schumm (1977), Rosgen (1994), Thorne (1997), Kondolf et al. (2003a) nebo Rinaldi et al. (2016).

Pro účely návrhu revitalizačních opatření je doporučeno aplikovat metodu REFCON v referenční lokalitě stanovené na obdobně velkém vodním toku v obdobných fyzicko-geografických podmínkách a stanovit konkrétní hodnoty hydromorfologických charakteristik, ke kterým lze parametry revitalizace vztáhnout.

Vodní toky s hluboce zařízlými koryty (typ údolí soutěska, kaňon) je třeba posuzovat zcela samostatně (často se zásadně liší specifickými lokálními podmínkami, zejména litologií a sklonem koryta). Zejména v případě určování sinuosity koryta nebo typu údolí je třeba posuzovat dostatečně dlouhý reprezentativní úsek vodního toku (nikoli extrémní hodnoty).

4. V případě hodnocení hydromorfologického stavu vodního toku posuzovat aktuální stav vodního toku jako jeho odchylku od stanovených referenčních podmínek. Pro hodnocení hydromorfologického stavu vodního toku lze kompatibilně s výstupy této práce využít např. metodu EcoRivHab (Matoušková, 2003, 2008a,b). Reakcí na určení hydromorfologického stavu vodního toku by mělo být navržení a realizace opatření pro dosažení dobrého stavu, tedy zlepšení parametrů, které neodpovídají referenčním podmínkám.

5. Závěry

Cílem předkládané práce bylo vytvoření jednotného přístupu pro stanovení typově specifických referenčních podmínek pro vodní toky na území ČR a jejich stanovení. Vytyčeného cíle práce bylo dosaženo prostřednictvím vývoje metodického přístupu REFCON pro stanovení referenčních lokalit a záznam charakteristik referenčního stavu a jeho aplikace ve 44, resp. 16 referenčních lokalitách. Zároveň vytvoření typologie vodních toků a rozřazení 4187 úseků vodních toků do typů umožnilo popsat typová specifika referenčních podmínek vodních toků na území ČR.

Rozřazení vodních toků ČR do 9 typů potvrdilo významnou odlišnost chování vodních toků v podmínkách České vysočiny a flyšového pásma Západních Karpat. Terénní průzkum a zaměření charakteristik v referenčních lokalitách potvrdily, že odlišnosti mezi typy jsou zřejmé, ale hranice typů nejsou vždy zcela ostré. Zároveň charakteristiky referenčních lokalit potvrdily, že nelze striktně vymezit prahové hodnoty jednotlivých posuzovaných charakteristik typů vodních toků. Referenční podmínky je třeba posuzovat jako sadu charakteristik, protože oddělené posuzování charakteristik nebo jejich prahových hodnot může zkreslit celkovou interpretaci referenčních podmínek.

Předkládaná práce potvrdila význam kombinovaného využití distančních podkladů a nezbytné validace terénním průzkumem. Analýzy charakteristik přirozeného chování vodních toků pro území celé ČR, které je reálně provést pouze na základě dostupných distančních dat, umožnily rozřazení 4187 úseků vodních toků do typů a zároveň přispěly k omezení rozsahu nutnosti provedení terénního průzkumu pro podrobnou identifikaci přirozeného chování vodních toků (typově specifických referenčních podmínek).

Přístup stanovení hydromorfologických referenčních podmínek vodních toků na základě dat z průzkumu referenčních lokalit je v podmínkách ČR vhodný a reálně proveditelný. V rámci hledání referenčních lokalit se vzhledem k množství vodních nádrží a příčných překážek na tocích (jezů) jako nejnáročnější projevilo splnění kritéria neovlivněného hydrologického režimu.

Detailní data krajinného pokryvu příbřežních zón přispívají k popisu typů vodních toků a vhodně doplňují hydromorfologické charakteristiky pro stanovení referenčních podmínek.

Hypotézy stanovené v úvodu práce byly potvrzeny a stanovené typově specifické referenční podmínky vodních toků na území ČR lze využít k hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků i jako cílový stav revitalizačních opatření. Navíc popsaný metodický přístup umožňuje uživateli provést individuální stanovení lokálních/regionálních referenčních podmínek pro daný vodní tok na základě reálných dat získaných terénním průzkumem.

Tabulka 3 Přehled typově specifických referenčních podmínek pro 9 referenčních lokalit.

Referenční lokalita	Zelenský potok		Rolava (Nové Hamry)	Blanice (Zbytiny)			Rokytná (Ivančice)	Rokytná (Příštpo)	Rokytná (Čermákovice)	Bystřička	Úpořský potok	Černá Ostravice	
Referenční lokalita - zkratka	Zelenský p.		Rolava (NOH)	Blanice (ZBY)			Rokytná (IVA)	Rokytná (PRI)	Rokytná (CER)	Bystřička	Úpořský p.	Čer. Ostravice	
Typ vodního toku	A1		A2	B			C1	C2	C3	C4	D	E	
Prahové hodnoty vybraných parametrů pro odvození typu vodního toku	Nadmořská výška	300 - 599 m	≥ 600 m	≥ 600 m			< 300 m	300 - 599 m	< 300 m	300 - 599 m	< 300 m	300 - 599 m	
	Sinuosita	1,00 - 1,19	1,00 - 1,49	≥ 1,50	≥ 1,20	≥ 1,20	≥ 1,20	≥ 1,20	≥ 1,20	≥ 1,20	≥ 1,00	1,20 - 1,49	≥ 1,50
	Sklon údolí	≥ 1,80 %	0,50 - 1,79 %	≥ 1,80 %	< 0,50 %	0,50 - 1,79 %	< 0,50 %	< 0,50 %	0,50 - 1,79 %	0,50 - 1,79 %	≥ 1,80 %	≥ 1,80 %	
Příbuzný typ vodního toku	A2		A1, E	A2			(C4)			A2, E	(E)	A2, A1	
Řád toku (Strahler)	4		4	5			6	6	6	4	4	5	
Trasa koryta	Přirozeně přímá až zákrutová		Přirozeně přímá	Meandrující			Meandrující	Meandrující (zákrutová)	Zákrutová (meandrující)	Zákrutová až meandrující	Zákrutová s prvky divočení	Zákrutová s prvky divočení	
Typ údolí	Erozní typu V		Neckovitě	Úvalovité s široce vytvořenou údolní nivou			Úvalovité (U)	Neckovitě	Neckovitě (asymetrické)	Neckovitě (asymetrické)	Neckovitě	Neckovitě	
Sklon dna	2,87 %		1,91 %	0,61 %			0,21 %	0,18 %	0,28 %	1,04 %	1,47 %	0,98 %	
Šířka koryta	průměrná	5,38 m	9,72 m	9,95 m			10,44 m	10,58 m	16,52 m	15,76 m	7,51 m	12,07 m	
	rozpětí min - max	5,1 - 5,9 m	5,6 - 15,0 m	6,5 - 23,2 m			9,0 - 11,3 m	8,7 - 13,9 m	9,5 - 20,9 m	10,7 - 19,3 m	4,7 - 9,3 m	8,0 - 16,6 m	
Plocha příčného profilu	2,84 m ²		4,77 m ²	6,31 m ²			6,15 m ²	4,6 m ²	7,98 m ²	13,26 m ²	2,49 m ²	3,83 m ²	
Maximální hloubka koryta	0,78 m		0,87 m	1,10 m			0,95 m	0,68 m	0,79 m	1,28 m	0,57 m	0,72 m	
Poměr šířky ku hloubce	10,4		20,1	16,5			18,1	25,1	34,7	19,6	23,6	39,9	
Koeficient zahloubení (vývoje nivy)	2,28		2,54	14,44			10,45	1,26	24,3	7,78	2,42	2,65	
Retenční potenciál nivy	Koryto netvoří nivu (viz typ údolí)		Možnost vybřežení velkých vod (les)	Možnost vybřežení velkých vod (přirozené louky)			Možnost vybřežení velkých vod (hospodářské louky)	Existující potenciál, ale niva je dost vysoko (zahloubení koryta)	Existující potenciál (les)	Možnost vybřežení velkých vod (hospodářské louky), místy niva dost vysoko (zahloubení koryta), místy strmé svahy (bez nivy)	Místy možnost vybřežení velkých vod do úzké nivy, místy strmé svahy navazující na koryto (bez nivy)	Místy možnost vybřežení velkých vod do úzké nivy, místy strmé svahy navazující na koryto (bez nivy)	
Charakter proudění	Peřejnatý úsek 70 %; Slapový proud 25 %; Stupně, kaskáda 5 %		Peřejnatý úsek 60 %; Slapový proud 25 %; Stupně, kaskáda 10 %; Tůň 5 %	Slapový proud 70 %; Tůň 15 %; Klouzavý proud 10 %; Peřejnatý úsek 5 %			Klouzavý proud 70 %; Slapový proud 20 %; Tůň 10 %	Klouzavý proud 68 %; Slapový proud 30 %; Peřejnatý úsek 2 %	Slapový proud 63 %; Klouzavý proud 35 %; Peřejnatý úsek 2 %	Slapový proud 50 %; Peřejnatý úsek 40 %; Tůň 10 %	Slapový proud 60 %; Klouzavý proud 40 %	Peřejnatý úsek 60 %; Slapový proud 25 %; Tůň 15 %	
Specifická energie proudění	166,7 W.m-2		982,6 W.m-2	292,9 W.m-2			51,8 W.m-2	32,1 W.m-2	61,3 W.m-2	1172,2 W.m-2	494,9 W.m-2	206,3 W.m-2	
Substrát dna d ₅₀ (Pebble count)	Velmi hrubý štěrk		Středně velké kameny	Velmi hrubý štěrk			Hrubý štěrk	Velmi hrubý štěrk	Velmi hrubý štěrk	Malé kameny	Malé kameny	Malé kameny	

Referenční lokalita - zkratka		Zelenský p.	Rolava (NOH)	Blanice (ZBY)	Rokytná (IVA)	Rokytná (PRI)	Rokytná (CER)	Bystřička	Úpořský p.	Čer. Ostravice
Erozní a akumulační tvary dna (%):	lavice	5,4	11,7	22,5	21	19	18	24,3	20	38
	tůně	0,4	7,5	28,3	20	16	3	9,3	8,3	4,5
	peřeje	67	26,7	7,5	0	0	0,8	17,1	1,7	15
	mělčiny	13	8,3	15,8	6	9	3	35	2	25,8
	stupně	1,2	8,7	0	0	0	0	0	0	0
Vegetace břehů		Přirozený les	Přirozený les	Jednotlivé stromy keře/ trávobylinná vegetace	Liniová vegetace	Přirozený les/ liniová vegetace	Přirozený les	Liniová vegetace	Přirozený les	Hospodářský les
Substrát břehů		Zvětralá hornina	Lesní půda, místy balvany	Odkrytý půdní profil	Odkrytý půdní profil	Odkrytý půdní profil	Odkrytý půdní profil	Zvětralá hornina	Zvětralá hornina	Lesní půda
Stabilita příčného profilu		Minimální laterální pohyb koryta spojený s podemletím břehů	Nepohyblivé břehy, místy s podemletím	Přirozený laterální pohyb koryta, podemlání a sesouvání břehů (jesep - výsep)	Přirozený laterální pohyb koryta spojený s podemletím břehů	Minimální laterální pohyb koryta spojený s podemletím břehů	Minimální laterální pohyb koryta spojený s podemletím břehů	Minimální laterální pohyb koryta spojený s podemletím břehů	Stabilní břehy bez projevů břehové eroze	Přirozený laterální pohyb koryta spojený s podemletím břehů/ prudkých svahů (nátrže, sesouvání)
Množství sedimentu pro potenciální transport		Vysoké	Vysoké	Střední (místy vysoké - lavice)	Střední	Střední	Střední	Střední (místy vysoké - lavice)	Vysoké	Vysoké
Hlavní původ sedimentu v korytě		Břehová eroze v místě	Přinesený po proudu	Částečně břehová eroze v místě, částečně přinesený po proudu	Částečně břehová eroze v místě, částečně přinesený po proudu	Částečně břehová eroze v místě, částečně přinesený po proudu	Částečně břehová eroze v místě, částečně přinesený po proudu	Převážně přinesený po proudu	Břehová eroze v místě	Břehová eroze v místě i přinesený po proudu
Důvod ukládání sedimentu		Snížení sklonu díky podloží	Přirozené překážky (kameny, balvany), místy snížení sklonu vlivem podloží	Snížení sklonu díky trase koryta	Existence přirozených překážek (mrtvé dřevo), snížení sklonu dna	Existence přirozených překážek (mrtvé dřevo, kameny), snížení sklonu dna	Zejména existence přirozených překážek - mrtvého dřeva, dále snížení sklonu díky podloží	Snížení sklonu vlivem podloží, místy přirozené překážky (kameny, balvany)	Snížení sklonu díky podloží	Snížení sklonu - trasa, množství sedimentu, mrtvé dřevo v korytě
Krajinný pokryv	50 m od koryta	Bučiny 39 %; Lužní a mokřadní lesy 11 %; Hospodářské lesy jehličnaté 11 %	Smrčiny 64 %; Mezofilní louky 19 %; Mokřadní ekosystémy 6 %	Mezofilní louky 30 %; Hospodářské lesy jehličnaté 30 %; Hospodářské louky 15 %	Hospodářské louky 18 %; Doubravy a dubohabřiny 14 %; Hospodářské lesy listnaté 9 %	Hospodářské louky 27 %; Aluviální a vlhké louky 18 %; Doubravy a dubohabřiny 13 %	Doubravy a dubohabřiny 29 %; Suťové lesy 12 %; Hospodářské louky 11 %	Hospodářské louky 33 %; Zástavba 10 %; Hospodářské lesy jehličnaté 9 %	Suťové lesy 41 %; Lužní a mokřadní lesy 24 %; Doubravy a dubohabřiny 14 %	Hospodářské lesy jehličnaté 55 %; Hospodářské lesy smíšené 30 %
	200 m od koryta	Bučiny 41 %; Hospodářské louky 14 %; Hospodářské lesy jehličnaté 12 %	Smrčiny 65 %; Mezofilní louky 19 %; Hospodářské lesy jehličnaté 7 %	Hospodářské lesy jehličnaté 44 %; Mezofilní louky 24 %; Hospodářské louky 19 %	Doubravy a dubohabřiny 21 %; Hospodářské lesy listnaté 14 %; Zástavba 16 %	Hospodářské lesy jehličnaté 35 %; Hospodářské louky 17 %; Doubravy a dubohabřiny 15 %	Doubravy a dubohabřiny 36 %; Hospodářské lesy jehličnaté 20 %; Orná půda 9 %	Hospodářské lesy jehličnaté 25 %; Aluviální a vlhké louky 21 %; Hospodářské louky 18 %	Suťové lesy 29 %; Doubravy a dubohabřiny 28 %; Bučiny 15 %	Hospodářské lesy jehličnaté 71 %; Hospodářské lesy smíšené 18 %
Vzdálenost od pramene		5 km	11 km	16 km	86 km	27 km	56 km	13 km	9 km	8 km

6. Použitá literatura

- Agences de l'Eau and Ministère de l'Environnement, 1998. SEQ Physique: Système d'Évaluation de la Qualité du Milieu Physique.
- AOPK ČR, 2013. Konsolidovaná vrstva ekosystémů [elektronická geografická data]. Verze 2013. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Belletti, B., Rinaldi, M., Buijse, A.D., Gurnell, A.M., Mosselman, E., 2015. A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environ Earth Sci* 73, 2078–2100.
- Brierley, G.J., Fryirs, K.A., 2005. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Oxford.
- CEN, 2004. EN 14614:2004 Water quality – Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers.
- ČÚZK, 2013. Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED).
- Dufour, S., Piégay, H., 2009. From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications* 25, 568–581.
- European Commission, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23rd October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal of the European Communities*, L, 327/1, Luxemburg.
- European Commission, 2003. *Rivers and Lakes – Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*, Guidance Document n° 10, Brussels.
- Gurnell, A.M., Corenblit, D., García de Jalón, D., González del Tánago, M., Grabowski, R.C., O'Haref, M.T., Szewczyk, M., 2016. Conceptual model of vegetation–hydrogeomorphology interactions within river corridors. *River Research and Applications* 32, 142–163.
- Hupp, C.R., Rinaldi, M., 2007. Riparian Vegetation Patterns in Relation to Fluvial Landforms and Channel Evolution Along Selected Rivers of Tuscany (Central Italy). *Annals of the Association of American Geographers*, 97/1, 12–30.
- Jungwirth, M., Muhar, S., Schmutz, S., 2002. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47, 867–887.
- Kern, K., Fleischhacker, T., Sommer, M., Kinde, M., 2002. Ecomorphological survey of large rivers – Monitoring and assessment of physical habitat conditions and its relevance to biodiversity. *Large Rivers*, 13/1–2, 1–28.
- Kondolf, G.M., Montgomery, D.R., Piégay, H., Schmitt, L., 2003a. Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 171–204.
- Kondolf, G.M., Piégay, H., Sear, D., 2003b. Integrating Geomorphological Tools in Ecological and Management Studies. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 633–660.
- Kujanová, K., Matoušková, M., Kliment, Z., 2016. Hydromorphological parameters of natural channel behavior in conditions of the Hercynian System and the flysch belt of the Western Carpathians on the territory of the Czech Republic. *Geomorphology* 258, 69–81.
- Kujanová, K., Matoušková, M., 2017a. Identification of hydromorphological reference sites using the new REFCON method, with an application to rivers in the Czech Republic. *Ecohydrology & Hydrobiology* 17/3, 235–245.
- Kujanová, K., Matoušková, M., 2017b. Typy vodních toků na území České republiky z pohledu hydromorfologie. *Vodní hospodářství* 67/12, 2–6.
- Kujanová, K., Matoušková, M., Hošek, Z., 2018. The relationship between river types and land cover in riparian zones. *Limnologica* 71, 29–43.
- Langhammer, J., 2007. HEM. Metodika pro monitoring hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. Aktualizace duben 2008. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 47 pp.
- Langhammer, J., 2008. HEM. Hodnocení ukazatelů. Aktualizace březen 2009. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 23 pp.

- Langhammer, J., 2014. HEM 2014 – Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha.
- Langhammer, J., Hartvich, F., 2014. HEM 2014 – Metodika typově specifického hodnocení hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha.
- LAWA, 1999. Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahrensvorschlag für kleine und mittelgroße Fließgewässer.
- Lehotský, M., Grešková, A., 2007. Fluvial geomorphological approach to river assessment – methodology and procedure. *Geografický časopis* 59/2, 107–129.
- Magulová, R., Melová, K., Lupták, L., 2007. Hydromorfologické prvky kvality. In: Kelnarová, Z. et al., 2007. Metodika pre odvodenie referenčných podmienok a klasifikačných schém pre hodnotenie ekologického stavu vôd. MŽP SR, SHMÚ, ÚZ SAV, VÚVH, SAŽP, Bratislava.
- Matoušková, M., 2003. Ekohydrologický monitoring jako podklad pro revitalizaci vodních toků, modelová studie povodí Rakovnického potoka. Disertační práce, PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 218 pp.
- Matoušková, M., 2008a. Assessment of the river habitat quality within European Water Framework Directive: Application to different catchments in Czechia. *Geografie* 113/3, 223–236.
- Matoušková, M., 2008b. Metoda ekomorfológického hodnocení kvality habitatu vodních toků EcoRivHab. In: Matoušková, M. (ed.): Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, pp. 43–65.
- Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Allan, J.D., Lake, P.S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C.N., Follstad, S.J., Galat, D.L., Loss, S.G., Goodwin, P., Hart, D.D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Sudduth, E., 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* 42, 208–217.
- Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M., 2004. Fließgewässertypologie Deutschlands: Die Gewässer-typen und ihre Steckbriefe als Beitrag zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. In: Steinberg, C.W., Calmano, R., Wilken, D., Klapper, H. (Hrsg.): *Handbuch der Limnologie*. 19. Erg.Lfg. 7/04. VIII-2.1: 1–16 + Anhang.
- Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M., 2008. Beschreibung und Bewertung der deutschen Fließgewässertypen - Steckbriefe und Anhang, Umwelt Bundes Amt, LAWA, UBE.
- Raven, P.J., Fox, P., Everard, M., Holmes, N.T.H., Dawson, F.H., 1997. River Habitat Survey: A new system for classifying rivers according to their habitat quality. In: Boon, P.J., Howell, D.L. (Eds.), *Freshwater quality: Defining the indefinable?*, pp. 215–234.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M., 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology* 180–181, 96–108.
- Rinaldi, M., Gurnell, A.M., González del Tánago, M., Bussettini, M., Hendriks, D., 2016. Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquat Sci* 78, 17–33.
- Rosgen, D.L., 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22, 169–199.
- Schumm, S.A., 1977. *The Fluvial System*, John Wiley & Sons, New York.
- Slavíková, A., Pravec, M., Horecký, J., Dobrovský, P., Slavík, O., Musil, J., Birklen, P., Marek, P., 2014. Koncepce zprůchodnění říční sítě ČR. MŽP, VÚV T.G.M., AOPK ČR, Praha.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union* 38/6, 913–920.
- Thorne, C.R., 1997. Channel Types and Morphological Classification. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (Eds.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 175–222.
- Wimmer, R., Wintersberger, H., Parthl, G.A., 2012b. Hydromorphologische Leitbilder Fließgewässertypisierung in Österreich. Band 2: Naturraumbeschreibungen, Bioregionen und Typologie. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft – Abt. VII / 1.
- Wolman, M.G., 1954. A method of sampling coarse river-bed material. *Transactions, American Geophysical Union* 35/6, 951–956.
- Wyżga, B., Zawiejska, J., Radecki-Pawlik, A., Hajdukiewicz, H., 2012. Environmental change, hydromorphological reference conditions and the restoration of Polish Carpathian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 37, 1213–1226.

1. Introduction

Reference conditions should be determined for all river types so that they reflect undisturbed stream conditions – that is, natural bed and bank character including natural cross-sectional profile and channel planform, freedom of lateral channel movement, free flow of water, sediment and biota in channel, and natural vegetation in the riparian zone appropriate to the type and geographical location of the river (CEN, 2004). Reference conditions, however, must be understood in terms of cultural-landscape changes (Kondolf et al., 2003a; Matoušková, 2008a; Dufour and Piégay, 2009), defining reference conditions as pristine conditions is infeasible and doing so has little practical use for stream management and restoration (Dufour and Piégay, 2009; Wyżga et al., 2012; Rinaldi et al., 2013). Authors have abandoned the use of historical reference conditions, the naturalness of which can be doubted in many cases, and emphasized that present environmental conditions should be used for establishing reference conditions (Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Dufour and Piégay, 2009; Wyżga et al., 2012).

The classification of rivers into types based on shared characteristics of natural channel behavior is a useful tool for understanding fluvial-morphological processes and the development of riverine landscapes. Geomorphological channel classifications are as a rule based on the collection of a large amount of data and the assessment of such data using statistical methods, with the objective of defining parameters for classifying and grouping channels. The threshold values of parameters for determining the boundaries between river types are not always so clear (Schumm, 1977; Rosgen, 1994; Thorne, 1997; Kondolf et al., 2003a; Rinaldi et al., 2016) and boundaries between river types can be wide, moving, or have fuzzy margins or depend on values of another parameters (Gurnell et al., 2016). The mostly applied approach for classifying river types respects the continuum of planform patterns and examines features of channel (Thorne, 1997). As a first classification system of channel patterns can be considered the classification based on sediment load and channel stability (Schumm, 1977) that grades channels from straight, through meandering to braided with no abrupt breaks between boundaries. Also the lot younger and no less important river classification (Rosgen, 1994) emphasizes the continuum concept of physical variables within stream reaches.

By the accession to the European Union the Czech Republic undertook the implementation of Water Framework Directive (European Commission, 2000, WFD) into the Czech legal system. The objective of WFD is to prevent further deterioration and protect and improve the status of aquatic ecosystems. The purpose of the assessment of ecological and chemical status of water bodies according to WFD requirements is to determine current status of water bodies and in case of failing to achieve good status to apply mitigation measures that will lead to achieving good status. Ecological status is determined on the basis of status of biological, hydromorphological and chemical and physicochemical quality elements. The purpose of hydromorphological assessment is to ensure that hydromorphological elements are sufficient to support biological elements.

Since the introduction of the WFD the assessment and proposing of mitigation measures is consequently carried out in member states to achieve good status of aquatic ecosystems. A fundamental prerequisite for assessing the current hydromorphological status of streams is establishing reference conditions for each stream type that serve as a benchmark and represent the target status after restoration.

Several studies conducted in the preceding decade deal with defining restoration target conditions (Jungwirth et al., 2002; Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Dufour and Piégay, 2009). Restoration effort, later increased by requirements of WFD, has come into developing number of methods of river habitat quality assessment (e.g. Raven et al., 1997; Agences de l'Eau and Ministère de l'Environnement, 1998; LAWA, 1999; Kern et al., 2002). Overview of 121 methods developed between 1983 and 2013 was made by Belletti et al. (2015). Methods EcoRivHab (Matoušková, 2003, 2008a,b) and HEM (Langhammer, 2007, 2008, 2014; Langhammer and Hartvich, 2014) were developed in compliance with WFD requirements for assessment of hydromorphological quality of rivers for conditions on the

territory of the Czech Republic. However, determination of reference conditions on the basis of these methods is difficult and time-consuming even on local level. Developing transparent and relatively easily applicable method for establishing reference sites and reference conditions showed to be important for river habitat quality assessment and proposal of restoration measures in the Czech Republic. As well, the results of hydromorphological assessment pointed at the importance of establishing type specific reference river reaches.

2. Aims of the study

The aim of this thesis is to develop a uniform approach to establishing type-specific hydromorphological reference conditions applicable for streams on the whole territory of the Czech Republic in compliance with WFD requirements as well as its application.

Three substantial tasks led to the achievement of the set target:

- Developing the method for establishing river reference sites that enables establishing present reference conditions, takes into account the diversity of streams, physiographic conditions and anthropogenic impact on the territory of the Czech Republic.
- Establishing hydromorphological river types on the whole territory of the Czech Republic and classifying river reaches into types based on natural channel behavior – fluvial-morphological processes.
- Determining significant type-specific hydromorphological characteristics and describing type-specific hydromorphological reference conditions.

Main hypothesis was to validate the possibility of establishing hydromorphological reference conditions in anthropogenically influenced landscape on the basis of combined use of available cartographic data and detailed field survey. According to further hypothesis the reference conditions cannot be neatly determined as accurate, constant threshold values, therefore, the object of this thesis was to develop transparent and easily applicable method which enables user to individually establish regional specific reference conditions for each stream when required on the basis of conducted field survey.

One of the expected results of applying the REFCON method is creation of a reference sites database (present reference conditions) that will serve to wide range of users. The database will serve for assessing the hydromorphological status of streams in compliance with WFD requirements, for proposing stream restoration measures as well as a database of stream sections in need of protection from potential human impact.

3. Material and methods

3.1. Method for establishing reference sites and recording river characteristics

The approach based on data from reference sites was chosen for establishing hydromorphological reference conditions. This approach was selected due to the unavailability of current and historical data that would systematically cover the whole territory and the need for creating a functional model for the entire country. At the same time, the experience of European countries that have already established reference conditions for hydromorphological and biological elements of streams were taken into account. Last but not least the possibility to find sufficient amount of hydromorphological reference sites on the territory of the Czech Republic was considered.

Main steps of the thesis are summarized in **Fig. 1**.

The new REFCON method was developed for the purpose of establishing reference sites and determining the hydromorphological characteristics for establishing type-specific hydromorphological reference conditions for rivers in the physiographic conditions of the Czech Republic (Kujanová and Matoušková,

2017a). The REFCON method is based on data from detailed field surveys and measurements conducted at reference sites. Reference sites were identified that met all of the following criteria of having minimal anthropogenic impact defined by the REFCON method:

- unmodified flow hydraulics, it means no important reservoirs above the reference site or systems of two or more ponds in water body above the reference site, no significant water extraction, diversion, or hydropeaking at the reference site, no crosswise obstacles > 0.5 m in height at the reference site,
- no channel modification or planform modification at the reference site,
- natural vegetation in riparian zone at the reference site (forest, permanent grassland, wetland, exposed rock or surface left to ecological succession).

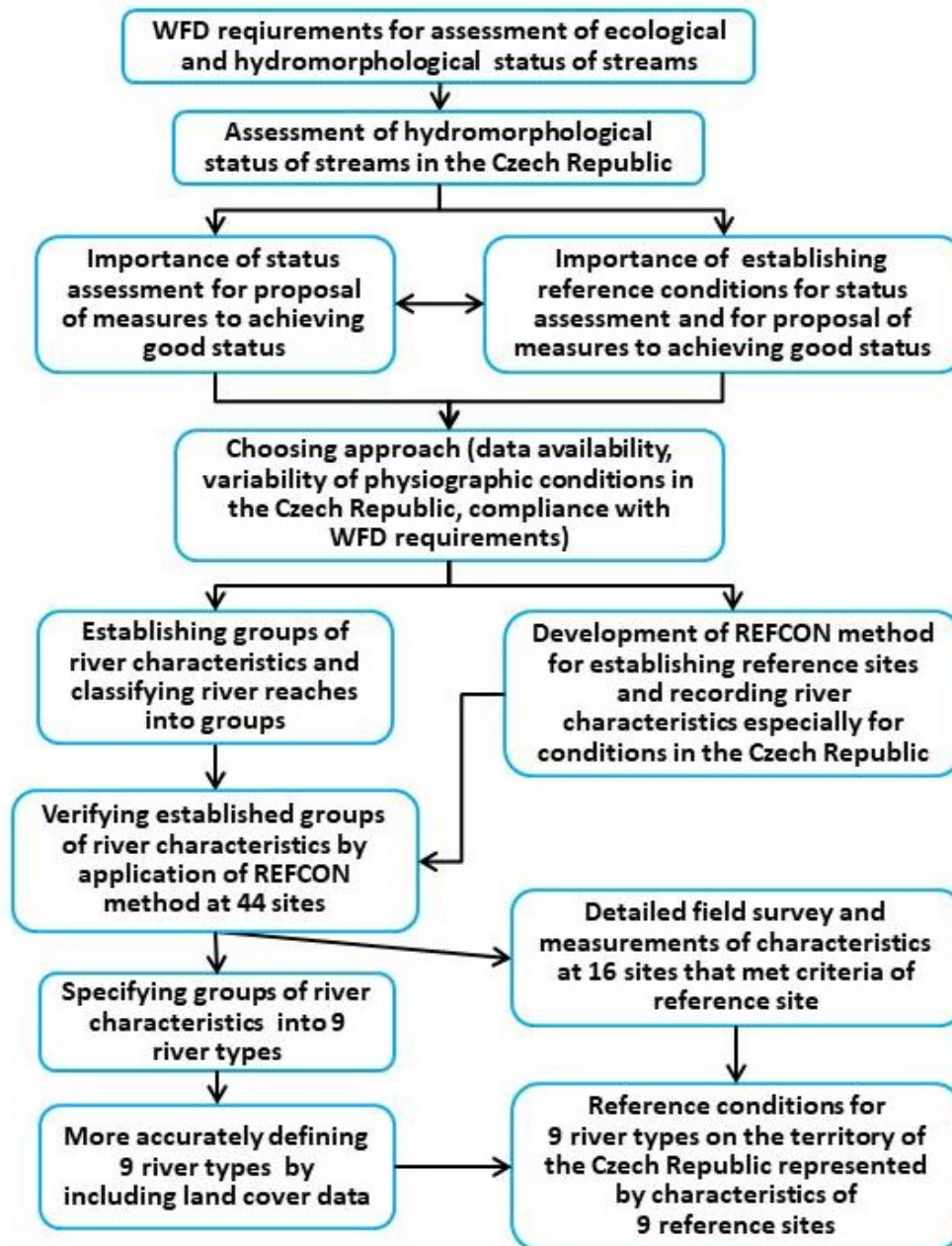


Fig. 1 Main steps of the thesis.

These criteria for identifying reference sites are first assessed using cartographic data (present, historical, and water management maps; aerial images). Subsequently, a field survey must be conducted to verify the criteria. A reference site consists of a stream section of at least 500 m in length; however, for a site to be considered referential, criteria must be met 500 m above and 200 m below the reference site. Thus, in total a reach of at least 1200 m in length is assessed.

3.2. Classification of rivers into groups of river characteristics based on cartographic data

For classifying channels into groups of river characteristics based on shared natural channel behavior (Kujanová et al., 2016) it was necessary:

1. to find significant parameters of natural channel behavior in variability of physiographic conditions of the Czech Republic with the use of statistical methods,
2. to determine threshold values of parameters for establishing theoretical types and to classify these theoretical types into groups of river characteristics on the basis of fluvial-morphological knowledge,
3. to verify established groups of river characteristics through field survey.

Within the above mentioned point 1 the major rivers were divided into reaches based on the boundaries of 4424 drainage basins defined by the Czech Hydrometeorological Institute (valid to 2013) for the purposes of hydrological monitoring and forecasting. For each of the 4424 reaches were determined and further analyzed these parameters: the maximum and minimum altitude (using a DEM); furthermore, on the basis of GIS data, the length of each reach and the length of the valley were determined as was the Strahler (1957) number in last profile of the reach. For every reach, acquired data were used to calculate channel slope (the difference between maximum and minimum altitudes divided by the length of the reach), valley floor slope (the difference between maximum and minimum altitudes divided by valley length), sinuosity (the ratio of the length of the reach to the length of the valley), and the mean altitude of the reach (the average value of the maximum and minimum altitude of the reach). Furthermore, for every reach the following characteristics of the hydrological regime in 2003 – 2012 were also determined: month with the highest average discharge and variability of discharge (determined as the ratio of average discharge of month with the highest discharge to average discharge of month with the lowest discharge). For the purpose of excluding reaches that have been anthropologically influenced, only reaches of the third- to sixth-order according to the classification of Strahler in last profile of the reach were selected. This selection criterion excluded data about large, lowland rivers affected by anthropogenic impact. Headwater reaches (first- and second-order streams) were excluded because of the high variability of their parameters. Furthermore, reaches flooded by reservoirs and modified reaches with a sinuosity value of 1.0 were also excluded as a result of anthropogenic impact (Kujanová et al., 2016). Thus, 10 parameters for 3197 reaches with the total length of 15,636 km were included in further analyses.

A Principal Component Analysis (PCA) was conducted in order to reduce the number of variables and to select mutually independent parameters that describe channel behavior. The Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) method was used to validate mutual relationships between parameters. The correlation and regression were used to assess the relationship between individual parameters. Based on the analyses' results altitude, sinuosity, valley floor slope, and channel order were selected as independent parameters significant for natural channel behavior.

Based on histograms threshold values of selected parameters were determined as follows: altitude (< 300 m, 300 – 599 m, \geq 600 m), sinuosity (1.00 – 1.19, 1.20 – 1.49, 1.50 – 3.50), valley floor slope (< 0.50 %, 0.50 – 1.79 %, \geq 1.80 %). By combining categories of these parameters, 27 theoretical types were created. Theoretical type was determined for each river reach excluding reaches flooded by reservoirs. The theoretical types were clustered based on clustering the categories of sinuosity due to the significance of sinuosity for differentiating natural and modified channels and the high variability of this parameter in

relation to the length and boundaries of the assessed reach. Number of theoretical types was thus reduced into 17 resulting types (**Table 1**). Sinuosity was always assessed together with valley floor slope. Reaches that were found to have a slope of up to 0.5% and a sinuosity value of up to 1.2 were considered *probably modified*, whereas reaches with a slope of 0.5 – 1.79% and a sinuosity value of up to 1.2 were considered to be *potentially modified*. This assumption was subsequently confirmed by field survey. By combining categories of selected parameters presented in **Table 1** river reaches were classified into 7 groups of river characteristics (A–G; [Kujanová et al., 2016](#)).

Stream order and lithology (expressed as affiliation with geomorphological units the Bohemian Massif or the Western Carpathians) were considered as additional important parameters of natural channel behavior.

Table 1 The approach for determination of groups of river characteristics, river types, and nearest unmodified type on the basis of threshold values of selected parameters; and river types as percentages of main rivers network on the whole territory of the Czech Republic, as percentages of main rivers network in geomorphological units, and as percentages of stream orders; clustering the categories of parameter sinuosity is highlighted.

Threshold values of selected parameters for deriving river types			River types as percentages of the total length (%)								
Altitude	Sinuosity	Valley floor slope	Groups of river char.	River types	Nearest unmodified type	Territory of the Czech Republic	Bohemian Massif	Western Carpathians	Rivers of 1–3 order	Rivers of 4–6 order	Rivers of 7–9 order
300–599 m	1.00–1.19	≥ 1.80%	A	A1		7.1	6.7	9.2	18.6	6.3	
≥ 600 m		0.50–1.79%		A2		8.2	9.0	4.2	14.0	8.4	
≥ 600 m	1.00–1.49	≥ 1.80%	B	B		2.9	3.5		1.9	3.4	0.2
≥ 600 m	≥ 1.50	≥ 1.80%									
≥ 600 m	≥ 1.20	< 0.5%									
≥ 600 m	≥ 1.20	0.50–1.79%	C	C1		10.1	8.5	18.8	3.0	8.9	30.1
< 300 m	≥ 1.20	< 0.5%									
300–599 m	≥ 1.20	< 0.5%									
< 300 m	≥ 1.20	0.50–1.79%									
300–599 m	≥ 1.20	0.50–1.79%	D	D		0.5	0.5	0.4	0.9	0.4	
< 300 m	all	≥ 1.80%									
300–599 m	1.20–1.49	≥ 1.80%	E	E		9.2	9.4	8.2	21.1	8.5	
300–599 m	≥ 1.50	≥ 1.80%	F	F	C1	15.9	12.5	33.9	5.5	13.1	50.7
< 300 m	1.00–1.19	< 0.5%									
300–599 m	1.00–1.19	< 0.5%									
< 300 m	1.00–1.19	0.50–1.79%	G	G	C3	12.1	11.8	14.0	16.3	12.8	0.7
300–599 m	1.00–1.19	0.50–1.79%									

The next step was to consider whether taking into account detailed land cover data from the riparian zone could be of any help in more accurately characterizing river types and hydromorphological reference conditions. The source of the detailed land cover data was the Consolidated Layer of Ecosystems ([AOPK ČR, 2013](#)). The land cover data were clipped using a round buffer created for each main river reach (both 50m and 200m buffers were created around the centerline representing the main river reaches). Of the original 4424 reaches, those that are flooded by reservoirs or shorter than 500 m (due to considerable overlaps of buffers) were excluded. Thus, 3937 main river reaches and their 50 m and 200 m buffer zones were further analyzed. For each of the 3937 buffer zones the total area of each 41 land cover classes was calculated. The 50 m buffer zone along main rivers consisted of 741,401 polygons and the 200m buffer

contained 2,232,094 polygons. The land cover classes were consolidated according to purposes of other analyses. Descriptive statistics (box plots) and visualization by column charts were used to express the occurrence of land cover classes for each 50 m and 200 m buffer in relation to the river types determined for individual river reaches and also to stream order (Kujanová et al., 2018).

3.3. Identification of sites and their importance in the thesis development process

Because of the objective of the thesis the broadly defined study area consists of the whole territory of the Czech Republic, resp. streams defined as river water bodies from the Register of Surface Water Bodies of the Ministry of the Environment of the Czech Republic (valid to 2013). Assessed rivers are shown in Fig. 2.

Delineation of river reaches into 17 theoretical types and establishing 7 groups of river characteristics were verified through field survey conducted at 44 sites identified on the basis of preliminary assessment of available maps and data that cover the diversity of physiographic conditions of rivers on the territory of the Czech Republic (Fig. 2). At all 44 verification sites REFCON method was applied. The findings from the field surveys conducted at 44 verification sites led to the further division of the 7 groups of river characteristics into 9 unmodified river types and 2 types of *probably modified* or *potentially modified channels* (Kujanová and Matoušková, 2017b).

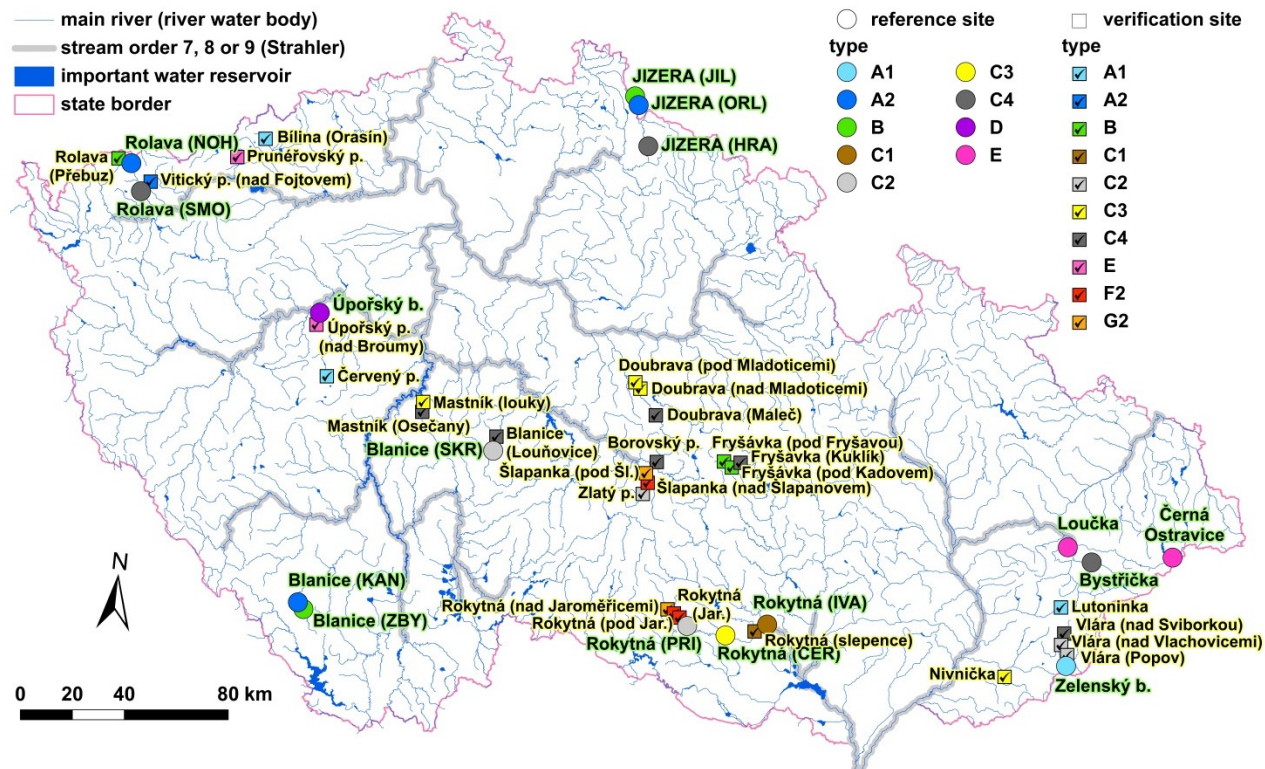


Fig. 2 The distribution of sites verified by the field survey and measurements on the territory of the Czech Republic; the position of each site is color marked with corresponding river type.

Even at the early phase of assessment of available cartographic data, many potential reference sites were excluded. Many potential reference sites (ca. 60 %) were excluded based on subsequent field surveys. For 16 of the 44 verification sites that met the criteria of having minimal anthropogenic impact and were established as reference sites a further detailed field survey was conducted for the purpose of establishing type-specific reference conditions. The PCA was applied to visualize the correlation between river characteristics at 88 cross-sectional profiles at reference sites, established river types and land cover classes in riparian zones of the river reaches where the reference sites are located.

From 16 sites that met the criteria and were established as reference sites, 9 reference sites were chosen (one for each river type) that represent type-specific hydromorphological reference conditions (Kujanová et al., 2018). On the basis of synthesis of all findings the type-specific reference conditions were described.

4. Results and discussion

4.1. REFCON method

The REFCON method is in compliance with procedures for establishing reference conditions (European Commission, 2003), is based on defined river types, applies ecological criteria, resp. screening of anthropogenic impacts. Based on a decision about the availability of potential reference sites, it identifies a network of reference sites and a data collection method for establishing type-specific reference condition. The step-by-step application of the REFCON method is illustrated in the flow chart in Fig. 3.

As well as German (Pottgiesser and Sommerhäuser, 2004, 2008), Austrian (Wimmer et al., 2012b) and Slovak (Magulová et al., 2007) approaches the REFCON method is based on data from reference sites. Although in Germany, Austria, and Slovakia having a high or good hydromorphological status is an important criterion for determining reference sites, in the Czech Republic hydromorphological status has not yet been assessed across the board. Therefore the REFCON method emphasizes screening for anthropogenic impacts (meeting defined criteria of having minimal anthropogenic impact) in determining reference sites.

Considering the fact that 74,866 ponds and water reservoirs are registered on the territory of the Czech Republic (ČUZK, 2013) and approximately 6600 crosswise structures greater than 1 m in height have been built on streams (Slavíková et al., 2014), as expected hydrological regime modification was the biggest limitation in identifying reference sites, 33.8% of the total length of assessed rivers have been impacted by important reservoirs. Impact of important reservoirs above the reference site or systems of two or more ponds in water body above the reference site was evident in 63.2% of the length of assessed rivers thus causing them to fail the set criteria and become unsuitable for establishing reference sites (Kujanová and Matoušková, 2017a).

The REFCON method has been designed so that it is possible to decide relatively easily whether a site can be considered a reference site or not. Thus, it can determine whether it is worth putting the time and effort into surveying and mapping in detail the characteristics of cross-sectional profiles, longitudinal profile, and sediment characters of the site. As part of the field survey, qualitative hydromorphological characteristics of the channel planform, longitudinal connectivity, cross-sectional profiles, hydrological regime, and vegetation representing the entire assessed reach (1200 m) are recorded. For a site that meets the criteria and is established as an reference site, a further detailed field survey is conducted and entails the following: surveying at least five typical cross-sectional profiles, including a detailed assessment at a distance of 50 m/100 m upstream and downstream (depending on channel width); assessing the grain size of riverbed surface sediment using the pebble count method (Wolman, 1954); and surveying the longitudinal profile along the entire length of the reference site including recording riverbed structures (Kujanová and Matoušková, 2017a). Detail of the field survey meets the requirements of using of type-specific reference conditions as restoration target conditions. Proposal of suitable parameters of restoration should reflect present environmental conditions in the locality (Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Dufour and Piégay, 2009; Wyzga et al., 2012) and reference status of stream in similar physiographic conditions (Matoušková, 2008b; Wyzga et al., 2012). Success of restoration measures derives from suitable proposed planform (and channel slope), channel width and depth, appropriate channel capacity and ability to predict restored channel development (bank erosion, channel deepening, transport and sedimentation).

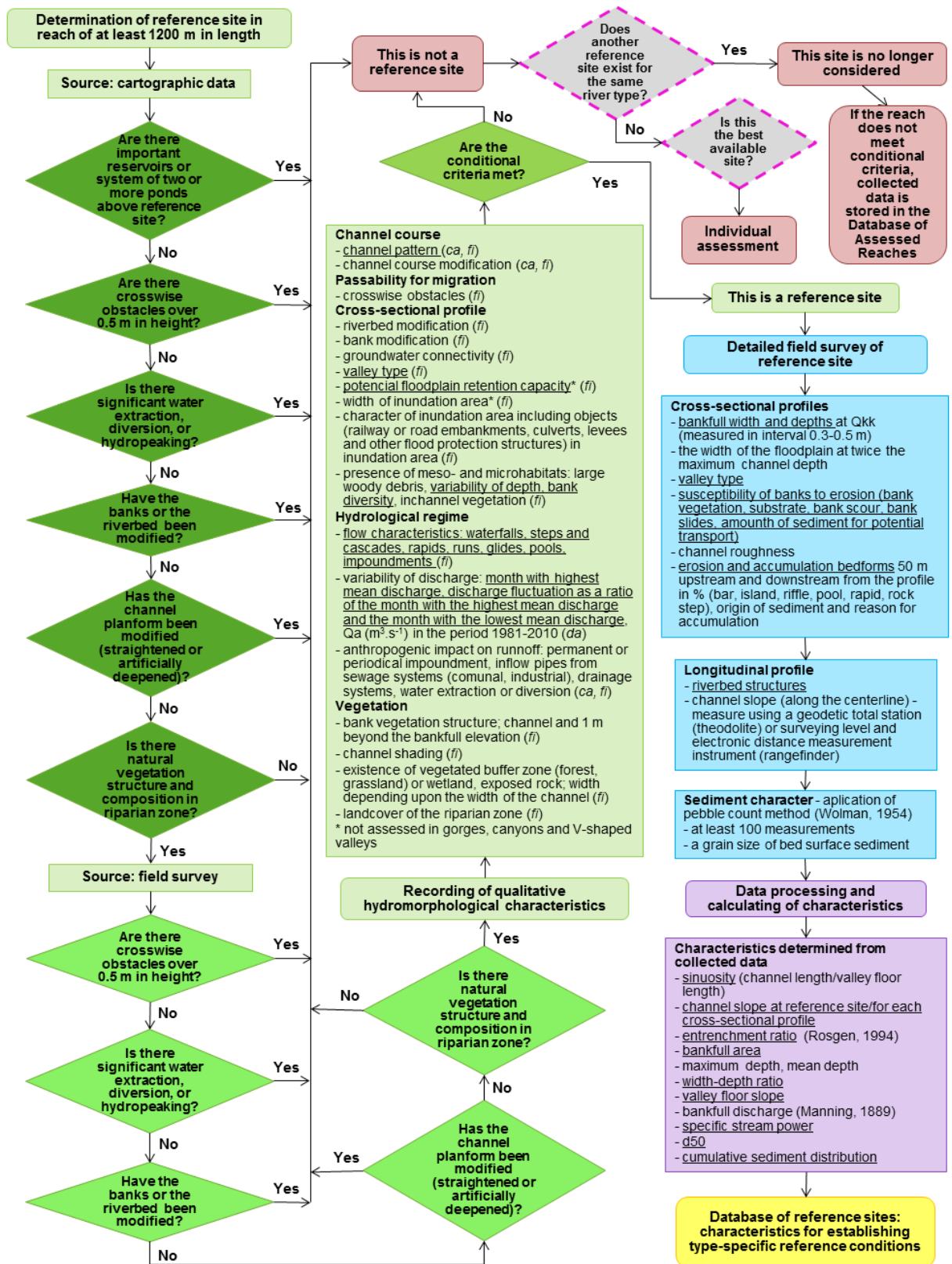


Fig. 3 Step-by-step application of the REFCON method. Legend: ca, cartographic data; fi, field survey; da, database; Q_{kk}, bankfull discharge. Characteristics important for establishing reference conditions are underlined (Kujanová and Matoušková, 2017a).

The REFCON method was established for streams defined as river water bodies, but the criteria for identification of reference sites and record of characteristics can also be applied to smaller streams. Set criteria as well as recording of qualitative hydromorphological characteristics are applicable elsewhere in conditions of Central Europe. Detailed field survey with measurements is adjusted to streams of lower order and possible to wade. The main principles of the method are applicable elsewhere considering physiographic conditions (climate, geomorphology, land cover, and anthropogenic impacts).

4.2. River types in terms of hydromorphology

According to the results of AHC analysis (Fig. 4), variability of discharge, stream order, sinuosity, and the month with highest average discharge are relatively independent parameters. In selecting parameters, their significance for identifying natural channel behavior was taken into account. The selected parameters should also represent cross-sectional and longitudinal profiles as well as channel pattern. Valley floor slope, in contrast to channel slope, is not affected by shortening the river network or by other modifications. The parameter altitude largely includes natural climatic characteristics (precipitation and temperatures) and, to some extent, the runoff regime. In contrast, the parameters variability of discharge and month with the highest average discharge are to a certain extent influenced by the presence of reservoirs, and in light of the number of studied profiles they explain data set variance less than the altitude. The combination of valley floor slope and altitude in the study area indicates great variability (Fig. 5). Sinuosity represents channel pattern as well as the longitudinal profile; within the study area it can be used to identify modified channel reaches. Stream order is a parameter that is not affected by modifications and which expresses the size of the channel. Based on the results of applied PCA, AHC, correlation, and regression analyses, parameters altitude, sinuosity, and valley floor slope were selected as significant for natural channel behavior in the physiographic conditions of the Czech Republic (Kujanová et al., 2016).

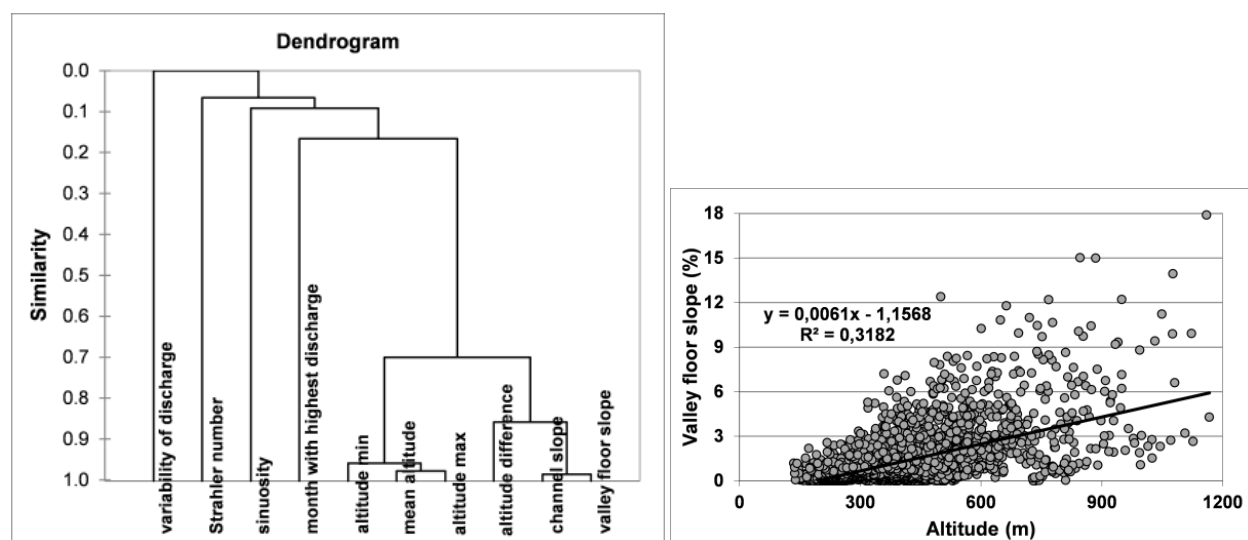


Fig. 4 (left) Validation of mutual relationships between parameters with usage of AHC (Kujanová et al., 2016); Fig. 5 (right) Relationships between valley floor slope and altitude for the set of 3197 river reaches (Kujanová et al., 2016).

On the basis of field survey verification 9 unmodified river types and 2 types of *probably modified* or *potentially modified channels* were determined (Kujanová and Matoušková, 2017b). Determination of river types and river types as percentages of main rivers network on the whole territory of the Czech Republic, as percentages of main rivers network in geomorphological units, and as percentages of stream orders is presented in Table 1. Distribution of river types on the territory of the Czech Republic including lithology and stream order taken into consideration is shown in Fig. 6.

The characteristics of natural channel behavior for reaches marked as *probably modified channels* and *potentially modified channels* (type F and G) are impossible to objectively assess. Reference conditions, however, should be established for all river types. Therefore, type F and G reaches were considered separately and the nearest unmodified types were derived for them. Mean altitude and valley floor slope, two of the three selected parameters, are not influenced by channel modification. In contrast, sinuosity is strongly influenced. The nearest unmodified type was derived as a type with the same categories of mean altitude and valley floor slope. In the context of these conditions only one nearest unmodified type always exists. Approach to deriving the nearest unmodified type is presented in **Table 1**. River reaches of types F and G with the derived nearest unmodified type are highlighted by red and orange background in **Fig. 6**.

Main rivers in the Western Carpathians on the territory of the Czech Republic (**Fig. 6**) represent 15.5% of total length of the main rivers. The most frequent unmodified type in the Western Carpathians is the type C1 representing meandering lowland rivers; the type A1 representing headwater reaches in high or mid-altitude areas also frequently occurs. On the contrary, the type B does not occur in the Western Carpathians at all and the type C2 occurs only scarcely. The type B is a specific to the Bohemian Massif; such reaches typically occur in the flattened high areas of Czech mountain ranges (Krušné hory, Šumava, Novohradské hory, Slavkovský les, Českomoravská vrchovina). The type A2 that represents headwater reaches in highest mountain areas is also more significantly represented in the Bohemian Massif and so it the type C2 that occurs almost entirely there. Overall, the most frequently occurring is the type C4 that represents sinuous to meandering rivers in mid-altitude and with valley floor slope 0.5 – 1.8% although it is more frequently found in the Bohemian Massif than in the Western Carpathians. Considering that the study area is located on the Main European Watershed, sinuous and meandering headwater reaches and their mid-altitude smaller tributaries in steep-sloped valleys (type E) form a significant occurrence in both geomorphological units.

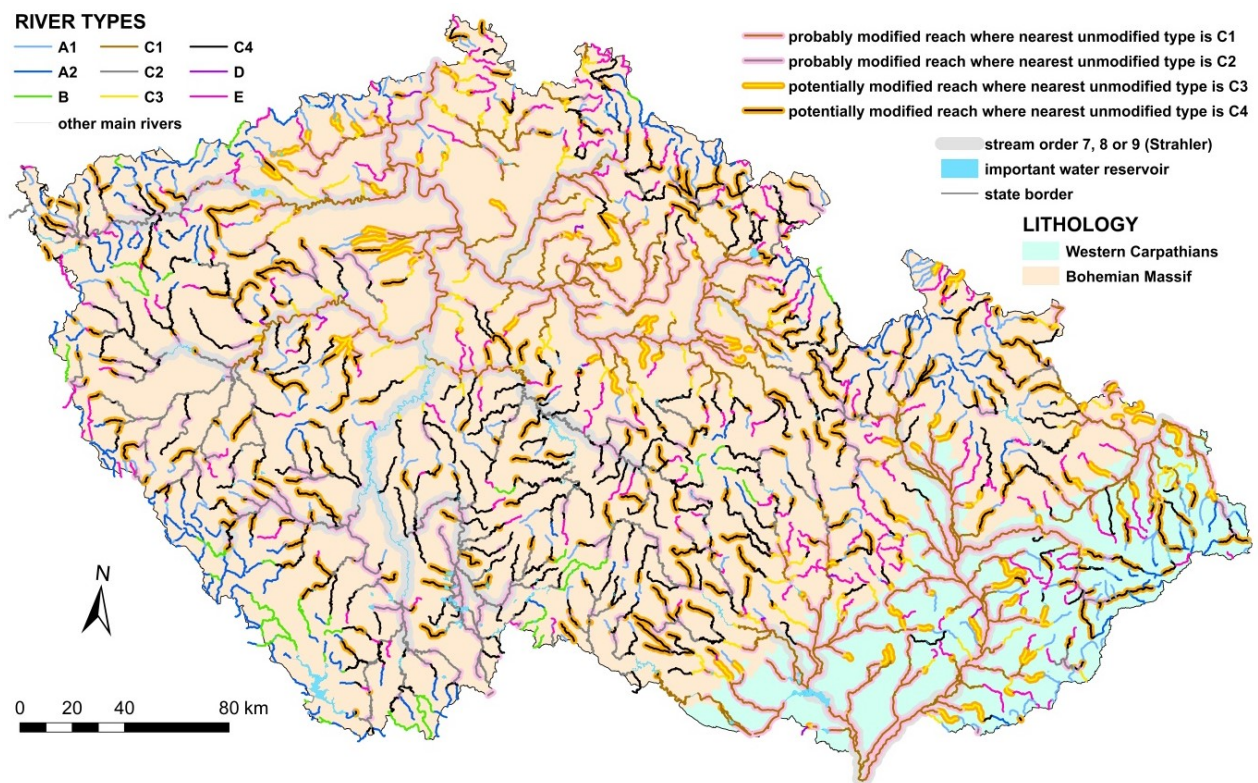


Fig. 6 River types established for main river (river water body) reaches based on parameters altitude, sinuosity and valley floor slope including consideration of lithology, stream order and nearest unmodified type (Kujanová and Matoušková, 2017b).

First- to third-order streams cover 11.4% of the total length of the main rivers network while the first- and second-order streams occur very little. They are represented by the types A1, A2 and E with the steepest valley floor slope and the type C4, resp. *potentially modified channels* (type G). Seventh- to ninth-order streams cover 9.2% of the total length of the main rivers network. They are represented particularly by the type C1 and the type F (with the type C1 as the nearest unmodified river type). Also the type C2 frequently occurs. Fourth- to sixth-order streams cover 79.4% of the total length of the main rivers network. Rivers of this size represent all river types (**Table 1**) and can be considered suitable for establishing reference conditions.

The classifying river reaches on the territory of the Czech Republic into types confirmed a significant difference between channel behavior in conditions of the Bohemian Massif and the flysch belt of the Western Carpathians. Stream order was assessed as an important supportive parameter for identification representative reference sites and for describing type-specific reference conditions.

4.3. Using land cover data from riparian zone for more accurate description of river types and reference conditions

The results of PCA applied on the 14 characteristics measured in 88 cross-sectional profiles at reference sites show a clear correlation between characteristics of a meandering channel in a well-developed floodplain (e.g., entrenchment ratio, pools and bars) and a correlation between the characteristics of a channel with a steep slope, coarse sediment, and rapids as the predominant riverbed structure in **Fig. 7A**. The position of each cross-sectional profile in **Fig. 7A** is marked with corresponding river type and the abbreviation of a reference site.

Expanding PCA analysis input data to include land cover characteristics enhances the classification of each cross-sectional profile into river type or groups of types (**Fig. 7B**). A cluster of cross-sectional profiles dominated by the class Natural forests emerges. Also separately, a river type emerges with a sinuous to meandering channel in the lowlands. Well developed floodplains featuring meandering channels are used as Intensive grasslands or as Arable land. The class of Natural grasslands remains concentrated primarily in the floodplains of meandering rivers with unsuitable conditions for agriculture (due to altitude, difficult access, or waterlogging). Wetlands are generally less frequently found nevertheless they appear linked to meandering channels. The analyses confirmed that hydromorphological characteristics (e.g., channel pattern, sediment size, bedforms) are closely related to land cover in the riparian zone and detailed land cover data can be used for more accurate description of reference conditions (Kujanová et al., 2018).

The results of analyses of land cover classes occurrence in riparian zones in relation to river types conducted for 3937 river reaches confirmed that detailed land cover data contribute to characterizing river types and can be used to explain differences between river types. For river types in riparian zones with no or slight anthropogenic impact (A2, B, C2, C3, D), significant land cover classes were determined (**Table 2**) that distinguish the given type from the others and which thus allow types to be described using land cover data (Kujanová et al., 2018). **Fig. 8** shows 12 consolidated land cover classes for 906 river reaches representing these types and documents significant land cover classes of these types. Land cover data contain valuable information about channel width, which in combination with other land cover characteristics contributes to identifying flow character and planform as well as riverbed structures. Land cover data help when searching for reference sites and also contribute to determining the level of anthropogenic impact in the riparian zone, which as a rule has an effect on the river channel itself. Riparian vegetation patterns, even along heavily impacted rivers, provide information about current and ongoing fluvial processes and also reflect the development stage of the channel (Hupp and Rinaldi, 2007; Gurnell et al., 2016). Detailed surveying of land cover in riparian zones, as a space where the protection of ecological and socioeconomic targets is in balance (Kondolf et al, 2003b; Dufour and Piégay, 2009), is one important criterion for proposing restoration measures for rivers and their management.

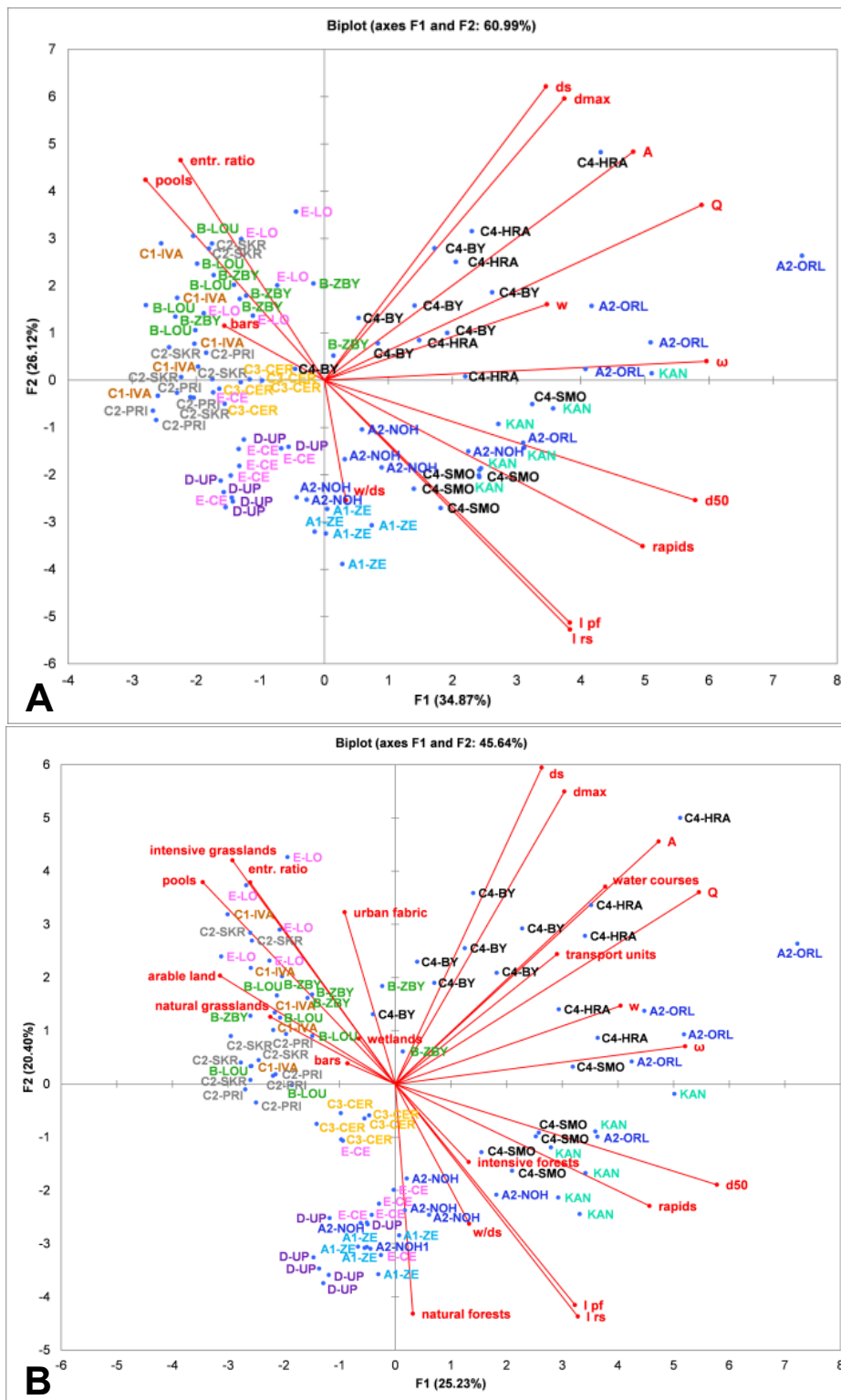


Fig. 7 Position of analyzed river characteristics in 88 cross-sectional profiles at reference sites along the first two components of PCA – A, expanding PCA analysis input data to include land cover characteristics – B (Kujanová et al., 2018); w/ds – width-depth ratio, Irs – channel slope at reference site, Ipf – channel slope at cross-sectional profile, ω – specific stream power, w – bankfull width, Q – bankfull discharge, A – bankfull area, dmax – maximum channel depth, ds – mean channel depth, entr. ratio – entrenchment ratio. The position of each cross-sectional profile is marked with corresponding river type and the reference site abbreviation (e.g., A1-ZE). For the color marking of each type, see Table 1.

Table 2 Qualitative assessment of relationships between river types and land cover data for river types with no or slight anthropogenic impact in riparian zones (Kujanová et al., 2018); ++ significant occurrence, + occurrence, - minimal occurrence, -- negligible occurrence.

River type	Significant land cover classes
A2	++ Intensive forests
	++ Natural forests
	+ Natural grasslands
B	++ Natural grasslands
	+ Forests
	+ Wetlands
C2	++ Intensive grasslands
	+ Alluvial meadows
	+ Water courses
C3	++ Intensive grasslands
	+ Forests
	+ Urban fabric
D	++ Forests (++ Natural forests)
	+ Intensive grasslands
	+ Urban fabric

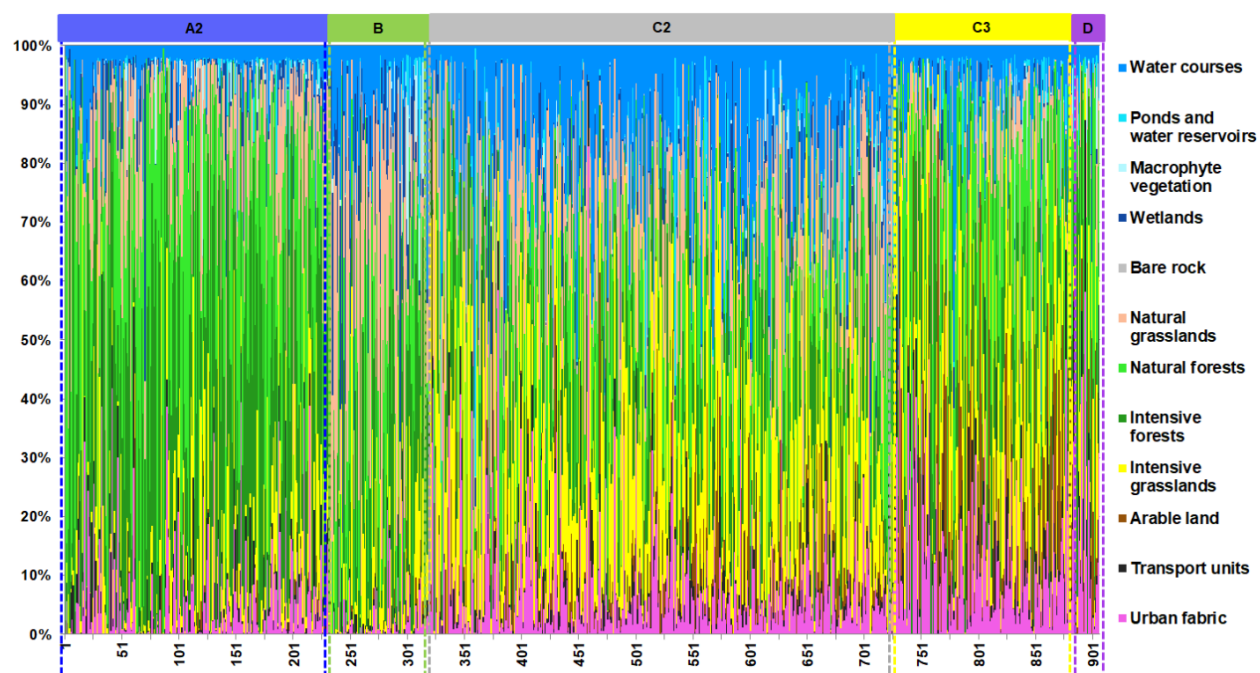


Fig. 8 Land cover classes for 906 river reaches representing river types with no or slight anthropogenic impact in riparian zones – types A2, B, C2, C3 and D (Kujanová et al., 2018).

4.4. Reference conditions for 9 unmodified river types on the territory of the Czech Republic

Reference status should reflect current or potentially existing conditions in terms of present environmental conditions in the catchment and minimal anthropogenic impact on the channel, riparian zone, and floodplain (Brierley and Fryirs, 2005; Palmer et al., 2005; Wyzga et al., 2012). The REFCON method serves to establishing reference conditions on the basis of present physiographic conditions using reference sites with existing natural channel behavior that were chosen to cover the variability of determined river types in the Czech Republic.

River type can be characterized by specific set of characteristics that is different from sets of other river type characteristics. If we understand the type specifics we can make decision about relevance of

individual characteristics (Lehotský and Grešková, 2007). Type specific reference conditions for rivers on the territory of the Czech Republic are established as a set of characteristics obtained through field survey and measurements at reference sites to represent the river type; typical rather than extreme values should, however, be captured. The description of reference conditions is based on quantitative and qualitative characteristics of the reference site (briefly summarized in **Table 3**). The objective is not a generalization of threshold values of characteristics of river type but user is invited to consider the whole set of characteristics, which should lead to understanding of the river type.

The diversity of physiographic conditions of rivers on the territory of the Czech Republic can not be captured by results of statistics or by sufficient number of described reference sites. The thesis, therefore, provides transparent and broadly applicable approach for establishing type-specific reference conditions developed so it enables user to individually establish local or regional specific reference conditions for each stream when required on the basis of conducted field survey. The following process is recommended for users:

1. To find out established river type (**Fig. 6**), resp. to classify river reach which is not a river water body into a type on the basis of parameters altitude, sinuosity, and valley floor slope. Because the boundaries between river types are not always so clear the threshold values of river types should not be considered as strictly given but as wide or moving with possible occurrence of transitional types (Schumm, 1977; Rosgen, 1994; Thorne, 1997; Kondolf et al., 2003a; Rinaldi et al., 2016). *Relative river types* indicate connections between river types and potentially parallel of transitional types (*relative river types* mean types with some similarities – in **Table 3** marked with yellow background).
2. To get acquainted with corresponding reference conditions of given river type or of *relative river types*. When using the established reference conditions it is essential to objectively consider the channel size in assessed river reach.
3. If considered reach does not show similar characteristics as established reference conditions it is recommended to apply REFCON method for establishing reference sites and determining type-specific river characteristics that represent reference conditions and to establish local or regional specific reference conditions for given stream individually. The importance of assessing local conditions individually emphasize e.g. Schumm (1977), Rosgen (1994), Thorne (1997), Kondolf et al. (2003a) or Rinaldi et al. (2016).

For the purpose of restoration measures proposal it is recommended to apply REFCON method at reference site located on the similar stream size and in similar physiographic conditions and to determine individual hydromorphological characteristic values to which restoration parameters can be related.

The river reaches with deeply entrenched channels (canyon, gorge valley type) need to be assessed separately. They often differ fundamentally from each other due to specific local conditions, primarily due to lithology and channel slope. In case of sinuosity assessment in particular it is necessary to consider representative river reach of sufficient length (not extreme values).

4. In case of assessing the hydromorphological status of streams evaluate the current status of stream as a difference from established reference conditions. The EcoRivHab method (Matoušková, 2003, 2008a,b) can be used for hydromorphological status assessment compatible with results of this thesis. The mitigation measures to improve parameters falling from those of reference conditions, should be proposed and realized in response to hydromorphological status assessment.

5. Conclusions

The aim of this thesis was to develop a uniform approach to establishing type-specific hydromorphological reference conditions applicable for streams on the whole territory of the Czech Republic in compliance with WFD requirements as well as its application. The aim was achieved by developing the REFCON method for establishing river reference sites and recording characteristics of reference status and its application at 44 verification sites, resp. 16 reference sites. Establishing river types and classifying 4187 river reaches into types enabled the description of type-specific reference conditions for rivers on the territory of the Czech Republic.

Classifying river reaches on the territory of the Czech Republic into 9 types confirmed a significant difference between channel behavior in the Bohemian Massif and on the flysch belt of the Western Carpathians. Field surveys and measurements of characteristics at reference sites confirmed that differences between types are clear, but the boundaries between river types, are not always so clear. As well, the characteristics of reference sites confirmed that threshold values of river type characteristics are not always clear. Reference conditions are necessary to describe as a set of characteristics because assessing the characteristics or their threshold values separately may skew the overall interpretation of reference conditions.

The thesis confirmed the importance of combining large-scale analyses of available cartographic data and necessary verification through field survey. Characteristics of natural channel behavior for the whole territory of the Czech Republic that are possible to analyze only on the basis of the available cartographic data, enabled to classify 4187 river reaches into river types and contributed to reduced extent of necessary field survey for detailed identification of natural channel behavior (type-specific reference conditions).

The approach based on field survey data from reference sites is suitable and applicable for establishing hydromorphological reference conditions in conditions of the Czech Republic. Considering the large number of water reservoirs and crosswise obstacles the most demanding criterion to meet during the identification of reference sites proved to be the unmodified hydrological regime.

Detailed land cover data for riparian zones contribute to characterizing river types and are a suitable addition to hydromorphological characteristics for establishing reference conditions.

The hypothesis set in the introduction of the thesis were confirmed and established type-specific reference conditions for streams on the whole territory of the Czech Republic can be used for the assessment of hydromorphological status of streams and also as restoration target conditions. Developed REFCON method enables user to individually establish local or regional reference conditions for each stream when required on the basis of conducted field survey.

Table 3 Summary of type-specific reference conditions for 9 reference sites.

Reference site	Zelenský brook		Rolava (Nové Hamry)		Blanice (Zbytiny)			Rokytná (Ivančice)	Rokytná (Příštpo)	Rokytná (Čermákovice)	Bystřička	Úpořský brook	Černá Ostravice	
Reference site - abbreviation	Zelenský b.		Rolava (NOH)		Blanice (ZBY)			Rokytná (IVA)	Rokytná (PRI)	Rokytná (CER)	Bystřička	Úpořský b.	Čer. Ostravice	
River type	A1		A2		B			C1	C2	C3	C4	D	E	
Threshold values of selected parameters for deriving river types	Altitude	300 - 599 m	≥ 600 m	≥ 600 m			< 300 m	300 - 599 m	< 300 m	300 - 599 m	< 300 m	300 - 599 m		
	Sinuosity	1.00 - 1.19	1.00 - 1.49	≥ 1.50	≥ 1.20	≥ 1.20	≥ 1.20	≥ 1.20	≥ 1.20	≥ 1.20	≥ 1.20	≥ 1.00	1.20 - 1.49	≥ 1.50
	Valley floor slope	≥ 1.80 %	0.50 - 1.79 %	≥ 1.80 %	≥ 1.80 %	< 0.50 %	0.50 - 1.79 %	< 0.50 %	< 0.50 %	0.50 - 1.79 %	0.50 - 1.79 %	≥ 1.80 %	≥ 1.80 %	
Relative river type	A2		A1, E		A2				(C4)		A2, E	(E)	A2, A1	
Stream order (Strahler)	4		4		5			6	6	6	4	4	5	
Channel pattern	Straight/sinuuous		Straight		Meandering			Meandering	Meandering (sinuous)	Sinuuous (meandering)	Sinuuous/meandering	Sinuuous/braided	Sinuuous/braided	
Valley type	V-shaped		U-shaped		Wide floodplain			Wide floodplain	U-shaped	U-shaped (asymmetric)	U-shaped (asymmetric)	U-shaped	U-shaped	
Channel slope	2.87%		1.91%		0.61%			0.21%	0.18%	0.28%	1.04%	1.47%	0.98%	
Bankfull width	average	5.38 m	9.72 m	9.95 m			10.44 m	10.58 m	16.52 m	15.76 m	7.51 m	12.07 m		
	range min - max	5.1 - 5.9 m	5.6 - 15.0 m	6.5 - 23.2 m			9.0 - 11.3 m	8.7 - 13.9 m	9.5 - 20.9 m	10.7 - 19.3 m	4.7 - 9.3 m	8.0 - 16.6 m		
Bankfull area	2.84 m ²		4.77 m ²		6.31 m ²			6.15 m ²	4.6 m ²	7.98 m ²	13.26 m ²	2.49 m ²	3.83 m ²	
Depth max.	0.78 m		0.87 m		1.10 m			0.95 m	0.68 m	0.79 m	1.28 m	0.57 m	0.72 m	
Width-depth ratio	10.4		20.1		16.5			18.1	25.1	34.7	19.6	23.6	39.9	
Entrenchment ratio	2.28		2.54		14.44			10.45	1.26	24.3	7.78	2.42	2.65	
Potential floodplain retention capacity	Channel does not form floodplain (see valley type)		Possibility of overbank flooding (forest)		Possibility of overbank flooding (natural grasslands)			Possibility of overbank flooding (intensive grasslands)	Existing potential but too high banks (entrenched channel)	Existing potential (forest)	Possibility of overbank flooding (intensive grasslands), in some places entrenched channel without floodplain	In some places possibility of overbank flooding to narrow floodplain, in some places steep valley side (without floodplain)	In some places possibility of overbank flooding to narrow floodplain, in some places steep valley side (without floodplain)	
Flow characteristics	Rapids 70 %; Runs 25 %; Steps and cascades 5 %		Rapids 60 %; Runs 25 %; Steps and cascades 10 %; Pools 5 %		Runs 70 %; Pools 15 %; Glides 10 %; Rapids 5 %			Glides 70 %; Runs 20 %; Pools 10 %	Glides 68 %; Runs 30 %; Rapids 2 %	Runs 63 %; Glides 35 %; Rapids 2 %	Runs 50 %; Rapids 40 %; Pools 10 %	Runs 60 %; Glides 40 %	Rapids 60 %; Runs 25 %; Pools 15 %	
Specific stream power	166.7 W.m-2		982.6 W.m-2		292.9 W.m-2			51.8 W.m-2	32.1 W.m-2	61.3 W.m-2	1172.2 W.m-2	494.9 W.m-2	206.3 W.m-2	
Riverbed substrate d ₅₀ (Pebble count)	Very coarse gravel		Medium coble		Very coarse gravel			Coarse gravel	Very coarse gravel	Very coarse gravel	Small cobble	Small cobble	Small cobble	

Reference site - abbreviation		Zelenský p.	Rolava (NOH)	Blanice (ZBY)	Rokytná (IVA)	Rokytná (PRI)	Rokytná (CER)	Bystřička	Úpořský p.	Čer. Ostravice
Erosion and accumulation bedforms (%):	bars	5.4	11.7	22.5	21	19	18	24.3	20	38
	pools	0.4	7.5	28.3	20	16	3	9.3	8.3	4.5
	rapids	67	26.7	7.5	0	0	0.8	17.1	1.7	15
	riffles	13	8.3	15.8	6	9	3	35	2	25.8
	cascades	1.2	8.7	0	0	0	0	0	0	0
Bank vegetation		Natural forests	Natural forests	Individual trees or shrub vegetation/ herbaceous plants	Line of woody plants	Natural forests / line of woody plants	Natural forests	Line of woody plants	Natural forests	Intensive forests
Bank substrate		Weathered bedrock	Forest soil, in some places boulders	Bared soil profile	Bared soil profile	Bared soil profile	Bared soil profile	Weathered bedrock	Weathered bedrock	Forest soil
Stability of cross-sectional profile		Minimal lateral channel shifting linked to bank undercutting	In some places bank undercutting but without channel shifting	Natural lateral channel shifting, bank undercutting and failing (point bar - cut bank)	Natural lateral channel shifting linked to bank undercutting	Minimal lateral channel shifting linked to bank undercutting	Minimal lateral channel shifting linked to bank undercutting	Minimal lateral channel shifting linked to bank undercutting	Stable banks without bank erosion	Natural lateral channel shifting linked to bank undercutting (bank failing and sliding)
Amount of sediment for potential transport		High	High	Medium (in some places high - bars)	Medium	Medium	Medium	Medium (in some places high - bars)	High	High
<i>Main source of sediment in channel</i>		Bank erosion at site	Transported from upstream	Partially bank erosion at site, partially transported from upstream	Partially bank erosion at site, partially transported from upstream	Partially bank erosion at site, partially transported from upstream	Partially bank erosion at site, partially transported from upstream	Mostly transported from upstream	Bank erosion at site	Bank erosion at site and transported from upstream
<i>Cause of sedimentation</i>		Slope decrease due to bedrock	Natural obstacles (cobbles, boulders), in some places slope decrease due to bedrock	Slope decrease due to channel pattern	Natural obstacles (large woody debris), decrease of channel slope	Natural obstacles (large woody debris, cobbles), decrease of channel slope	Particularly natural obstacles (large woody debris), then slope decrease due to bedrock	Slope decrease due to bedrock, in some places natural obstacles (cobbles, boulders)	Slope decrease due to bedrock	Slope decrease due to channel pattern, a lot of sediment, large woody debris in channel
Land cover	50 m from channel	Beech forests 39 %; Alluvial forests 11 %; Intensive coniferous forests 11 %	Spruce forests 64 %; Mesic meadows 19 %; Wetlands 6 %	Mesic meadows 30 %; Intensive coniferous forests 30 %; Intensive grasslands 15 %	Intensive grasslands 18 %; Oak and oak-hornbeam forests 14 %; Intensive broad-leaved forests 9 %	Intensive grasslands 27 %; Alluvial meadows 18 %; Oak and oak-hornbeam forests 13 %	Oak and oak-hornbeam forests 29 %; Ravine forests 12 %; Intensive grasslands 11 %	Intensive grasslands 33 %; Urban fabric 10 %; Intensive coniferous forests 9 %	Ravine forests 41 %; Alluvial forests 24 %; Oak and oak-hornbeam forests 14 %	Intensive coniferous forests 55 %; Intensive mixed forests 30 %
	200 m from channel	Beech forests 41 %; Intensive grasslands 14 %; Intensive coniferous forests 12 %	Spruce forests 65 %; Mesic meadows 19 %; Intensive coniferous forests 7 %	Intensive coniferous forests 44 %; Mesic meadows 24 %; Intensive grasslands 19 %	Oak and oak-hornbeam forests 21 %; Intensive broad-leaved forests 14 %; Urban fabric 16 %	Intensive coniferous forests 35 %; Intensive grasslands 17 %; Oak and oak-hornbeam forests 15 %	Oak and oak-hornbeam forests 36 %; Intensive coniferous forests 20 %; Arable land 9 %	Intensive coniferous forests 25 %; Alluvial meadows 21 %; Intensive grasslands 18 %	Ravine forests 29 %; Oak and oak-hornbeam forests 28 %; Beech forests 15 %	Intensive coniferous forests 71 %; Intensive mixed forests 18 %
<i>Distance from spring</i>		5 km	11 km	16 km	86 km	27 km	56 km	13 km	9 km	8 km

6. References

- Agences de l'Eau and Ministère de l'Environnement, 1998. SEQ Physique: Système d'Évaluation de la Qualité du Milieu Physique.
- AOPK ČR, 2013. Konsolidovaná vrstva ekosystémů [elektronická geografická data]. Verze 2013. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Belletti, B., Rinaldi, M., Buijse, A.D., Gurnell, A.M., Mosselman, E., 2015. A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environ Earth Sci* 73, 2078–2100.
- Brierley, G.J., Fryirs, K.A., 2005. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Oxford.
- CEN, 2004. EN 14614:2004 Water quality – Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers.
- ČÚZK, 2013. Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED).
- Dufour, S., Piégay, H., 2009. From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications* 25, 568–581.
- European Commission, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23rd October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal of the European Communities*, L, 327/1, Luxembourg.
- European Commission, 2003. *Rivers and Lakes – Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*, Guidance Document n° 10, Brussels.
- Gurnell, A.M., Corenblit, D., García de Jalón, D., González del Tánago, M., Grabowski, R.C., O'Haref, M.T., Szewczyk, M., 2016. Conceptual model of vegetation–hydrogeomorphology interactions within river corridors. *River Research and Applications* 32, 142–163.
- Hupp, C.R., Rinaldi, M., 2007. Riparian Vegetation Patterns in Relation to Fluvial Landforms and Channel Evolution Along Selected Rivers of Tuscany (Central Italy). *Annals of the Association of American Geographers*, 97/1, 12–30.
- Jungwirth, M., Muhar, S., Schmutz, S., 2002. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47, 867–887.
- Kern, K., Fleischhacker, T., Sommer, M., Kinde, M., 2002. Ecomorphological survey of large rivers – Monitoring and assessment of physical habitat conditions and its relevance to biodiversity. *Large Rivers*, 13/1–2, 1–28.
- Kondolf, G.M., Montgomery, D.R., Piégay, H., Schmitt, L., 2003a. Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 171–204.
- Kondolf, G.M., Piégay, H., Sear, D., 2003b. Integrating Geomorphological Tools in Ecological and Management Studies. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 633–660.
- Kujanová, K., Matoušková, M., Kliment, Z., 2016. Hydromorphological parameters of natural channel behavior in conditions of the Hercynian System and the flysch belt of the Western Carpathians on the territory of the Czech Republic. *Geomorphology* 258, 69–81.
- Kujanová, K., Matoušková, M., 2017a. Identification of hydromorphological reference sites using the new REFCON method, with an application to rivers in the Czech Republic. *Ecohydrology & Hydrobiology* 17/3, 235–245.
- Kujanová, K., Matoušková, M., 2017b. Typy vodních toků na území České republiky z pohledu hydromorfologie. *Vodní hospodářství* 67/12, 2–6.
- Kujanová, K., Matoušková, M., Hošek, Z., 2018. The relationship between river types and land cover in riparian zones. *Limnologica* 71, 29–43.
- Langhammer, J., 2007. HEM. Metodika pro monitoring hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. Aktualizace duben 2008. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 47 pp.
- Langhammer, J., 2008. HEM. Hodnocení ukazatelů. Aktualizace březen 2009. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 23 pp.

- Langhammer, J., 2014. HEM 2014 – Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha.
- Langhammer, J., Hartvich, F., 2014. HEM 2014 – Metodika typově specifického hodnocení hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha.
- LAWA, 1999. Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahrensvorschlag für kleine und mittelgrosse Fließgewässer.
- Lehotský, M., Grešková, A., 2007. Fluvial geomorphological approach to river assessment – methodology and procedure. *Geografický časopis* 59/2, 107–129.
- Magulová, R., Melová, K., Lupták, L., 2007. Hydromorfologické prvky kvality. In: Kelnarová, Z. et al., 2007. Metodika pre odvodenie referenčných podmienok a klasifikačných schém pre hodnotenie ekologického stavu vôd. MŽP SR, SHMÚ, ÚZ SAV, VÚVH, SAŽP, Bratislava.
- Matoušková, M., 2003. Ekohydrologický monitoring jako podklad pro revitalizaci vodních toků, modelová studie povodí Rakovnického potoka. Disertační práce, PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 218 pp.
- Matoušková, M., 2008a. Assessment of the river habitat quality within European Water Framework Directive: Application to different catchments in Czechia. *Geografie* 113/3, 223–236.
- Matoušková, M., 2008b. Metoda ekomorfológického hodnocení kvality habitatu vodních toků EcoRivHab. In: Matoušková, M. (ed.): Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice. PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, pp. 43–65.
- Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Allan, J.D., Lake, P.S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C.N., Follstad, S.J., Galat, D.L., Loss, S.G., Goodwin, P., Hart, D.D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Sudduth, E., 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* 42, 208–217.
- Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M., 2004. Fließgewässertypologie Deutschlands: Die Gewässer-typen und ihre Steckbriefe als Beitrag zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. In: Steinberg, C.W., Calmano, R., Wilken, D., Klapper, H. (Hrsg.): *Handbuch der Limnologie*. 19. Erg.Lfg. 7/04. VIII-2.1: 1-16 + Anhang.
- Pottgiesser, T., Sommerhäuser, M., 2008. Beschreibung und Bewertung der deutschen Fließgewässertypen - Steckbriefe und Anhang, Umwelt Bundes Amt, LAWA, UBE.
- Raven, P.J., Fox, P., Everard, M., Holmes, N.T.H., Dawson, F.H., 1997. River Habitat Survey: A new system for classifying rivers according to their habitat quality. In: Boon, P.J., Howell, D.L. (Eds.), *Freshwater quality: Defining the indefinable?*, pp. 215–234.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussettini, M., 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology* 180–181, 96–108.
- Rinaldi, M., Gurnell, A.M., González del Tánago, M., Bussettini, M., Hendriks, D., 2016. Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquat Sci* 78, 17–33.
- Rosgen, D.L., 1994. A classification of natural rivers. *Catena* 22, 169–199.
- Schumm, S.A., 1977. *The Fluvial System*, John Wiley & Sons, New York.
- Slavíková, A., Pravec, M., Horecký, J., Dobrovský, P., Slavík, O., Musil, J., Birklen, P., Marek, P., 2014. Koncepce zprůchodnění říční sítě ČR. MŽP, VÚV T.G.M., AOPK ČR, Praha.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union* 38/6, 913–920.
- Thorne, C.R., 1997. Channel Types and Morphological Classification. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (Eds.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 175–222.
- Wimmer, R., Wintersberger, H., Parthl, G.A., 2012b. Hydromorphologische Leitbilder Fließgewässertypisierung in Österreich. Band 2: Naturraumbeschreibungen, Bioregionen und Typologie. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft – Abt. VII / 1.
- Wolman, M.G., 1954. A method of sampling coarse river-bed material. *Transactions, American Geophysical Union* 35/6, 951–956.
- Wyżga, B., Zawiejska, J., Radecki-Pawlik, A., Hajdukiewicz, H., 2012. Environmental change, hydromorphological reference conditions and the restoration of Polish Carpathian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 37, 1213–1226.

Curriculum vitae

Jméno: Kateřina Kujanová (Šmerousová)

Vzdělání:

od 2010 Ph.D. studium – Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, obor: Fyzická geografie a geoekologie

2008 – 2010 magisterské studium – Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, obor: Fyzická geografie a geoekologie, téma diplomové práce: Návrh revitalizačních opatření v povodí Slubice na podkladě ekohydromorfologického průzkumu

2005 – 2008 bakalářské studium – Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, obor: Geografie a kartografie, téma bakalářské práce: Ekomorfologický monitoring a zhodnocení antropogenní upravenosti říční sítě v povodí Slubice

1997 – 2005 Gymnázium, Žďár nad Sázavou

Zkušenosti během studia:

07/2010 Erasmus Intensive Programme: Geography of water – „Community Scale Water Management patterns in Transylvania“, Babeş-Bolyai University of Cluj, Romania

07/2009 Erasmus Intensive Programme: Geography of water – „Water Resources, Management and Security in Southern Europe“, University of Udine, Italy

Pracovní zkušenosti:

od 8/2018 Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Odbor péče o přírodu a krajinu, Oddělení péče o vodní ekosystémy

2/2015 – 7/2018 Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Samostatný odbor OP ŽP, Oddělení hodnocení projektů OPŽP

7/2013 – 1/2015 Státní zemědělský intervenční fond, Odbor přímých plateb a environmentálních podpor

3/2011 – 7/2013 Ministerstvo životního prostředí ČR, Odbor ochrany vod

Jazykové znalosti: Anglický jazyk – certifikát FCE
Francouzský jazyk – mírně pokročilý

Seznam publikací / Selected publications

Články IF, WoS, SCOPUS:

Kujanová, K., Matoušková, M., Hošek, Z., 2018. The relationship between river types and land cover in riparian zones. *Limnologica* 71, 29–43.

Kujanová, K., Matoušková, M., 2017. Identification of hydromorphological reference sites using the new REFCON method, with an application to rivers in the Czech Republic. *Ecohydrology & Hydrobiology* 17/3, 235–245.

Kujanová, K., Matoušková, M., Kliment, Z., 2016. Hydromorphological parameters of natural channel behavior in conditions of the Hercynian System and the flysch belt of the Western Carpathians on the territory of the Czech Republic. *Geomorphology* 258, 69–81.

Kujanová, K., Matoušková, M., 2016. Improvement in physical river habitat quality in response to river restoration measures. *Geografie* 121/1, 54–78.

Recenzované články:

Kujanová, K., Matoušková, M., 2017. Typy vodních toků na území České republiky z pohledu hydromorfologie. *Vodní hospodářství* 67/12, 2–6.

Matoušková, M., Šmerusová, K., 2014. Hydromorphological reference conditions of streams based on the European Water Framework Directive. In Roose, A. (ed.): *Progress in water geography- Pan-European discourses, methods and practices of spatial water research*. Publikationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 110, University of Tartu, pp. 51–65.

Šmerusová, K., Matoušková, M., 2011. Ekohydromorfologický průzkum vodních toků pomocí metod EcoRivHab a HEM. *Vodní hospodářství* 61/11, 409–413.

Příspěvky v konferenčních sbornících:

Šmerusová, K., Matoušková, M., 2014. Stanovení referenčních lokalit vodních toků z pohledu hydromorfologie. *Říční krajina* 10, 110–115.

Matoušková, M., Šmerusová, K., 2013. Referenční podmínky vodních toků z pohledu hydromorfologie. *Říční krajina* 9, 50–56.

Šmerusová, K., Matoušková, M., 2012. Návrh a možný efekt revitalizačních opatření ve volné krajině: návrat k referenčním podmínkám? *Říční krajina* 8, 161–167.

Matoušková, M., Šmerusová, K., 2011. Ecohydromorphological Survey of Streams in Rural Areas. IP Handbook. *Community Scale Water Management Patterns in Transylvania*. Collegium Geographicum 9, special edition, 71–81.

Další příspěvky:

Matoušková, M., Šmerusová, K., Tomšová, Z., 2013. Stanovení typově specifických referenčních podmínek pro hydromorfologii. PŘF UK v Praze, Praha – podklad pro projekt Stanovení typově specifických hydromorfologických podmínek a aktualizace metodiky HEM (SFŽP), hlavní řešitel Doc. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.

Aktivní účast na odborných konferencích s mezinárodním zastoupením:

International conference Towards the Best Practice of River Restoration and Maintenance, Krakow, 20–23 September 2016, contribution: Kujanová, K., Matoušková, M., Kliment, Z.: Parameters of natural channel behaviour in various physiographic conditions of the Czech Republic – the steps for establishing reference conditions.

Konference CZ-IALE „GEO/BIO Diverzita 2014 – Současné změny ve využívání a struktuře krajiny“, Praha, 31. 1. 2014, příspěvek: Šmerusová, K., Matoušková M.: Jak definovat referenční podmínky vodních toků z pohledu hydromorfologie?

Jednání expertů pro vymezení silně ovlivněných vodních útvarů, Mezinárodní komise pro ochranu Odry před znečištěním (MKOOpZ), Wroclav, 12. 3. 2013, příspěvek: Metodika určení silně ovlivněných vodních útvarů.

River Restoration to Support Effective Catchment Management (REFORM), Workshop WFD CIS group A – ECOSTAT, Brussel, 26–27 February 2013.

Problematika živin v oblasti povodí Labe, Workshop Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL), Praha, 12. – 13. 2. 2013, příspěvek: Zkušenosti s využitím modelu MONERIS v rámci mezinárodního povodí Odry.

ICPDR workshop on River and Habitat Continuity, Vienna, 4–5 September 2012, contribution: Conceptual approach to the restoration of river continuity in the Czech Republic.

Erasmus Intensive Programme: Geography of water – „Water Resources, Management and Security in Southern Europe“, University of Udine, Italy, contribution: Šmerusová, K., Matoušková, M.: Ecohydromorphological Survey as a Basis for Restoration Measures. Case Study: the Slubice River basin. Poster.