

Česká zemědělská univerzita

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



**Hodnocení geomorfologické klasifikace
horských toků v modelové oblasti povodí Jizery**

**Evaluation of geomorphological classification of
mountain streams in the model area of the Jizera river
basin**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Denisa Škarydová

Vedoucí práce: Ing. Martin Sucharda

Praha, 2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Denisa Škarydová

Krajinné inženýrství
Voda v krajině

Název práce

Hodnocení geomorfologické klasifikace horských toků v modelové oblasti povodí Jizery

Název anglicky

Evaluation of geomorphological classification of mountain streams in the model area of the Jizera river basin

Cíle práce

Hydromorfologie horských toků je v prostředí české republiky relativně neprozkoumaným tématem. Stávající poznání se i v zahraničí soustředilo především na meandrující toky širokých niv, nebo vysoko-splaveninové toky horských oblastí. Objasnění hydromorfologického procesu povede ke zlepšení inženýrských aplikací, při revitalizacích a přírodě blízkých úpravách vodních toků.

Cíle práce:

1. Komplexní zmapování a vyhodnocení vybraných úseků vodních toků
2. Shromáždění a vyhodnocení dalších přírodovědných, technických a kulturních poznatků týkajících se vybraného vodního toku
3. Podrobný popis geomorfologie přírodních úseků vodního toku
4. Kritické srovnání se stávajícími světovými i českými typologiemi vodních toků
5. Objasnění hlavních dějů hydromorfologického procesu
6. Návrh na zlepšení typologie v rozsahu zkoumaného GMF typu

Metodika

Provedte podrobné hydromorfologické mapování a vyhodnocení vybraného vodního toku. Pro práci využijte stávající hydromorfologické typologie a metodiku: „Metodika odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření“ (MŽP, 2008).

Shromážděte podkladové údaje o vodním toku a jeho povodí. Identifikujte přírodní úseky, proveďte podrobné hydromorfologické vyhodnocení. Podrobně popište charakter vodního toku, identifikujte klíčové parametry a jevy. Navrhněte metodiku srovnávací analýzy se stávajícími hydromorfologickými typologiemi. Navrhněte rozšíření nebo úpravu typologií ve zkoumaném rozsahu typu horského vodního toku.

Doporučený rozsah práce

50 stran, přílohy ve formě map, výkresů a schémat

Klíčová slova

hydromorfologie, fluviální typologie, vodní tok, říční vzor, geomorfologický typ, revitalizace vodních toků

Doporučené zdroje informací

FRYIRS, K. A. – BRIERLEY, G. J. *Geomorphic analysis of river systems : an approach to reading the landscape.* Chichester, West Sussex, UK ; Hoboken, NJ: Wiley, 2013. ISBN 9781405192743.

JUST, T. Revitalizace vodního prostředí. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2003. 144 s. ISBN 8086064727.

ŠINDLAR, Miloslav. Geomorfologické procesy vývoje vodních toků. Část I., Typologie korytotvorných procesů. Vyd. 2. Hradec Králové: Sindlar Group, 2012. 148 s. ISBN 9788025424452.

Věstník MŽP XVIII/11, listopad 2008, dostupné (citace 25.3.2018):

http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/46/13885-zjednodusena_metodika.pdf

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Martin Sucharda

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 5. 3. 2021

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Suchardy, a že jsem citovala všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze, 31.3. 2022:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu práce, panu Ing. Martinovi Suchardovi, za odborné vedení a rady. Ráda bych také poděkovala rodině a přátelům za trpělivost a podporu v čase největší potřeby. Jmenovitě bych chtěla poděkovat paní Ivě Válkové a slečně Stefánii Audyové za poskytnutí zpětné vazby.

Abstrakt

Při volbě metodiky k práci záleží, k čemu přesně metodiku potřebujeme. Není metodika jako metodika. Některé velmi přesně formulují geomorfologickou analýzu a některé se více hodí k praktickému využití. Pro tento účel práce vyhodnocuje a porovnává trojici metodik na určení fluviální typologie.

Cílem práce je napomoci k rozšíření současného poznání hydromorfologie a hydromorfologického procesu, a přispět tak ke zlepšení inženýrských aplikací při přírodě blízkých úpravách a revitalizacích vodních toků. K čemuž bylo zapotřebí kritické srovnání vybraného úseku toků se stávajícími světovými i českými typologiemi vodních toků a vyhodnotit jejich funkčnost.

Výsledkem šetření je trochu nečekané zjištění, že přes výhodu lokální metodiky, je metodika dle Šindlara (2012) nejméně vypovídající. Přesto se nedá zapomínat na její funkčnost při návrzích revitalizací. Střední cestu ukazuje metodika dle Rosgena (1996). Zde by byla potřeba úprava kalibrací. Nejdokonalejší popis poskytla metodika Fryirsovové a Brierleyho (2013). Pro potřeby revitalizací by ale potřeboval zjednodušit a zkvantifikovat jednotlivé parametry.

Klíčová slova: hydromorfologie, fluviální typologie, vodní tok, říční vzor, geomorfologický typ, revitalizace vodních toků

Abstract

When choosing a methodology for work, it depends on what exact application we need the methodology for. There is no methodology as a methodology. Some formulate geomorphological analysis very precisely and some are more suitable for practical use. For this purpose, the work evaluates and compares three methodologies for determining fluvial typology.

The aim of this work is to help expand the current knowledge of hydromorphology and hydromorphological process, and thus contribute to the improvement of engineering applications in nature-friendly treatment and revitalization of watercourses. To do this, it was necessary to critically compare the selected section of streams with existing global and Czech typologies of watercourses and evaluate their functionality.

The survey is a bit of an unexpected finding that the more accurate local methodologies, the methodology according to Šindlar (2012) is the least telling. Nevertheless, its functionality in revitalization proposals cannot be forgotten. The middle path is shown by the methodology according to Rosgen (1996). Calibration adjustments would be needed here. The best description was provided by the methodology of Fryirs and Brierley (2013). However, for the needs of revitalization, it would need to simplify and quantify individual parameters.

Key words: hydromorphology, fluvial typology, river, river form, landform, river restoration

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Metodika	3
4. Literární rešerše	4
4.1 Objasnění hlavních pojmů	4
4.2 Vybrané metodiky analýzy geomorfologie vodních toků.....	8
4.2.1 Rosgen (1996).....	9
4.2.2 Šindlar a kol. (2012)	13
4.2.3 Fryirs a Brierley (2013)	15
5. Terénní zpracování?.....	23
5.1 Charakteristika a vymezení zájmové lokality	23
5.1.1 Jizerské hory	23
5.1.2 Krkonoše.....	27
5.1.3 Vybrané vodní toky	30
5.1.4 Kontrolní úseky.....	34
5.2 Aplikace jednotlivých metodik na vybrané úseky toku.....	43
5.2.1 Metodika podle Rosgena (1996).....	43
5.2.2 Šindlar.....	44
5.2.3 Fryirs a Brierley	45
5.3 Vyhodnocení.....	46
6. Diskuze	48
7. Závěr a přínos práce.....	50
8. Zdroje.....	51

1. Úvod

Dvakrát do stejné řeky nevstoupíš. Slavný citát Hérakleita, který tu s námi je už od dob starověkého Řecka, s hlubším filozofickým kontextem. Pokud bychom se ho ale rozhodli brát doslova, nemůže být více trefný.

Říční systém je neustále se vyvíjející kontinuum. I jedna malá změna může fatálně změnit celý obraz toku. Této disciplíně se věnuje obor fluviální geomorfologie, která se prolíná s množstvím dalších vědních disciplín jako např. geomorfologie, hydrologie, hydrobiologie, vodní hospodářství, krajinné plánování a další. Tento značně komplexní obor se vyhodnocuje toky na základě jejich tvaru a popisovat jejich budoucí vývoj.

Tok je přitom ovlivňován velkým množstvím činitelů od geologického vývoje, přes změnu klimatu, až po činnost živočichů a zejména pak i člověka.

Existují různé postupy, jak toky na základě jejich tvaru popisovat. V rámci tohoto postupu se vytvoří metodika spolu se souborem geomorfologických typů říční soustavy. V současné době je známo mnoho různých metodik (typologií).

Tento text je zaměřen na vyhodnocení, porovnání a návrh úpravy tří metodik pro určení typu říční krajiny. Jedná se o říční analýzu podle Rosgen (1996), značně rozšířenou pro navrhování revitalizací ve Spojených státech, typologii dle Šindlara (2012) a geomorfologické určení dvojice Fryirsová a Brierley (2013).

Porovnání metodik je vyhodnoceno na kontrolních úsecích řeky Jizerky a úseku řeky Jizery v délce 13,73 km. Úsek začíná u od Karlovského mostu a končí jezem ve Vilémově. Souhrnné vyhodnocení k porovnání metodik je v tabulce 1 v příloze 2. Ústně jsou pak rozepsány v kapitolách 5.2 Aplikace jednotlivých metodik na vybrané úseky toku a kapitole 5.3 Vyhodnocení. Návrhy na úpravu metodik jsou uvedeny v kapitole 6. Diskuze.

2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je formou literární rešerše porovnat různé současné postupy analýzy vodních toků, tzv. geomorfologickou klasifikaci vodních toků, a zhodnotit jejich aplikaci na vybrané území. Bude vyhodnoceno, která z vybraných analýz toků pro vybrané území selhala a z jakého důvodu. Součástí práce je i návržení úpravy těchto postupů, tak, aby na zvolený říční úsek byly lépe aplikovatelné.

Práce tak může do budoucna napomoci k rozšíření současného poznání hydromorfologie a hydromorfologického procesu, a přispět tak ke zlepšení inženýrských aplikací při přírodě blízkých úpravách a revitalizacích vodních toků.

Dílčí kroky k dosažení tohoto cíle jsou:

1. Komplexní zmapování a vyhodnocení vybraných úseků vodních toků
2. Shromáždění a vyhodnocení dalších přírodovědných, technických a kulturních poznatků týkajících se vybraného vodního toku
3. Podrobný popis geomorfologie přírodních úseků vodního toku
4. Kritické srovnání se stávajícími světovými i českými typologiemi vodních toků
5. Objasnění hlavních dějů hydromorfologického procesu
6. Návrh na zlepšení typologie v rozsahu zkoumaného GMF typu

3. Metodika

Pro zpracování práce a naplnění vytýčených cílů je zapotřebí tří navazujících kroků:

- terénního průzkumu,
- vyhodnocení sesbíraných dat a aplikace
- zhodnocení jednotlivých metodik klasifikací vodních toků.

Terénní průzkum je nutno provést v celé délce vybraného úseku toku. Na místě (ale i předem) se identifikují morfologicky zajímavé úseky (kontrolní úseky) toku. Součástí terénního průzkumu je samozřejmě fotodokumentace, spolu s měřením a základním popisem úseku, např.: zastoupené morfologické tvary, výskyt vegetace apod.

Tato charakteristika se doplní o mapové podklady s informacemi o geologii, pedologii, krajinném využití aj.

V rámci vyhodnocení sesbíraných dat se v těchto kontrolních úsecích identifikují klíčové parametry a jevy. Určí se dnové, korytové a břehové hydromorfologické tvary a hlavní charakteristiky toku, jako sklon nebo rozměry koryta. Sklony toku budou určeny odměřením z mapy, rozměry koryta měřením v terénu a pro přesnost upraveny přeměření v mapě.

Úseky toků určené pomocí kontrolních úseků se poté zařadí do kategorií jednotlivých klasifikací. Následně se toto zařazení zhodnotí na základě srovnávací analýzy. Ta bude probíhat formou kvantifikace morfologických charakteristik toku, kdy se bude vyhodnocovat podobnost mezi kategorií typologie a vymezenou zájmovou lokalitou. Samotné vyhodnocení bude probíhat formou diskuse.

Fotografie použité v této práci, pokud není uvedeno jinak, byly pořízeny autorkou v listopadu 2020.

4. Literární rešerše

4.1 Objasnění hlavních pojmů

Geomorfologie je věda, zabývající se tvary zemského povrchu a procesy, které je utvářejí. A to jak v přítomnosti, tak i v minulosti (Fryirs a Brierley, 2013; Huggett, 2016). Zkoumá působení vnitřních i vnějších činitelů na vývoj reliéfu (Ottovo nakladatelství Praha, 2003a). Geomorfologie je naprosto klíčová pro pochopení chování, historie a vzhledu přírody.

Hydromorfologie, nebo také **fluviální geomorfologie**, vysvětluje chování říčního systému a jeho reakce na změny. Tento systém nezahrnuje pouze říční koryto, ale i všechny prvky napojené na vodní tok v rámci celého povodí. Říční (fluviální) geomorfologie je klíčová k vysvětlení fyzikálních procesů, které vedou k vzniku, udržení, změně nebo zničení habitatů (Fryirs a Brierley, 2013). Jedná se tedy o zhodnocení stavu toku a jeho odklonu od přirozeného tvaru (Galia, 2017) určeného hydromorfologickým procesem.

V rámci **hydromorfologického procesu** (proces utváření tvarové podoby řeky) sledujeme různé děje v dynamické rovnováze. Tyto děje se vyvíjejí na základě ovlivnění mnohými faktory. Mezi tyto faktory se řadí zejména geologie, klima a využití krajiny (Galia, 2017). Jinak se bude chovat systém v zemědělské oblasti a jinak systém v nepřístupné zalesněné krajině. Změny ve struktuře řeky mohou mít obrovské důsledky pro fungování biofyzikálních toků, ovlivňující pohyb vody, sedimentů, živin apod.

Geologie je naprosto zásadní pro zásobování toku sedimenty. Ovlivňuje erozní podmínky a spolu s klimatem i složení půd. Nepřímo i rozhoduje o sklonu údolí. Geologie je tak klíčová pro samotný tvar povodí (Galia, 2017).

Klima v sobě zahrnuje teplotu, množství a rozdělení srážek v průběhu roku a výpar. Tyto faktory ovlivňují skladbu vegetace, vegetace ovlivňuje pedologii, ta zase ovlivňuje využití území a vodní retenci. Klima spolu s geologií ovlivňují erozní procesy. Jiné erozní procesy jsou charakteristické pro humidní oblasti a jiné pro chladné aridní. To ovlivňuje množství a charakter sedimentů, což ovlivňuje pohyb splavenin a živin v povodí (Just, 2003; Galia, 2017).

Využití krajiny pod sebou schovává zejména informace o celém povodí. Nejde pouze o využití krajiny pro zemědělskou činnost. Hodnotí se zde i zalesnění/odlesnění, zatravnění, přítomnost mokřadů, ale zejména ovlivnění krajiny člověkem. Z map krajinného využití lze vyčíst omezení říčního systému zemědělskou činností a zástavbou (Just, 2003; Galia, 2017).

A toto je pouze nástin všech souvislostí při tvorbě koryt, údolí a vlastně povrchu celého údolí. Vzhledem k značné komplexitě problematiky zahrnuje hydromorfologie jako vědní disciplína různé další disciplíny mnoha vědeckých oborů. Například se jedná o geomorfologii,

hydrologii, hydrobiologii, hydrogeologii, vodní hospodářství, krajinné plánování a další (Galia, 2017).

Obecně se ale jako děje hydromorfologického procesu počítají děje erozní, unášecí a sedimentační činnosti (Šindlar a kol., 2012). Pro celou délku toku se erozní část nachází na horním toku, unášecí ve střední části a sedimentace v dolním toku. V menším měřítku však probíhají tyto procesy často současně. Koryto má tendenci se „pohybovat“ – v jednom místě se eroduje a v druhém se zazemňuje.

Transport nebo unášecí síla řeky silně závisí na síle proudění (rychlost proudění). To je hnací motor transportu sedimentů (Hardy, 2006; Galia, 2017). Druhým parametrem je velikost materiálu (snadněji se transportují jemné částice) (Galia, 2017). Síla proudění se odvíjí z geometrie koryta. Množství unášených sedimentů je přímo úměrné sklonu, drsnosti a poměru šířka/hloubka (Hardy, 2006). Ukládání sedimentů v nivě je záležitostí četnosti a míry povodně a geometrii nivy (ploše, na které dojde k rozlivu) (Hardy, 2006; Fryirs a Brierley, 2013).

Hlavním důvodem, proč se procesy hydromorfologie zkoumají, je pochopení přirozeného fungování říčního systému. V dnešní době významných klimatických změn a extremizace počasí je důležité pracovat s vodou v krajině přirozeným a bezpečným způsobem. Správně fungující niva je totiž schopná zpomalit a zadržet povodňovou vlnu a v případě sucha ji zase postupně uvolňovat. Je tedy žádoucí napravovat chyby minulosti, kdy se toky zbytečně zahlubovaly a narovnávaly, aby odvedly co nejrychleji co nejvíce vody v rámci protipovodňové ochrany, a navazující zemědělské úpravy malých vodních toků a potoků (Just, 2003). Při správném pochopení procesů fungování říčního systému je možné se navrátit k přirozenému stavu v rámci revitalizací vodních toků.

Revitalizace vodních toků je relativně nový inženýrský obor technický úprav specializovaných na geomorfologickou a biologickou stránku úpravy pro dosažení udržitelnějšího hospodaření s vodou, za využití přirozené schopnosti krajiny s vodou hospodárně nakládat (Šindlar, 2012).

Při revitalizacích neboli návratu k přírodně blízkému stavu toku nebo alespoň obnově jeho základních funkcí se přistupuje k různým pohledům, metodikám a typologiím. Revitalizace obecně jsou celkem mladé téma (první polovina 20. století (Galia, 2017)), které v posledních desetiletích (ve vyspělých zemích zhruba od 70. let, u nás v letech 90.) prochází značným vývojem (Just, 2003). V této práci se budu věnovat 3 různým metodikám, blíže popsáním v následující kapitole 4.2 Vybrané metodiky analýzy geomorfologie vodních toků. Při jejich porovnání je patrný postupný vývoj ekologického uvědomění nejen odborné veřejnosti.

Sice mluvíme o revitalizaci *vodních toků*, ale ve skutečnosti se často jedná o celou část říčního systému, u nás často prováděné v rámci komplexních pozemkových úprav. Při revitalizacích se sice upravuje samotné koryto, ale pokud je to možné (obecně velmi žádoucí), dochází i k zpřírodnění nivy a okolí. Přidávají se místa přirozené akumulace (prohlubně, suché poldry apod.) (Sklenička, 2003).

Revitalizace ovšem musí často ustoupit veřejnému zájmu. Stále se totiž ve své podstatě jedná o vodohospodářskou technickou úpravu a jako taková musí splňovat nároky na bezpečnost. Prostor pro „zpřírodnění“ toku v intravilánu je značně omezen faktem, že tok musí bezpečně převést povodňový průtok, aby se minimalizoval dopad na majetek nebo dokonce nedošlo ke ztrátám na životech (Just, 2003; Sklenička, 2003). Při revitalizacích je také nutné brát v potaz, že konečný výsledek úpravy ještě není konečný, a že se tok bude nadále vyvíjet (Just, 2003).

Mezi hlavní cíle revitalizace patří; snížení podélného sklonu a tím zpomalení odtoku vody z krajiny, dále tlumení povodňových vln a snížení následků sucha podporováním přirozené retence (snížení rozdílů extrémních průtoků), zvýšení samočisticích procesů řeky, a tím zlepšování kvality vody, rozvoj biotopů a další (Just, 2003; Sklenička 2003). Často také ale zastávají funkci estetickou (Galia, 2017), zejména ale ne pouze v intravilánu. V posledních letech se revitalizace vodních toků staly oblíbenou úpravou při obnově městských parků. Estetika se může jevit jako minimální důvod k revitalizacím, ovšem vzhled našeho okolí značně ovlivňuje vztah člověka ke krajině.

Vodní tok je souhrnné označení řek, potoků a dalších vodních těles s pohybující se povrchovou vodou (Ottovo nakladatelství Praha, 2003b). Jedná se o soustředěný odtok z povodí. V běžné mluvě se často jako označení pro tok používá řeka, ale toto označení je dost omezující. Podle velikosti může být tok bystřinou, potokem, řekou nebo veletokem (Sklenička, 2003). Toto kategoriální dělení je ovšem v závislosti na autorovi. Například Šindlar dělí toky na potoky, velké potoky, malé řeky, střední řeky, velké řeky a veletoky na základě jejich průměrných průtoků.

Z ekologického hlediska je tok vodní tok liniový prvek v krajině. Sám vytváří biokoridor a je často doprovázený dřevinou břehovou vegetací a z hlediska interakčních prvků (skladebný prvek ÚSES) působí jako stabilní krajinný prvek (Sklenička, 2003).

Vodní tok se neskládá pouze ze samotného koryta (řečiště), jak se často předpokládá, tvoří ho i další části. Koryto je vymezeno dnem a břehy. V nejbližším okolí koryta je niva, kde dochází k přirozeným rozlivům při vyšších průtocích např. při jarním tání nebo v případě vyšších srážkových úhrnů. Funkční niva je neocenitelný pomocník při zmírňování následků jak povodní, tak i období sucha. Má významný retenční potenciál, který za zvýšeného stavu

průtoku povodňovou vlnu zpomalí a v případě sucha zase vodu pomalu uvolňuje, takže nedochází k vysychání koryta. Díky zpomalení odtoku při povodních nedochází k nadměrnému odnosu sedimentů a niva tak dosahuje protierozní funkce. Doprovodná vegetace, která bývá v nivě přítomna, odčerpává živiny, a tak přispívá i k lepšímu chemismu povrchových vod. Další méně časté součásti vodního toku jsou například i prameniště nebo mokřady, periodicky zaplavované louky, lužní lesy a další (Sklenička, 2003; Just, 2003). Všechny tyto prvky jsou hodnoceny při analýze potenciálu přirozeného stavu (FŽP ©2008).

Jak už bylo zmíněno, vodní tok je soustředěný odtok z povodí. **Povodí** je základní hydrologickou jednotkou, vymezenou rozvodnicí (Sklenička, 2003). Generuje se zde veškerý povrchový odtok a protéká jedním uzávěrovým profilem (Fryirs a Brierley, 2013).

U povodí můžeme určovat různé morfometrické parametry:

- délka povodí nebo vodního toku,
- plocha povodí,
- hydrologické pořadí toků,
- hustota říční sítě,
- průměrný sklon povodí nebo vodního toku,
- průměrná nadmořská výška.

Povodí může být tvořeno jedním povodím (pramenné úseky, horní toky) nebo se skládá ze subpovodí. Složené povodí vyšších řádů je tvořené říční sítí.

Říční síť definujeme jako soustavu protékaných koryt v rámci povodí (Galia, 2017). U říční sítě hodnotíme její hustotu (tedy i stádium vývoje), půdorys, nebo tvar. Půdorys říční sítě může být například radiální, prstencový, rovnoběžný (paralelní), vějířovitý, mřížovitý a další. Od půdorysu se odvíjí i hustota sítě, která se dá určit jako poměr celkové délky všech toků na plochu povodí (Fryirs a Brierley, 2013; Galia, 2017). Tvar říční sítě, resp. povodí, může být protáhlý, přechodný nebo vějířovitý (Fryirs a Brierley, 2013).

Pro potřeby geomorfologie je povodí zdrojem sedimentačního materiálu, který následně rozhoduje o tvarech a charakteru toku (Fryirs a Brierley, 2013).

Říční vzor (river form) je jedinečný půdorysný tvar toku. Je to jednotka fluviální geomorfologie. Je utvářen říčním procesem a zároveň ovlivňuje další říční procesy (Rosgen, 1996; Fryirs a Brierley, 2013). Jedná se například o meandr, rovinný úsek, větvicí se koryto, střídání stupňů a tůň a další. Říční vzory jsou rovněž záležitostí měřítka. V měřítku celého povodí je to například meandrující nebo rovinný úsek, v měřítku toku je to sekvence říčních útvarů, jako meandr, forma stupeň-tůň, výplavový kužel a další.

Říční vzory se obvykle objevují v opakujících se vzorcích. Uspořádáním těchto vzorů do systému na základě zvolených parametrů vznikne **fluviální typologie**. Jedná se tedy o uměle vytvořený systém třídění toků na základě vybraného parametru. V průběhu let vzniklo již mnoho různých typologií od různých autorů: Lane (1955), Howard (1967), Dune a Leopold (1978), Montgomery a Buffington (1997) a další. A samozřejmě trojice Rosgen (1996), Šindlar a kol. (2012) a Fryirs a Brierley (2013), kterým se budu dále věnovat ve své práci.

Fluviální typologie se také jinak může označovat jako morfologická klasifikace vodních toků.

Fluviální typologie je systém řazení **geomorfologických typů** (landform) říční krajiny. Ty jsou výsledkem geomorfologických korytotvorných procesů. Korytotvorné procesy jsou vázané na splaveninový režim (eroze, transport a akumulace) (Šindlar a kol., 2012; Fryirs a Brierley, 2013). Geomorfologické typy v sobě zahrnují jedinečnou množinu říčních vzorů.

Geomorfologický typ se odkazuje na přirozený stav toku pro dané podmínky. Pokud se podmínky změní (dojde k narušení), vznikne odezva, která může vyústit až ke změně geomorfologického typu. O tom, jestli vznikne odezva (nebo i jen jestli dojde k reakci), rozhoduje stabilita systému.

4.2 Vybrané metodiky analýzy geomorfologie vodních toků

Motivací pro tvorbu jakýchkoli morfologických typologií obvykle bývá vyskytnutí se problému ve spojitosti s dále již nefunkční úpravou toku. Dříve se v takových případech často opravoval symptom vzniklého problému – pokud se vyskytly povodně s ničivými účinky na majetek, protože se povodňová vlna neměla kam přirozeně rozlít, vystavěly se ochranné hráze. Pokud nastalo sucho, protože se povodí v rámci nevhodného krajinného využití nadměrně přehřívá a otepluje, postavily se přehrady se zásobou vody a vyvrtyly se hlubší studny. Jádro problému ale nadále zůstalo neřešeno.

Rostoucí světová populace má rostoucí nároky na krajinu a zásobování vodou. To znamená zmenšení prostoru pro přirozenou stabilitu a zvýšené nároky na tento zmenšený prostor zajistit veškeré životní potřeby – od zásobování pitnou a užitkovou vodou, přes produkci potravy, až po místo pro život. Příroda ale má svoje limity.

Vzhledem k těmto rostoucím nárokům se dřívější „záplaty“ začínají trhat. A protože je přirozená stabilita vychýlena ještě více než předtím, důsledky jsou ještě katastrofálnější. Není možné nadále pouze zkoušet vytvořit opravu, ve snaze napasovat řeku na krajinné využití, které se člověku pro danou oblast zrovna hodí. Není to udržitelné. Taková oprava se často

v průběhu let ukáže jako nefunkční a kolikrát dojde i k likvidaci podmínek, které určily původní krajinné využití.

Cílem vyváření typologií je poskytnutí jakéhosi návodu, jaké říční formy se „hodí“ do jaké lokality.

4.2.1 Rosgen (1996)

Třístupňová morfologická klasifikace Rosgena (1996) (Rosgenova klasifikace vodních toků) je velmi technickým přístupem k analýze vodních toků. Je vypracovaná tak, aby se dala snadno aplikovat na jakoukoli řeku. Jejím hlavním cílem bylo zamezit tvarování koryt do nevhodných, z dlouhodobého hlediska nefunkčních podob, při úpravách říčních systémů. Snaží se poskytnout návod pro management toků, pro zhodnocení stavu toku a zhodnocení alternativních scénářů hospodaření v povodí. Scénářů, které by toku nepřizávali naprosto nevhodné využití, které je zrovna v souladu se zájmy člověka bez ohledu na omezení krajiny.

Rosgen jako hlavní problém současných vědeckých prací na témata fluvialní morfologie a revitalizace poukazuje na předěl mezi akademiky a odborníky z praxe, kdy spolu jen málokdy najdou společnou řeč. Klasifikace má tedy mimo jiné vymezit i jistou mezioborovou konzistentní terminologii.

Klasifikace byla vypracována na základě dlouhodobého terénního sledování a měření a posouzení dosavadních přístupů k úpravám koryt. Rosgen zároveň uznává, že klasifikace stále není kompletní a nabádá další, aby typologii upřesňovali a přidávali další místní databáze. Typologie je koneckonců stále výsledkem statistického zhodnocení parametrů. Při větší extremizaci vstupních parametrů může dojít k přesunu do jiné morfologické kategorie. Přeci jen při řazení říčních systémů do toho morfologického neexistují pevné hranice.

Klasifikace je založena na vzájemném ovlivnění stávajících morfologických tvarů a procesů, které na sebe působí, ovlivňují se a sebe-stabilizují. Koryto se neustále přizpůsobuje vstupním podmínkám. Za nejdůležitější podmínky Rosgen považuje materiál v korytě, složení dna, vlastnosti údolí a historii erozí a sedimentace. Naprosto zásadní je pak přísun sedimentů, velikost částic a sklon. Pro samotné tvarování koryta je potřeba aby se sedimenty vznesly, k čemuž obvykle dochází pouze při určitých průtocích, což je průtok v říčních březích, který autor uvádí jako horní hranici na jeden a půl letý průtok ($Q_{1,5}$). Často je ale transport sedimentů význačný ještě před dosažením průtoku v březích, a může tak zde docházet k podcenění.

Jako další tedy autor uvádí tzv. gradient proudu, tedy schopnost proudu vznosu a usazení částic na dno (množství i velikost). Gradient proudu je záležitost samotného tvaru koryta a váže se na něj sedimentová rovnováha. Obecně se ve směru k ústí snižuje, čímž se i zmenší velikost sedimentů. Strmé vysoko gradientové toky vytvářejí stupně, jejichž četnost a vzdálenost je přímo úměrná šířce koryta (čím širší koryto, tím větší odstup mezi stupni) a nepřímo úměrná sklonu.

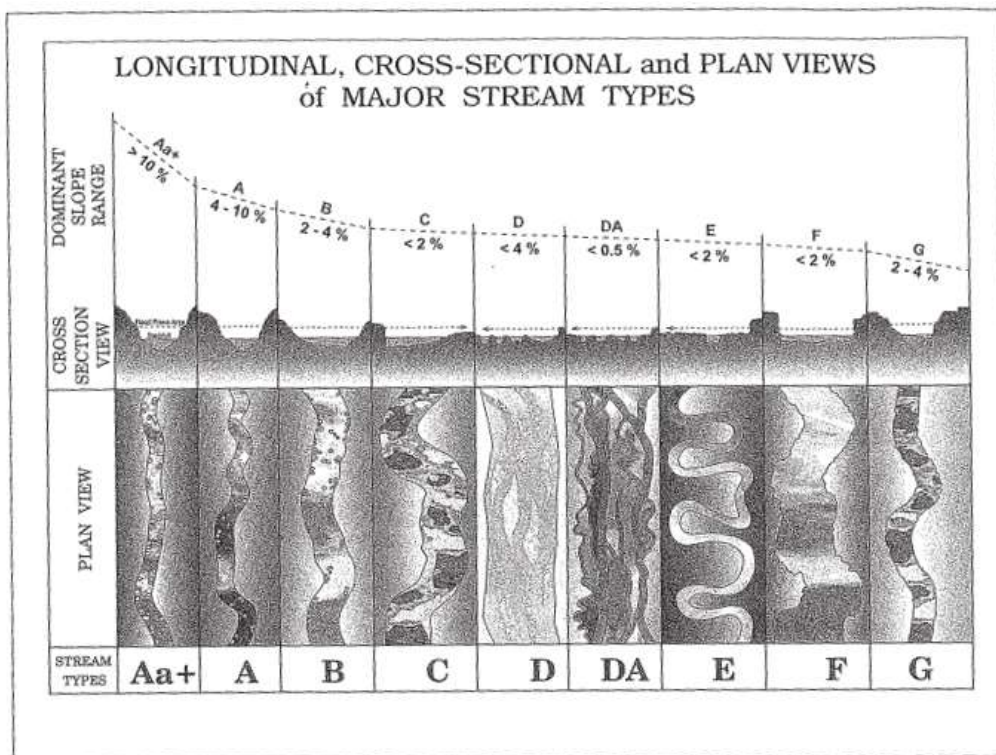
Při narušení této rovnováhy se bude řeka snažit přizpůsobit novým podmínkám, čemuž se musí uzpůsobit samotná úprava. Klasifikační systém by tedy měl předejít změně tvaru koryt v takovém směru, že dojde k narušení rovnováhy mezi pohybem sedimentů a gradientem proudu.

Zařazování toku v rámci klasifikace je v případě metodiky dle Rosgena součástí procesu o několika úrovních – odsud třístupňová klasifikace. Nejprve v rámci velkého měřítka (za použití map a leteckých snímků) se určí základní geomorfnní charakteristiky jako hornatost, tvar údolí, vliv klimatu apod. Při druhé úrovni už je nutné přistoupit k podrobnějšímu morfologickému popisu: rozměry, opevnění, říční vzory, materiál a další. Ve třetí části se zhodnocuje stav toku ve vztahu k stabilitě a funkčnosti – břehová vegetace, výskyt sutí, erodovatelnost... Autor přidává i další stupeň, který ovšem už s morfologickým určováním příliš nesouvisí, každopádně předchází postup je pro něj naprosto nenahraditelný, a je podstatný pro verifikaci údajů. Přesným měřením se zde provádí přesnější určení některých parametrů související s hydraulickými výpočty, jako je zejména drsnostní součinitel.

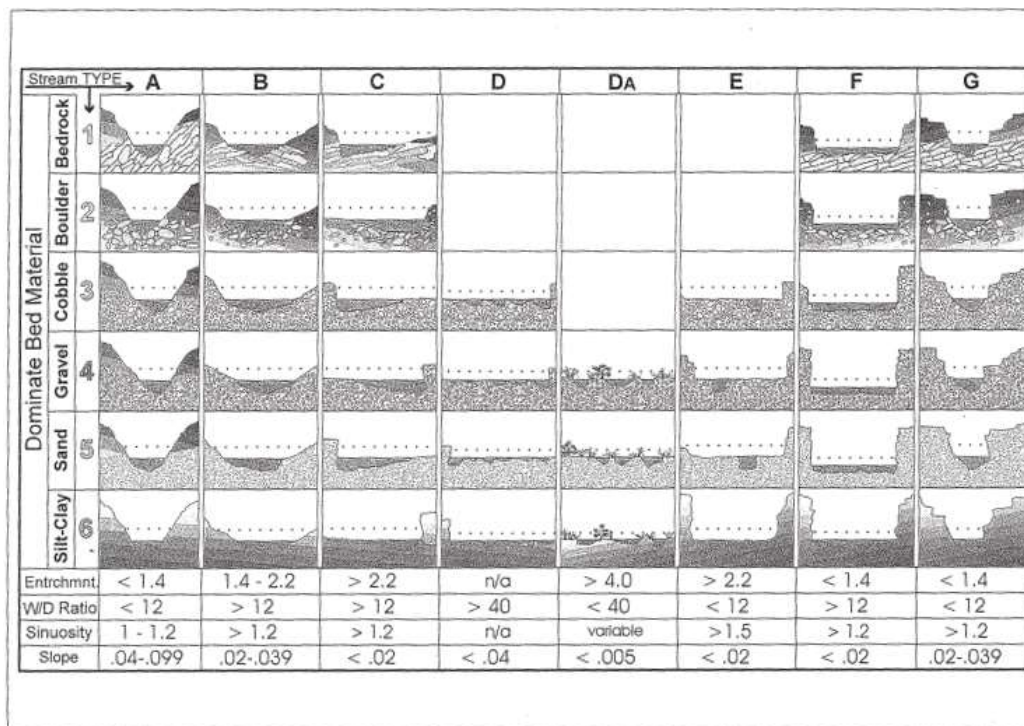
V rámci první úrovně se rozdělí toky do podskupin A – G. Sleduje se zde míra zahloubení, vzory (jednokanálové toky, větvcí se toky a anastomózní toky), sklon a tvar (úzký a hluboký nebo mělký a široký). Všech 9 kategorií názorně uvádí obrázek 1.

Samozřejmě vzhled toku není jediné, podle čeho se může tok zařazovat do těchto kategorií. O mnohém vypovídá tvar údolí. Úzké kaňony a uzavřené soutěsky poukazují na typ F. Silně členité svahy svědčí o úzkém silně zaříznutém erozním typu A a G. Typ D je typický pro pláne nebo ledovcová údolí. B je typický pro stabilní terén. A široká fluviální údolí jsou jasným znakem typu C a E. Autor tak ještě rozlišuje mezi 11 typy údolí (I – XI). Je totiž rozdíl mezi větvením toku A nebo G na aluviálním vějíři pod zónou eroze a větvcím se říčním typem D.

V rámci první úrovně pracuje Rosgen ještě s křivolakostí proudu neboli koeficientem šířky meandrového pásu (šířka pásu ku šířce koryta), který má ovšem pouze malou interpretační hodnotu. Další vypovídající ukazatele mohou být poměr šířka/hloubka, vlnitost toku (poměr délky toku ku délce údolí), sklon nebo rysy koryta (vodopády, kaskády apod.)



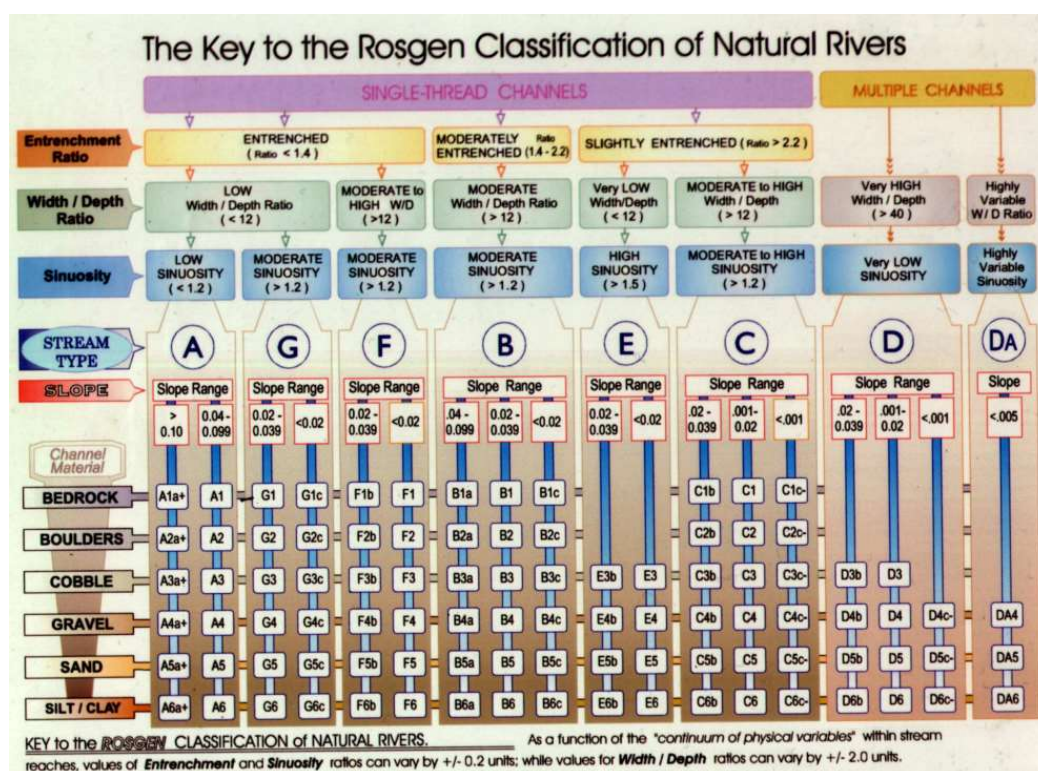
Obrázek 1: Říční typy A–G určované v rámci prvního stupně Rosgenovy třístupňové klasifikace. Určení 9 typů toku na základě sklonu, tvaru, míry zahloubení a vzoru (Rosgen, 1996).



Obrázek 2: 41 základních podtypů určené vymežujícími kritérii. Hlavní rozlišovací údaj pro přiřazení čísla 1-6 dvoumístného určení typu je složení dna (velikost částic) (Rosgen, 1996).

Jak už bylo zmíněno dříve, úroveň dva se skládá z poznatků terénního průřezu. Podrobnější měření primárně zahrnuje podélné profily, sklony toku, distribuci a velikost částic v toku i okolí, rozměry příčného řezu a tvarové vzory. V příčném řezu se sledují údaje o zahloubení (poměr mezi rozlivnou plochou a šířkou koryta), poměr šířky a hloubky a dominantní materiál koryta. V podélném profilu se sleduje sklon a korytové tvary (tůň, brody, kaskády aj.). A pak i samotné vzory toku – koeficient šířky meandrového pásu nebo vlnitost toku. Tyto kritéria nakonec vytváří 41 základních jedinečných podtypů, vyobrazeních na obrázku 2.

Pro efektivní zařazení toku v rámci klasifikace se ale používá klíč znázorněný na obrázku 3.



Obrázek 3: Klíč k rychlému a efektivnímu zařazení toku do metodiky dle Rosgena. Nejprve určení, jestli jde o jednonálový nebo větvičkový tok. Pak následuje stanovení poměrů rozliv/korytu, šířka/hloubka a délka toku/délka údolí. Nakonec už se rozhoduje pouze na základě sklonu a složení dnových sedimentů. Dle tohoto klíče také vzniká více než základních 41 typů, většina typů prvního stupně se v závislosti na sklonu dále rozděluje (Rosgen, 1996).

Jednotlivé podtypy druhé úrovně se mohou snadno změnit na krátké vzdálenosti. Může se jednat o několik kilometrů ale i pouze o několik desítek metrů.

Na třetí úrovni se řeší otázka stability toku. Z morfologického hlediska to znamená schopnost toku si v čase udržet stejnou formu (rozměr, vzor, profil) takovým způsobem, že se ani nedegraduje, ani nezvyšuje. Hodnotí se zásobování sedimenty, vegetace, sedimentace, eroze břehů, stabilita dna, odtokové režimy a další.

Stabilitu může narušit celá řada faktorů. Odezva se pak liší podle typu toku. Na základě této znalosti lze u toků odvodit nejen minulé poškození nebo pravděpodobný budoucí vývoj, ale lze i určit proveditelnost obnovy u upravených toků. Vyhodnocení obvykle probíhá porovnáním toku s jiným se stejnými parametry, nebo vyhodnocením současného stavu a potenciálu k narušení, případně vyhodnocením prahů nestability.

Z hlediska morfologické typologie je stabilita důležitá kvůli evoluci toků. Vynucená nebo i přirozená změna v povodí či toku může vyvolat významnou změnu, kdy řeka i v celkem krátkém časovém úseku může přejít k jinému typu koryta v rámci typologie.

4.2.2 Šindlar a kol. (2012)

Metodika podle Šindlara se snaží o propojení teoretických poznatků o říční geomorfologii s hydrotechnickou praxí úprav vodních toků se zájmy ochrany na vodu vázaných ekosystémů. Tato metodika posloužila jako základ pro určení odklonu toku od jeho potenciálně dynamické rovnováhy (uváděno v procentech) a vyhodnocení možných úprav toku a povodí k dosažení dobrého hydromorfologického stavu. Toto se stalo stavebním kamenem Metodiky odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření (2000). Opatření navržené tímto systémem současně navrácí tok do stavu ekologické rovnováhy v souladu s požadavky Rámcové směrnice o vodách (2000) a zvyšují povodňovou ochranu v povodí.

Typologie je tedy základem popisu referenčního stavu lokalit a následného hodnocení hydromorfologické složky stavu vod.

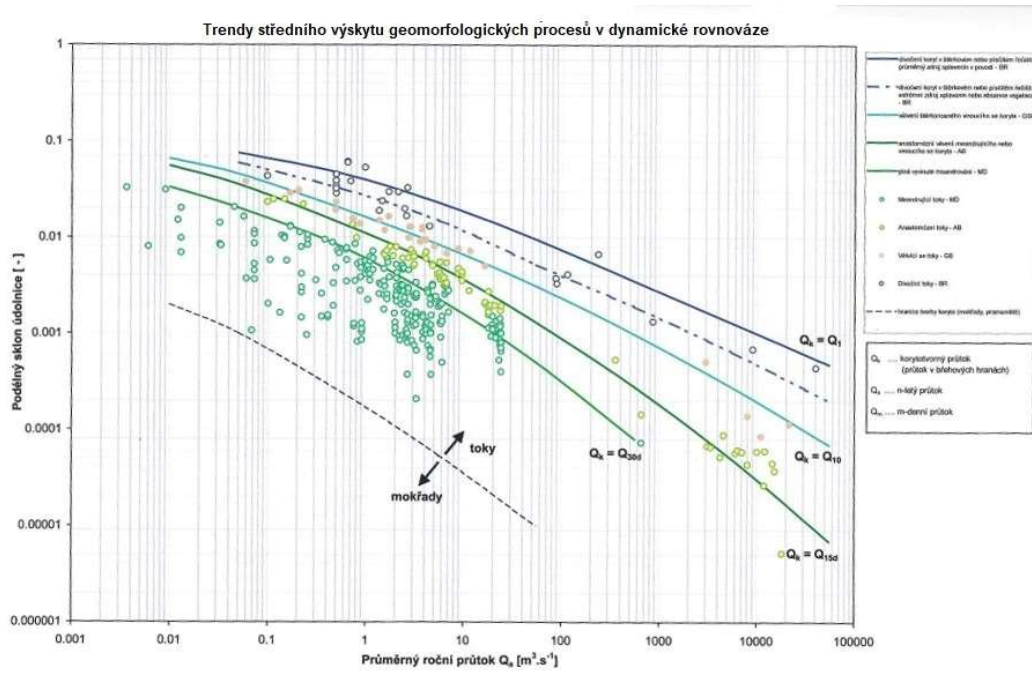
Šindlar (2012) záměrně uvažuje pouze prakticky použitelné principy. Záměrně se vyhýbá charakteristikám koryta a povodí, které morfologii ovlivňují na příliš rozsáhlém časovém horizontu, jako například geologie. Přesto uznává, že tyto charakteristiky (nejenom geologie, ale i klima a další) mají vliv na morfologii povodí, nicméně je nezahrnuje do okrajových podmínek lokalit.

Typologie je vytvořena na základě korytotvorných procesů. Vychází z klasifikace energie údolí – tj. dává se do poměru sklon údolí se zvoleným charakteristickým průtokem v závěrném profilu údolí. Takový funkční vztah nám defacto vyjadřuje energii celého povodí, tzv. „vyhodnocení energetického potenciálu lokality,“ jelikož zjednodušeně uvádí měrné množství vody tekoucí po nakloněné rovině. Čím větší sklon, tím výraznější účinky.

Elegantně se tak vyhýbá rozměrovým analýzám nebo hodnocení ovlivnění rychlosti, a tedy i unášecí síly, hloubkou koryta. Do grafu hodnocení vstupuje pouze dlouhodobý průměrný

průtok z povodí v závěrném profilu lokality a podélný sklon údolnice. Jediným omezujícím parametrem je šířka nivy a doplňujícím bilance objemu splavenin.

Dlouhodobý průměrný průtok je dle metodiky myšlen jako korytový průtok neboli průtok v břehových hranách. Je to průtok, při kterém je dosaženo dynamické rovnováhy. A pro různé říční typy se liší. U meandrujících toků je za korytový průtok brán 30-ti denní průtok (Q_{30d}). U šterkonosných vysokoenergetických toků roste až na 10-ti letý průtok (Q_{10}), ačkoli morfologické změny nastávají už při Q_1 , a pro divočí říčky Šindlar udává průměrné roční průtoky (Q_a).



Obrázek 4: Graf pro zařazení do typologie dle Šindlara na základě podélného sklonu a břehového průtoku, tedy energie toku (Šindlar a kol., 2012). Z grafu je vynecháno větvení toku v deltě, hloubková eroze a akcelerovaná eroze.

Korytotvorné procesy jsou zpravidla určovány na základě vzniku, transportu a ukládání splavenin. Cílem je dosažení dynamické rovnováhy. To je chvíle, kdy dojde k vyrovnání splaveninového režimu (vstup splavenin = výstup splavenin z lokality).

Graf rozřazuje toky na základě geomorfologických korytových procesů v dynamické rovnováze do kategorií divočení koryt (BR), větvení vinoucích se koryt (GSB), anastomozního větvení meandrujících nebo vinoucích se koryt (AB) a koryt s plně rozvinutým meandrováním.

Podrobnějším řazení podle stupně dosažení dynamické rovnováhy a základní charakteristiky korytotvorného procesu se dále rozdělují:

- oblast erozních procesů

- hloubková eroze (DE = deep erosion)
- oblast transportních procesů
 - divočení soustav vinoucích se koryt (BR = braided)
 - větvení šterkonosného nebo písčitého vinoucího se koryta (GSB = gravel sand branching)
 - anastomózní větvení vinoucích se až meandrujících koryt (AB = anastomotic branching)
- oblast akumulačních procesů
 - plně vyvinuté meandrování (MD = meander)
 - větvení toku v deltě (DL = delta)
- oblast erozně-akumulačních procesů s vysokou dynamikou vývoje
 - akcelerovaná eroze (AE = accelerated erosion)
 - nedokončený vývoj akcelerované eroze (subtypy AE, incompleated development)

Při určení typu se z grafu odečte příslušný základní geomorfologický typ (z grafu jsou vyřazeny procesy hloubkové eroze a akcelerované eroze). Verifikuje se přítomností indikačních charakteristických prvků jednotlivých morfologických typů, jako jsou náplavy, ostrovy, ramena apod.

Typologie je kalibrována na celou říční síť – od pramene až k ústí/deltě. V rámci tohoto celku se geomorfologické typy postupně mění. Funkčnost této metodiky byla ověřena objemným data setem dalších toků.

Jednoduchost této metody spočívá v snadné případné úpravě – přidávání dalších dat (údaje o dalších tocích) přispějí ke zpřesnění intervalů pro daný typ, nebo i pro případ potřebné kalibrace pro jinou klimatickou zónaci (nahrazení datové sady za jinou).

4.2.3 Fryirs a Brierley (2013)

Geomorfologická analýza říčních systémů (jako nástroj ke čtení krajiny) (Fryirs a Brierley, 2013) přistupuje k problému značně zešíroka. Do vývoje řek podle této analýzy zasahuje celé údolí, ať už svou geologií, sklonem, klimatem, nebo florou a faunou. Všimá si procesů nejen v korytě, ale i v nivě. Analýza vztahů mezi terénními tvary může posloužit jako náhled do minulého vývoje. Nejde tedy pouze o zhodnocení současného stavu, ale i stavu minulého a z těchto analýz pak odhadnou budoucí chování systému.

Jedná se o geomorfologickou analýzu říčních systémů jako celku. Za nejpodstatnější nástroj považuje Fryirsová a Brierley (2013) čtení a vyhodnocování krajiny zejména v terénu. Mapové podklady a letecké snímkování je důležité, ale terénní zhodnocení je zde naprostou prioritou.

Pro úspěšné čtení krajiny je důležité vyhodnocení geologických, klimatických a antropogenních kontrol. Řeky jsou produktem svých povodí, jedná se o prostorově propojené systémy, které se vzájemně ovlivňují. Každá krajina se nachází v rovnováze procesů, které ji utvářejí. Žádné dvě krajiny nejsou stejné.

Říční geomorfologie, a tedy i její charakter, chování a evoluce, je závislá na mnoha faktorech. Jedná se o hydrologii, zejména vodní režim toku, biologii (složení vegetace), ekologii (chování a vliv živočichů), chemismus a hospodaření. Klíčové je pak prostorové měřítko. Geomorfologická analýza má podle Fryirsové a Brierleyho (2013) probíhat v jasné posloupnosti:

- 1) celé povodí (catchment/watershed/drainage basin) – tvar reliéfu, sklon, šířka údolí, pedologie, klima, pohyby materiálu a živin, vegetační pokryv, hustota říční sítě a další
- 2) krajinné jednotky (landscape units) – snadno identifikovatelné tvary terénu (tok, příbřežní zóna, záplavové území apod.)
- 3) vztahy (reach) – důležité pro určení okrajových podmínek a vzájemných kontrol; jedná se o úseky toku stejného charakteru
- 4) geomorfnní jednotka (geomorphic units) – tvary z terénního průzkumu; vztahují se k určitému procesu vzniku (eroze, depozice) a vzájemnému ovlivnění jednotky a dalšího formujícího procesu a určují strukturu a funkci řeky. Tato geomorfnní analýza jich nabízí značné množství, až je někdy česká terminologie nedostačující. Př. tůňe, brody, kaskády, různé formy nánosů...
- 5) hydraulické jednotky (hydraulic units/habitats/patches) – určují se na základě druhu proudění, např. stojatá voda, rychle proudící okysličená voda apod.

Existuje i časové měřítko. V rámci analýzy geomorfologie je nejdůležitější inženýrský čas. V tomto období (desetiletí) se u řeky předpokládají konstantní okrajové podmínky. Pro určení vývoje a budoucího chování toku je důležitý geomorfologický čas (stovky let). V jeho průběhu jsou jasně patrné výsledky eroze, a tudíž se i mění tvar a charakter toku. Poslední geologicky probíhá v cyklech, během kterých se tok geomorfologicky vyvíjí od mladých forem, přes zralou a starou fázi opět k mladému nezahluobenému tvaru.

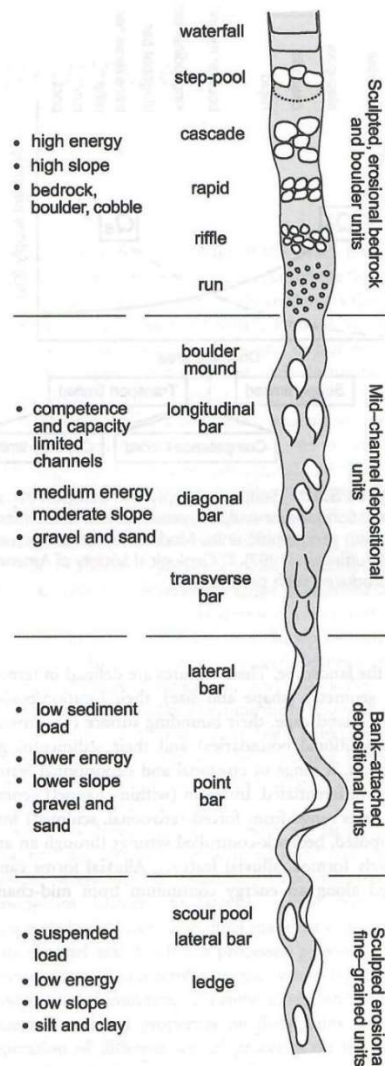
Jak již bylo zmíněno, veškeré formy a tvary na sebe vzájemně působí a ovlivňují se. Vzájemné působení popisují autoři vynucenými a tokovými okrajovými podmínkami. Vynucené jsou dlouhodobě neměnné a řadí se mezi ně sklon a sevření údolí, složení materiálu

při základně svahů a roklí, topologie nízkého reliéfu (nejnižších částí údolí – niva, terasy...). Tokové okrajové podmínky jsou pak určeny ze vzájemného působení vody, sedimentů a vegetace. Každá lehce pozměněná interakce má za následek vznik jiných geomorfních tvarů.

Geomorfní tvary (geomorphic units) se rozdělují do několika kategorií:

- vyhloubené a erozní tvary (bedrock steps = stupně, step-pool = kombinace stupeň – tůň, cascade = kaskáda, rapid, run, forced riffle = nucená akumulace (brod), forced pool = nucená tůň, plunge pool = vývarová tůň nebo pot hole = obří hrnce)
- korytové akumulační tvary (riffle-pool = kombinace brodu a tůně, longitudinal bar = podélný (středový) nános, transverse bar = příčný nános, diagonal bar, expansion bar = středová akumulace za překážkou, island = ostrov, boulder mound = balvanitá akumulace, bedrock core bar, sand or gravel sheet = plošné písčité nebo šterkové nánosy, compound mid-channel bar = drobnější středový nános)
- břehové tvary (lateral bar = podélné nánosy, scroll bar = nános konvexního břehu oblouku, point bar = konvexní náplň (u meandru), tribunary confluence bar a další)
- podélné tvary tvořené jemným materiálem (sculpted lateral bar = podélné břehové násypy, sculpted point bar = jemnozrnné náplně konvexních břehů, ledge = lavice, sculpted run, scour pool)
- Za hlavní formujícími parametry na úrovni povodí, nebo také kontroly říční geomorfologie, Fryirsová a Brierley (2013) považují sklon (údolí i toku), konkávnost, tvar a hustotu říční sítě. Sklon určuje energii toku. Způsob, jakým může tok svoji energii snížit je konkávnost (zakřivení), čímž se prodlužuje délka toku a snižuje podélný sklon toku. Tvar a hustota říční sítě pak rozhodují o dostupnosti materiálu.
- Systém formování toku může být v rovnováze nebo může být vychýlen k nadměrné erozi či depozici. O tom, jaký proces formování převažuje rozhodují hnací a odporující síly v říčním systému. Fryirsová a Brierley (2013) vysvětlují, že pohyb sedimentů je záležitost hydrauliky. Aby se materiál vznesl musí se spojit hned několik vlastností – dostatečná rychlost proudění, zvirnění (turbulentní proudění, výhoda drsného dna, odpovídající hmotnost k rychlosti, překonání mezních odporů a další. Proti tomu brání odpory koryta. Morfologie údolí, kdy se v širokých částech může tok zpomalit a ztratit tak energii. Překážky v korytě ať už ve formě vegetace nebo korytových útvarů. A také vnitřní odpor tekutin.

Některé tyto tvary jsou znázorněné na obrázku 6.



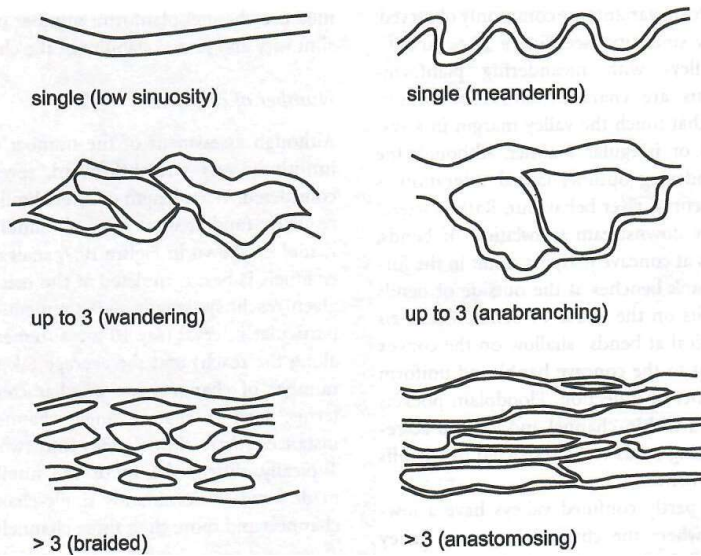
Obrázek 5: Znáornění vybraných geomorfologických tvarů v podélném profilu toku, seřazených podle energie toku a schopnosti proudu unášet sedimenty (Fryirs a Brierley, 2013).

Toto jsou všechno vstupy do rozsáhlé geomorfologické analýzy říčních systémů Fryirsově a Brierleyho (2013). Na jeho konci je poskytnuta základna pro interpretaci charakteru řeky.

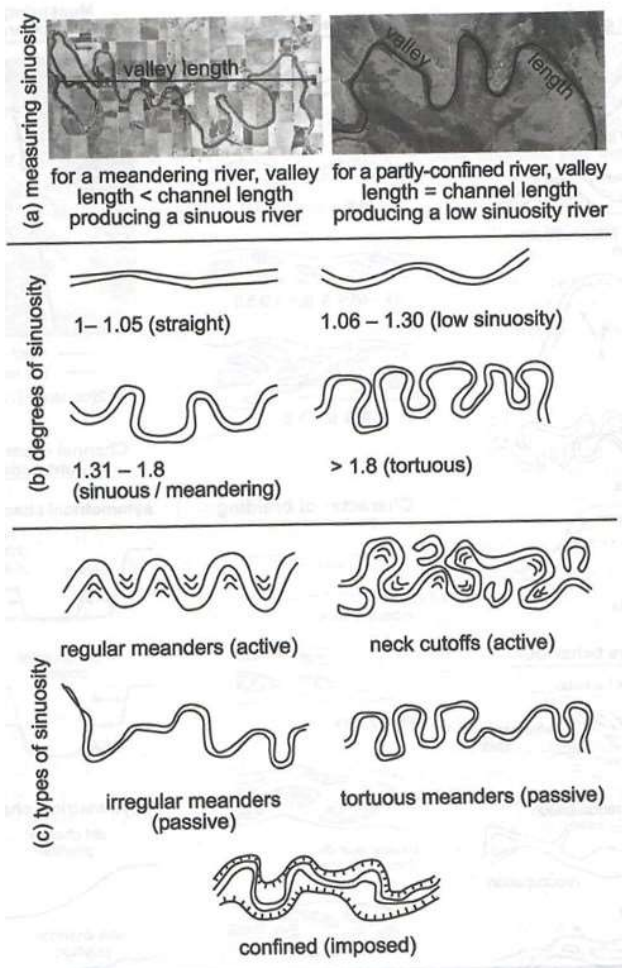
Diverzita řek se odvíjí od tvarů údolí (primární kontrola, rozhoduje o zdroji sedimentů a sklonu svahů), počtu kanálů, míře zakřivení nebo břehové stability. Na základě tvaru údolí autoři rozlišují:

- řeky v sevřených údolích
- řeky v částečně sevřených údolích
- aluviální údolí

Počty kanálů (obrázek 6), míra zakřivení a břehová stabilita (obrázek 7) jsou pak hlavní rozlišovací prvek pro aluviální řeky.



Obrázek 6: Znázornění počtu kanálů v půdorysném zobrazení (Fryirs a Brierley, 2013).



Obrázek 7: Zobrazení míry zakřivení toků. (a) znázorňuje rozdíl mezi meandrujícím tokem v otevřeném údolí a zakřiveným tokem uzavřeného údolí. (b) znázorňuje míru zakřivení od rovných toků až po silně meandrující. (c) určuje typ zakřivení toků. (Fryirs a Brierley, 2013).

Kompletní typologie se tedy sestává z:

- ŘEKY V SEVŘENÝCH ÚDOLÍ
 - prudké toky pramenných oblastí (steep headwater rivers)
 - rokle (gorge)
 - toky sevřených údolí s nesouvislou nivou (confined valley with occasional flood plain pokets rivers)
- ŘEKY V ČÁSTEČNĚ SEVŘENÝCH ÚDOLÍ
 - řeky v částečně sevřených údolích s nesouvislou nivou omezené skalním podložím (rivers partly confined valley settings with bedrock-controlled discontinuous floodplain)
 - řeky v částečně sevřených údolích s nesouvislými nivami omezené dnem údolí (partly donfined with plantform-controlled discontinuous flood plain)
- ALUVIÁLNÍ ŘEKY
 - balvanité koryto (boulder-bed streams)
 - vinoucí se koryto (braided rivers)
 - vinoucí se štěrkové koryto (wandering gravel-bed rivers)
 - meandrující koryto (meandering rivers)
 - anastomózní koryto (anastomosing rivers)
 - nesouvislé vodní toky (cut-and-fill rivers – rivers with discontinuous channels)
 - ústí (floodouts/terminal fans)

Každý z těchto typů řek má svoje specifické rozdílné kombinace geomorfních jednotek, avšak ne vždy se jedná o deterministicky předepsanou množinu. Říční vzory mohou být poškozené nebo opakované vlivem předchozího vývoje. Mohou se objevovat anomálie a nepravidelnosti z historie řek.

Hranice mezi jednotlivými typy může být náhlá, kdy dochází k zásadní změně charakteru a chování řeky, nebo pozvolná, kdy nelze přesně určit bod přechodu k jinému tvaru údolí. Přechody odrážejí změny v rovnováze a chodu sedimentů.

Pro vyhodnocování geomorfologického typu při čtení krajiny Fryirsová a Brierley (2013) doporučují 4 jednoduché kroky:

- 1) identifikace jednotlivých geomorfních jednotek (tvarů) v toku a nivě a určení vztahu mezi jejich procesními formami
- 2) analýza a interpretace seskupení geomorfních jednotek v měřítku vztahů a jak se přizpůsobují v průběhu času

- 3) vysvětlení okrajových podmínek formování geomorfních jednotek a přírodních a lidských vlivů
- 4) interakce na úrovni povodí

Interpretace přizpůsobení v průběhu času je otázka chování řek. Chování řek se definuje jako úprava morfologie řeky vyvolaná řadou erozních a depozičních procesů a přizpůsobení se novým podmínkám. Probíhá v různé míře (vertikálně (např. zahloubení), stranově (rozšíření nebo zúžení), nebo celkově (posun koryta, protnutí šíje meandru aj.) na základě kapacity přizpůsobení systému. Ta záleží na náchylnosti systému ke změně a blízkosti prahového předělu mezi rozdílnými typy. Po překonání prahu nastává změna říčního systému.

Změna řeky znamená kompletní změnu procesů a forem v toku, naprostý přestup v říčním typu. Taková změna může být vratná nebo nevratná. Je důsledkem narušení systému, ať už z přirozených příčin nebo zásahem člověka. Řeky s největší schopností přizpůsobení (řeky otevřených údolí s neomezeným stranovým prostorem) jsou nejvíce náchylné ke změně.

Významným měnícím činitelem jsou povodně. Jejich četnost, trváním a velikost jsou spolu s daným morfologickým typem hnacím pohonem změn. Chování řeky je tedy závislé na jejím odtokovém režimu. Vyrovnaný odtokový režim přispívá ke stabilitě systému. Z tohoto důvodu je významné i klima a jeho změny.

Systém může na změnu reagovat několika způsoby: žádná reakce, okamžitá reakce, pozvolná reakce nebo dojde k progresivní změně, kdy systém prochází navazujícími změnami v dlouhém časovém úseku. Změny dlouhého působení jsou obvykle uvedeny do pohybu geologickým vývojem (tektonika, vulkanismus apod.). I odpověď na změnu může mít více možností: může dojít k okamžité obnově, opožděné obnově nebo je změna nevratná.

Narušení člověkem se obvykle dotýká splaveninového režimu. Změní se sklony, množství a velikost sedimentů a odpory dna. Narušení obvykle zahrnují stavbu hrází, úpravy koryta, těžbu sedimentů, změnu vegetačního krytu a další. Chybějící sedimenty se projevují tzv. hladovou vodou, kdy dochází k nadměrnému zahlubování toku. Změna vegetačního krytu má naopak většinou opačný účinek. Sedimentů se najednou uvolňuje nadbytek a mění se tím kvalita a chemismus vody, což má významný dopad pro ekologii toku.

Tím jsou popsány všechny body hierarchického postupu pro čtení krajiny. Při správném použití lze vytvořit základny pro využití krajiny šetrné k životnímu prostředí. Analýza tímto hierarchickým přístupem se označuje za stavební přístup. Nižší (drobnější) měřítko formuje krajinu v širším měřítku. To, spolu s jejich vzájemnými vztahy a formujícími procesy přispívá ke komplexnímu pochopení říčních systémů

Fryirsová a Brierley (2013) se ke klasifikaci staví kvantitativním popisem. Jde o interpretaci vzájemných vztahů a souvislostí. Jednotlivé říční typy se nerozlišují na základě jednotného kritéria, ale spíš popisem jedinečných vlastností každého typu.

Publikace je uceleným soupisem všech faktorů ovlivňujících koryto.

5. Terénní zpracování?

5.1 Charakteristika a vymezení zájmové lokality

Pro potřeby práce byla jako testovací lokalita zvolena oblast Jizerských hor a okrajově Krkonoš. Konkrétně jde o toky Jizerka (číslo hydrologického pořadí 1-05-01-004) od prameniště k zaústění do Jizery a Jizera (číslo hydrologického pořadí 1-05-01-001) od místa hraničního přechodu Karlovský most (151,1 km říčního toku), až po jez ve Vilémově (137,2 km). Tyto úseky byly zvoleny pro svůj stále přírodní charakter toku.

Vybraný úsek toků postupně protéká těmito povodími IV řádu: 1-05-01-003 (povodí Jizery nad Jizerkou), 1-05-01-004 (povodí Jizerky), 1-05-01-005 (povodí Jizery mezi Jizerkou a Mumlavou) a 1-05-01-011 (povodí Jizery pod Mumlavou). Povodí Jizera nad Jizerkou a Jizera pod Mumlavou nejsou do zájmové lokality zahrnuty kompletně. Délka zájmového úseku v povodí Jizery nad Jizerkou je pouze 54 m, v povodí Jizery pod Mumlavou je to 5223 metrů, což jsou přibližně dvě třetiny celkové délky toku pro toto povodí. Povodí Jizery nad Jizerou a mezi Jizerou a Mumlavou se částečně nacházejí i na polském území.

(mapka vymezení lokality! popisek: Zakreslení vybraného úseku toků (vykresleno červeně), s vyznačenými jednotlivými kontrolními úseky do zjednodušené mapy nejbližší oblasti, a zájmových povodí.)

Na tocích byly vybrány na hydraulicky zajímavých lokalitách kontrolní úseky. Celkem bylo vybráno 11 úseků, z toho 6 na řece Jizeře a 5 na Jizerce. Jednotlivé úseky jsou blíže popsány v následující kapitole Aplikace jednotlivých metodik na vybrané úseky toku.

V následujících podkapitolách je popsána charakteristika vybraných toků a oblastí, ve kterých se nacházejí.

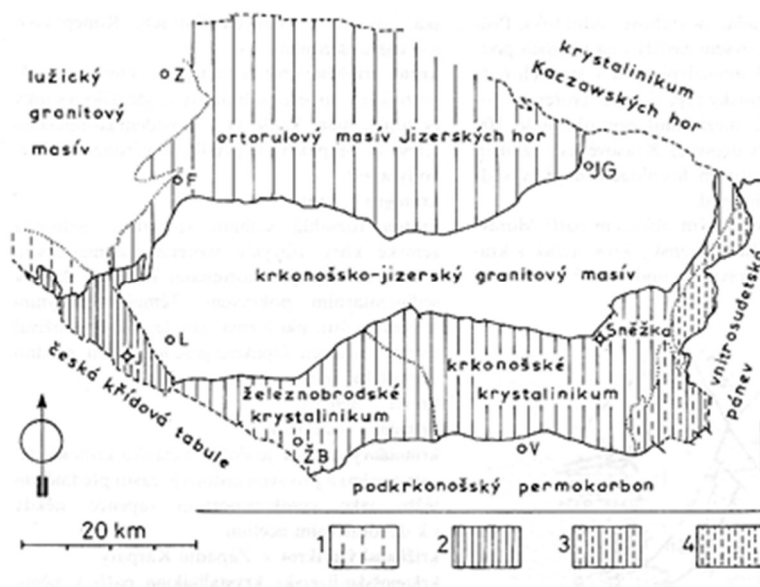
5.1.1 Jizerské hory

Jizerské hory jsou hornatý útvar v severních Čechách při hranicích s Polskou republikou, částečně náležící polské straně. Nejvyšší bod na české straně je hora Smrk (1124 m n. m.), na polské straně je to hora Wysoka Kopa (1126 m n. m.) (Vonička a Višňák, 2008; Balatka a Pilous, 2009). Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí 350 m n. m. až 1126 m n. m. (Kulasová a Bubeníčková, 2009).

Většinu území hor zaujímá Chráněná krajinná oblast Jizerských hor o rozloze 367km², vyhlášená 1968, ohraničená na východě státní hranicí a Krkonošským národním parkem, z

jihu městy Tanvald a Jablonec nad Nisou, ze Západu Libercem a na severu Frýdlantem a Novým Městem pod Smrkem (AOPK ČR ©2022).

Z geologického hlediska jsou Jizerské hory součástí Lugičké oblasti (dříve také západosudetská oblast) Českého masívu a nacházejí se na západní části krkonoško-jizerského krystalinika, tvořeného převážně metamorfovanými sedimenty a vulkanity prekambričského stáří. V rámci částí krystalinika se Jizerské hory nacházejí na krkonoško-jizerského plutonu (také krkonoško-jizerský granitový masív – viz obrázek 1), tvořeného zejména granity silurského až devonského stáří (Petránek a kol., 2016). Tak jako většina českých hor byly vyzdviženy v rámci variské tektogeneze v průběhu prvohor (Chlupáč, 2005) a dále byly tvarovány působením tektonických procesů a podnebí.



Obrázek 8: Stavba Krkonoško-jizerského krystalinika, převzato (Petránek a kol., 2016). 1 – niská rula, 2 – ještědské krystalinikum, 3 – rýchorské krystalinikum, 4 – leszczywiecká jednotka; F – Frýdlant, J – Ještěd, JG – Jelenia Góra (Polsko), L – Liberec, V – Vrchlabí, Z – Zawidów (Polsko), ŽB – Železný Brod (Petránek a kol., 2016).

Krkonoško-jizerský pluton je tvořen převážně granity karbonského stáří, místy přerušené třetihorními alkalickými vulkanity (Hušek, 2008; Petránek a kol., 2016; Česká geologická služba ©2022). Několik menších vulkanických čedičových těles se nalézá na území Albrechtické vysočiny. Jediné dvě vulkanické elevace u nás jsou Bukovec (1005 m) a Kamenáč (608 m). Další výskyty vulkanických těles v Jizerských horách se už nacházejí na polském území (Balatka a Pilous, 2009). Granity jsou v území předmětem těžby – zejména liberecká porfyrická žula – přítomnost vulkanitů zase přispěla k historickému rýžování, např. právě v oblasti řeky Jizerky, což dokládá i pojmenování jednoho z přítoků Jizerky – Safírový potok (Hušek, 2008; Honsa, 2009; Petránek a kol., 2016). Na okraji plutonu jsou zastoupeny

metamorfované horniny, údolí a úbočí bývají překryty čtvrtohorními sedimenty (AOPK ČR ©2022; Česká geologická služba ©2022).

Jizerské hory si svou horninovou celkovou jednotvárnost nahrazují mimořádnou tektonikou. Nejvýznamnější tektonika pro morfologii hor se ve velké míře projevila už v průběhu variského vyvrásnění (Chlupáč, 2005; Petránek, 2016) A právě tektonické procesy se významnou mírou podílely na tvarování říční sítě. V pravoúhlém směru se do sebe zaklíňují starší tektonické poruchy sudetského (SZ – JV) a mladší krušnohorského (JZ – SV) směru (Balatka, 2009; Petránek, 2016). Tyto zlomy rozhodují o směru toků i v nejstrmějších částech hor, kde by se naopak dalo očekávat spádníkové odvodnění. Zlomy krušnohorského směru jsou lokalizované převážně v západní části hor a směrem na východ jich ubývá. Zlomy sudetského typu jsou zastoupeny ve všech částech, byť lokálně nestejně (Pilous, 2009a).

V průběhu druhohor byla tektonika relativně utlumená a hlavní tvarujícím faktorem hor bylo zvětrávání. Tyto zvětraliny se usazovaly zejména v tektonických sníženinách jezerních pánví. Tak pravděpodobně došlo k vytvoření obecně rozšířeného zarovnaného povrchu etchplénů (Balatka, 2009) Další tektonické procesy probíhaly až koncem druhohor a napříč třetihorami v rámci Saxonské tektoniky, kdy došlo k asymetrickému zdvihu pohoří jako celku a vzniku strmých severních svahů (Balatka a Pilous, 2009; AOPK ČR ©2022). To doprovázely i vulkanické procesy. V této době rovněž začalo intenzivní erozní zahlubování vodních toků (Balatka a Pilous, 2009).

Z geomorfologického hlediska jsou hory součástí provincie České vysočiny, Krkonoško-jesenické soustavy, Krkonošské podsoustavy (Demek a kol., 1987). Jako celek jsou hory dále členěny na dva podcelky – Smrčská a Jizerská hornatina (Demek a kol., 1987; Balatka a Pilous, 2009). Jedná se o první celistvé uskupení na severozápadním okraji Krkonoško-jesenické soustavy, což významně ovlivňuje klimatické podmínky hor (Vonička a Višňák, 2008; AOPK ČR ©2022).

Povrch Jizerských hor, ač geomorfologicky homogenní, lze pokládat za polygenetický. Vznikal působením hned několika různých vnějších geomorfologických činitelů jako svahovými, fluviálními, kryogenními (mrazové), biogenními a dalšími pochody. Obecně zde nacházíme elevace, hřbety, údolí a kotliny, zarovnané povrchy a glaciální, kryogenní a nivační tvary. Hřbety obvykle kopírují původní tektonicky utvořené kry a obvykle jsou odděleny středně hlubokými úvalovitými údolími (Balatka a Pilous, 2009).

Zarovnané povrchy se nacházejí v tektonických sníženinách (např. Malá a Velká Jizerská kotlina), ale také na hřbetech (Soušská nebo Smědavská hornatina, Černostudniční hřbet). Vznikli v období tektonického klidu působením zvětrávání a následným opětovným ukládáním těchto zvětralin v tektonických sníženinách. Údolí naopak vnikala zejména erozně

odnosovými procesy. Mezi hlavní elevace patří zejména neovulkanické tvary. Na tomto místě se hodí zmínit zejména vrchol Bukovec nad soutokem Jizerky a Jizery (Balatka, 2009).

Při tvorbě glaciálních, kryogenních a nivačních tvarů se velkou měrou uplatnila pasivní morfostruktura hor, tj. litologické vlastnosti horniny. V tomto konkrétním případě je to záležitost různé odlučnosti jednotlivých vrstev horniny při zvětrávání. Hlavním tvarovacím faktorem těchto tvarů však bývá počasí. Glaciální tvary (způsobené činností ledovce) se nacházejí zejména na severní straně hor, kde se pevninský ledovec opřel do svahů a dodal jim jejich současnou podobu. Horský ledovec se zde pro nízkou nadmořskou výšku nevyskytoval (Balatka, 2009; Pilous 2009b). Kryogenní tvary (způsobené mrazovým zvětráváním) jsou zde velmi časté. Jedná se zejména o skalní mísy, skalní hříby, viklany, převisy a další (Balatka, 2009). Nivační tvary, zejména deprese, vznikají činností sněhu a mrazu, a většinou je najdeme v závětrných polohách elevací. Dochází k tomu díky působení anemo-orografických systémů (Pilous, 2009b). Působení těchto systémů je ještě zásadnější pro morfologii Krkonoš.

Většina těchto tvarů byla dále přemodelována říčními nebo mrazovými erozními procesy.

Říční síť je v Jizerských horách velmi hustá, jedná se o významnou pramennou oblast (Hušek, 2008). Z hydrologického hlediska je rozdělena na dvě úmoří – menší severo-západní část patřící do úmoří Baltského a větší, jižní až jihovýchodní část, do úmoří Severního moře (Hušek, 2008; Pilous, 2009a). Ovšem jak Jizera tak i Jizerka náleží do povodí Labe a tudíž do úmoří Severního moře.

Vzhledem ke geologickému vývoji jsou toky úmoří Baltského moře zejména v severní části prudší – cestou na Frýdlantskou pahorkatinu překovávají vysoké převýšení severních svahů a vytvářejí tak balvanitá koryta s množstvím vodopádů a kaskád (Pilous, 2009a; AOPK ČR ©2022). Sklon terénu v jižním a jihovýchodním směru je mnohem mírnější, a proto toky úmoří Severního moře mají horní část toku v mělkých pozvolných údolích. Teprve až později ve střední části toků se začíná uplatňovat zpětná eroze a údolí se zahlubují (AOPK ČR ©2022).

Nad poměry často se zde uplatňuje i velmi zajímavý jev říčního pirátství. Je to jev, ke kterému dochází na nízkých plochých rozvodí, kdy více zahloubený tok nebo tok s významnější zpětnou erozí do se strhne výše položenou část povodí vedlejšího toku (Pilous, 2009a; Kachlík, 2005). Pozorovat ho lze právě na prameni české Jizery, kdy došlo k odčerpání vody do toku Hájeného potoka. Předpokládá se tak kvůli výraznému zalomení Hájeného potoka ve tvaru písmene L (Pilous, 2009a).

Přírozené útvary povrchových vod v Jizerských horách chybějí, ovšem ničivé povodně v 19. století byly impulzem pro stavbu rozsáhlé soustavy ochranných přehrad (Hušek, 2008).

Ta ovšem v kompletním plánu nebyla realizovaná. Současné plány na budování dalších vodních nádrží nejsou vřele přijímány (Hušek, 2008).

Klimaticky patří celé území hor do chladné oblasti bohaté na srážky. Průměrná roční teplota se uvádí v rozmezí mezi 4 a 7°C (Kulasová a Bubeníčková, 2009; AOPK ČR ©2022). Nejchladnější měsíc je leden, nejteplejší červenec (Kulasová a Bubeníčková, 2009). Velmi častý je zde i výskyt teplotních inverzí, kdy těžký studený vzduch stéká do údolí, kde se hromadí (AOPK ČR ©2022). V takových případech může teplota klesnout až k -40°C, čímž si Jizerské hory vysloužily pověst místa s jedním z nejdřsnějších klimatických podmínek ve střední Evropě (Hušek, 2008).

Srážkové úhrny se pohybují mezi 800 a 1700 mm/rok (AOPK ČR ©2022), což je vysoko nad celorepublikovým průměrem. Srážkově nejvýznamnějším měsícem je opět červenec. (Kulasová a Bubeníčková, 2009). Sníh se zde drží i 160 dní v roce s mocností až 1,5, výjimečně 3 m (AOPK ČR ©2022). Jizerské hory jsou rovněž náchylné na významné srážkové epizody, které dávají vzniknout četným povodňovým situacím. Výjimkou nejsou ani dvoudenní srážkové epizody s úhrnem nad 200 mm (Kulasová a Bubeníčková, 2009). Důležitým prvkem jsou i horizontální srážky ve formě kondenzace z častých mlh nebo v zimě ve formě námraz (Hušek, 2008; Kulasová a Bubeníčková, 2009).

V Jizerských horách existuje několik různých prvků ochrany přírody. Jako první je samozřejmě třeba zmínit Chráněnou krajinou oblast (CHKO) Jizerské hory, která zaujímá většinu území. Účelem jejího vzniku byla ochrana dochovaného přírodního prostředí a kulturní krajiny s typickým rázem a lidovou architekturou (Hušek, 2008). Dále je zde celkem 28 maloplošných zvláště chráněných území – 3 národní přírodní rezervace, 13 přírodních rezervací a 12 přírodních památek. Také zde byla v roce 1978 vyhlášena Chráněná oblast přirozené akumulace vod (AOKP ČR ©2022). Vznikla zde také ptací oblast především na ochranu sýce rousného (*Aegolius funereus*) a tetřívka obecného (*Tetrao terix*) (Hušek, 2008).

5.1.2 Krkonoše

Krkonoše jsou nejvyšším pohořím střední Evropy severně od Alp a vytvářejí přirozený, přibližně 35 km val v těsném sousedství polské a německé nížiny jako výjimečné centrum biodiverzity (KRNAP ©2010). Nacházejí se v severní části České republiky na hranicích s Polskem. Celková rozloha Krkonoš je relativně malá, dosahuje 47 km² (KRNAP ©2010; Štursa, 2013).

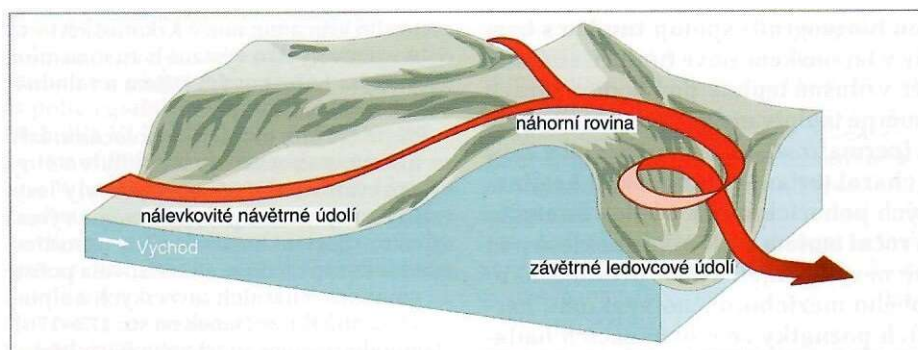
Hřbety hor mají podobné SZ – JV uspořádání jako sousední Jizerské hory. To zásadně ovlivňuje místní klima a vytváří specifické orografické podmínky (KRNAP ©2010; Pilous,

2013). Jedná se o tzv. anemo-orografické systémy a poprvé byly popsány právě v Krkonoších (KRNAP ©2010; Štursa, 2013).

Pohoří je součástí Krkonošsko-Jizerského krystalinika, stejně jako vedlejší Jizerské hory, je vznik Krkonoš obdobný již výše popsanému vzniku Jizerských hor. Krkonoše ovšem zasahují na více částí krystalinika, a tak je jejich geologická struktura o něco složitější.

Starší proterozoické (Chlupáč, 2005) Krkonošské krystalinikum zde přichází do kontaktu s Krkonošsko-jizerským granitovým masívem. Kontaktní dvůr mezi nimi prošel působením tlaků a teploty metamorfózou. Směrem od západu se zde tedy vyskytují granity a granitoidy krkonošsko-jizerského plutonu, přecházející do kvarcitů kontaktního dvora, a konče krystalickými břidlicemi (zejména svory, ortoruly a fility) krkonošského krystalinika, jakožto přechodně metamorfované pozůstatky pozdějšího vrásnění v rámci variské tektogeneze Sasko-duryňské zóny (Chlupáč, 2005; Pilous, 2013; Česká geologická služba ©2022).

Tvrďší metamorfity kontaktního dvora sehrály důležitou roli ve třetihorách, kdy omezily zpětnou říční erozi do vyšších rovinatých poloh (etchplénů) po zdvihu hor při alpínské orogenezi. Tím se zachovaly rozsáhlé vrcholové, pouze mírně zvlněné roviny. Tyto roviny významnou měrou přispěly ke konečnému formování hor ledovci ve čtvrtohorách (Pilous, 2013).



Obrázek 9: Podélný profil anemo-orografického systému (Štursa, 2013).

Kontaktní dvůr se podílel na geomorfologii Krkonoš ještě dalším způsobem. Předurčil zlomovou orientaci v SZ – JV směru, podle kterých se Krkonoše ve třetihorách vyzdvihly. Navíc jeho orientace SZ – JV směrem odpovídá i převládajícímu směru vzdušného proudění od Atlantiku. Vzduch od západu proudí nepřerušeně přes rozlehlé německé nížiny až doputuje k prvním vyvýšeninám v terénu – Krkonošsko-jesenické soustavě. Dochází zde k hromadění velkého množství vlhkosti, které se se vzrůstající výškou mění na srážky. Vrcholové etchplény a úzké údolí tento jev ještě dále umocňují. V závětrných místech se tak hromadil sníh navátý z rovinatých ploch a vznikly tak výrazné nivační deprese, ve kterých se mohl nahromaděný

sníh přeměnit na ledovec, dostatečně dotovaný další přivátým sněhem. Spolu s Jizerskými horami jsou tak Krkonoše jedním z nejdokonalejších příkladů působení anemo-orografických systémů (A-O systémy) na tvarování horských biotopů (Pilous, 2009b; Pilous, 2013). Důkazem o působení těchto systémů jsou v Krkonoších lavinová nebezpečí. A-O systémy také významně ovlivňují živou přírodu – ne pouze v otázce rychlosti větru spojeném s potenciálním poškozením, ale i množství srážek, odnosu semen apod. (KRNAP ©2010; Pilous, 2013).

Krom geologických vlivů je současný tvar reliéfu ještě výsledkem horského ledovce (Demek a kol., 1965; Pilous, 2013). Krkonoše mají vytvarovanou kompletní škálu glaciálních forem, jak erozních, tak i akumulčních. Patří sem ledovcové kary, sněžníky, trogy, řady ledovcových údolí (např. Labský a Obří důl), ledovcových jezer (i zaniklá) nebo morény (KRNAP ©2010; Pilous, 2013). Výrazné známky glaciální formace vykazuje například oblast Sněžných jam a sedimenty napovídají, že ledovec přispíval i k formování povodí některých řek jako Labe, Úpa nebo i Jizera (Ehlers a kol., 2011). V nižších polohách se jako formující proces uplatňovalo mrazové zvětrávání, které jsou příčinou vzniku suťovišť a kamenných moří (Pilous, 2013). Dále mrazovým zvětráváním vznikaly kryoplanační terasy, mrazové půdy, tory a skalní hradby, thufury, girlandy, putující kamenné bloky, periglaciální sutě či soliflukční valy (KRNAP ©2010).

Krkonoše nebyly nikdy plně zaledněny. Ledovce zde zmíněné jsou údolní splazy jižních svahů a náhorním (fjeldovým) v severní části Krkonoš (KRNAP ©2010; Ehlers a kol., 2011; Pilous, 2013).

Současné morfologické procesy se skládají z říční a svahové eroze a anemo-orografického modelování reliéfu a lavinovou činností (Pilous, 2013).

Pedologie je na území Krkonoš v ohledu na kvalitu špatná. Většina půd je kyselých kvůli minerálně chudému a zejména kyselému geologickému podloží. Chladné klima vzniku kvalitnějších půd také nenahrává. Patrná je výšková zonace. V nižších polohách převládají hnědé lesní půdy, ve vyšších rašelinové půdy, podzoly a rankery. V nejvyšších polohách jsou velmi mělké alpské půdy. Podél vodních toků vznikají nivní a glejové půdy (KRNAP ©2010; Česká geologická služba ©2022). Kyselost půd se zhoršila koncem 20. století vlivem depozic síry z uhelných elektráren (KRNAP ©2010). Vodní půdní kapacita se pohybuje mezi 60 – 90 mm (Šír a Tesař, 2013).

Říční síť je v Krkonoších rozdělena mezi dvě úmoří – úmoří Severního a Baltského moře. Rozvodnici tvoří Slezský hřbet. Hory jsou významnou pramennou oblastí, ovšem veškerá voda je srážkového původu. Pramení zde několik řek mezinárodního významu: Jizera, Labe nebo Úpa. Celkem zde ale pramení přes 140 malých řek lokálního významu na české straně a 31 na straně polské (KRNAP ©2010). Časté jsou v Krkonoších i vodopády. Co do počtu,

výšky a vodnosti nejvýznamnější v ČR. Je to dáno rozmanitostí geologie a tektoniky spolu s ledovcovou modelací (KRNAP ©2010; Pilous, 2013).

Jak už bylo zmíněno dříve, podnebí Krkonoš je významně ovlivňováno A-O systémy. Ty s sebou přinášejí vysoké množství srážek a nízké teploty. Klima má tedy výrazně oceánský charakter (KRNAP ©2010).

Teplota je v Krkonoších výškově diferenciována. Jedná se o pokles teploty s výškou o 0,5 – 1 °C na každých 100 m (KRNAP ©2010). Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 0 – 6°C (Sander a Eckstein, 2001; KRNAP ©2010). Nejteplejší je červenec (průměrné teploty od 14 °C v nižších polohách až po 8,3 °C na Sněžce) a nejchladnější leden (v průměru od –4,5 °C na úpatí do –7,2 °C na Sněžce) (KRNAP ©2010). Srážky jsou zde velmi bohaté. Roční průměry se pohybují mezi 800 – 1200 mm (KRNAP ©2010), na hřebenech až 1400 mm (Sander a Eckstein, 2001; Hejzman a kol., 2006; KRNAP ©2010), někdy se uvádí až 1500 (Šír a Tesař, 2013). Nejdeštivějším měsícem je obvykle srpen, nejsušší březen. V nejvyšších polohách není výjimkou výskyt sněhových srážek i v letních měsících (KRNAP ©2010).

Sníh leží na nejvyšších polohách až 180 dní. Naopak v nejnižších polohách je to v průměru 70 – 130 dní. O jeho uložení rozhoduje zejména větrné proudění (KRNAP ©2010). Výška sněhu může údajně dosahovat až 15 m (Hejzman a kol., 2006; KRNAP ©2010). Výška sněhu má zásadní vliv na vývoj vegetace, zkracuje se vegetační období (Hejzman a kol., 2006).

Krkonoše jsou zajímavé zejména svými relikty severských a alpských druhů biotopu tundry, jejichž výskyt zapříčinilo právě velmi chladné periglaciální klima. Přítomnost arkticko-alpské tundry je na tak na relativně malém území v centrální Evropě naprosto jedinečná. Projevují se tu všechny vegetační stupně až po nejvyšší svrchní alpské pásmo. I díky tomu jsou Krkonoše právem řazeny mezi pohoří s nejvyšší biodiverzitou (KRNAP ©2010; Štursa, 2013).

Vlivem klimatické změny se ale může brzy všechno změnit. Nárůst průměrné teploty za poslední století o 2 až 3,5 stupně ve vrcholových partiích hor může znamenat posun hranice lesa nebo kompletní vymizení druhů vázající se na nejvyšší partie. Vzhledem k výškovému poklesu teplot odpovídá tato změna 500 metrů (Flousek, 2019).

5.1.3 Vybrané vodní toky

Jizerka

Jizerka, někdy v mapách v horních částech toku značena jako Příčná voda nebo Příčný potok, dříve také překládána z němčiny jako Malá Jizera, byla volena ve své celé délce 7,28

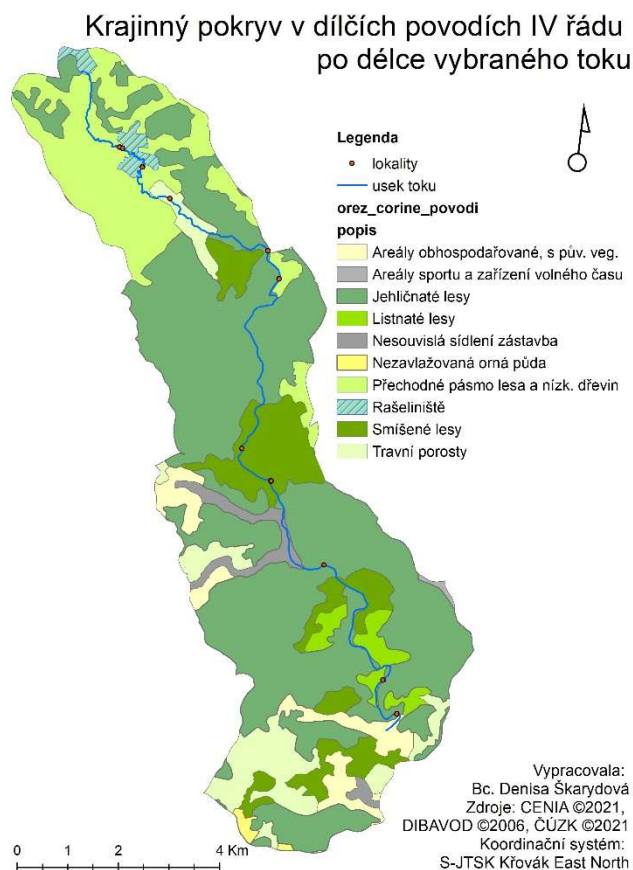
km (DIBAVOD ©2006). Pramení v rašeliništích na Velké Krásné louce v 900 m n. m. (Tesař a Paczos, 2009), ovšem toto prameniště je poněkud sporné. Původně se za pramen považovalo přímé prodloužení říčky až pod sedlo, které svou délkou přibližně odpovídá Příčnému potoku (současnému počátku Jizerky). Tento zmatek se odráží i v současných mapových podkladech, kde někdy je Jizerka značená na Příčném potoce a někdy jako původní přímé – jinak nepojmenovaného – prodloužení.

V celé své délce teče Jizerka v jihovýchodním směru. Na pravém straně údolí vystupuje Střední Jizerský hřeben, na levé Vlašský hřeben. Po překonání výškového rozdílu 125 m (Tesař a Paczos, 2009) vtéká pod Bukovcem zprava do Jizery. Až na spodní úsek protéká říčka úvalovitým údolím s mírným sklonem vrcholových poloh Malé Jizerské kotliny, čemuž odpovídá i charakter říčky. Ve spodním úseku se poklidné meandrující koryto s převážně jemnou frakcí mění v balvanité ne nepodobné větší Jizeře.

Hospodářské využití okolních pozemků je minimální. Travní pozemky (převážně v rovinatých partiích kolem toků) jsou extenzivně využívány pro pastvu. Ostatní pozemky jsou směsicí podmáčených přechodných pásem mezi lesem a nízkým patrem, lesy převážně jehličnatého charakteru, a samozřejmě pověstnými jizerskými rašeliništi (viz mapa landcover, obrázek 10).

Povodí Jizerky klimaticky patří do velmi chladného a na srážky bohatého regionu (CzechINSPIRE ©2013), čemuž odpovídá i skladba půd v povodí – jedná se především o podzoly, rašeliništní půdu nebo gleje (Česká geologická služba ©2022 – skeny půdních map starších mapování). Jedná se o půdy s nízkou schopností infiltrace a náchylností k zamokření (VÚMOP ©2019).

Vody pramenící v Jizerských horách jsou přirozeně kyselé zejména působením smrkových kultur, ale i podložím a výskytem rašeliníku. V minulém století byla kvalita vody na Jizerce bedlivě sledována i z důvodů významné depozice dusičnanů a síranů z uhelných elektráren, čímž se v povrchové vodě zvyšovala koncentrace těžkých kovů. Odběry byly koncem století ukončeny z úsporných důvodů (Bubeníčková a Kulasová, 2009).



*Obrázek 10: Mapka krajinného pokryvu pro povodí IV. řádu Jizerky a dotyčných povodí Jizery
CENIA ©2021*

Jizera

Jizera je nejvodnatějším tokem Jizerským hor (AOPK ČR ©2022). Prameniště Jizery nebylo přesně určeno, ale oficiálně se umísťuje pod Stóg Isterski (1107 m) do výšky cca 1058 m n. m., někdy se ale rozlišuje mezi pramenem české a polské Jizery. Polská Jizera je na soutoku vodnatější, nicméně česká je přesnější z hlediska hydrogeologického vývoje Jizerských hor. Zaústění Jizery do Labe se pak nachází u Toušeně, ve 169 m. n. m. (Tesař a Paczos, 2009).

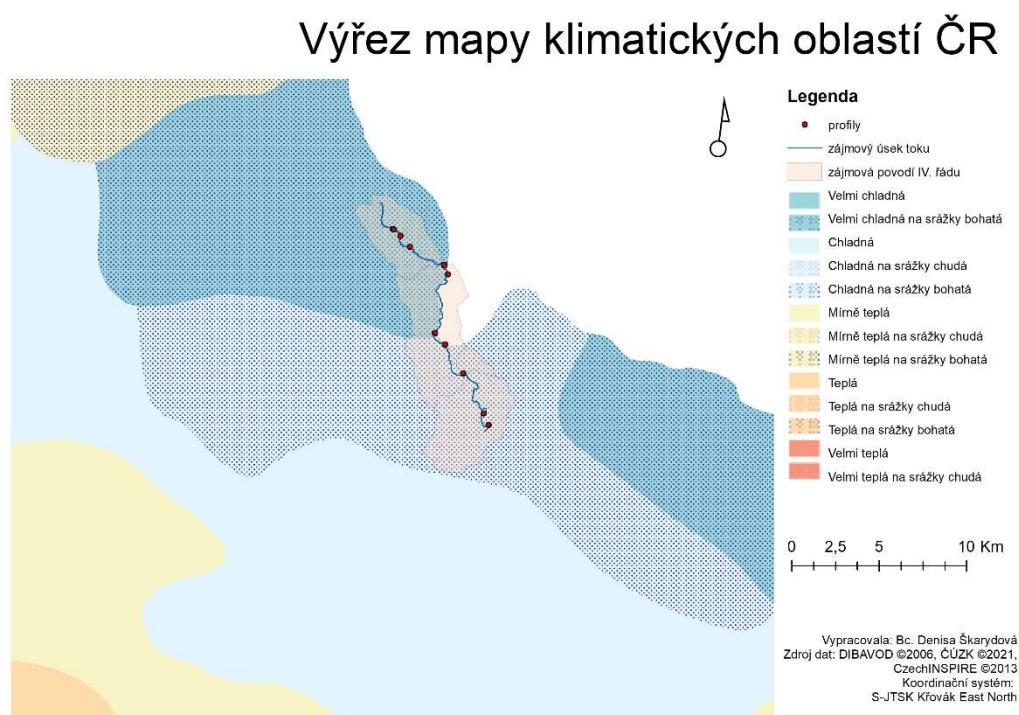
Horní tok Jizery protéká podobně mělkým a širokým úvalovitým údolím, jako je tomu i u Jizerky, nicméně poměrně brzy se začíná zahlubovat do erozního údolí ve tvaru V, vytvořeného zpětnou erozí toku. Průlomové údolí Jizery lze označit i jako „sestupné,“ protože jím řeka sestupuje ze zarovnaných povrchů vrcholových oblastí Jizerských hor (Balatka, 2009).

Jak už bylo zmíněno dříve, Jizera byla volena v úseku od Karlovského mostu po jez ve Vilémově. Tento úsek byl volen pro svůj stále zachovalý přírodní charakter ve spojení se

zajímavými hydromorfologickými tvary. Celková délka tohoto úseku činí 13,73 km (DIBAVOD ©2006). Protéká Jizerským údolím, kde až k železničnímu mostu v Kořenově – Polubný, tvoří státní hranici s Polskem. Dále protéká Martinským údolím (část Kořenova) v krátkém úseku upraveného koryta (břehové zpevnění, dva jezy, odběr pro malou vodní elektrárnu) až do Dolního Kořenova, kde se na pomezí Jizerských hor a Krkonoš na 142,9 km vlévá levostranný přítok Mumlava (570 m n. m.). Odsud Jizera vytváří hluboko zahloubené koryto, tvořící až do Rokytnice Jizerský důl zleva sevřeného úbočími Čertovy hory a Janovy Skály, a zprava vrcholy Malého Karpadníku a Hromovkou. Zvolený úsek končí ve Vilémově, přibližně dva kilometry nad Dolní Rokytnicí.

Po celé délce voleného úseku je koryto Jizery kamenité až balvanité, místy můžeme najít tišiny s jemnou frakcí. Obecně lze ale říct, že koryto v celé délce vykazuje výrazný erozní charakter.

Po klimatické stránce je zájmová oblast Jizery rozdělena do dvou částí. Horní část spadá do oblasti velmi chladné a na srážky bohaté, kam také spadá přibližně jedna polovina zájmové oblasti. Ta druhá náleží do oblasti chladné a na srážky bohaté (CzechINSPIRE ©2013).



Obrázek 11: Výřez z mapy klimatických oblastí ČR spolu se zobrazením zájmových lokalit CzechINSPIRE ©2013.

Jakostně se Jizera až po soutok s Mumlavou pohybuje v I. respektive II. třídě kvality (neznečištěná až mírně znečištěná voda), po soutoku už do III. třídy – znečištěná voda (CzechINSPIRE ©2013). Jizera je přirozeně kyselá v důsledku charakteristik své pramenné

oblasti. Kvalita vod se ale pravidelně ještě zhorší v období tání sněhu (Bubeníčková a Kulasová, 2009).

5.1.4 Kontrolní úseky

Tato kapitola představuje jednotlivé volené hydromorfologicky zajímavé úseky vybraných toků, formou jednoduchého popisu a přiložených fotografií z terénního průzkumu a snímkům z ortofoto mapy. Fotografie byly pořízeny během listopadu 2020. Hloubky vody se vztahují ke dni terénního průzkumu (uvedeno v popisu fotografie), rozměry byly po terénním průzkumu upraveny přeměřeními v ortofoto mapě v prostředí GIS. Sklony toků byly rovněž určeny z mapy.

Fotodokumentace k lokalitám je součástí Přílohy 2

Č. 1: Borkoviště nad mostem Jizerské silnice – Jizerka

Úsek je umístěn nedaleko Jizerské silnice v těsné blízkosti Národní přírodní rezervace Rašeliniště Jizerky přes silnici naproti Malé Jizerské louce a necelé 2 km od prameniště. V blízkosti se rovněž nachází zastávka Naučné stezky Tři Iseriny č. 13: Borkoviště. Sklon toku: 7,7 ‰.

Je to místo střídání hlubších tůní (podle velikosti do cca 40cm hloubky), podélných pískových akumulací, hlinitých břehových nátrží způsobených vírovým prouděním v tůni (potenciálně i obráceným prouděním) a zúžených úseků a vyšší rychlostí proudění.

Řečiště zde v nejširším místě dosahuje šířky 6 m, v nejužším místě (zpevnění břehu kořenovým valem), kolem 1 m. Břehy jsou mírné, zpevněné vegetací. Vegetace na některých podemletých místech přepadá do toku. Dno je tvořeno zejména jemnozrnnou frakcí s výskytem šterku a menších kamenů. V korytě je přítomné dřevo, pravděpodobně ovlivňující tvorbu dnových útvarů. Hladina v úseku je krom míst zúžení rovná, takže tvořené dnové útvary budou duny s vrásami.

Niva je v toto místě široká (mělké úvalovité údolí) s velkou možností rozlivu. Směrem k silnici (levý břeh) se terén mírně zdvihá, jinak je ale úsek v rovinnaté oblasti. Vegetace je tvořena travním porostem, keřovou a stromovou vegetací. Keřová a stromová vegetace zasahuje až ke korytu (zejména na pravém břehu) a výrazně ovlivňuje formování břehů.



Obrázek 12: Lokality 1 a 2: jejich umístění vyznačené v obrázku, směr toku od levého okraje k pravému. Patrná zúžení, břehové nátrže, podélné akumulace nebo tůně. Patrný je i vegetační pokryv nivy. Zdroj: Mapy.cz ©2019

Č. 2: Borkoviště pod mostem Jizerské silnice – Jizerka

Tento úsek je od předchozího vzdálený přibližně 70 m dále po proudu. Nachází se pod mostem Jizerské silnice, přímo na okraji NPR Rašeliniště Jizerky. Sklon toku: 7,4 ‰.

Jde o značné zúžení zakončující rozsáhlou tíšinu s relativně rovným dnem. Zúžení vzniklo nejspíš svahovým sesunem (naznačuje snímek ortofota, podporuje i přítomnost vegetace přímo v proudu v korytě). Na obou březích zúžení jsou patrné hlinité břehové nátrže. Dno je tvořeno jemnou frakcí (písek až štěrkopísek s přítomností menších kamenů). Hlavním dnovým útvarem jsou v tomto případě drobné čeřiny. Na pravém břehu vzniká písčité náplav. Průtočná šířka koryta je zúžena z původních přibližně 5 m na 1 m. Hloubka nepřesahovala 15 cm.

Niva je v tomto úseku mělká, s možností rozlivu. Směrem k cestě se břeh zvyšuje. Vegetace je směsí travin a stromové vegetace, stromová vegetace v tomto případě k toku nezasahuje. V toku ani okolí se nevyskytuje plavené dřevo.

Č. 3: Okraj Vrchoviště – Jizerka

Úsek se nachází o přibližně 300 metrů níže vzdušnou čarou od předchozího Úseku. Úsek se rovněž nachází pod mostem Jizerské cesty. Jizerka tu z rašeliniště Malá Jizerská louka vtéká do rašeliniště Vrchoviště (odděleny Jizerskou cestou, stále ovšem jedna a tatáž NPR Rašeliniště Jizerky). Odsud dál (několik dalších stovek metrů) Jizerka protéká okrajem rašeliniště. Úsek se nachází v úseku mezi ústími Pařezového a Hlinitého potoka. Na místě se nachází zastávka č. 11 NS Tři Iseriny. Sklon toku: 9,9 ‰.

Úsek je v klasickém levotočivém oblouku meandru. Pravá konkávní strana toku je tvořena tůň (maximální hloubka do 0,5 m), levá konvexní písčitém náplavem. Nárazový břeh jeví známky hlinitých břehových nátrží. Pravý břeh je tedy vzhledem k rozměrům toku relativně vysoký (1 – 1,5 m) abrazní, hlinitý. Levý břeh se mírně svažuje.

Dno je tvořeno opět jemnou frakcí. Vegetace v tomto případě nezasahuje až ke korytu a je tvořena travním porostem. Niva je široká a mělká. V toku ani okolí se nevyskytuje plavené dřevo.



Obrázek 13: Lokalita 3: úsek se nachází za mostem Jizerské silnice (směr toku se shora dolu), patrné jsou písčité podélné akumulace (náplň konvexního břehu), konkávní tůň, Znát jsou i nátrže v konkávním břehu – patrná nepravidelní linie břehu. Zdroj: Mapy.cz ©2019

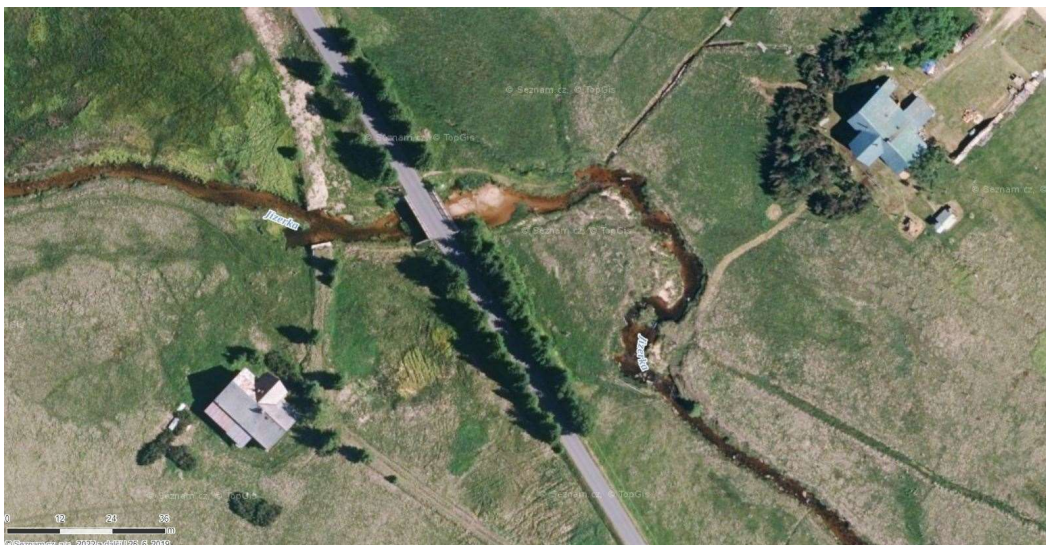
Č. 4: Meandr pod Lasičí cestou – Jizerka

Úsek se nachází 120 m od křížení Jizerské cesty s Lasičí cestou. Cca 400 m proti proudu ústí do Jizerky zprava Safírový potok (stále v oblasti rašeliniště). O asi 100 m dál Jizerka rašeliniště opouští. Před samotným meandrem protéká Jizerka pod mostkem Jizerské cesty. Sklon toku je 5,5 ‰.

Úsek je tvořený meandrem. Břehy jsou evidentně nestabilní, je jasně patrné, že se část obou břehů (pravý i levý) sesunula do koryta a došlo tak k mírnému přesunutí toku koryta. Šířka koryta v tomto úseku se pohybuje mezi 4 – 7 m. Hloubka do 30 cm. Patrné jsou hlinité břehové nátrže. Výška abrazního břehu do 0,5 m. Uprostřed toku se nachází zatím nezerodovaný pozůstatek dřívějšího břehu, v současné době z obou stran obtékáný vodou. Podél konvexního břehu se shromažďuje jemná písčinná frakce, ovšem v toku jsou přítomny i větší kameny.

Vegetace je tvořena převážně travním porostem, v tomto prostoru ovšem hospodářsky využíván – pastva. Na pozůstatku bývalého břehu uprostřed toku se uchytil semenáček. Niva je široká a mělká.

Odsud dál je tok už rovnoměrný, místy jsou břehy i zpevněny kamennou opěrnou zídskou. O pár stovek metrů se jeho charakter začíná měnit v balvanité koryto.

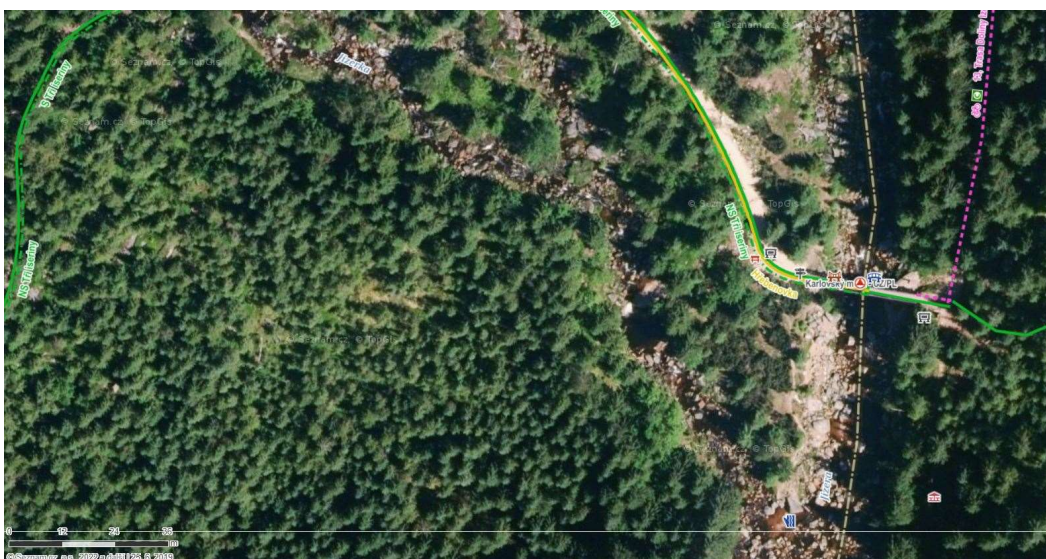


Obrázek 14: Lokalita 4: nepravidelný meandr, jasně patrná je nestabilita břehů (nepravidelná linie břehů). Směr toku od levého okraje. Zdroj: Mapy.cz ©2019

Č. 5: Ústí Jizerky do Jizery

Úsek se nachází na Jizerce těsně před zaústěním Jizerky do Jizery, na konci rozsáhlého ostrova v korytě řeky Jizerky. Sklon v této části toku dosahuje 77,3 ‰.

Koryto je balvanité, místy vyplněné jemnou frakcí (štěrkokopískem). Koryto je zde rozděleno na dvě. Pravé více protékané je užší (do 5 m) s prudším proudem, levé je širší (až 10 m), sušší, více balvanité. Tady je proud mírný s tišinami. Hloubka toku průměrně kolem 15 cm.



Obrázek 15: Lokalita 5: úsek se nachází mezi ostrovem Jizerky (přitéká zprava (na obrázku z levého okraje)) a ústím do Jizery (přitéká od horního okraje). Patrné je zahloubené balvanité koryto a významná dřevní vegetace, která je zdrojem dřevní hmoty v korytě. Zdroj: Mapy.cz ©2019

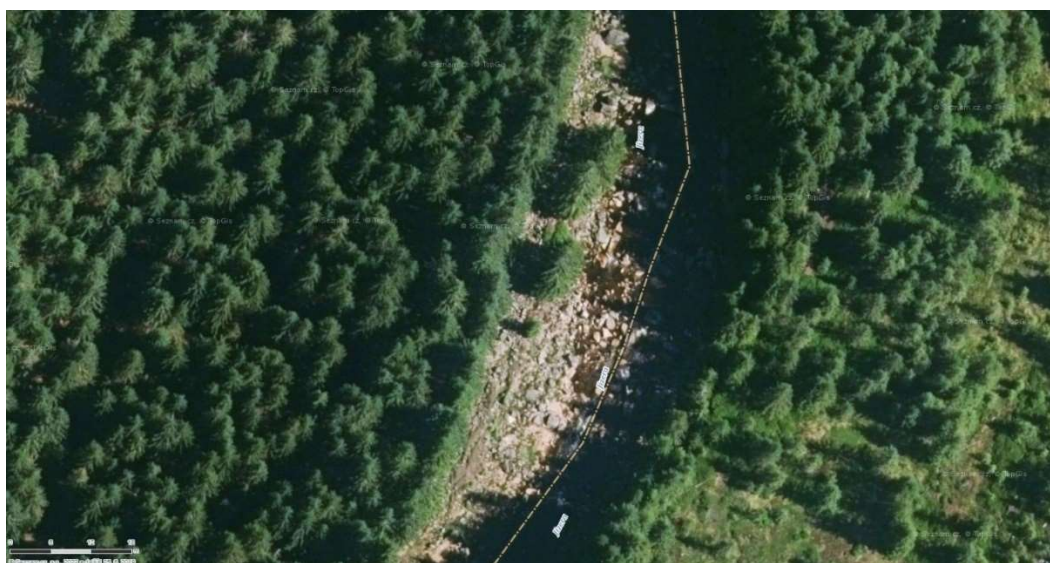
Ostrov je značně rozměrný (na délku přes 80 m, šířka v nejširším místě 20 m), tvořený balvany. Vegetace je stromová (plně vzrostlá), spolu s nízkým keřovým patrem – zejména borůvčí a mechorosty. Travní porost pouze minimálně na okrajích.

Přítomné volné dřevo v korytě – převážně vyvrácené stromy menšího vzrůstu.

Č. 6: Možný stranový pohyb koryta – Jizera

Úsek se nachází necelý 1 km pod zaústěním Jizerky do Jizery ve vrcholové části pozvolného pravotočivého oblouku. Koryto je zde rozdělené ostrovem na dvě ramena. Pravé, užší, asi 7 m, je periodicky zaplavované, tvořené kamením až balvany a jemnou frakcí. Je zde přítomna travní vegetace jevící známky nedávného zaplavení (na travních stéblech patrné jednosměrné proudové působení). Levé koryto, širší, celkově cca 20 m, je balvanité s přítomnou jemnou frakcí. Balvany tvoří příčné prahy, tudíž v korytě vznikají hluboké průtočné tůně s tišinami a akumulací jemného sedimentu, střídající peřejnaté úseky. Průměrný sklon úseku: 53,3 ‰.

Česká (pravá) strana řeky je podél toku rovinatá, polská (levá) strana se prudce zdvihá. Pravý břeh je mírně vyvýšený, pokračující v zatravněné sníženině, tvarem nápadně připomínající koryto. Nejspíše se jedná o dřívější rameno, které se postupně zazemnilo. Vzhledem k jeho tvaru pravděpodobně při vyšších stavech vody dochází k periodickému zavodnění přelivem přes vyvýšeninu směrem ke korytu. Může se ale také jednat o neprůtočnou tůň mimo hlavní koryto. Případně je současná neprůtočná pozůstatek dřívějšího ramene. Podle geologické mapy je celá pravá břehová část tvořena nivním sedimentem.



Obrázek 16: Lokalita 6: balvanité koryto a ostrov se vzrostlou vegetací oddělený od břehu periodicky protékaným ramenem. Zazemněné rameno se nachází v levé polovině snímku. Jedná se o

sníženinu terénu v širším úseku záplavové oblasti. Směr toku od horního ke spodnímu okraji. Zdroj: Mapy.cz ©2019

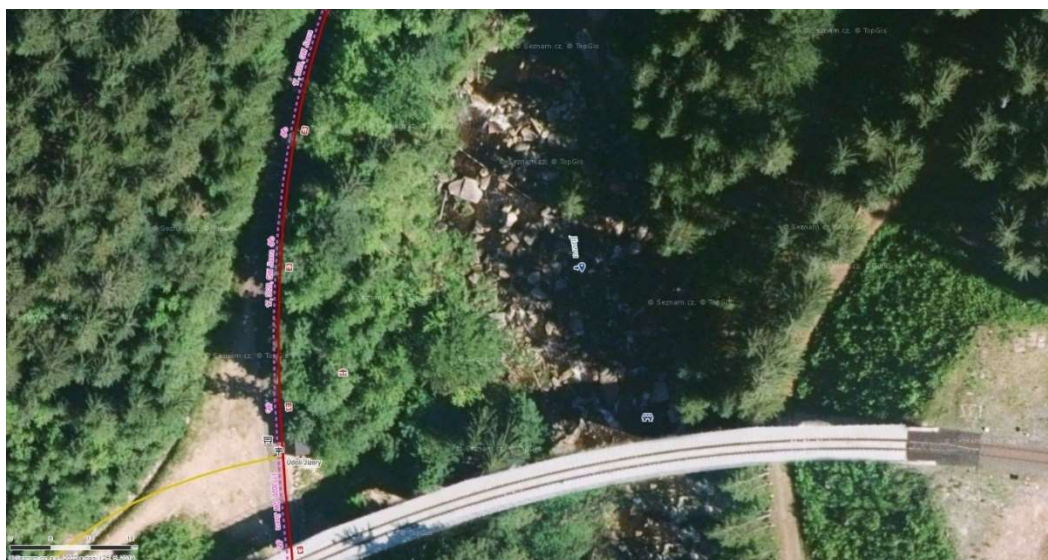
Pokud se skutečně jedná o zazemněné staré koryto, byl by to důkaz stranového pohybu koryta v příkladu přírůstu meandru. Vzhledem k zalesnění není ortofoto snímek moc užitečný. Každopádně se ale jedná o součást současné nivy a jediné místo, kam se může řeka v tomto úseku úzce sevřeného údolí rozlévat.

Ostrov (délka 40 m, šířka 5 m) obtékáný oběma koryty je spíše balvanitý, přesto s přítomností stromové vegetace. Dřevo v korytě nebylo v tomto místě pozorováno.

Č. 7: Balvanitý skluz pod železničním mostem – Jizera

Na začátek je třeba poznamenat, že přesto že je úsek volený pod technickou stavbou (železniční most), stavba koryto nijak nepozměňuje. Potenciálně zpevňuje břehy a brání tak přirozenému rozšiřování koryta, ale vzhledem k povaze koryta v tomto úseku (dno tvořené pevnou skálou s přítomnými balvany), má zpevnění břehu minimální dopad. Sklon toku v úseku 46,7 ‰.

Břehy (vyjma betonového opevnění na pravém břehu (zděný pilíř sedí na betonovém základu), kde tvoří součást toku (na levém břehu do toku nezasahuje)) jsou tvořeny skálou a kamením až postupně přecházejí v hliněné s prudkým sklonem.



Obrázek 17: Lokalita 7: Samotný balvanitý skluz je ve snímku ortofota zakryt tělesem železničního mostu, patrné je ale balvanité koryto s příčnými akumulacemi značící stupně nebo peřeje. Směr toku od horního ke spodnímu okraji. Zdroj: Mapy.cz ©2019

Šířka koryta v tomto místě je 20 m. Jak už bylo zmíněno, dno i břehy jsou tvořeny tvrdou skálou (úzce sevřené údolí). Větší část neporušené skály vytváří v peřejnatém úseku skluz.

Jedná se o úsek toku s vysokým sklonem – přibližně na 3 m dochází k výškovému poklesu o půl metru. Pod skluzem vzniká tůň zakončená dalším stupněm.

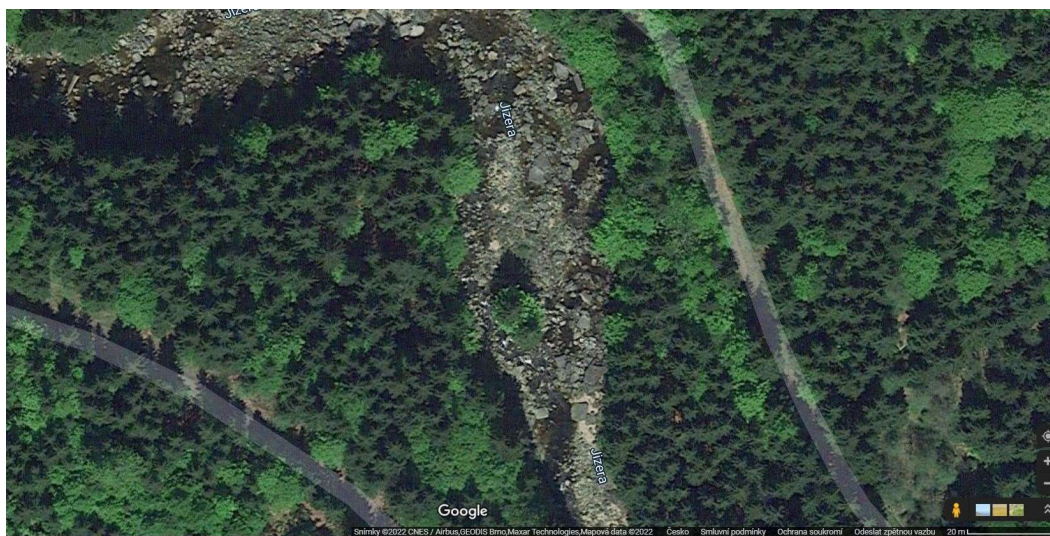
Č. 8: Nízké balvanité stupně pod obloukem nad Olšinou – Jizera

Úsek se nachází pod obloukem vznikajícího meandru přibližně ve dvou třetinách Jizerské cesty mezi železničním mostem a prvním mostem pro pěší po Karlovském mostě v Kořenově (most Hoftík). Průměrný sklon v úseku: 40,9 ‰.

Koryto je balvanité s celkovou šířkou v tomto místě 30 m. Břehy jsou vysoké a prudké, na obou stranách zpevněné stromovou vegetací, místy kamenité, místy hlinité, na pravém břehu s jemnějšími nánosy (hrubý písek, oblázky).

Uprostřed proudu vzniká na tvrdší skále ostrov se vzrostlou vegetací (travní porost + dřeviny). Šířka ostrova je kolem 10 m, délka 25 m.

Příčně zde kameny vytvářejí nízké stupně střídané s hlubšími tůňkami. Maximální hloubka vody do 40 cm. V korytě občasné přítomné naplavené dřevo.



Obrázek 18: Lokalita 8: patrná kombinace stupňů a tůň. Jasně patrné jsou i rozsáhlé středové balvanité akumulace na začátku a konci oblouku, oba mírně zpevnění vegetací. Směr toku od horního ke spodnímu okraji. Zdroj: Google Maps ©2022.

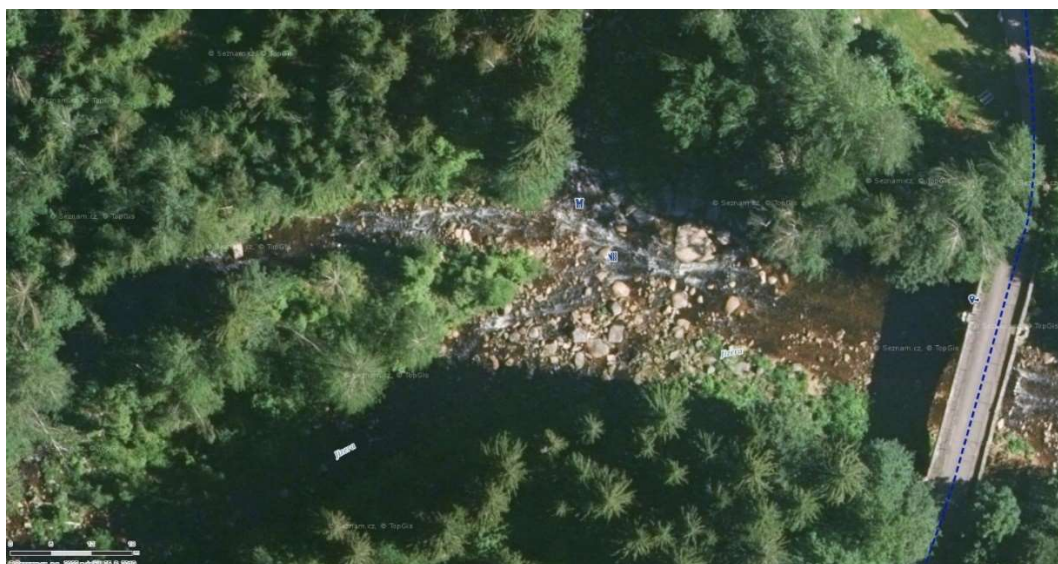
Č. 9: Mýto – Jizera na přítoku Mumlavy

Mýto je orientačně významným bodem v okolí. Nachází se zde sedlový předěl mezi Jizerskými horami a Krkonošemi. Také se jedná o významnou dopravní křižovatku silnic I. tříd I/14 z Liberce do České Třebové a I/10 z Harrachova na Turnov. Také se zde zleva vlévá do Jizery její dosavadní největší přítok Mumlava. Průměrný sklon v úseku: 24,2 ‰.

Úsek je umístěný nad samotným přítokem. Koryto Jizery je v tomto místě značně balvanité (vynořené balvany značných rozměrů), místy vytvářející podélné balvanité akumulace, za vyšších stavů vody přelivné, bez vegetace. Přibližně uprostřed řeky se nachází rozměrný ostrov (v nejširším místě i 25 m, délka téměř 90 m) se vzrostlou stromovou vegetací.

Místo soutoku je široké. Koryto dosahuje v nejširším místě (i s ostrovem) téměř 50 m. Výška vody je do 40 cm. Pravý břeh je pozvolný, není přesně vymezený, volně přechází z kamenů v hlinitý břeh se stromovou vegetací. Tak pokračuje 15 m než se začne zvedat v ostřejším slonu. Jedná se o konvexní již zpevněnou náplň oblouku. Levý břeh je u řeky prudký, ale poté přechází v krátkou rovinku sedla.

Přítomnost mrtvého dřeva v tomto úseku minimální.



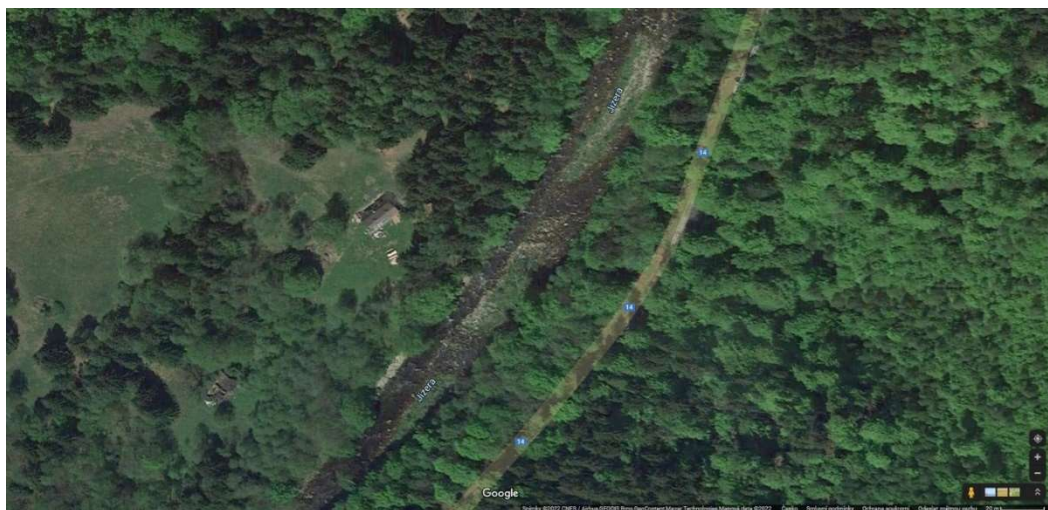
Obrázek 19: Lokalita 9: ústí Mumlavy (přitéká od horního okraje) do Jizery (od levého okraje k pravému). Na první pohled zaujme rozlehlý ostrov se vzrostlou vegetací před samotným soutokem. Patrné jsou proudnice toku, balvanité koryto a tvorba tůňi a peřejí. Zdroj: Mapy.cz ©2019

Č. 10: Trojice ostrovů ve spodní části meandru u osady Zabyly – Jizera

Zabyly je osada, vzdálená asi 1 km vzdušnou čarou nad Vilémovem. Úsek se nachází cca 200 m od místa ústí Prudkého ručeje (potok, levostranný přítok Jizery). Sklon úseku: 33,3 ‰.

Koryto je zde široké (celková šířka asi 20 m) a celkem mělké (do 60 cm). Břehy jsou hlinité, zpevněné kořenovými systémy, prudkého sklonu, místy jsou zde patrné rozsáhlé břehové nátrže. Dno je tvořeno kameny a většími balvany, vyčnívajícími nad hladinu. Samotné ostrovy jsou tvořeny kameny doplněnými o jemnější materiál (hrubý písek – písek) a pokryté nenáročnou travní vegetací a náletovými dřevinami. Ostrovy jsou přibližně oválného tvaru o rozměrech 9 x 45 m, 15 x 60 m a 12 x 75 m.

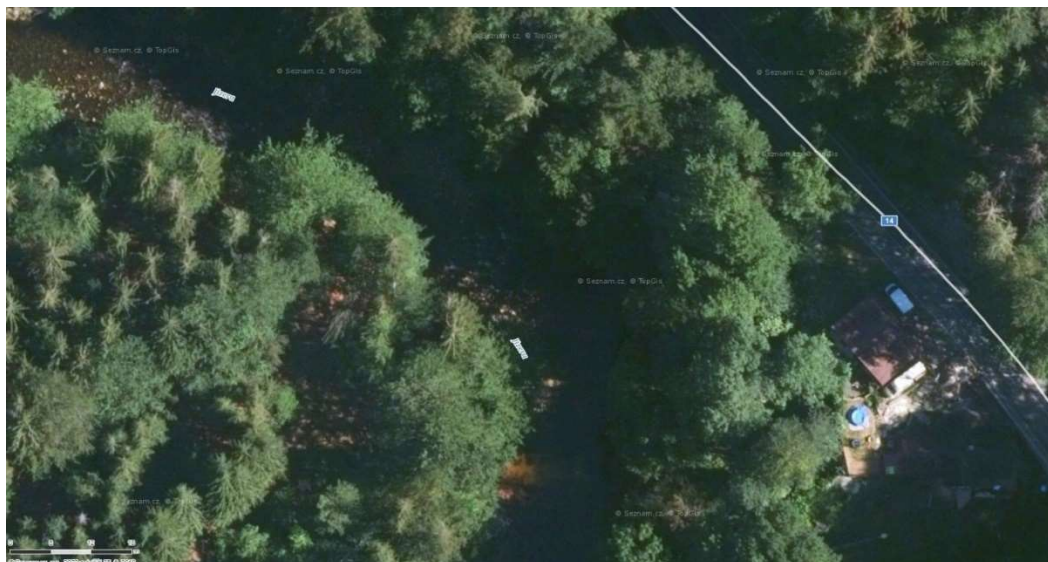
Na ostrovech, v toku i březích je přítomné mrtvé dřevo.



Obrázek 20: Lokalita 10: Jasně patrná trojice ostrovů zpevněná nízkou vegetací. Koryto už z balvanitého přešlo ve valounové. Směr toku od horního ke spodnímu okraji. Zdroj: Google Maps ©2022.

Č. 11: Meandr Vilémov – Jizera

Úsek se nachází asi 200 m od jezu ve Vilémově (137,2 km). Místo je přímo na rozhraní mezi Krkonošským národním parkem (levý břeh) a CHKO Jizerské hory (Pravý břeh). Po obou stranách řeky se svah zvedá prudce vzhůru, místy tak strmě, že se přechází do skalní stěny. O skalní stěnu se opírá i vrchol zákruty. Meandr pravděpodobně vznikl vychýlení toku řeky skálou o vyšší tvrdosti. Břeh je po obou stranách zalesněný. Asi 100 m nad tokem ve svahu pravého břehu vede silnice I. třídy I/14. Sklon toku v tomto úseku: 19,2 ‰.



Obrázek 21: Lokalita 11: Nepříliš zřetelný výřez ortofotomapy. Konkávní tůň a konvexní náplň tvořená valouny. Nad obloukem drobné peřeje. Směr toku od horního ke spodnímu okraji. Zdroj: Mapy.cz ©2019.

Samotný zákrut je na relativně rovinaté ploše. Mělké peřeje (maximální hloubka 60 cm), tvořící střední část meandru přecházejí, v hlubokou tůň s hloubkou asi 1,5 m. Dno je kamenné

až balvanité s přítomností jemnější usazené frakce. Konvexní náplň o šířce 8 m má smíšený charakter (hrubý písek až balvany). Šířka toku v tomto místě přibližně 20 m. Náplavy konvexního břehu vytvářejí stupňovitý břeh zpevněný vegetací, ovšem kořeny stromů jsou na některých místech podemleté, takže zde při vysokých průtocích pravděpodobně dochází k významné erozi.

V korytě i blízkém okolí toku je přítomno mrtvé dřevo.

5.2 Aplikace jednotlivých metodik na vybrané úseky toku

Aplikace morfologických typologií bude probíhat na zvolených kontrolních úsecích.

5.2.1 Metodika podle Rosgena (1996)

Podle metodiky dle Rosgena byly kontrolní úseky rozřazeny do 7 kategorií. Jsou to kategorie A1, A2, B1a, B1, B3, B3c a E5.

Nejvíce úseků (4) spadají do říčního **typu E5**. Jsou to všechny úseky vázající se na etchlén Jizerky. Jmenovitě to jsou úseky č. 1: Borkoviště nad mostem Jizerské silnice – Jizerka, č. 2: Borkoviště pod mostem Jizerské silnice – Jizerka, č. 3: Okraj Vrchoviště – Jizerka a č. 4: Meandr po Lasičí cestou – Jizerka.

Jedná se o mělké koryto s dobře vyvinutou nivou v širokém údolí. Je zde přítomný typický systém kombinace brodu a tůň. Sklon údolí je menší než 2 ‰. Materiál v toku je jemnozrný. Koryta bývají stabilní, nikam se nepřesouvají (Rosgen, 1996).

Druhým nejčastějším typem je **typ A1**. Sem byly zařazeny úseky č. 5: Ústí Jizerky do Jizery a č. 7: Balvanitý skluz pod železničním mostem – Jizera.

Jedná se o toky zahloubené ve skalním podloží, ve vysokých sklonech mezi 4 – 10 ‰, se strmými břehy. Typické jsou kaskády, střídání stupňů a tůní, skluzy nebo série vertikálních poklesů až vodopádů. Častý je výskyt mrtvého dřeva v korytě. Poměr šířky a hloubky bývá nízký. Tok je relativně přímý. Skalní podloží je většinou doprovázeno balvany, valouny a může se vyskytovat i štěrk (Rosgen, 1996).

Další je **typ A2**. Ze sledovaných úseků sem spadá pouze č. 8: Nízké balvanité stupně pod obloukem nad Olšinou – Jizera

Jsou to strmé toky (4 – 10 ‰) hluboce zaříznuté do sevřeného údolí. Boční svahy jsou strmé, časté jsou suťová pole a svahové sesuvy hrubých materiálů. Z korytových forem jsou

nejčastější střídání stupňů a tůní, pokud ovšem sklon přesáhne lokálně 10 %, tvoří se kaskády a skluzy. Typické je nízké zakřivení i poměr hloubky a šířky, ovšem při významném výskytu balvanité frakce může být poměr šířky a hloubky větší než 12. Typickým materiálem je skalní podloží spolu s balvany doplněné místy o valouny a štěrky. Tento typ toku má vysokou energii, ale nízkou obsah sedimentů. Břehy bývají stabilní a materiálově příliš nepřispívají (Rosgen, 1996).

Typ B1 ze sledovaných úseků zahrnuje úsek č. 9: Mýto – Jizera na přítoku Mumlavy.

Středně zahloubený tok ve skalním podloží se sklony mezi 2 a 4 %. Můžou se vyskytovat strmější svahy, většinou jsou ale mírné, a koryto je stále široké a mělké. V materiálu koryta dominuje skalní podloží, ale přítomny jsou balvany, valouny i písek. Břehy jsou obvykle tvořeny jemnějším materiálem než dno koryta. Tento typ je považován za stabilní typ toku s nízkým zdrojem sedimentů. Z korytových tvarů dominují přejeje v kombinaci se zahloubenými tůněmi (Rosgen, 1996).

Typ B1a je obdobný typu B1. Vyznačuje se pouze vyššími sklony v rozmezí mezi 0,04 – 0,09 (Rosgen, 1996). Ze sledovaných úseků se jedná pouze o úsek č. 6: Možný stranový pohyb koryta – Jizera.

Typy B3 a B3c se nacházejí už v oblasti nižších sklonů v blízkosti konce vybrané zájmové oblasti. Typ B3 zahrnuje úsek č. 10: Trojice ostrovů ve spodní části meandru u osady Zabyly – Jizera a typ B3c poslední úsek č. 11: Meandr Vilémov – Jizera.

Jedná se o mírně zahloubené toky se sklony v rozmezí 2 – 4 %. Hlavním materiálem toku jsou valouny. Typickým útvarem jsou přejeje. Tůně jsou od sebe vzdáleny 3 – 4 šířky koryta (u B3c je to 4 – 5). Poměr šířky a hloubky je mírný a zakřivení je vyšší než 1,2. Materiál koryta se skládá z zejména z valounů s občasným výskytem balvanů a jemných materiálů (štěrku i písku). Dno je stabilní, uvolňuje pouze malé množství sedimentů během významných odtokových událostí. Důležitou součástí toku je i mrtvé dřevo (Rosgen, 1996).

5.2.2 Šindlar

Rozřazením dle Šindlara získáme pouze dva geomorfologické typy – meandrující toky (vrcholový úsek Jizerky) a hloubková eroze (všechny ostatní úseky (č. 6 – 11)).

Hloubková eroze v horských pramenných oblastech (**DE**) se vyznačuje údolím ve tvaru V, žádnou nebo minimální nivou, skalním podložím a dlouhodobou erozí dna. Vysokoenergetické toky, hlavním korytotvorným procesem je hloubková eroze. Zdroj

splavenin buď v ploše povodí, erozí v tocích nebo boční erozí údolí. Skalní podloží udržuje relativní stabilitu dna (Šindlar, 2012).

Z korytových tvarů jsou běžné akumulace (stranové, příčné, středové) z hrubých materiálů, kombinace stupňů a tůní, přejeje, vodopády, terasy apod.

Meandrující koryto (MD) se skládá z jednoho výrazně zakřiveného koryta v meandrujícím pásu vinoucím se kolem údolnice. V rámci nivy se často vyskytují odstavená ramena. Nízkoenergetický tok převážně nížin, hlavním korytotvorným procesem je boční eroze a akumulace splavenin v nivách. Míra postupu procesu eroze je závislá na výskytu vegetace v nivě (Šindlar, 2012).

Typicky se zde nachází střídání tůní a brodů, časté jsou dnové útvary (duny, vrásky), boční nátrže a podélné akumulace v konkávních březích.

5.2.3 Fryirs a Brierley

Podle metodiky dle Fryirsově a Brierleyho (2013), spadají zvolené řeky do 4 typů: meandrující koryto (meandering rivers), rokle (gorge), toky sevřených údolí s nesouvislou nivou (confined valley with occasional flood plain pokets rivers) a řeky v částečně sevřených údolích s nesouvislou nivou omezené skalním podložím (rivers partly confined valley settings with bedrock-controlled discontinuous floodplain).

Meandrující koryta popisují stejně jako u předchozích metodik rovinný vrcholový úsek Jizerky (úseky 1 – 4).

Jedná se primárně o jedno korytové systémy, ale v místech přerušení může dojít k lokálnímu dělení toku. Koryto má charakteristický klikatý tvar (poměr délky koryta a délky údolí je větší než 1,3). Sklon i energie je na středních hodnotách. Stabilita břehů je závislá na vegetaci a složení sedimentů. Koryta se štěrkovým nebo písčným dnem se většinou stranově pohybují. Eroze konkávního břehu je pak kompenzovaná akumulací na konvexním břehu (Fryirs a Brierley, 2013).

Častými útvary jsou duny, hřebeny, břehové akumulace, nebo odříznutá ramena. V příčném řezu má koryto asymetrický tvar. Niva břehu je často tvořena příbřežními mokřady, které znemožňují další břehový posun. Niva bývá rovněž plochá rovinatá s vysokou možností rozlivu (Fryirs a Brierley, 2013).

Rokle se vyskytuje pouze v lokalitě č. 7: Balvanitý skluz pod železničním mostem – Jizera.

Rokle se buď zařezávají do terénu prostřednictvím sestupných toků, nebo se prořezávají vyzdviženým terénem. V obou případech je výsledkem svahově omezený kanál. První případ vzniku s sebou přináší zejména vodopády, k těm ovšem dochází jen v případě tektonického lomu apod. Oba jsou formovány dnovou erozí. Další typické tvary jsou kaskády, přeje, podlouhlé proudnice a tůň. Na vznik jednotlivých tvarů má zásadní vliv podloží a chod sedimentů z pramenné oblasti. Pokud je v toku přítomné dřevo, koryto může dočasně tvořit náplavy (Fryirs a Brierley, 2013).

Toky sevřených údolí s nesouvislou nivou se nacházejí na lokalitách č. 5: Ústí Jizerky do Jizery, č. 8: Nízké balvanité stupně pod obloukem nad Olšinou – Jizera a č. 9: Mýto – Jizera na přítoku Mumlavy.

Koryto se obvykle ve většinové délce dotýká svahů údolí, avšak místy se objevují prostory pro rozvoj nivy, obvykle v místech soutoku nebo náhlých posunů. Typickými tvary jsou skalní stupně, tůň, obří hrnce a proudnice. Složení materiálu se může pohybovat od hlinitých v nivě, až po štěrk v korytě. Mohou se vyskytovat opuštěné kanály zakryté vrstvou aluviálních sedimentů (Fryirs a Brierley, 2013).

Řeky v částečně sevřených údolích s nesouvislými nivami kontrolovanými skalním podložím byly identifikovány v lokalitách č. 6: Možný stranový pohyb koryta – Jizera, č. 10: Dvojice ostrovů ve spodní části meandru u osady Zabyly – Jizera a č. 11: Meandr Vilémov – Jizera.

Tyto řeky se obvykle nacházejí v klikatých údolích. Do kontaktu se svahy údolí dostávají v 50 – 90 % svojí délky. Kapsy nivy se tvoří v chráněných oblastech s nízkými rychlostmi proudy, nejčastěji v ohybech. Koryto tak má tendenci vytvářet nepravidelné dno se stupni, balvanitými akumulacemi nebo tůňemi ve skalním podloží. V závislosti na stupni vývoje nivy může nepravidelný (pouze samostatný náplav) nebo relativně rovný, doplněný jemnějšími materiály. Významný vliv na stabilitu nivy má její vegetační zakrytí.

5.3 Vyhodnocení

Při hodnocení toků dle **Rosgena (1996)** bylo dosaženo přijatelné úrovně podobnosti mezi předepsaným typem a faktickým tvarem reálné řeky. Větší nesoulad nastal pouze u typů B3 a B3c. Podle poměru šířky nivy ku šířce koryta patří oba úseky (9 a 10) do kategorie B, nicméně i míra zakřivenosti neodpovídá.

Oba úseky se nacházejí v závěrečné části Jizerského dolu (úzké uzavřené údolí Jizery), kdy se údolí začíná mírně rozevírat, nicméně míra zakřivení toku se stále blíží jedničce. Tok je sice zakřivený, ale ne vůči svému údolí.

Další nesrovnalost byla u úseku 8, kdy neseseděl výskyt materiálu. V tomto případě se to ovšem dá vysvětlit poklesem energie toku vlivem vysoké hodnoty poměru šířky ku hloubce, kterou ovšem Rosgen (1996) připouští pod podmínkou přítomnosti balvanů v korytě (což úsek splňuje).

Rosgen (1996) také vůbec nezohledňuje přítomnost ostrovů nebo vůbec středových akumulací v korytě o jednom kanálu, což je u vymezené zájmové lokality velmi častý jev. To může působit podhodnocení poměru šířky a hloubky.

Velký kladem analýzy je ovšem konzistence topologie, která je tak díky tomu vhodná k porovnávání koryt mezi sebou.

Šindlar (2012) přistupuje k rozdělení typologie do základních typů dost zjednodušeně, pro hlavní představu dostatečně, nicméně pro geomorfologické vyhodnocení je to nedostačující.

Pro toky erozních oblastí definuje pouze hloubkovou erozi a akcelerovanou erozi a její subtypy. Tok Jizery ale neodpovídá ani jednomu, blíže však má k hloubkové erozi, neboť eroze probíhá vytrvale a převážně na dně (dochází k zahlubování koryta ne rozšiřování nivy).

U meandrujících toku je zase typ označen jako plně vyvinuté meandrování. I tady je problém. Ne vždy je v meandrujícím toku plně aktivní stranový pohyb, viz. metodika Fryirsově a Brierleyho (2013) v kapitole 4.2.3 obrázek 7.

Metodika **Fryirsově a Brierleyho (2013)** zvládla velmi přesně vyhodnotit drobné nuance, které ostatní metodiky nezvládly pojmut. Vliv na to má i způsob, jakým probíhá vyhodnocování – kvalitativním popisem, a ne přesným rozdělením kvantitativním parametrem jako poměr šířky hloubky nebo energií toku apod.

Kvalitativní popis je jediná nevýhoda metodiky vyhodnocení tedy může být zatíženo subjektivním pohledem hodnotící osoby. Například někdo může ohodnotit trav jako peřej, někdo jiný jako run v kamenitém korytě (nejpřesnější překlad proudnice).

Dobrá shoda všech metodik nastala u meandrujícího koryta. U koryt větších spádů se metodiky rozcházejí. Největší problém má v tomto bodě Šindlar, který všechny typy, které ostatní autoři rozděluje, popisuje jako hloubkovou erozi. Nejpresnější metodika je geomorfologická analýza Fryirsově a Brierleyho (2013).

6. Diskuze

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole nejlépe při klasifikaci vybraných vodních toků se dopadla metodika podle Fryirsové a Brierleyho (2013). Je to nejkompexněji uchopená práce na téma geomorfologické analýzy.

Naopak překvapivě nejhůře dopadla metodika Šindlara a kol. (2012), u které se očekávala nejlepší shoda vzhledem k tomu, že metodika byla na datech těchto toků vypracovávána. Jizera byla jednou z řek využitých pro geomorfologickou analýzu a Jizerka patřila mezi toky zohledněné při kalibraci parametrů metodiky.

Typologie dle Šindlara a kol. (2012) je nicméně platná pro svoje zaměření, čímž je návrh revitalizačních koryt v narušeném systému.

Je tedy systém přepočtu průtoku toku na energii výhodný?

Ano. Dává do souvislosti množství nesených sedimentů se sklonem a průměrným průtokem, což napoví způsobu uložení sedimentů, a tudíž převažující přirozeně vznikající formě v údolí s danými podmínkami. Další důvod, proč se vyplácí přepočtení průtoku na energii, je zřejmý při pohledu na dva podobně vodnaté toky, ideálně ve stejné oblasti (stejná geologie, klima apod.), lišící se pouze ve sklonu.

Šindlarova typologie (2012) měla největší nedostatky u vysokoenergetických toků. V případě bližšího rozpracování a doplnění této oblasti může být metodika plně funkční pro hodnocení stavu toků v průběhu celého podélného profilu.

Analýza dle Fryirsové a Brierleyho (2013) je dobrá pro zhodnocení stavu toku a předpovědění, jakým směrem se bude pravděpodobně dále vyvíjet. Pro návrh revitalizací je ale příliš komplikovaná.

Aby byla analýza snadno aplikovatelná na například vypracovávání revitalizací, bylo by dobré kvantitativní popis převést kvantitativních parametrů výtahem hlavních parametrů a jejich rozptylu. Nicméně hodnocení budoucího vývoje by se takto převádělo asi jen těžko, takže pro zachování informační hodnoty by část musela setrvat formou kvalitativního popisu.

Klasifikace dle Rosgena (1996) je příjemnou střední cestou. Krom velmi jednoduché aplikace také dává do souvislosti různé tvary údolí s tvary toků, čímž lze nejen zařadit přírodní řeku, ale podle tvaru údolí i určit jaký tvar by nejlépe odpovídal. Toto je nejspíš důvod, proč je metodika dle Rosgena (1996) hojně využívána pro revitalizace toků v USA (Galia, 2017).

Při vyhodnocení přesnosti Rosgenovy klasifikace (1996) byly drobné nedostatky v šířkách intervalů jednotlivých typů. Rosgen udává, že se intervaly mohou mírně přesouvat. Pro

perfektní vyhodnocení vybraných úseků by tedy bylo zapotřebí provést kalibraci metodiky na místní geologické a klimatické podmínky.

Nejlepší shoda metodik panovala v určení meandrujícího typu. Tento výsledek je pochopitelný, je to ostatně jeden z celosvětově nejrozšířenějších vzorů (Galia, 2017). Popisy tohoto vzoru probíhaly už od 50. let minulého století. Jako první se tohoto úkolu zhostili Leopold a Wolman (1957) nebo později Kellerhals a kol. (1976).

7. Závěr a přínos práce

Řešení geomorfologie toků je v běžné praxi naprosto nepostradatelná pro manažerské práce v oblasti půd a zdrojů. Problematické prvky povodí jako nadměrná eroze, problém s nánosy materiálu, říční nestability, problémy s nedostatkem nebo kvalitou vody – to všechno se dá řešit pomocí revitalizace říčních systémů.

Velmi často se ovšem stává, že revitalizace takřkajíc „nepřežije“ první velkou vodu. Jinak řečeno revitalizační opatření jsou nefunkční. Je proto nutné pro danou oblast zvolit správný přístup.

Metodiky vznikaly s jistou představou, k čemu by měly sloužit a tu představu také odrážejí ve svém zpracování.

Jak už bylo zmíněno v kapitole Diskuze, nejpovedenější bylo srovnání podle geomorfni analýzy dle Fryirsové a Brierleyho (2013), druhá byla metodika Rosgena (1996) a nejméně přesná byla metodika podle Šindlara (2012).

Cílem práce bylo napomoci k rozšíření současného poznání hydromorfologie a hydromorfologického procesu, a přispět tak ke zlepšení inženýrských aplikací při přírodě blízkých úpravách a revitalizacích vodních toků. K čemuž bylo zapotřebí kritické srovnání se stávajícími světovými i českými typologiemi vodních toků a vyhodnotit jejich funkčnost. Pevně věřím, že práce napomůže ke kritickému nahlížení na vybranou metodologii, a tak snad i k lepšímu uchopení revitalizací vodních toků.

8. Zdroje

ODBORNÉ PUBLIKACE:

BALATKA, B. a PILOUS, V., 2009: Geomorfologické poměry v Jizerských horách. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s. 267-296. ISBN 9788087100080.

BALATKA, B., 2009: Horopis Jizerských hor. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s.258-266. ISBN 9788087100080.

BALATKA, B., DEMEK, J. 1987: Zeměpisný lexikon ČSR. Praha: Academia.

BUBENÍČKOVÁ, L., a KULASOVÁ A., 2009: Vodnost a jakost malých vodních toků v pramenné oblasti. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s.404-415. ISBN 9788087100080.

DEMEK, J., BALATKA, B., CZUDEK, T. LÁZNIČKA, Z., LINHART, J, LOUČKOVÁ, J., PANOŠ, V., RAUŠER, J. SEICHTEROVÁ, H., SLÁDEK, J., STEHLÍK, O., ŠTELC, O., VLČEK V. 1965: Geomorfologie Českých zemí. Nakladatelství Československé akademie věd. Praha.

EHLERS, J., GIBBARD, P. L., HUGHES, Philip D., and HUGHES, P. D., eds. 2011. Pleistocene Glaciations of Czechia. In: Quaternary Glaciations - Extent and Chronology: A Closer Look. Oxford: Elsevier, p. 37-46. ISBN 9780444535375

FLOUSEK, J., 2019: Krkonoše a klimatická změna. Fórum ochrany přírody 4/2019

FRYIRS, K. A. and BRIERLEY, G. J., 2013: Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape. Wiley-Blackwell, Hoboken. ISBN 9781405192743

GALIA, T., 2017: Fluviální Geomorfologie. Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta. Ostrava. ISBN 9788074649011

HEJCMAN, M., DVORAK, I. J.,KOCIANOVA, M., PAVLU, V., NEZERKOVA, P., VITEK, O., RAUCH, O. a JENIK, J. 2006: Snow Depth and Vegetation Pattern in a Late-melting Snowbed Analyzed by GPS and GIS in the Giant Mountains, Czech Republic. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 38(1), p. 90-98. ISSN 1523-0430.

HONSA, I., 2009: Mineralogie Jizerských hor. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s.231-245. ISBN 9788087100080.

JUST, T., VLADIMÍR · ŠÁMAL, V., DUŠEK, M., FISCHER, D., KARLÍK, P. A. PYKAL, J. 2003: Revitalizace vodního prostředí. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Praha.

KACHLÍK, V. a CHLUPÁČ, I., 2005: Základy geologie / Václav Kachlík. Historická geologie / Ivo Chlupáč. 2. Praha 1, Ovocný trh 3: Nakladatelství Karolinum, 2005. ISBN 8024602121.

KULASOVÁ, A. a BUBENÍČKOVÁ, L., 2009: Klima Jizerských hor. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s.349-367. ISBN 9788087100080.

Ottovo nakladatelství Praha, 2003a: Ottova všeobecná encyklopedie: ve dvou svazcích. 1.sv., A-L. Ottovo nakladatelství, Praha. 735 s.

Ottovo nakladatelství Praha, 2003b: Ottova všeobecná encyklopedie: ve dvou svazcích. 2.sv., M-Ž. Ottovo nakladatelství, Praha. 752 s.

PETRÁNEK, J., BŘEZINA, J., BŘÍZOVÁ, E., CHÁB, J., LOUN J., a ZELENKA, P. 2016: Encyklopedie geologie. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-901-1.

PILOUS, V., 2009a: Říční tvary a procesy v Jizerských horách. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s. 384-402. ISBN 9788087100080.

PILOUS, V., 2009b: Vrcholové, glacigenní, nivační a kryogenní tvary. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s.288-294. ISBN 9788087100080.

PILOUS, V., 2013: Neživá příroda Krkonoš. Živá, 4/2013. s. 160–163. ISSN 0044-4812.

PILOUS, V., 2019: Role říčních pirátství při vývoji reliéfu Krkonoš. Opera Corcontica, no. 56. s. 163-182. ISSN 0139-925X.

ROSGEN, D. 1996: Applied River Morphology. Wildland Hydrology, Pagosa Springs. ISBN 0965328902

SANDER, C. a ECKSTEIN, D., 2001: Foliation of spruce in the Giant Mts. and its coherence with growth and climate over the last 100 years. Annals of Forest Science. vol. 58, no. 2, s. 155-163. ISSN 1286-4560.

SKLENIČKA, P., 2003: Základy krajinného plánování. Nakladatelství Naděžda Skleničková. Praha. ISBN 8090320619

ŠINDLAR, M., ZAPLETAL, J. a PELÍŠEK, I., 2012: Geomorfologické procesy vývoje vodních toků. Vyd. 2. Hradec Králové: SINDLAR Group. ISBN 978-80-254-2445-2.

ŠÍR, M., TESAŘ, M., 2013: Water retention and runoff formation in the Krkonoše Mts. Opera Corcontica 50/S: 97–106.

ŠTURSA, J., 2013: Alpínská tundra Krkonoš. Živá, 4/2013. s. 171–174. ISSN 0044-4812.

TESAŘ, M. a PACZOS, A., 2009: Vodní toky Jizerských hor. In: Karpaš, R. (ed): Jizerské hory, o mapách kamení a vodě. Nakladatelství RK, Liberec, s. 384-402. ISBN 9788087100080.

VONIČKA, Pavel a VIŠŇÁK, Richard. Základní charakteristika zkoumaného území Jizerských hor a Frýdlantska. (General characteristics of the study area in the Jizerské hory Mts and Frýdlant region). Sborn. Severočes. Muz., Přír. Vědy, 2008, 13-33. ISBN 978-80-87266-00-7.

INTERNETOVÉ ZDROJE:

AOPK ČR ©2022: Správa CHKO Jizerské hory (online) [cit.2022.03.04], dostupné z <https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/>

CENIA, Česká Informační Agentura Životního Prostředí, ©2018: Národní geoportál INSPIRE [online] [cit.2022.02.27], dostupné z: <http://geoportal.gov.cz>

Česká geologická služba ©2022: Mapové aplikace online) [cit.2022.03.04], dostupné z <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>

Hušek, 2008: Jizerské hory. Ochrana přírody, 3/2008. (online) [cit.2022.03.27], dostupné z <https://www.casopis.ochranaprirody.cz/z-nasi-prirody/jizerske-hory/>

KRNAP ©2010: Správa Krkonošského národního parku (online) [cit.2022.03.04], dostupné z <https://www.krnep.cz/>

Věstník MŽP XVIII/11, listopad 2008: Metodika odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření. [citace 25.3.2018] dostupné z: http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/46/13885-zjednodusena_metodika.pdf

MAPOVÉ PODKLADY:

Geologická mapa 1:50 000. In: Geovědní mapy 1:50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

Ortofoto ČR Mapy Google [online]. Dostupné z <http://maps.google.com>

Ortofoto ČR Mapy Seznam [online]. Dostupné z <http://mapy.cz>

Pedologická mapa 1:50 000. In: Geovědní mapy 1:50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>