

**UNIVERZITA KARLOVA**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra fyzické geografie a geoekologie**

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Geografie a kartografie



**Václav Kavalír**

**HODNOCENÍ ANTHROPOGENNÍ MODIFIKACE ŘÍČNÍ SÍTĚ  
POMOCÍ HYDROMORFOLOGICKÉHO PRŮZKUMU  
NA PŘÍKLADU HORNÍHO TOKU METUJE**

*ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC MODIFICATION OF THE RIVER NETWORK  
USING HYDROMORPHOLOGICAL SURVEY AS AN EXAMPLE OF THE UPPER  
METUJE RIVER*

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Černčice, 2020

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Černčicích dne 6. 8. 2020

.....

Václav Kavalír

**Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mé školitelce RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za cenné rady, ochotu a odborné vedení této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Patrikovi Dianovi za jazykovou korekturu práce a Karolině Bílkové za pomoc s překladem odborného textu. Mé poděkování patří také přátelům a rodině za trpělivost a podporu při tvorbě této práce a v průběhu studia.

## **Abstrakt**

Lidské zásahy a s nimi spojený tlak na vodní toky a jejich ekosystémy jsou v současné době suchých let velmi diskutovanou problematikou. Předkládaná bakalářská práce se zabývá těmito zásahy do vodních toků a jejich vlivem na hydromorfologický stav. V rešeršní části práce jsou probírány základní poznatky z hydromorfologie, úprav toků s jejich negativními i pozitivními účinky na vodní tok s jeho okolím. Pro vyhodnocení hydromorfologického stavu byla užitá metodika HEM (Langhammer 2014) aplikovaná na horním toku řeky Metuje. Na základě výsledků je horní tok Metuje hodnocen celkově jako slabě modifikovaný. Méně narušené úseky najdeme v oblasti NPR Adršpašsko-Teplické skály. Největší zásahy jsou v oblasti intravilánu Teplic nad Metují, kde tyto zásahy jsou hlavně z období první republiky. Nejvíce je antropogenně ovlivněna oblast inundačního území. Trasa toku řeky byla celkově zkrácena o 1 569 m, tedy 7,5 % od poloviny 19. století, zejména v okolí Teplic nad Metují. Největší koncentrace různorodých modifikací je v oblastech zástavby.

**Klíčová slova:** Hydromorfologie, koryto toku, HEM, říční síť, horní Metuje

## **Abstract**

Human modifications and related pressure on watercourses of its ecosystem became greatly discussed problematic in the latest dry years. The translated bachelor's thesis deals with these encroachments on watercourses as well as with its impact on hydromorphological quality. In recherche there are discussed basic hydromorphological knowledge and modifications of watercourses with its negative and positive effects on the watercourse along with its surrounding. For the evaluation of the hydromorphological condition was used HEM methodology (Langhammer 2014) applied on upper course of the Metuje River. Overall, based on the outcome of the HEM methodology the upper stream of the Metuje River is evaluated as a weakly modified. Less disturbed sections can be found in the area of the National Nature Reserve Adršpašsko-Teplické skály. The largest modifications can be seen in the build-up areas of Teplice nad Metují, where these modifications come particularly from the period of the First Republic. The area of the floodplain, is the most affected area. Trace of the rivercourse was overall shorted by 1 569 meters, therefore 7,5 % since mid-19th century, chiefly in the surrounding of Teplice nad Metují. The greatest concentration of diverse modifications is in the build-up zones.

**Key Words:** Hydromorphology, channel, HEM, river network, upper Metuje river

## Obsah

<b>Seznam zkratk</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Úvod a cíle práce</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Hydromorfologie toku a jeho dynamika</b> .....	<b>11</b>
2.1. Vodní tok a jeho klasifikace .....	11
2.2. Korytotvorné procesy .....	14
2.3. Režim splavenin a plavenin .....	17
2.4. Role vegetace .....	18
2.5. Ovlivnění habitatu .....	19
<b>3. Úpravy toků</b> .....	<b>20</b>
3.1. Historie.....	21
3.1.1. Svět.....	21
3.1.2. Česko .....	22
3.2. Meliorace .....	24
3.3. Plošné změny krajinného pokryvu ve spojitosti s retencí vody v krajině.....	25
3.3.1. Lesní a lužní porosty .....	25
3.3.2. Mokřady.....	26
3.4. Vliv zásahů na vodní tok a jeho okolí.....	27
3.4.1. Opevnění břehů a dna.....	28
3.4.2. Zkracování a úpravy trasy .....	30
3.4.3. Tvary koryta a jejich zkapacitnění, zahloubení .....	30
3.4.4. Stupně v korytě toku.....	32
3.4.5. Znečištění vodních toků.....	32
3.4.6. Ostatní efekty antropogenních vlivů .....	33
3.5. Úpravy vodních toků a povodně.....	34
3.6. Revitalizační úpravy .....	36
<b>4. Metodika a zdroje</b> .....	<b>40</b>
4.1. Metodiky hodnocení hydromorfologického stavu .....	40
4.2. HEM 2014.....	41
4.3. Zdroje dat .....	46
<b>5. Fyzickogeografická charakteristika</b> .....	<b>48</b>
5.1. Vymezení zájmového území .....	48
5.2. Geologická charakteristika .....	49
5.3. Geomorfologická charakteristika.....	50

5.3.1. Polická pánev .....	51
5.3.1.1. Adršpaško-teplické skály .....	51
5.3.2. Polická stupňovina .....	53
5.4. Pedogeografická charakteristika .....	53
5.5. Biogeografická charakteristika .....	55
5.5.1. Flóra.....	56
5.5.2. Fauna .....	57
5.6. Klimatologická charakteristika.....	59
5.6.1. Teplota.....	60
5.6.2. Srážky.....	60
5.7. Hydrologická charakteristika.....	61
5.7.1. Charakteristika toku Metuje.....	62
5.7.2. Odtokové poměry.....	64
5.7.3. Povodně .....	67
5.8. Ochrana krajiny .....	68
<b>6. Výsledky .....</b>	<b>70</b>
6.1. Rozvržení úseků, stanovení referenčních podmínek .....	70
6.2. Koryto a trasa toku .....	73
6.3. Dno a podélný profil.....	77
6.4. Břeh a příbřežní zóna .....	82
6.5. Inundační území .....	87
6.6. Celkové hodnocení hydromorfologického stavu .....	92
<b>7. Diskuze.....</b>	<b>97</b>
<b>8. Závěr .....</b>	<b>100</b>
<b>9. Seznam zdrojů a literatury .....</b>	<b>101</b>
9.1. Internetové zdroje.....	114
<b>10. Seznam grafických prvků a tabulek .....</b>	<b>115</b>
10.1. Seznam obrázků .....	115
10.2. Seznam grafů.....	116
10.3. Seznam map .....	117
10.4. Seznam tabulek .....	117
<b>11. Seznam příloh .....</b>	<b>118</b>

## Seznam zkratek

AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
ČGS	Česká geologická společnost
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
ČSSR	Československá socialistická republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMR	Digitální model reliéfu
EcoRivHab	Ekomorfologické hodnocení kvality habitatu vodních toků
EN	Evropská norma
GIS	Geoinformační systém
HEM	Hydroekologický monitoring
CHKO	Chráněná krajinná oblast
CHOPAV	Chráněná oblast podzemní akumulace vod
MŽP ČR	Ministerstvo životního prostředí České republiky
NPR	Národní přírodní rezervace
PP	Přírodní památka

PR	Přírodní rezervace
Q	Průtok
RHS	River Habitat Survey
TNV	Technická norma vodního hospodářství
ÚSES	Územní systém ekologické stability
VaK	Vodovody a kanalizace
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
ZM ČR	Základní mapa České republiky



## 1. Úvod a cíle práce

Přeměna přírodní krajiny na kulturní je odpradáвна spojována se zásahy do habitatu vodních toků a jeho ovlivňováním. První větší zásahy jsou spojeny se středověkým budováním mlýnů, náhonů, pil, napájením rybníků či plavením dřeva. Většina zásahů do morfologie koryt a niv se u nás začala projevovat ke konci 19. století (Kopp, Řádek 2006). Jako počátek velkých technických úprav je považován rok 1890, kdy území Čech zasáhla tzv. zemská povodeň a společně s rozvojem mechanizace vznikaly podněty k úpravám a byly na ně uvolňovány vysoké finanční prostředky (Just 2017b). Hlavním cílem bylo zkapacitnění toků s rychlejším odtokem za účely ochrany staveb a zemědělské půdy. Také nastával rozvoj vodních cest a za tímto účelem bylo nutné splavnit velké toky (Kopp, Řádek 2006). S regulacemi velkých toků se rovněž upravovaly drobné vodní toky, kde bylo motivací zemědělství (Just et al. 2005). V této době bylo poznání nepříznivých účinků těchto úprav nedostatečné a až postupně bylo zjištěno, že vedou ke zrychlení postupu povodní, zhoršují sucho a vedou k celkové ekologické degradaci (Just 2017b). Ke změně došlo až se změnou politického systému v 90. letech 20. století (Kopp, Řádek 2006), kdy nastalé problémy vyvolaly zavedení vhodnějších opatření a revitalizací. Období mezi lety 1890–1990 lze nazývat „stoletím regulací“ (Just et al. 2005).

Většinu českých vodních toků, které jsou označovány za přírodní, musíme považovat za kulturně ovlivněné (Just 2017b). Zušují se meandrové pásy, břehové zóny, redukují se plochy koryt, tůňe, říční ramena, mokřady či se omezují zásoby podzemní vody. Těmito zásahy dochází k redukci vodní složky v krajině (Just et al. 2005; Kopp, Řádek 2006). Technické úpravy koryt vodních toků nepříznivě mění průtokový a splaveninový režim, zrychlují odtok velkých vod, snižují četnost zaplavení niv a stav podzemních vod v nich, znemožňují či ztěžují migraci vodních živočichů, omezují habitat pro původní živočichy, vedou ke snížení biodiverzity, zhoršují samočisticí schopnosti toku či estetický vzhled koryta (Just et al. 2005). Dnes již víme, že i revitalizované toky jsou schopny plnit funkce, které jsou spojeny s dříve prosazovanými nevhodnými úpravami toků (Kopp, Řádek 2006).

Cílem předložené bakalářské práce je zhodnocení fyzického habitatu a antropogenní modifikace říční sítě, konkrétně horního toku Metuje (přibližně 19 km dlouhého úseku) na základě užití metodiky HEM (Langhammer 2014) a průzkumu fluviálně morfologických procesů. Tato metodika je v souladu s Rámcovou směrnicí o vodní politice 2000/60/ES, současně i s normou ČSN EN 14614 a akceptována MŽP ČR (Langhammer 2014). Zájmové území horní Metuje bylo vybráno z důvodů znalosti lokality autorem, a protože zde nikdy podobný průzkum neproběhl. Tok se nachází v celé sledované délce na území CHKO Broumovsko.

Práce se nejprve zaměřuje na rešerši hydromorfologických metodických postupů a následně úprav vodních toků. V další části práce jsou diskutovány metody a zdroje dat společně s charakteristikou zájmového území. Poté jsou představeny výsledky průzkumu a následně jsou diskutovány.

## 2. Hydromorfologie toku a jeho dynamika

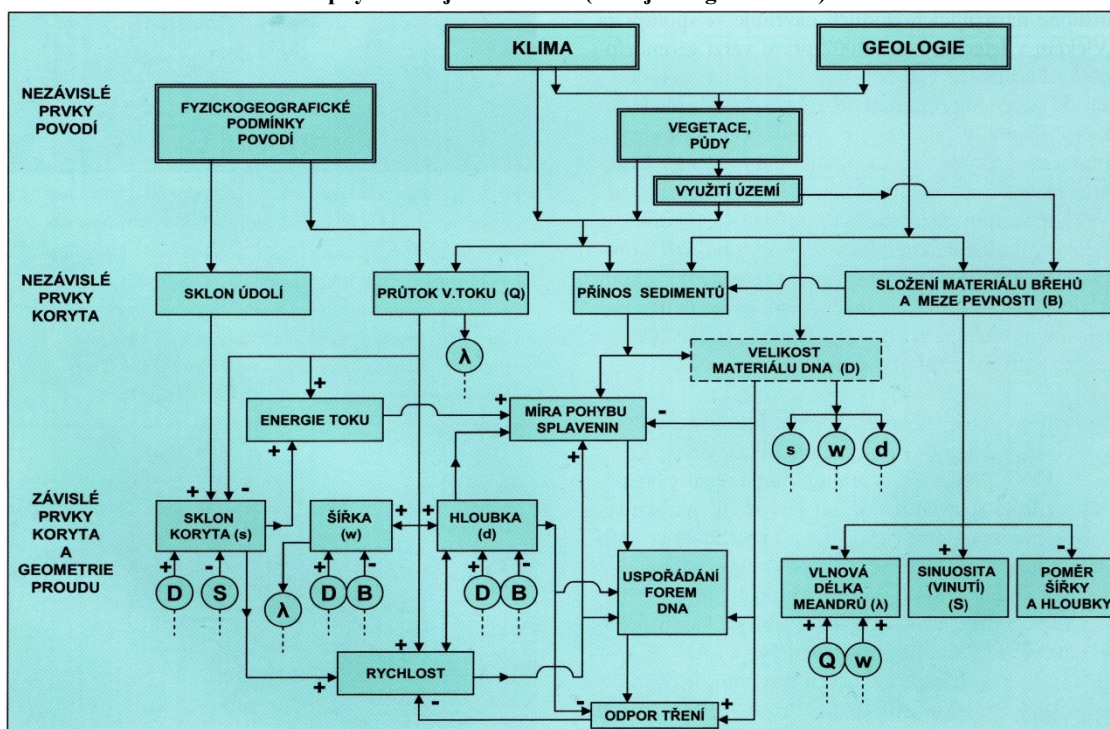
Hydromorfologii lze chápat jako samostatnou disciplínu propojující hydrologii s geomorfologií (Belletti et al. 2015; Rinaldi et al. 2017), a zabývající se tedy strukturou, vývojem vodních útvarů (Vogel 2011) a funkcemi vodních toků ve vztahu k okolí (Montgomery 1999). Vogel (2011, s. 2) definuje hydromorfologii jako „průnik vodního inženýrství a vědy zabývající se problémy, které souvisí se strukturou, vývojem a dynamickou změnou hydrologických systémů v čase“.

### 2.1. Vodní tok a jeho klasifikace

Tekoucí povrchová voda je hlavním odnosovým činitelem ve většině krajín z čehož vyplývá, že vývoj těchto krajín je přímo závislý na intenzitě fluvialních procesů. Tyto změny probíhají plošným, nesoustředěným odtokem, tzv. ronem a soustředěným v korytě toku, tedy vodním tokem (Demek 1987). Ruda (2014, s. 171) definuje vodní tok jako „vodu tekoucí v korytě ohraničenou dnem a břehy, kterým je odváděna srážková voda z území a podzemní voda do něj vyvěrající“. Definice je také ukotvena ve vodním zákoně, kde je vodní tok definován: „Vodním tokem jsou povrchové vody tekoucí vlastním spádem v korytě trvale nebo po převažující část roku a to včetně vod umělých nebo vzdutých. Součástí vodních toků jsou i vody ve slepých ramenech a v úsecích přechodně tekoucích přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo zakrytými úseky“ (Zákon 254/2001 Sb., hlava VI, §43).

Kondice, stav, vývoj či specifické charakteristiky vodních toků a jejich okolí jsou ovlivňovány mnoha nezávislými faktory, přírodními i antropogenními (Šípek, Matoušková, Dvořák 2010; Vogel 2011; Pavanelli et al. 2019), viz obr. 1. Základními přírodními činiteli jsou geologie, která ovlivňuje chemismus a geomorfologické procesy ve vodním toku a klima, určující teplotní režim, odtokové charakteristiky a druhovou rozmanitost fauny a flóry v toku a jeho okolí (Montgomery 1999). Velké množství fluvialně-morfologických charakteristik je podmíněno také typem údolí (Matoušková 2003), protože topografie určuje sklon koryta či sesuvové procesy, podstatnější ve strmějším horském prostředí. Z antropogenních faktorů kromě celkové transformace říční sítě má velký vliv i destrukce staveb při povodních (jezů, hrází, mostů), kde tyto struktury zadržují splaveniny a plaveniny a tento materiál je následně uvolněn společně i s částmi těchto struktur (Škarpich et al. 2016).

Obr. 1: Vzájemné vztahy ve fluvialním systému. Vztahy vyjádřeny jako přímé (+) a nepřímé (-). Šipky označují směr vlivu. (Zdroj: Knighton 1998)



Přírodní neupravená koryta mají přirozeně nízkou kapacitu, většinou mezi  $Q_{30d}$  až  $Q_1$ , což platí i u českých nedotčených nížinných toků (Králová 2001; Just 2017a), a široké mělké koryto přispívá k rozvoji ekologicky cenných ploch, jako jsou naplaveninové lavice či korytní měřčiny. Přírodní toky zpomalují odtok vody z krajiny, mají vysokou samočisticí schopnost a jsou druhově bohaté a pestré oproti upraveným tokům. Vyznačují se charakteristikami typickými pro dobrý morfologický stav, jako jsou nenarušená migrační prostupnost, průtokový a splaveninový režim, tvarově jsou hodně členité, mají přiměřený tvar příčného profilu a hloubku koryta a pravidelně dochází k zaplavování nivy (Just 2020).

Každý z autorů, některé z klasifikací vodních toků, vychází z jiných kritérií pro stanovení typologie. V mnoha případech se vzhledem ke komplikovanosti celé problematiky stává, že hranice mezi říčními typy nejsou zcela jasné (Kujanová, Matoušková, Hošek 2018). Tyto klasifikace v současnosti slouží jako základní princip pro určení referenčního stavu úseků vodních toků (Šindlar et al. 2012) a stanovují spojení mezi říčními procesy, formami a stabilitou (Thorne 1997, cit. v Kujanová, Matoušková, Hošek 2018, s. 29). Mezi základní a nejběžnější patří klasifikace podle půdorysného tvaru od Leopolda a Wolmana (1957), kteří rozdělili toky na přímé, meandrující a divočící.

Všechny tyto typy se liší kombinací charakteristiky, poměrem šířky ke hloubce, průtokem, sklonem atd. (Leopold, Wolman 1957).

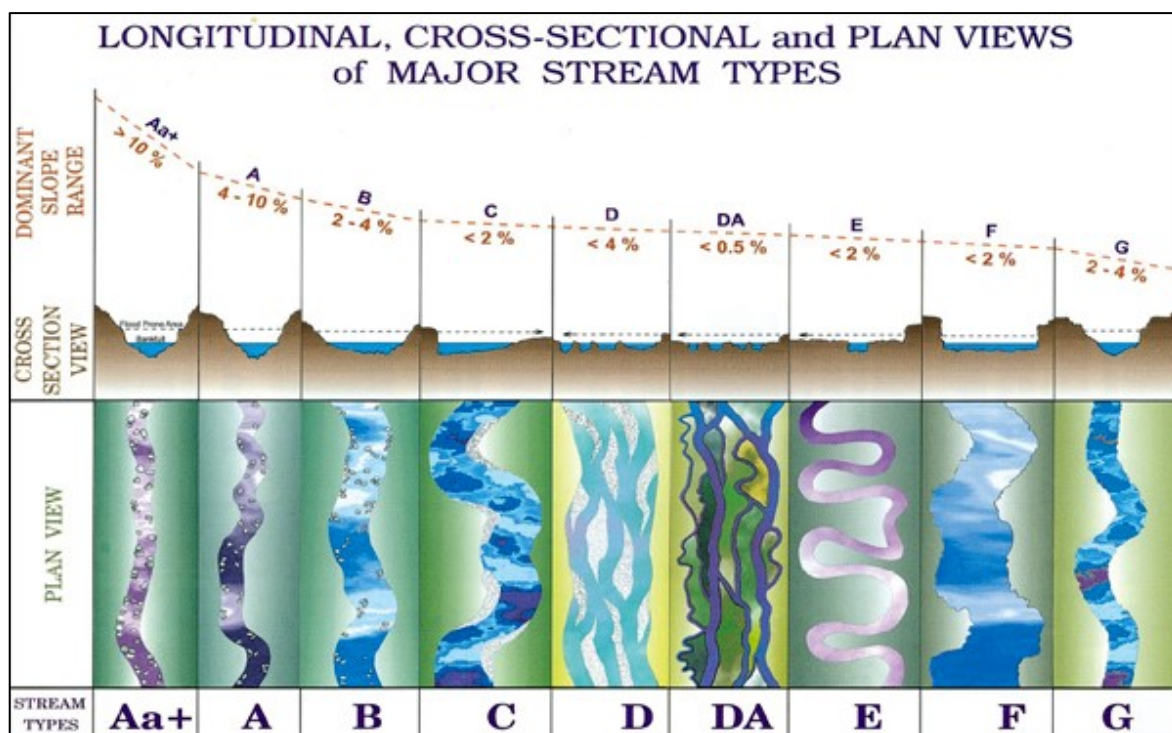
Přímé úseky se v přírodě přirozeně vyskytují, vznikají protnutím šíje meandru a hlavně v horských a podhorských oblastech, kde převládá odnos (Just 2017a; Dvorský 2018), jinak vznikají také antropogenní činností výstavbou koncentračních staveb a vytvářením opevnění (Dvorský 2018). Velmi zřídka jsou přímé úseky toků delší, než je 10 - ti násobek šířka koryta (Leopold, Wolman, Miller 1995). I tento typ má tendenci vytvářet sinusoidní křivku uvnitř omezujících břehů a proudnice tedy není přímá i přesto, že trasa toku je přímá (Leopold, Wolman 1957). Tuně (pools) a rychleji tekoucí úseky (riffles) nejsou omezeny pouze na meandrující typ, ale vyskytují se i u přímých koryt (Ritter, Kochel, Miller 2011) a to v případech, kdy se materiál nesený řekou usazuje při takové rychlosti, aby mohl vzniknout pools-riffles systém (Leopold, Wolman 1957; Leopold, Wolman, Miller 1995).

Meandrující typ je jednoznačně nejčastějším. Ovšem na počátku holocénu se meandry nevyskytovaly v takové míře, jak je známe dnes, ale většina toků byla divočících, především v oblastech s vysokým sklonem a v nižších polohách se vyskytovaly anamostozní systémy mokřadů a lesních porostů (Brown et al. 2018). Meandry dělíme na volné a zakleslé. Třetím typem je pak divočí, kdy se tok větví do několika menších mělkých nestabilních koryt s menšími, převážně štěrkovými ostrovy a lavicemi. Tento typ není příliš stabilní a neustále se mění, koryta migrují (Ritter, Kochel, Miller 2011). Typický je pro horské a podhorské úseky.

Později byl k těmto třem základním typům přidán také typ anamostozní, který prvně zmiňuje Smith (1983). Původně byl spojen s divočícím typem. Liší se tím, že ostatní koryta jsou stabilní a obtékají stabilní ostrovy typicky v hlinito-písčítých nivních sedimentech (pro divočí jsou typické nestabilní štěrkovité a písčité sedimenty). V našich poměrech je tento typ téměř nedochovaný, nejznámější oblastí tohoto typu je tok Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví (Králová 2001; Just 2017a).

Mezi další hojně světově užívané patří klasifikace podle Rosgena (1994), kde jsou základními faktory dělení sklonové poměry, substrát, profil říčního údolí a křivolakost trasy toku (Rosgen 1994), viz obr. 2. V České republice pro lokální účely a jako podklad pro HEM (Langhammer 2014) vznikla publikace „Vymezení typů vodních toků“ od Langhammer et al. (2009), která respektuje požadavky Rámcové směrnice a zároveň vyjadřuje specifika přírodních poměrů ČR a je založena na kombinaci 4 parametrů a to úmoří, nadmořské výšky, geologického podloží a řádovosti podle Strahlera (Langhammer et al. 2009).

Obr. 2: Rosgenova klasifikace vodních toků (Zdroj: United States Forest Service 2019)



## 2.2. Korytotvorné procesy

V tabulce 1 jsou uvedeny jednotlivé etapy odborných představ o korytotvorných procesech. Church (1992, cit. v Robert 2003, s. 9) uvádí, že obecně jsou tyto procesy, jejich účinnost v toku a tedy i morfologie dány následujícími 4 faktory:

- Množství a časovým rozložením průtoku ve vztahu k horní části toku
- Množstvím, časovým rozložením a charakterem sedimentů v korytě
- Původem materiálu, kterým řeka prochází
- Topografií území, především sklonem

**Tabulka 1: Etapy vývoje odborných představ o korytotvorných procesech (Zdroj: Šindlar et al. 2012)**

Období max. rozvoje	Etapa	Hlavní cíle výzkumu	Autoři
Do roku 1930	Základní poznatky o souvislostech vodních toků a okrajových podmínkách povodí, prvotní typologie	Účelné výstupy pro regulační, meliorační a splavňovací práce	Dana, Davis, Dokučajev, Fargue, Franzius, Gilbert, Lochtin, Powell, Roděvič, Van Ornum a další
1930 - 1960	Morfometrické rovnice a diagramy bez dělení podle typů korytotvorných procesů	Hledání univerzální rovnice, která popisuje všechny řeky	Bagnold, Bogardi, Einstein, Langbein, Leliavskij, Levi, Strahler, Vanoni a další
1950 - 1975	Základní typologie korytotvorných procesů	Popis různých forem říčních koryt	Čalov, Frissell, Gregory, Leopold, Makkavjejev, Popov, Schumm, Velikanov, Wolman a další
1970 - 2000	Morfometrické rovnice a grafy s rozlišením korytotvorných procesů	Hledání souvislosti mezi parametry koryt pro různé typy koryt	Bates, Fenton, Gregory, Gupta, Chang, Knighton, Kondratěv, Leopold, Nanson, Rosgen, Schumm, Williams a další
1980 – současnost	Jednofaktorové klasifikace korytotvorných procesů	Hledání genetických řad typů koryt	Anderson, Bates, Brice, Lancaster, Parker, Schumm, Van den Berg, Yang a další
1995 – současnost	Dvoufaktorové klasifikace korytotvorných procesů	Evidence a modelování různých faktorů při formování říčních koryt	Buffington, Habersack, Julien, Kondolf, Montgomery, Parker, Rinaldi, Šindlar a další
2020 - současnost	Mnohofaktorové klasifikace korytotvorných procesů	Výpočty průběhu celků faktorů při změnách říčních koryt – předpovědní modely	Předpokládá se prohloubení současné multidisciplinární spolupráce a velký počet zúčastněných

Schopnosti toku modifikovat morfologické charakteristiky koryta a modelovat jej záleží na vztahu akumulace, odnosu a eroze (Strahler 1999; Leopold 2000), tedy na rychlosti, síle proudu a odolnosti materiálu, nacházejícího se v březích a ve dně (Robert 2003). Dalšími nezanedbatelnými faktory jsou geologie, topografie, klima a půdní či vegetační poměry, (Horník et al. 1986, Leopold 2000).

Významným procesem je snaha toku dosáhnout rovnovážného stavu nebo též profilu rovnováhy (Matoušková 2008). Demek (1987) jej definuje, jako stav, kdy jsou spád, šířka, hloubka a jiné charakteristiky toku v rovnováze s průměrným průtokem a množstvím splavenin a plavenin, přičemž tok se snaží každou změnu vyrovnat úpravou ostatních. Dosažení tohoto stavu je dlouhodobý proces, trvající i miliony let a jednou ze známek jeho dosažení je vznik nivy (Strahler 1999, cit v. Šolc 2018, s. 14). Tento stav podle Leopold, Wolman (1957) a Ritter, Kochel, Miller (2011) není trvalý a každá klimatická změna, přírodní katastrofa či antropogenní zásah jej může vyvést z rovnováhy.

Fluviální erozi, jakožto jeden z nejdůležitějších korytotvorných procesů Demek (1987), definuje jako proces, kdy má tok tendenci se rozšiřovat a prohlubovat směrem po proudu. Její průběh a intenzita závisí na několika faktorech, tak jak je jednotlivě uvádějí Horník et al. (1986) a Demek (1987):

- Rychlost proudu, tj. erozní schopnosti toku
- Charakteru pohybu vody
- Velikosti, množství a charakteru unášených částic tokem
- Odolnosti podloží (břehů a dna)
- Charakteru sklonu a průběhu koryta

Ve vodním toku rozlišujeme dva hlavní typy eroze – boční a hloubkovou. Dále se menší měrou na vývoj vodního toku podílí evorze, která dává vířivým pohybem vody a neseného materiálu vzniknout obřím hrncům a také eroze zpětná, která často doprovází hloubkovou, například u vodopádů (Horník et al. 1986). Výrazně více materiálu do toku přináší boční eroze, také protože hloubková eroze je vždy doprovázena boční, ale zřídka tomu je naopak (Macura 1966).

U eroze břehů hraje významnější roli boční eroze, která rozrušuje břehy a transportuje částice do toku (Šolc 2018). Thorne (1982, cit. v Robert 2003, s. 62), Hickin (1984, cit. v Robert 2003, s. 62) a Kiss, Amissah, Fiala (2019) uvádějí, že eroze břehů závisí na struktuře břehu, splavenin a plavenin, vegetaci břehu, vlhkostních a organických poměrech břehu, jeho sklonu či na úhlu zákrutu. Vývoj meandrů a břehová eroze zvyšují variabilitu hloubek a šířek a vyvolávají další akumulární i erozní procesy vedoucí ke zvýšení diverzity substrátu (Kujanová, Matoušková 2016).

Nejvýznamnější změny začínají v korytě toku probíhat po dosažení korytotvorného průtoku (Ahilan et al. 2013). Leopold (1997) se domnívá, že pohyb materiálu v toku nastává již před dosažením tohoto průtoku a že většina splavenin a plavenin se pohybuje již od 90 % korytotvorného průtoku až do jeho dvojnásobku. Po jeho překročení (tedy stavu, kdy tok opouští koryto a rozlévá se) nejsou účinky proudění již tak markantní, protože se plošně rozprostírají v nivě a velkými průtoky jsou tedy méně destruovány menší, členitější a drsnější koryta (Just et al. 2005). Tento stav toky ovšem dosahují



v různých časových intervalech a liší se jejich hodnota u různých typů toků. Frekvence výskytu souvisí s hydrologií oblasti, jakožto i s frekvencí povodní a na základě několika studií se korytotvorný průtok navrácí v různých intervalech podle lokace, a to od půlročních až po desetileté. Na některých lokalitách se korytotvorný průtok nevyskytl přes 30 let (Ahilan et al. 2013). Liší se také na základě charakteristiky toku, kdy u nížinných potoků bývá menší než  $Q_1$ , ale u horských bystřin je jeho hodnota až  $Q_5$  (Vrána et al. 2004).

### 2.3. Režim splavenin a plavenin

Množství sedimentů v korytě toku má dva protichůdné efekty na zahlabování koryta, protože zanášením, usazováním je hloubka snižována, kdežto erozí zvyšována. To, který proces se bude uplatňovat, záleží na vztahu unášecí rychlosti toku k rychlosti proudu (Macura 1966). Lane (1955) zjistil následující vztah mezi zatížením splaveninami ( $Q_s$ ), velikostí částic splavenin ( $D_{50}$ ), průtokem ( $Q$ ) a podélným sklonem toku ( $i$ ):

$$Q_s \times D_{50} = Q \times i$$

Tento vztah ukazuje na rovnováhu mezi průtokem a zatížením sedimenty a nastane-li rovnováha mezi všemi 4 aspekty, tak můžeme hovořit o rovnovážném stavu (Lane 1955). Price et al. (2011) odhadují množství sedimentů odebraných lidskou činností z toků celého světa na 2,6x vyšší, než je transportováno řekami do oceánů. Ovšem i transport splavenin byl výrazně ovlivněn. Na přelomu 19. – 20. století byl odnos splavenin považován za nežádoucí i přesto, že dnes už víme, že jde o zcela přirozený proces a na horských bystřinách vznikalo hrazení omezující transport splavenin (Just et al. 2005). Dnes jsou sedimenty vyloučeny z úseků pod přehradami, kde řeky mění tvar, protože jim chybí erozní činitel ve formě splavenin (Leopold 1997). Vzniká tak efekt tzv. hladové vody, tedy toku bez splavenin odstraněných těžbou nebo právě zadržovaných v nádržích (Dvorský 2018). Na druhé straně je kvůli ekonomickým důvodům (splavnění, průmysl, zemědělství atd.) pohyb toku sedimentů (rychlost a množství) mnohem větší než jakýmkoliv geomorfologickým procesem (Leopold, Wolman, Miller 1995).

## 2.4. Role vegetace

Hlavními vlivy vegetace na vodní tok je podpora stability břehů a efekt na teplotní režim toku pomocí stínu vrhaného stromy (Leopold 1997). U morfologicky degradovaných oblastí bez vegetace je teplotní režim rozkolísaný (Mičáník et al. 2011). Už pouze přítomnost vegetace zvyšuje intercepci a tím snižuje erozi (Ritter, Kochel, Miller 2011) a vegetace je tedy důležitým činitelem v rychlosti eroze a odnosu produktů zvětrávání (Leopold, Wolman, Miller 1995). Břehový porost má rovněž estetický efekt a napomáhá zpevnění břehů především při vyšších průtocích (Kluibr 2010), ale tento vliv již není zásadní při velkých povodních (Leopold, Wolman 1957). Tuto protierozní funkci má vegetace doprovodná, nacházející se mimo koryto vodního toku. Vegetaci na okraji průtočného profilu nazýváme ochrannou (Kluibr 2010). S vyšší hustotou vegetace břeh rovněž funguje jako filtr sedimentů, živin a kontaminačních látek, čímž zlepšuje kvalitu vody (Kondolf et al. 2003, cit. v Kujanová, Matoušková, Hošek 2018, s. 30).

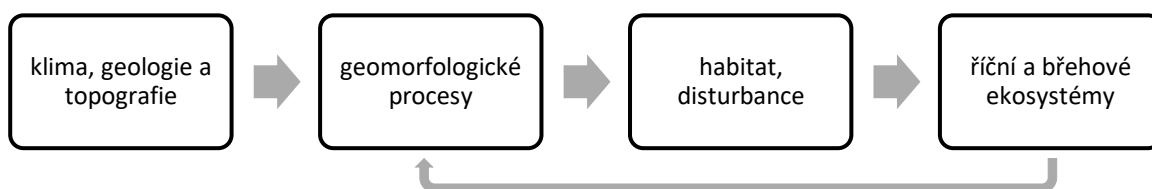
Vitální vegetační doprovod přispívá k retardaci odtoku a zároveň navyšuje minimální průtoky v období sucha. To je podstatné pro rozvoj biocenózy i zoocenózy, zvyšuje se tak samočisticí schopnost toku a infiltraci (Šlezinger 2010). Podstatnou roli sehrává také v redukci vstupu pesticidů a jiných nežádoucích látek do toku (Kujanová, Matoušková 2016). I z těchto důvodů je břehová vegetace jedním z hydromorfologických parametrů pro stanovení ekologického stavu podle Rámcové směrnice (Picco et al. 2016) a základním stavebním kamenem ÚSES (Šlezinger 2010).

Konkrétní typ vegetace a velikost stromů či kořenových systémů má vitální roli ve zvyšování odolnosti břehů vůči erozi (Simon, Collison 2002) a svůj podíl má také na rychlosti proudění (Larsen, Harvey, Crimaldi 2009; Nepf 2012), jeho směru (Zong, Nepf 2011), ovlivnění tvaru koryta (Nanson, Knighton 1996; Millar 2000), hloubku koryta a ekologické kvality oblasti (Picco et al. 2016). V českých podmínkách jsou typickými břehovými dřevinami především olše, vrba, topol, jasan, javor, lípa či dub (Zuna 1979; Kluibr 2010). Vzdálenost každé z dřevin a jednotlivých břehových habitatů od koryta souvisí s tolerancí jednotlivých druhů snášet stres spojený s disturbancemi, hlavně se zaplavením (Kujanová, Matoušková, Hošek 2018).

## 2.5. Ovlivnění habitatu

Geomorfologické procesy, habitat a s ním spojené ekosystémy se vzájemně ovlivňují (obr. 3), a proto se zásah do jedné části projeví i na ostatních (Montgomery 1999). Obzvláště ve sladkých vodách vodních toků a ploch je vysoká biodiverzita spojována s heterogenitou habitatu. Tuto rozmanitost nabízejí především meandry, kde dochází ke střídání pomalých a rychlých úseků, a lze je nazvat „hot spoty“ biodiverzity ve vodních tocích odolným vůči disturbancím (Garcia, Schnauder, Pusch 2012). Znečištění a následné snížení biodiverzity malých toků má vliv i na toky velké, do kterých je voda z těchto toků odváděna. Obzvláště patrný je tento jev na malých městských potocích a řekách vystavovaných vysoké intenzitě lidské činnosti (Czerniawski et al. 2020). Nejvíce jsou zde ovlivněni bezobratlí, žijící na dně toku, protože jsou ovlivněny klíčové faktory jejich habitatu. Chybí jim zde diverzita substrátu (rozdílná velikost částic, přítomnost vegetace) a proudění (rozdílné rychlosti, častá absence turbulentního proudění) (Garcia, Schnauder, Pusch 2012).

Obr. 3: Schéma vzájemných vztahů mezi geomorfologickými procesy, habitatem a říčními a břehovými ekosystémy (Zdroj: Montgomery 1999)



Indikátory dobrého stavu vodního toku, tedy nízkým ovlivněním člověka, je přítomnost mikroplanktonu a velkých druhů bezobratlých, jako jsou například krabi. Regulované a znečištěné toky jsou charakteristické nižším počtem těchto druhů či jejich úplnou absencí. Na druhé straně je potřeba si uvědomit, že zooplankton téměř vždy reaguje pozitivně na tvorbu přehrad, protože je to vhodné pro jeho vývoj a reprodukci (Czerniawski et al. 2020).

### 3. Úpravy toků

Většina řek byla do nějakého stupně postížena antropogenním vlivem a většina velkých světových říčních systémů byla výrazně modifikována za účely splavnění, využití zdrojů či kontrole povodní (Hudson, Middelkoop, Stouthamer 2008). Třetina největších světových toků je silně regulována (Dynesius, Nilsson 1994), dochází k ovlivnění morfologických, hydrologických a ekologických charakteristik. Redukuje se křivolakost, staví se povodňové hráze, toky jsou odpojovány od mokřadů, zvyšuje se chemické znečištění a degradují se celkově environmentální podmínky. Regulace se tak stávají nejčastějším důvodem sporů mezi vodním hospodářstvím a environmentální ochranou (Pregun 2016) a představují hlavní nebezpečí pro tyto říční systémy (Schabuss et al. 2005). S rostoucím tlakem člověka a globálních změn se vybalancování potřeb vody pro lidstvo oproti ekosystémům stává hlavním environmentálním problémem (Petts, Yenory, Sadler 2006). Pochopení úprav je tak důležité pro budoucí vývoj vodního hospodářství (Latapie et al. 2014). Nyní již je naše poznání tak hluboké, že velmi slušně již můžeme odhadnout, jaký typ morfologické změny nastane v toku po aplikování určité modifikace, což nebylo známé v období největšího množství úprav (Edwards et al. 2016). Nutné je ovšem prohloubit znalosti vlivu těchto modifikací na vodní organizmy (Allan 2004) a také reakci vegetace v návaznosti na zvýšení schopnosti předpovídat reakci říčního systému na povodňové eventy (Picco et al. 2016).

V evropské kulturní krajině tak už těžko najdeme zcela přírodní tok, který by nebyl dotčen alespoň hospodářstvím v povodí. Za přírodní tok se tak v současnosti bere tok, který přímo neprodělal technickou úpravu (Just 2020). Jedním z mála nedotčených technickými úpravami je u nás kupříkladu meandrující Lužnice (Svoboda et al. 2015). Samotná kulturní krajina tak pozměňuje parametry toků a s nimi spojené nivy (Šindlar et al. 2012; Pavanelli et al. 2019).

Antropogenní vlivy na vodní toky lze rozdělit na přímé a nepřímé. Jako přímé bereme technické úpravy v korytě a s tím se měnící říční struktury (přehrady, jezy, potrubí, kanály, těžba písku, opevnění, mostní konstrukce atd.) a za nepřímé označujeme aktivity spojené se změnou land coveru, jako je právě vliv zemědělství, urbanizace a s tím spojené změny odtoku či znečištění (Matoušková 2003).

Napříč Evropou jsou důvody a hlavní typy úprav prakticky totožné. Hlavními změnami jsou napřímení toků či změna trasy (případně redukce divočení), zahloubení, výstavba přehrad, tzv. channelization<sup>1</sup> (Roccati et al. 2019), vzdutí, zatrubnění či zakrytí toku (Kopp, Řádek 2006). Důvody k úpravám jsou těžba, ať už přímo v korytě toku (písek, štěrk) či v jeho okolí (uhlí, lomový kámen atd.), protipovodňová ochrana, splavnění velkých toků, zábor půdy atd. (Roccati et al. 2019). U nás je vyšší stupeň úprav u toků v oblasti zemědělské velkovýroby. Koryta se modifikovala a stabilizovala také na hranicích, aby nedocházelo k jejich změnám (Kopp, Řádek 2006).

### 3.1. Historie

#### 3.1.1. Svět

Před lidskými zásahy řeky fungovaly s vysokým rozsahem překážek, jako byly přehradly od bobrů či akumulace dřeva a v oblastech, kde nedocházelo ke kultivaci krajiny v povodí, se říční síť poměrně shoduje se sítí z počátku holocénu, avšak často jsou již tyto staré sítě pohřbeny pod sedimenty toků (Brown et al. 2018). Člověk se krajinotvorným činitelem stal až v mladší době kamenné, konkrétně v období neolitické revoluce (přibližně 9–7 tisíc let př. n. l.) v oblastech rozvinutých civilizací, jako byla Mezopotámie či Čína. Do této doby měl výraznější vliv pouze na ichtyofaunu (Kender et al. 2004).

V průběhu posledních 6000 let lidé upravují vodní toky znečištěním, těžením zdrojů, nadměrnými zásahy do morfologie atd. První kanály jsou známé již více než 4000 let z oblasti řek Eufrat a Tigris (Govorushko 2007). V Evropě se začaly první jezy, valy či drenáže spojené se zásobováním vodou a odvodněním půd, objevovat před 3200 lety (de Waal, Large, Wade 1998; Nienhuis, Leuven 2001). Následně probíhalo intenzivní odlesňování ve dvou fázích (před 2500–2000 lety a následně mezi 1500–1000 lety), což vedlo urychlení dynamiky toků, ovlivnění morfologie a ekologie koryt a niv. V tomto mezidobí byla vysušena velká část přírodních mokřadů (Brown et al. 2018). Intenzivní využívání evropských řek započalo přibližně před 500 lety (Nienhuis, Leuven 2001) především stavbou mlýnů a náhonů (Brown et al. 2018).

---

<sup>1</sup> Channelization je metoda, kdy se řeka prohlubuje či rozšiřuje pro zvýšení kapacity průtoku v určitých částech řek a tím je při povodních zajištěn efektivnější pohyb vodní masy, což má za následek menší poškození břehů (Roccati et al. 2019).

Degradace vodních toků a ekosystémů se následně zvyšovala s příchodem průmyslové revoluce a růstem zástavby (Roccati et al. 2019), kdy rostlo látkové znečištění a byla překročena samočistící schopnost toků (Matoušková 2003). V průběhu 19. století byly vybudovány první přehradby (de Waal, Large, Wade 1998). Jejich hlavní rozvoj nastal na začátku 20. století, kdy již byly budovány i velké přehradby sloužící pro hydroenergetiku a pitnou vodu. Na většině evropských toků dochází k tvorbě kanálů, regulacím zaměřeným na splavnost a povodňovou ochranu, čímž je fragmentována krajina (Nienhuis, Leuven 2001).

V současné době už dopad lidských aktivit na říční ekosystémy dospěl do bodu, kdy už nelze považovat přírodní procesy za ty, které kontrolují jejich vývoj (Zhao et al. 2020). Skoro 60 % evropských řek nedosahuje dobrého ekologického statusu, jak jej stanovuje Rámcová směrnice, samozřejmě s prostorovými rozdíly. Nejhuře na tom jsou řeky nizozemské (téměř 100 %) a britské (90 %), naopak u toků v Estonsku, Rumunsku či Slovensku jde o méně než 40 % (Haase et al. 2013). Zaměříme-li se na upravenost niv, tak zjistíme, že pod vlivem člověka je 90 % z nich (Pedroli et al. 2002). V posledních dekádách se hydromorfologické degradaci řek dostává větší pozornosti ve vodním hospodářství (Petkovska, Urbanič 2015), ale přesto ve střední Evropě stále vznikají nové vize o propojení říčních sítí novými kanály, příkladem je kanál Labe-Dunaj-Odra.

### **3.1.2. Česko**

K raným regulacím na území ČR došlo již za vlády Karla IV. (Kopp, Řádek 2006). K rozvoji stavby kanálů došlo s rozmachem rybníkářství (15. – 16. století), kdy byla realizována Zlatá stoka, Nová řeka, Opatovický kanál či Náhon Alba. Na tyto úpravy dnes nahlížíme pozitivně a jsou brány za nedílnou součást krajiny (Matoušková 2003). Velká část starých úprav spojených hlavně s mlýny je v dnešní době stále průtočná a obohacuje krajinu o biotopy zde vznikající. Úpravy měnící délku a tvar říční sítě jsou na našem území dokumentovány již od 18. století (Langhammer 2007b), což je patrné již na mapách II. vojenského mapování. V nich je pozorovatelný zajímavý fenomén napřímených koryt na dně dnes již zrušených velkých rybníků, jelikož jejich plocha klesla oproti 15. století na přibližně třetinu (Šindlar et al. 2012).

První významnější regulace vznikaly na drobných tocích a v horských oblastech podle tzv. melioračního zákona z roku 1884 a v souvislosti s pozemkovou reformou v období 1919–1935 a také v okolí velkých toků v hustě osídlených oblastech. Šlo hlavně o napřimování kvůli odvodnění pro zemědělskou půdu a výstavbu protipovodňových opatření (Jelen 2015). Významným impulsem k úpravám byla zemská povodeň 1890. Docházelo také k rozvoji průmyslu, zejména textilního, velmi náročného na odběr vody (Macura 1966). Průmysl společně s energetikou jsou v současnosti nejvýznamnějšími odběrateli povrchové vody (Němec, Kopp 2006).

Byl také očekáván velký rozvoj říční dopravy, pro jejíž potřeby byly v Evropě degradovány největší řeky (Just 2020). Tento podnět vedl k vydání vodocestného zákona (1901), který ustanovoval výstavbu průplavů mezi Dunajem, Vltavou, Labem a Odrou a ve spojitosti s tím bylo nutné zabezpečit splavení těchto velkých řek a jejich přítoků. Vltava měla být splavná až do Českých Budějovic a Labe do Jaroměře, ale tyto práce vlivem světových válek a ekonomické krize nebyly nikdy dokončeny (Macura 1966). Labe bylo v úseku Jaroměř – Mělník zkráceno ze 400 km na 180 km (Jelen 2015).

Do konce roku 1952 bylo na území ČSSR upraveno 7326 km toků (Macura 1966). Mezi lety 1950–1990 převládaly snahy „ovládnout“ toky, došlo k radikalizaci s dostupností výkonnější mechanizace a prefabrikace (Vrána et al. 2004). Výraznými mezníky v zásazích nejen přímo do toků byla mechanizace a kolektivizace v 50. – 60. letech (Erlich, Hladný, Kopp 2006; Kulhavý, Kulhavý 2008) a následně v 70. – 80. letech mohutná chemizace zemědělství. V tomto období také docházelo k nejrozsáhlejším úpravám, jako bylo napřimování toků (Just et al. 2005). Došlo také k přerušení malých vodních elektráren, vzniklých za první republiky, které dnes představují ekologicky čistý zdroj energie a vykrývají lokální potřeby energie. V současnosti je na území ČR upraveno 21600 km, což představuje asi 28,4 % toků. Upravenost se ale liší s využitím krajiny, protože pod bývalou zemědělskou vodohospodářskou správou hodnota přesahovala 40 % (Kopp, Řádek 2006).

### 3.2. Meliorace

Meliorační úpravy mají dlouhou historii, první kanály pro účely odvodnění vznikly již před 4–5 tisíci lety (Filip, Toman 1999). V roce 2003 bylo na našem území odvodněno přes 25 % zemědělské půdy (1,088 milionu ha), přičemž více než 99 % této plochy v letech 1960–1990 (Kulhavý 2003). V tomto období bylo meliorováno a odvodněno velké množství malých vodních toků a byly vynalezeny metody pokročilých drenážních soustav (Kulhavý, Kulhavý 2008).

Meliorace byly prováděny v období, kdy naše krajina netrpěla suchem a nadměrné množství vody v půdě působilo spíše negativně. Její vysoké množství v půdním profilu způsobuje nepříznivý poměr mezi obsahem vody a vzduchu, z čehož plyne nedostatek kyslíku a dominance anaerobních procesů a s tím spojené hromadění toxických produktů či nerozložené organické hmoty. Rovněž dochází k denitrifikaci, prostředí je vhodnější pro škůdce a půda se stává neúnosnou pro zemědělskou techniku (Kvítek 2006). Meliorační opatření tedy příznivě ovlivňují vodno-vzdušný režim půd, ale také regulují infiltraci, zvyšují retenční schopnost, ekologickou stabilitu krajiny a hydrologické poměry v povodí až o 1500 m<sup>3</sup>/ha (Kulhavý 2003).

Klasické meliorační koryto je geometrizovaným lichoběžníkem o poměru hloubky k šířce 1:2 s průtočnou kapacitou minimálně  $Q_2$ , někdy až  $Q_{20}$  (Just 2020), a tím zabraňuje rozlivu a ochraně půdy či intravilánu, kde často není jiná možnost než zkapacitnění koryta (Vrána et al. 2004). Velmi nevhodně bývají u zemědělských meliorací tato koryta opevňována (obr. 4) nikoliv kvůli stabilitě, ale snadnějšímu čištění od usazenin (Just 2017a).

**Obr. 4: Silně opevněné a degradované koryto vodního toku ve tvaru typického melioračního lichoběžníku (Zdroj: AOPK 2020)**





### **3.3. Plošné změny krajinného pokryvu ve spojitosti s retencí vody v krajině**

Kulturní krajina a říční síť dostaly výrazné proměny. Docházelo k odlesňování, urbanizaci či intenzivnímu zemědělství, což vedlo k poklesu retenčních schopností (Svoboda et al. 2015). Na stejné množství srážek reaguje rozdílně zastavěná a rurální krajina oproti přírodním (Kundzewicz, Pińskwar, Brakenridge 2018), a již malá změna v zastoupení jednotlivých druhů land coveru způsobuje výrazné kolísání odtokových poměrů (Podhrázká 2003). Stejnou důležitost jako typu land coveru je nutné také přikládat způsobu obhospodařování půdy, především v nivách (Jelen, Matějček 2016). Tyto změny mají výrazný dopad na celý vodní cyklus v povodí, průběh povodní (Kundzewicz, Pińskwar, Brakenridge 2018), hladinu podzemní vody (Bezdiček 1966) a erozi půdy (Pavanelli et al. 2019).

Půda je vůči erozi chráněna rostlinným pokryvem, ovšem současné lidské aktivity a technologie mění její vlastnosti a funkce (Janeček 1999). Přes 50 % rozlohy orné půdy na území ČR je ohroženo vodní erozí, u lesních půd jde pouze o 5–10 %, hlavně na flyších (Kopp 2006). Dochází tak k plošnému splachu, odnosu jemných částic půdy zvětralinového pláště, který se výrazněji projevuje na obnažené půdě oproti lesům a lukám (Demek 1987). Proto se zemědělci snaží zavádět protierozní opatření. Velmi diskutovanou tematikou je nyní obnova mezí a remízků, které rovněž zamezují erozi a plošnému splachu, přičemž současně zvyšují retenci vody v krajině (Matoušková 2007b). Protierozní ochranou půd lze dosáhnout retence vody v povodí v rozsahu 200-500 m<sup>3</sup>/ha a retardovat odtok o více než 24 hodin (Kulhavý 2003).

#### **3.3.1. Lesní a lužní porosty**

Pro retenci vody v krajině je podstatné zastoupení lesů a luk (Jelen 2015). Les rovněž zlepšuje odtokové poměry povodí, působí jako regulátor (Mareš 1997), udržuje vyšší vlhkost vzduchu při nižší teplotě, prodlužuje období infiltrace (Ruda 2014). Intercepcí a infiltrací je les schopen zpomalit povrchový odtok o 20-30 mm/den (Supuka 2003). Důležitá je jeho druhová stavba, stav, hustota (Jelen 2015) a stáří (Mareš 1997). Obecně jehličnaté lesy zadržují vodu lépe než listnaté. Intercepce srážek je u jehličnanů 10–50%, u smíšených porostů 10–25% a u listnatých 5–30% (Mareš 1997). Například při srážce o síle 50 mm u smrku steče po jeho kmeni 30–50 litrů vody, ale u buku až 1500 litrů (Kanoť, Šach 2003).

Na našem území ještě před tisícem let lesy tvořily 90 % rozlohy území, ale již 700 let nazpět pouhých 30 % (Kender et al. 2004). V současnosti je jejich podíl na rozloze okolo 33 % a mírně roste, ovšem klesá jejich průměrné stáří (Jelen 2015). V druhové skladbě lesů výrazně dominují jehličnany s asi 77 % (z toho 54 % smrk). V dřívější, přirozené skladbě českých lesů tvořily jehličnany jen 34 % (smrk 11 %) rozlohy (Kanoťr, Šach 2003). Pro zlepšení retenční kapacity lesních půd by bylo vhodné převedení současných smrkových monokultur na smíšené lesy, hydrologicky účinnější.

Lidské zásahy vedly v mnoha evropských nivách k zániku lužních lesů (Décamps et al. 1988). U nás k likvidaci těchto biotopů docházelo kvůli zúrodnování niv již před 19. stoletím (Šindlar et al. 2012). V 60. – 80. letech docházelo rovněž k poklesu přirozených luk v nivách vodních toků (Matoušková 2007b) a jejich převodu na ornou půdu (Šindlar et al. 2012).

### **3.3.2. Mokřady**

Janský, Kopp (2006, s. 39) definují mokřady „jako vodní útvary přechodné povahy mezi terestrickými a vodní ekosystémy“. Ty nejvýznamnější jsou chráněny Ramsarskou úmluvou. Mokřady jsou funkčně propojeny s říčními systémy a velmi dobře redukuje znečištění (Pinay, Clément, Naiman 2002; Iribar et al. 2008), například pomocí denitrifikace, ovšem tato jejich schopnost je výrazně redukována modifikací hydrologického režimu člověkem (Bodoque et al. 2017). Vegetace mokřadů je rovněž vydatným a snadným zdrojem organické hmoty pro bakterie a bezobratlé organismy (Mermillod-Blondin et al. 2003). Na našem území je dělíme podle charakteru do 3 kategorií (Janský, Kopp 2006):

- Rašeliniště
- Mělké pobřežní zóny rybníků nebo jejich opuštěná dna
- Mokřady v nivách toků

Mokřadní oblasti a společenstva u nás zanikaly již při konstrukci rybníkářských soustav v 15. – 16. století (Konvičková 1998). Hlavní úbytek ovšem zaznamenaly až v letech 1950–1990, kdy z původních 1,3 milionu ha jejich rozloha klesla na dnešních asi 350 tisíc ha (Němec, Kender 2006). Prakticky zanikla společenstva vázaná na slané

mokřady moravských úvalů, hydrobiocenóza neznečištěných vod v nížinných oblastech, slatiniště a některá společenstva rašelinišť. Melioračními pracemi byla zbavena svých typických ekotopů a výrazně fragmentována (Míchal 1994).

### 3.4. Vliv zásahů na vodní tok a jeho okolí

Hydromorfologická degradace je v současnosti asi nejdůležitější antropogenní tlak na řeky (Schinegger et al. 2012). Některé přirozené geomorfologické procesy člověk svými aktivitami zrychluje a jiné zpomaluje (Leopold, Wolman, Miller 1995). U koryta se mění jeho geometrie a s tím spojená kapacita, opevňuje se, v nivě a příbřežní zóně se budují protipovodňové hráze, valy a přehrad. Dochází k narušení fluviálního prostředí a procesů, což zvyšuje riziko pro společnost (Kiss et al. 2019). U mnoha toků ČR došlo k potlačení jejich přirozenosti změnou původních koryt s mnoha ostrovy, lavicemi či rameny v jednoduché, monotónní koryto (Škarpich et al. 2016). Dopad lidských aktivit na prostředí a vodní toky v poslední době již není možné vnímat jako lokální problém (Pavanelli et al. 2019). Následkem velkoplošného impaktu člověka na toky jsou hlavně změna redistribuce průtoků v čase a prostoru, disturbance koryta či jeho okolí a znečištění (Govorushko 2007).

Modifikované koryto má sníženou či zcela ztrácí velkou řadu svých schopností. Ztrácí kontakt s okolními ekosystémy (Kopp, Řádek 2006), druhovou rozmanitost (Netopil et al. 1984) a vyskytují se monotónní proudové poměry (Just 2020). Netopil et al. (1984) vyzdvihují některé pozitivní účinky člověka na vodní tok a Just et al. (2005) negativní:

Pozitivní vliv	Negativní vliv
ČOV	Zvýšení a urychlení odtoku
Snížení kulminačních průtoků a udržování minimálních průtoků	Nahrazení přirozené vegetace či její úplné odstranění, zhoršení vzhledu koryta
Nádrže zlepšující kvalitu vody	Nepříznivé změny průtoků a splaveninového režimu
Stabilizace koryt	Snížení samočisticí schopnosti toku
Zadržení vody v povodí	Znemožnění migrace živočichů, snížení biodiverzity a likvidace habitatu

Dále Zuna (1979) uvádí nejčastější negativní následky jednotlivých úprav na životní prostředí:

- Odstranění meandrů – poškození obrazu krajiny, ztráta habitatu
- Odstranění břehového porostu – nedostatek zeleně, ztráta habitatu, zvýšení eroze
- Zvětšení sklonu – zrychlení odtoku, zvýšení rychlosti proudu
- Vyrovnaní nivelity – odstranění brodů a výmolů, důležitých pro rozvoj biocenóz, vysychání v období sucha a destrukce živočichů
- Opevnění koryta – neobyvatelnost toku pro většinu živočichů a vodních rostlin
- Zmenšení obsahu kyslíku – ovlivnění samočisticí schopnosti toku a biologické hodnoty
- Stupně a jezy – snížení ekologické hodnoty, migrační neprostupnost
- Prohloubené koryto – snížení hladiny podzemní vody v okolí

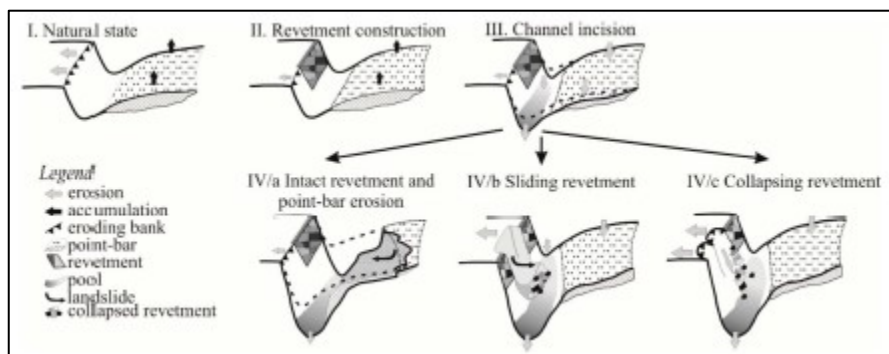
#### **3.4.1. Opevnění břehů a dna**

Jakékoliv modifikace břehů mají okamžitou odezvu v charakteristikách vodního toku a způsobují řadu problémů (Just et al. 2005; Kiss, Amisshah, Fiala 2019). Jeho zpevnění má dlouhodobý efekt na břehové procesy, vede ztrátě bočního pohybu (vývoji do šířky), k zahlubování toku, zvýšení eroze na již rozpadlých či narušených částech opevnění, jehož odolnost je dána především na volbě materiálu (Kiss, Amisshah, Fiala 2019; Kiss et al. 2019). Následkem opevnění břehů je urychlena eroze v nezpevněném úseku následujícím za opevněným úsekem vlivem silnějšího proudu. Zpevnění břehů se provádí často v místech, kde dochází k napřimění toku (odstranění meandrů) kvůli absorpci energie toku, kterou získá zvýšením sklonu. Velmi častým problémem těchto zpevnění je ovšem jejich rozpad či ničení sesuvem břehu (obr. 5). Pokud je opevněn pouze jeden břeh, typicky právě u odstraněných meandrů, tak je ale narušena i integrita protějšího břehu, proto je důležité uvažovat o zpevnění i tohoto břehu (Kiss, Amisshah, Fiala 2019). Opevněním břehů také dochází k izolaci toku od nivy, kterou je možno řešit absencí kontinuálního opevnění

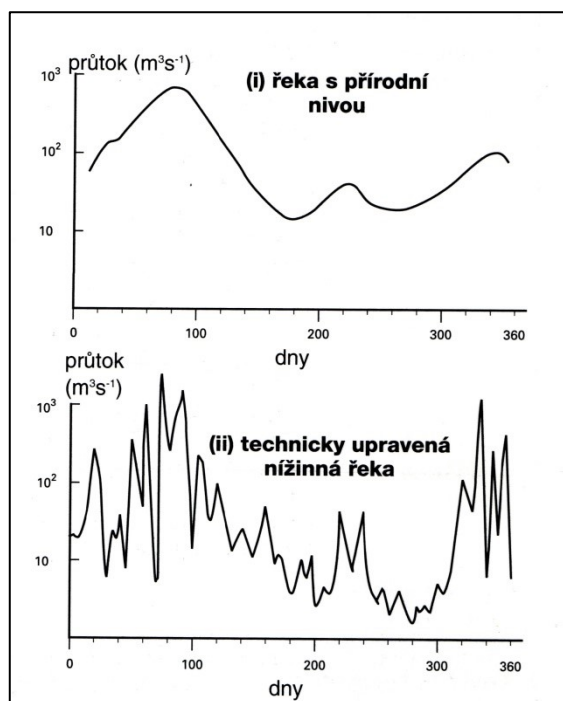
(Décamps et al. 1988) a také nastává rozkolísanost průtoku (obr. 6) (Králová 2001). Dno bývá opevňováno především u malých toků v intravilánu a v blízkosti stupňů. Jeho opevněním tok ztrácí komunikaci s hyporeálem a snižuje se drsnost koryta (Just 2017a), která je rovněž ovlivňována extrakcí materiálu dna pro stavební účely, jako jsou štěrk a písek (Govorushko 2007).

**Obr. 5: Model vývoje destrukce opevnění břehu společně se zahlubováním toku**

(Zdroj: Kiss, Amisshah, Fiala 2019)



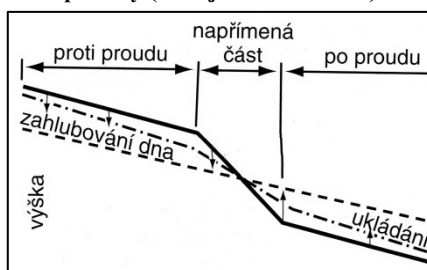
**Obr. 6: Hypotetický roční hydrogram technicky upravené řeky s omezenou spojitostí s nivou a toku s přirozeným rozlívem v nivě (Zdroj: Králová 2001)**



### 3.4.2. Zkracování a úpravy trasy

Napřimování toků a prořezávání meandrů je často spojováno s ochranou půdy a rychlejším odvedením povodňové vlny (Kiss et al. 2019). Kvůli hydromelioracím se u nás zkracovala i koryta v pramenných oblastech (Tichý 2017). Touto úpravou ovšem dojde ke zvýšení sklonu řeky, výšky vodního sloupce a tedy i její síly a rychlosti a s nimi spojené eroze a transportu (Biedenharn, Thorne, Watson 2000). Zvýšením unášecí schopnosti toku se pak často tok následně zahlubuje (obr. 7) a ničí opevnění břehů, zároveň s tím zaklesne i hladina podzemní vody v korytě a jeho okolí (Mareš 1997). Tok je tak ochuzen o úseky stojatých vod či slepých ramen, které se postupně zanášejí a zazemňují, což vede až ke ztrátě těchto cenných biotopů (Králová 2001). Společně s opevňováním břehů vede napřimění k destrukci břehového habitatu (Leopold 1997).

Obr. 7: Vliv napřimění na fluvialní procesy (Zdroj: Králová 2001)



### 3.4.3. Tvary koryta a jejich zkapacitnění, zahloubení

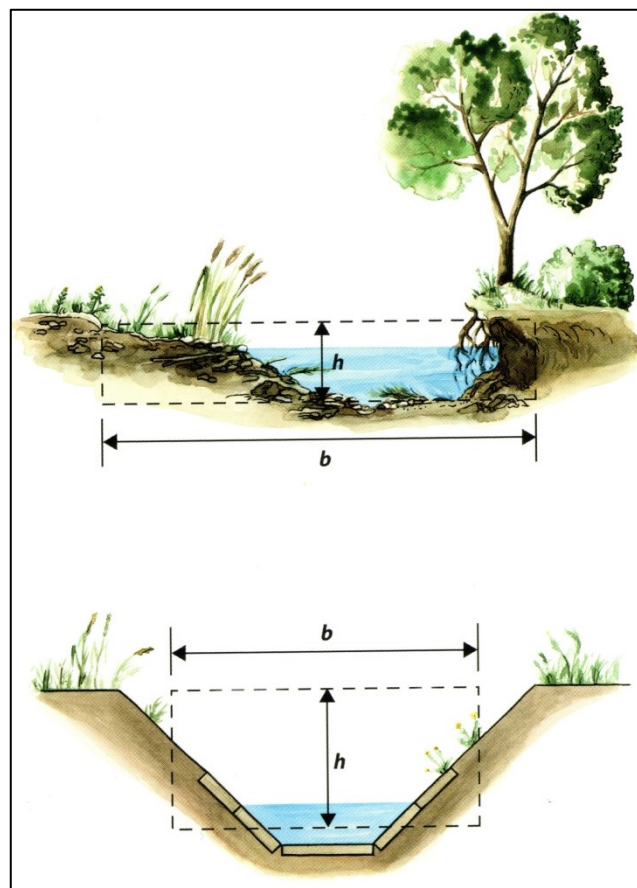
Na počátku modifikací bylo ideálem vytvořit stabilní koryto, které nebude měnit morfologii za jakéhokoliv průtoku. Při úpravách vodních toků se užívá několik druhů průřezů koryta podle jejich účelu a aplikace (Bezdiček 1966):

- Obdélníkový – v oblastech, kde je nutné šetřit místem, zpravidla zastavěné oblasti, svahy zděné, v ose často vytvořeno další menší koryto pro koncentraci malých průtoků
- Lichoběžníkový jednoduchý – u toků, kde hladina v průběhu roku kolísá jen nepatrně či u koryta v dosahu vzdutí
- Lichoběžníkový dvojitý – u toků, kde průtoky v průběhu roku značně kolísají
- Lichoběžníkový trojitý – u toků, kde je nutno zajistit plavební hloubku za nízkých vodních stavů

- Miskovitý – snaha co nejvíce se přiblížit přírodnímu korytu
- Uzavřený – v průmyslových oblastech či sídlištích

Těmito modifikacemi dochází ke změně poměru šířky toku k jeho hloubce. Běžný meandrující potok by se měl vyznačovat poměrem šířky ke hloubce v rozmezí 4:1 až 6:1, srovnatelný upravený potok do typického melioračního lichoběžníku má tento poměr menší než 3:1 (obr. 8). Technicky nepřirozeně zahluobené koryto tak nadměrně odvodňuje okolní zeminu, má omezený prostor pro rozvoj ekologicky významných povrchů a forem, soustřeďuje proud za vyšších průtoků, což vede k dalšímu zahluobení, zrychluje postup povodňové vlny a v suchých obdobích je méně příznivé pro přežití vodních společenstev (Just 2017a). Tyto lokální úpravy způsobují hloubkovou erozi i v navazujících úsecích toků, čímž jsou narušeny přirozené korytotvorné procesy (Šindlar et al. 2012).

**Obr. 8: Nedotčení přírodní koryto a srovnatelné technicky upravené koryto – obvykle se liší poměrem hloubky ( $h$ ) a šířky ( $b$ ) (Zdroj: Just 2017a)**



#### **3.4.4. Stupně v korytě toku**

Vodní nádrže společně s jezy přispívají k deficitu splavenin a plavenin v toku a vzniká tak efekt tzv. hladové vody, toku bez unášeného materiálu a všechna jeho energie tedy může být využita k erozi pod těmito strukturami vlivem rychlejšího proudění (Škarpich et al. 2016). Na plaveninový materiál bylo u nás dříve často nahlíženo jako na nežádoucí a docházelo tak k hrazení bystřin a malých horských toků (Just 2020), čímž byl tento efekt posilován.

Dále nádrže a jezové struktury rozdělují tok do nezávislých sekcí a mnoho druhů tak ztratilo svůj přirozený habitat nebo musí tyto migrační překážky překonávat. Obecně vodní hospodářství rozdělilo hydrologické systémy do určitého počtu téměř nezávislých jednotek, které v původním stavu byly na sobě závislé a vzájemně se ovlivňovaly (Pedroli et al. 2002). Na českých tocích nalezneme více než 6000 překážek o výšce vyšší než 1 metr (Just 2017a). Vliv vzdutí jezů a stupňů může být patrný i několik kilometrů proti proudu, tak i po proudu. Tyto struktury obecně snižují diverzitu habitatu vodního toku (Verdonschot 2009). V některých ojedinělých případech však mohou jezy biotopy zlepšovat, kupříkladu tvorbou mokřadních společenstev nad nimi (Králová 2001).

#### **3.4.5. Znečištění vodních toků**

Znečištění vodních toků lze rozdělit podle několika kritérií. Můžeme jej rozdělit podle zdroje znečištění na průmyslové, zemědělské a městské (komunální). Městské nepřináší do toků mnoho chemického znečištění, ale je bohaté na patogeny či hormonální látky. Problém tohoto druhu znečištění je aktuální především v rozvojových zemích, kde často stoky a odpady vedou přímo do řek, kdežto ve vyspělých státech existují rozsáhlé systémy ČOV. U zemědělské je hlavním problémem plošný splach hnojiv, herbicidů či pesticidů. Průmyslové podniky způsobují teplotní změny toků a převážné bodové znečištění (Govorushko 2007). Největší změny v teplotě vody způsobují tepelné elektrárny s průtočným systémem chlazení, vypouštějící vodu až o 10°C teplejší (u nás hlavně Mělník II a III, vliv je patrný až do Ústí nad Labem). Významné teplotní ovlivnění mají také jaderné elektrárny. Teplejší vodu vypouštějí, především v zimě, i ČOV a vodní nádrže. Teplejší voda v toku znamená méně kyslíku a současně s vypouštěnými toxickými látkami výrazně ovlivňuje organismy v toku (Matoušek 2006).



Dále lze tedy rozlišovat bodové a plošné znečištění. Bodové je typické právě pro vypustě průmyslových podniků. U plošného jde o výše zmíněný plošný splach hnojiv z půdy, který je v Evropě významným činitelem znečištění vodních toků (Zhang et al. 2010). U plošného splachu pak dochází k obohacení toku o živiny, tzv. eutrofizaci. Tento přirozený proces je vlivem hnojiv ovlivněn a roste podíl dusíku či fosforu na úkor kyslíku. Škodlivý vliv eutrofizace lze pozorovat i u biotopů v nivě, které mají spojitost s hlavním tokem (Králová 2001). Lidská činnost navíc vede k obohacení toků o zdroje, které silně mění kvalitu organické hmoty v říčních systémech vedoucí k degradaci stanovišť (Finlay 2011). Posledním kritériem je poté doba trvání znečištění, tedy dlouhodobé, související se změnou krajiny člověkem a krátkodobé, například při ekologických haváriích (Hopkins, Bain, Copeland 2014).

V České republice se jakost vod, její kvalita, výrazně zlepšila od roku 1991. Délka toků označovaných IV. a V. třídou jakosti stále klesá (Nesměřák 2006). Zvýšení jakosti českých toků je příčinnou výstavby ČOV, užitím nižšího množství umělých hnojiv, efektivnějšími technologiemi a rušením či omezením provozu řady průmyslových podniků (Šťastný 2006).

### **3.4.6. Ostatní efekty antropogenních vlivů**

Z hlediska ekologické stability je problémem zavlečení invazivních druhů a jejich šíření podél vodních toků, čímž vytlačují původní vegetaci. Tím vznikají podmínky pro zvýšení eroze břehů. Napřimováním a zvyšováním sklonu je poté tok schopen odnést semena těchto druhů dále níže po toku (Švorcová 1998). Typickými invazivními druhy, vyskytujícími se podél vodních toků na našem území jsou křídlatka japonská, netýkavka žláznatá, vodní mor kanadský, sítina tenká či známý bolševník velkolepý, z dřevin pak třeba javorovec jasanolistý (Králová 2001).

Vodohospodáři také přerozdělují vodu potrubím či drenážemi v prostoru k zajištění zásob pitné vody, energetiky či zemědělství (Govorushko 2007). Některé oblasti tak jsou ochuzeny o přirozenou vláhu, kdežto jiné, většinou srážkově chudé, jsou obohaceny. U nás jsou tyto závlahové systémy využívány výrazně v zemědělství. Využíváme je v nejúrodnějších, ale srážkově slabě dotovaných oblastech (Dyjosvratecko, Dolnomoravský úval, Žatecko, Lounsko). Po roce 1990 se ovšem odběry pro závlahy

výrazně zmenšily, jako výsledek privatizace, restitucí a transformace zemědělského sektoru (Erlich, Hladný, Kopp 2006).

Vodní toky jsou změnami nejvíce dotčeny v urbanizované oblasti. Samotná urbanizace si žádá změny v hydrografické síti a ve spojitosti s tím jsou zřejmé změny v utváření odtoku. Vlivem povrchu a vypouštěných látek kanalizací do toku se zde mnohem výrazněji mění fyzikální, chemické i biologické vlastnosti povrchové i podpovrchové vody než v rurální či přírodní krajině a to společně s její kvalitou. Zastavěná oblast má rovněž vliv na výskyt a intenzitu srážek a změny ve výparu a infiltraci (Červený et al. 1984).

### **3.5. Úpravy vodních toků a povodně**

Povodeň je jedním z klíčových procesů formující vývoj habitatu toku a jeho okolí (Pedroli et al. 2002). Přestože je povodeň přirozený přírodní proces, velký podíl na jeho vzniku a průběhu má nyní i člověk (Douděrová 2012). Na její rozsah má vliv nejen samotné říční koryto, ale charakter celé krajiny (půda, vegetace, land cover atd.). Původní vegetace s vysokým zastoupením luk a lesů se lidskou činností změnila v kultivovanou krajinu a ztratila tak svoji retenční schopnost, nyní tak povodně akceleruje (Jelen, Matějček 2016). Tuto důležitou vlastnost ztratily nešetrnými lidskými zásahy především nivy, fungující jako přirozená rozlivová zóna a protipovodňová ochrana (Svoboda et al. 2015). Zásadním faktorem je také ovlivnění odtoku ze zemědělské půdy, která je zhutňováním degradována a ztrácí svoji infiltrační schopnost (O'Connell et al. 2007) a odvodněná drenážemi, což vede k velmi nízkému retenčnímu potenciálu, ale po povodni urychlují odvod nadbytečné vody (Jelen 2015).

Zkrácení toku vede ke zrychlení postupu povodňové vlny a vyšším hodnotám kulminací na níže položených částech toku. S tím spojené zvýšení sklonu rovněž zvyšuje rychlost proudění (Langhammer, Vajskebr 2007). Za vyšších průtoků poté vlivem soustředěného proudění dochází k dalšímu nežádoucímu zahlubování toku u technicky upravených koryt a je omezená tlumivá funkce nivy (Just 2017a). Dříve nepředvídatelným a významným důsledkem úprav toků je nárůst frekvence a velikosti povodní a zároveň opačný extrém – snížení hladiny v období nízkých průtoků u nadměrně zahloubených koryt (Kiss et al. 2019). Pinter et al. (2006) ale uvádí, že nalezneme i lokality (Rýn),

kde nezaznamenáváme vliv modifikací člověka na extremitu povodní v průběhu 20. století, proto nemusí být některé zásahy do toku na škodu, pokud jsou dobře navrženy.

U mnoha toků, kde je vysoké ohrožení povodněmi, technické úpravy toku nejsou schopny vyřešit povodňové ohrožení. K tomu je nutné řešit situaci v celém povodí, v celé krajině a na všech přítocích, to ale není v silách správců vodních toků (Cigošová 1999). Toto ohrožení také roste, protože se zvyšuje množství zástavby v rizikových oblastech (Kundzewicz, Pińskwar, Brakenridge 2018) a je pozoruhodné, že nivy, jakožto tyto rizikové oblasti, začaly být soustavně zastavovány až od počátku 20. století (např. Olomouc) (Petříček 1998). V zastavěné oblasti je zpravidla vrchol povodně vyšší než v rurální krajině, ale má kratší dobu trvání (Kundzewicz, Pińskwar, Brakenridge 2018). Zejména malé, opevněné toky v intravilánu velmi rychle vybřeží (Mareš 1997). Expanze zastavěné plochy je také změnou land coveru, dochází zde k soustředěnému odtoku a téměř nulové infiltraci. Ranzi, Bochicchio, Bacchi (2002) ale tvrdí, že zastavěné území tvoří velmi nepatrnou část povrchu povodí, a tak je jeho vliv nepatrný.

Člověk kvůli ochraně před povodněmi upravuje jednotlivé charakteristiky koryta (trasu, podélný profil atd.) a také nivu s příbřežní zónou. Byly odstraňovány ostrůvky a lavice vnímané jako překážky průtoku (Králová 2001). Některé jezy ale působí jako překážky a podporují tak rozliv povodní do intravilánu. Jezy, náspy či mostní konstrukce se v těchto případech stávají centry erozní a akumulární činnosti (Křížek, Engel 2007). Konstrukce opevnění sice vede ke snížení eroze břehů, ale povodně zvyšuje (Kiss et al. 2019). Opevnění snižuje drsnost koryta, jako jednoho z faktorů snižující rychlost proudění. Při extrémních povodních tak dochází k vyšším škodám na upravených korytech vodních toků než na neupravených (Mareš 1997).

Ochranné hráze jsou z ekologického hlediska vhodnějším přístupem k protipovodňové ochraně (nenarušují říční ekosystém) než zkapacitnění koryta či jiný zásah přímo do toku (Šlezinger 2010). Umělé hráze, valy a poldry snižují povodňové riziko pouze u malých až středních povodní, u velkých škody naopak zvyšují (Kiss et al. 2019). Podobný efekt ochrany mají nivy, které zpomalují postup povodňové vlny u malých až středních povodní, ale u velkých, kdy je koryto s nivou kompletně zaplaveno (tvoří jeden souvislý tok), niva své účinky ztrácí. I schopnost přírodní krajiny je tedy limitována a před extrémními stavy se nelze bránit (Svoboda et al. 2015). Je-li niva oddělena od koryta hrází či valem, tak se síla proudu soustředí do menší plochy, což povodeň

zvyšuje společně s erozí (Remo, Carlson, Pinter 2012). V duchu pasivních, netechnických opatření je nutné nivy ponechat v nejvyšší možné míře přirozenými záplavovými oblastmi (Janský, Kocum 2007) a obnovovat stará říční ramena, jako obtoková koryta odvádějící část povodně od intravilánu (Matoušková 2007b). Velká část povodní se formuje již v pramenných horských oblastech, kde je nutné zvýšit plochu zalesnění, která snižuje výšku kulminace povodně v nižších nížinných částech povodí (Ranzi, Bochicchio, Bacchi 2002). Horské lesy jsou schopny tlumit přívalové srážky až o síle 100 mm (Kanotr, Šach 2003).

### **3.6. Revitalizační úpravy**

Revitalizací rozumíme snahy navrátit tok a nivu do stavu blízkého přírodě, což ovšem neznamená do stavu, ve kterém tok byl před ovlivněním člověkem. Přírodě blízký stav totiž musí plnit také i antropogenní funkce, například ochranu před povodněmi (Vrána et al. 2004), navíc do přírodního stavu není tok již možné většinou vrátit, protože se dnes nacházíme ve zcela kulturní krajině (Just et al. 2005).

Tendence člověka upravovat toky následně pokračovala především v 19. a 20. století napřimováním, výstavbou hrází či umělých kanálů (Just et al. 2005). Proto se začaly objevovat první revitalizační myšlenky, konkrétně ve Velké Británii v 70. letech 20. století (Matoušková 2008). Počátky revitalizačních snah pak pozorujeme v 80. letech a to zejména v západní Evropě, kde došlo ke změně přístupu v chápání vodních toků. V České republice se první revitalizační trendy objevují až od roku 1990 (Matoušková 2003). Jsou iniciovány především regulacemi a melioracemi, které se posouvali až do okrajových poloh pohoří, tedy oblastí nevhodných pro zemědělství společně s problémy extrémů (povodní a sucha), které jsou také ovlivněny nevhodnými zásahy člověka.

Základní úlohou revitalizace je vytvoření nového koryta, které je oproti předchozímu, upravenému, členitější, méně zahloubené a zpravidla má nižší kapacitu (Just et al. 2005), čímž činí opak protipovodňových opatření (Matoušková 2007b). Revitalizace tak zvyšuje diverzitu habitatu pomocí změn v morfologii toku (Poppe et al. 2016). Jejich hlavním cílem tedy je zvýšení retenční schopnosti krajiny (Matoušková 2007a, Matoušková 2007b) a odstranění negativních zásahů či zmírnění jejich dopadů na ekosystém (Šlezinger 2010). Revitalizační cíle se výrazně liší v přírodní krajině a intravilánu, kde je větší důraz kladen na protipovodňovou ochranu a není prostor na větší

úpravy. Přestože revitalizační opatření převážně snižují účinnost protipovodňové ochrany, mohou k ní také přispívat. Do roku 1999 byla koryta navrhována pro naddimenzované průtoky, především na přirozených rozlivových plochách, jako jsou lesy a louky (tabulka 2). Mezi základní revitalizační opatření, které podporuje protipovodňovou ochranu, patří tlumivý rozliv v nivě. Ten se odehrává v oblasti nad a pod intravilánem, kterým je průtok rychle proveden kapacitním korytem. Další variantou je obnova povodňových průtočných pásem či obtokových koryt, které část průtoku vedou mimo zástavbu. Přímo v samotném intravilánu je vhodnou úpravou odstranění povodňových překážek (jezů a stupňů), které jsou zpravidla i migračními (Just et al. 2005).

**Tabulka 2: Hodnoty navrhovaných průtoků pro kapacitu koryta dle již zaniklé normy ČSN 73 6823 – z dnešního a revitalizačního pohledu naddimenzované průtoky polí, lesů a luk (Zdroj: Šlezinger 2010)**

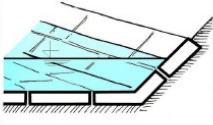
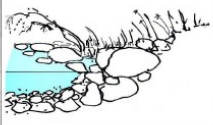
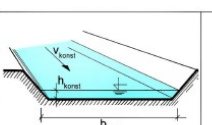
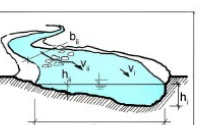
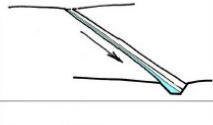
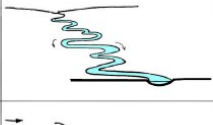
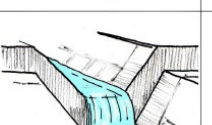
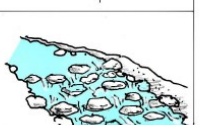
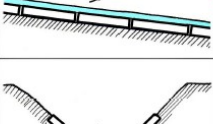
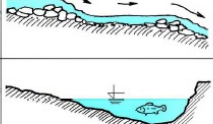


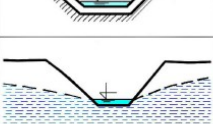
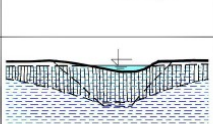
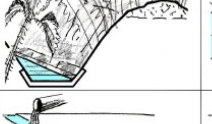

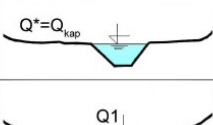
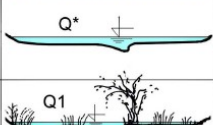
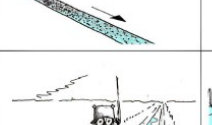



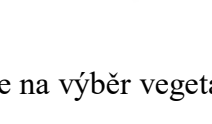
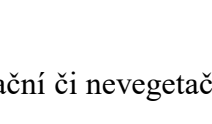
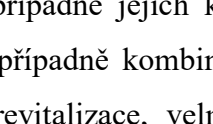
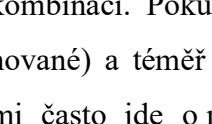
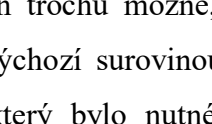
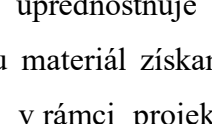
Druh kultury, zastavění	Navrhovaný průtok
Intravilán měst, aglomerace, strategické podniky	$Q_{100}$ i více
Souvislá zástavba, průmysl a významné liniové stavby	$Q_{50}$ – $Q_{100}$
Zvláště cenná orná půda – vinice, chmelnice, sady	$>Q_{20}$
Pole – podle pěstovaných plodin	$Q_5$ – $Q_{20}$
Louky a lesy	$Q_2$ – $Q_5$

Jedním z hlavních předpokladů revitalizace je zvýšení biodiverzity zvýšením členitosti toku, k čemuž je potřeba zajistit střídání různě proudných míst, hloubek, druhů sedimentů a dalších elementů (Just et al. 2005), kde upravené koryto tuto různorodost či některé elementy zcela postrádá. Revitalizační projekty vedou ke zvýšení heterogenity habitatu s předpokladem, že dojde i ke zvýšení biodiverzity, ovšem empirická data napovídají, že je tento efekt příliš malý (Haase et al. 2013; Hasselquist et al. 2018) a to především u hydrofytů (Haase et al. 2013). Toto očekávání je založeno na ekologické teorii, že komplexnější habitat poskytne druhům větších rozsahů nik a sníží pravděpodobnost mezidruhové konkurence (Hasselquist et al. 2018).

Revitalizační úpravy mají široké spektrum efektů na tok i jeho okolí (obr. 9), mezi ty nejdůležitější patří zadržování vody v krajině, vyrovnání odtokových poměrů, zlepšení jakosti vody, obnova či zkvalitnění biotopů či zlepšení vzhledu koryta a okolí. Těchto účinků se docílí velkým množstvím úprav, jako je prodloužení trasy a s tím spojené prodloužení doby průběhu vody korytem, obnovením členitosti dna i podélného profilu, zvětšením omočeného povrchu koryta, obnovením mokřadních ploch či podporou samočisticí schopnosti toku (Just et al. 2005). Oblíbeným revitalizačním přístupem je obnova

zaniklých meandrů (Garcia, Schnauder, Pusch 2012), ale podle (Poppe et al. 2016) je nedůležitějším rozšíření koryta. Kałuza, Szoszkiewicz, Szałkiewicz (2016) uvádí, že se ukazuje jako velmi efektivní implementace malých struktur do koryta. Je důležité provést revitalizaci bezchybně, protože je-li provedena špatně, tak celá revitalizace může být zničená většími disturbancí, typicky povodní (Jelen, Matějček 2016; Poppe et al. 2016), a proto je mnohdy lepší variantou nechat zničení úpravy na samovolném rozpadu (Just et al. 2005).

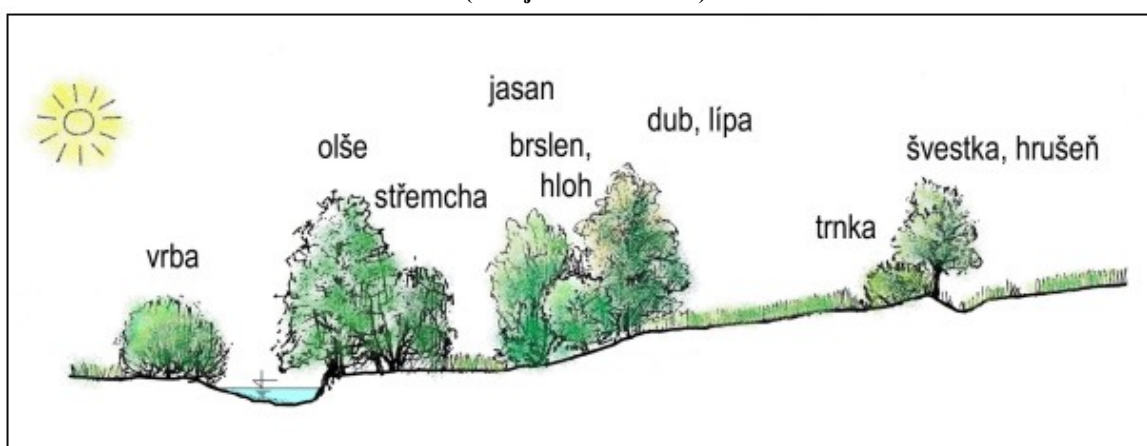
Obr. 9: Hlavní revitalizační efekty (Zdroj: Just et al. 2005)

zvětšení omočeného (aktivního) povrchu			obnovení členitosti, a tím ekologické hodnoty toku		
prodloužení trasy a dob průběhu vody			obnovení migrační prostupnosti toku		
obnovení členitosti podélného profilu			nahrazení degradovaných povrchů v nivě povrchy hodnotnějšími		
zvětšení aktuální zásoby vody v korytě			zlepšení podmínek pro samočištění vody		
posílení infiltrace, zvětšení zásoby nivní podzemní vody			zlepšení vzhledu koryt a niv		
tlumení průběhu velkých vod rozlívem v nivě	$Q^* = Q_{kap}$	$Q^*$	zlepšení vzhledu koryt a niv		
obnovení přirozeného povodňování nivy	$Q_1$	$Q_1$	zlepšení vzhledu koryt a niv		
obnovení přirozené stability koryta			zlepšení vzhledu koryt a niv		

Pokud je nutné při revitalizaci opevnit břeh, máme na výběr vegetační či nevegetační opevnění, případně jejich kombinaci. Pokud je to jen trochu možné, upřednostňuje se vegetační (případně kombinované) a téměř vždy je výchozí surovinou materiál získaný na místě revitalizace, velmi často jde o materiál, který bylo nutné v rámci projektu odstranit (Mareš 1997).

Nedílnou součástí většiny revitalizací je vegetační doprovod. Dříve byly stromy a keře často odstraňovány přímo z břehů, protože byly považovány za nebezpečné, ale dnes jsou chápány jako důležité úkryty, stanoviště a slouží ke zpomalení a dekoncentraci povodně (Just 2017a). Umístění jednotlivých druhů vegetace závisí především na jejich schopnosti snést zaplavení (Just et al. 2005), proto se blíže břehu vysazují olše než například lípa či dub (obr. 10). Mezi hlavní funkce vegetačního doprovodu patří protierozní ochrana, útočiště pro faunu s tvorbou přirozeného koridoru či podpora samočistící funkce toku (Šlezinger 2010).

**Obr. 10: Umístění jednotlivých druhů stromů, jako vegetačního doprovodu při revitalizacích (Zdroj: Just et al. 2005)**



Užití rostlin není ovšem omezeno pouze na břeh, ale možností je také jejich implementace přímo do koryta řeky, kde následně ovlivňují akumulaci, erozi, zpětné proudy, rozvolňují proudnici atd. (Kałuza, Szoszkiewicz, Szalkiewicz 2016).

Pokud do toku nebudeme již více zasahovat a necháme jej samovolně obnovit jeho přirozené tvary a funkce, kupříkladu rozpadem opevnění, tak se jedná o renaturaci (Just 2017a, Tichý 2017). Renaturace si ale nedokáže poradit například s nadměrně zahloubeným korytem, které může být navíc výrazně opevněno. V tomto případě se tok bude samovolně nadále zahlubovat v důsledku soustředěného proudění. Renaturační postupy se uplatňují především v zemědělské krajině a na horních tocích, často následují po dokončené revitalizaci. Nejdůležitějšími renaturačními procesy jsou především rozpad opevnění a migračních překážek, zarůstání vegetací a zanášení koryta splaveninami (Tichý 2017).

## 4. Metodika a zdroje

### 4.1. Metodiky hodnocení hydromorfologického stavu

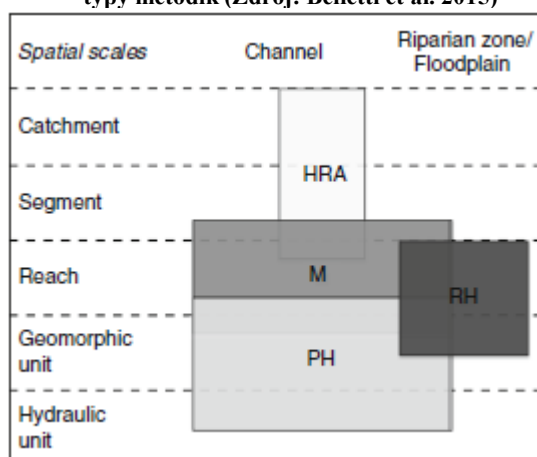
První metodiky začaly vznikat v 80. letech 20. století a jejich velký rozvoj započal v 90. letech (Raven et al. 1997), kdy vznikly metodiky, jako jsou britská RHS, německá LAWA či na počátku 21. století česká metodika EcoRivHab. Většina zemí Evropy užívá své vlastní metodiky pro hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků. U nás je nyní MŽP ČR doporučována metodika HEM (Langhammer 2007a) od roku 2008 (Šípek, Matoušková, Dvořák 2010). V metodikách se nejprve autoři zaměřovali na samotné koryto a až postupem času se do hodnocení dostaly i břehy či celé povodí (Verdonschot 2000). V poslední době se metodiky zaměřují na geomorfologické přístupy, které zkoumají geomorfologické tvary pro lepší pochopení a interpretaci dynamiky a vývoje toku (Rinaldi et al. 2017). Pro stanovení ekologického stavu je nutné hodnocení hydromorfologického stavu nutně doplnit o průzkum biologický a fyzikálně-chemický (Just 2020), které byly zpočátku u revitalizačních projektů prováděny pouze v případech problémů, disturbancí, ale postupem času se stávají nedílnou součástí u těchto projektů (Verdonschot 2000).

Vhodný přehled metodik hodnocení nabízejí Kilinc, Kay (2018) či Belletti et al. (2015), kteří shrnují 121 metodik hydromorfologického monitoringu z celého světa od roku 1983 (Belletti et al. 2015), což jen ukazuje na fakt, jak je těžké stanovit jednotlivé prvky hodnocení a následné hodnocení celého úseku či toku. U každé metodiky je uvedena její limitace, pozitiva a negativa. Jednotlivé metodiky a způsoby hodnocení ovšem nejsou mezi sebou vzájemně porovnatelné (Langhans et al. 2013). Tyto metodiky Belletti et al. (2015) dělí do 4 kategorií, které se vzájemně a částečně prolínají (obr. 11):

- PH – hodnocení fyzického habitatu
- RH – hodnocení příbřežního habitatu
- M – hodnocení morfologie vodního toku
- HRA – posouzení změn hydrologického režimu



Obr. 11: Prostorový kontext a překrytí mezi jednotlivými typy metodik (Zdroj: Belletti et al. 2015)



Z těchto metodik je v Rámcové směrnici implementováno 13 metodik PH, 1 RH, 5 M a 1 HRA (Belletti et al. 2015). Většina těchto metod hydromorfologického průzkumu s vazbou na Rámcovou směrnici je založena na srovnání současného stavu vodního toku s odpovídajícími místními referenčními podmínkami (Kujanová, Matoušková 2016).

#### 4.2. HEM 2014

Pro účely terénního průzkumu antropogenní upravenosti koryta řeky jsme užívali metodiku HEM (Langhammer 2014), která vychází z předchozí verze HEM metodiky (Langhammer 2007a). Základním důvodem pro volbu této metodiky byla možnost hodnotit celkový hydromorfologický stav toku a také jednotlivé ukazatele (úprava břehu, využití nivy atd.), které tato metodiky využívá ke stanovení celkového stavu toku. Metodika je doporučována MŽP ČR. Základními východisky pro metodiky hydromorfologického monitoringu toků HEM představují následující principy (Langhammer 2014):

- Soulad s požadavky Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/ES
  - Účelem této směrnice je zabránění zhoršování stavu vodních útvarů, udržitelnost užívání vod, zlepšení stavu všech uměle a silně antropogenně ovlivněných toků, cílené snižování znečištění či zmírnění účinků povodní a sucha. Rovněž určuje základní charakterizaci typů povrchových vodních útvarů (RS 2000/60/ES).

- Soulad s evropskou i českou normou EN 14614 – Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik řek
  - Tato norma sjednocuje metodiku hodnocení hydromorfologických charakteristik toků pro potřeby Rámcové směrnice (Langhammer 2007b). Stanovuje všeobecné referenční podmínky (nezbytný předpoklad pro hodnocení hydromorfologické kvality) pro jednotlivé části hodnocení (charakter břehu, dna, vegetaci v příbřežní zóně atd.) (ČSN EN 14614).
- Soulad s evropskou i českou normou EN 15843 – Jakost vod – Návod pro určení stupně modifikace hydromorfologie řek
  - Poskytuje návod pro charakterizaci modifikací hydromorfologických charakteristik vodních toků, popsanych v normě EN 14614 (ČSN EN 15843).
- Návaznost na stávající legislativu a metodiku aplikovanou v ČR a EU, především na vyhlášku č. 98/2011 Sb.
  - Tato vyhláška je výchozím podkladem pro hodnocení ekologického stavu útvaru povrchových vod. Určuje kvalitativní ukazatele klasifikace ekologického stavu povrchových vod, četnost monitoringu u hydrologického režimu na nepřetržitý a u kontinuity toku a morfologických podmínek na 6 let. Také uvádí, že stanovení referenčních podmínek musí být provedeno přímo v terénu či modelováním, popřípadě kombinací obou metod a v případě, kdy není možno tyto varianty použít, tak jsou referenční podmínky stanoveny expertním posudkem (vyhláška č. 98/2011 Sb.).
- Praktická aplikovatelnost v rámci programů monitoring v ČR

Úseky, ve kterých probíhá monitoring, jsou heterogenní a vymezeny na základě 4 ukazatelů v tomto pořadí:

- Typologie vodních toků (určená podle Langhammer et al. 2009)
- Půdorysný průběh trasy toku
- Charakter využití příbřežní zóny a údolní nivy
- Charakter upravenosti toku

Nejprve byl tok Metuje rozdělen na dvě části podle výše zmíněné typologie vodních toků, protože protínal vrstevnici 500 m n. m., která je hranicí mezi tokem pahorkatinným a vrchovinným. Hlavní dělení pak proběhlo pomocí změn půdorysného průběhu trasy koryta a pro dorozdělení bylo užito následné kritérium, využití údolní nivy a příbřežní zóny.

Popisek úseků se skládá z ID vodního útvaru (v našem případě HSL\_0320) a poté z tří písmen, které jsou počátkem názvu toku a tří čísel, které charakterizují číslování úseků. Mapování probíhá proti proudu toku a proto nejnižší číslo úseku, MET001, patří úseku při konci sledovaného toku při soutoku s potokem Vlásačka a nejvyšší číslo představuje úsek u pramene toku (MET023). Metodika v rámci jednotlivých úseků sleduje následující 3 zóny: koryto, příbřežní zónu a inundační území. Dohromady jsou hodnoceny na základě 17 parametrů (tabulka 3). Většina z nich je stanovena mapováním v terénu do mapovacího formuláře (příloha 1). Terénní mapování je doporučeno provádět na začátku jara či ke konci podzimu, kdy koryto není zakryto hustou vegetací. Distančně je určeno především využití údolní nivy, využití příbřežní zóny, průchodnost inundačního území a u parametru variability šířky koryta šířka údolní nivy. U ostatních parametrů byl distanční zdroj dat využit spíše jako doplňující zdroj. Pro distanční mapování bylo užito ortofota či databáze Corine land cover. Pomocí historických map II. či III. vojenského mapování je určována historická trasa toku.

Některé charakteristiky není možno přesně stanovit, například kvůli nepřístupnosti koryta či nedostatečnému rozlišení ortofota, a proto se určuje správnost stanovení jednotlivých ukazatelů ve třech kategoriích (hodnoceno A, B, C, kde A je nejvyšší spolehlivost). U většiny parametrů je spolehlivost hodnocena A, tedy staveno s jistotou.

U parametru *Charakter proudění* je u všech úseků spolehlivost B (stanoveno s částečným odhadem), protože klouzavý a slapový proud je obtížně rozeznatelný. Hodnocení spolehlivosti B je také u některých úseků parametru *Variabilita hloubek v příčném profilu*, kde byl ztížen přístup ke korytu, a tak bylo nutné odhadnout stav tohoto parametru v určité části úseku. V ojedinělých případech bylo hodnocení spolehlivosti některého z parametrů C – stanovení odhadem. Toto hodnocení nastalo u parametru *Variabilita hloubek v příčném profilu* u úseků MET002, MET004, MET008 a MET010, kde byl přístup ke korytu omezen v nadpoloviční většině jeho délky a u parametru *Dnový substrát* u úseku MET010, protože zde nebyl přístup ke korytu v téměř celé jeho délce.

**Tabulka 3: Parametry v jednotlivých zónách metodiky HEM (Zdroj: Langhammer 2014)**

Zóna	Parametr
Koryto	Upravenost trasy toku (TRA)
	Variabilita šířky koryta (VSK)
	Variabilita zahloubení v podélném profilu (VHL)
	Variabilita hloubek v příčném profilu (VHP)
	Dnový substrát (DNS)
	Upravenost dna (UDN)
	Mrtvé dřevo v korytě (MDK)
	Struktury dna (STD)
	Charakter proudění (PRO)
	Ovlivnění hydrologického režimu (OHR)
	Podélná průchodnost koryta (PPK)
Příbřežní zóna	Upravenost břehu (UBR)
	Břehová vegetace (BVG)
	Využití příbřežní zóny (VPZ)
Inundační území	Využití údolní nivy (VNI)
	Průchodnost inundačního území (PIN)
	Stabilita břehu a boční migrace koryta (BMK)

Před samotným mapováním je nutné stanovit referenční stav pro daný tok. Referenční stav by měl reprezentovat přírodě nejbližší a nejlepší možný dosažitelný stav vodního toku, tedy jeho kvalitu a kondici (Verdonschot 2000) a měl by odrážet přirozené vlastnosti toku před začátkem průmyslové revoluce (Kern 1992, cit. v Šmerusová 2010, s. 21). Pro každý říční typ je nutno definovat specifický referenční stav (Kyselka 2010), protože jednotlivé typy mohou vykazovat takové atributy, které jsou pro jiný typ specifické, kdežto pro ostatní jsou atypické. Referenční stav je nutné stanovit před hydromorfologickým monitoringem vodního toku, kde tato povinnost vychází z normy ČSN EN 14614. Definice referenčního stavu je problematická v kulturní krajině Evropy, protože se tento stav téměř nevyskytuje (Šmerusová 2010), a proto je nutné v mnoha případech brát za referenční stav pouze přírodě blízký tok (Verdonschot 2000). To samé platí v české krajině.

Pro terénní mapování je vhodným mapovým podkladem Základní mapa ČR 1 : 10 000 se zakreslenými hranicemi úseků, dále GPS k určení přesných souřadnic hranic a laserový dálkoměr k měření šířky koryta a hladiny (Langhammer 2014). Pro mapování a zpracování dat je dán postup (Langhammer 2007a):

1. Vymezení hranic úseku
2. Zákres hranic do mapy s kódem úseku
3. Mapování hodnot ukazatelů do formuláře
4. Zjištění doplňujících informací
5. Převod údajů z formuláře do digitální polohy
6. Propojení údajů v prostředí GIS
7. Vyhodnocení výsledků

Hodnocení je založeno na skórování jednotlivých parametrů, kde každému parametru je stanovena váha podle typologie vodního toku stanovených podle Langhammera, Hartvicha et al. (2009). Skórování nabývá hodnot 1–5, kde 1 označuje nejlepší stav a 5 nejhorší. Parametry, kde se hodnotí oba břehy, se do hodnocení promítne ten s méně příznivou hodnotou. Celé hodnocení probíhá v následujících krocích (Langhammer, Hartvich 2014):

1. Skórování hydromorfologické kvality hodnocených parametrů
2. Výpočet hydromorfologické kvality pro jednotlivé zóny
3. Klasifikace hydromorfologického stavu úseku
4. Výpočet hydromorfologické kvality vodního útvaru
5. Klasifikace hydromorfologické kvality vodního útvaru

Celkový hydromorfologický stav úseku (HMS) je stanoven jako vážený průměr skóre a následně zařazen do třídy (tabulka 4) podle hydromorfologického stavu.

Tabulka 4: Klasifikace hydromorfologického stavu dle vypočteného skóre (Zdroj: Langhammer 2014)

Skóre ≥ <	Třída	Hydromorfologický stav	Barva na mapě
1,0 – 1,5	1	Přírodě blízký	Modrá
1,5 – 2,5	2	Slabě modifikovaný	Zelená
2,5 – 3,5	3	Středně modifikovaný	Žlutá
3,5 – 4,5	4	Značně modifikovaný	Oranžová
4,5 – 5,0	5	Silně modifikovaný	Červená

### 4.3. Zdroje dat

Pro vytvoření mapových dokumentů byla využita primárně data ArcČR 500 a DIBAVOD pro vodní toky. Na základě zobrazovaného jevu byly užity také data z geoportálu ČÚZK (především pro DMR), CENIA, ČHMÚ, AOPK, Copernicus Corine Land Cover a geologické a půdní mapy ČGS. Všechny mapy byly vytvořeny v programu ArcGIS Pro verze 2.3. Zde byly analyzovány i základní hydrologické charakteristiky na datech DIBAVOD. Pro analýzu odtokových poměrů byla užita data z publikace Hydrografických poměrů ČSSR II. (Zítek et al. 1967) a III. dílu (Zítek et al. 1970) pro období 1921–1960. Analýza odtokových poměrů a vyhodnocení jednotlivých úseků monitoringu proběhlo v prostředí Microsoft Excel 2010.

Pro hodnocení antropogenní ovlivnění jsme také využili informací od správce povodí, tedy státního podniku Labe, o celkové úpravě koryta v Teplicích nad Metují. Pro nalezení drobnějších úprav bylo nutné navštívit Státní okresní archiv Náchod. Ti nám poskytnou vodní knihy pro bývalý okres Broumov, kde se evidovaly veškeré zásahy do toku či pouhé odběry vody. Tyto knihy obsahovaly veškeré úpravy od konce 19. století do roku 1951. Vodní knihy evidující dřívější úpravy se bohužel nedochovaly. Problémem těchto dat je, že zájmové území náleží do Sudetské oblasti, proto je část záznamů z tohoto období v německém jazyce.

Při terénním průzkumu, který probíhal v rozmezí října až listopadu 2019, byla pořízena také nezbytná fotodokumentace. Pro práci v terénu bylo využito Základní mapy ČR v měřítku 1 : 10 000 a také mapového portálu mapy.cz.

Při analýze změny trasy toku bylo využito zgeoreferencované trasy podle II. vojenského mapování, prováděného mezi lety 1819–1858 v měřítku 1 : 28 800. Výškopis byl zaznamenáván svahovými šrafami (Brůna et al. 2002), čímž především v oblasti Adršpašsko-Teplického skalního města je trasa toku obtížně identifikovatelná či zcela zaniká. Mapování zachycuje území v období rozmachu průmyslové revoluce, ale ještě před hlavními úpravami vodních toků a melioracemi, které masově vznikaly ke konci 19. století. U map vojenského mapování je problematická přesnost, která je udávána na přibližně 20 m (Škarpich et al. 2016).

Velmi problematické bylo také stanovení nivy. Rozsah nivy lze stanovit několika způsoby (Krejčí 2012):

- Topograficky, kdy je využito podrobných vrstevnic – velmi složitý postup a nedostatečný detail na drobných vodních tocích
- Geomorfologicky, kde toto vymezení ale pro naše území zachycuje pouze největší toky s rozsáhlými nivami
- Pedologicky, kdy je niva vymezena na základě výskytu fluvizemí, dodatečně hydromorfoních půd, které topograficky leží v nivě a azonálních půd vzniknuvších na písčitéch či štěrkových říčních sedimentech
- Dle povodňových rozlivů, kde je niva stanovena podle rozlivu při průtoku  $Q_{100}$ , problémem je často to, že rozsah rozlivu je omezen různými náspy, hrázemi apod.
- Geologicky, dle vrstvy holocenních nivních sedimentů

Pro stanovení nivy bylo u úseků MET001 – MET009 využito vrstvy DIBAVOD pro povodňové rozlivy  $Q_{100}$ , zbylé úseky byly stanoveny topograficky.

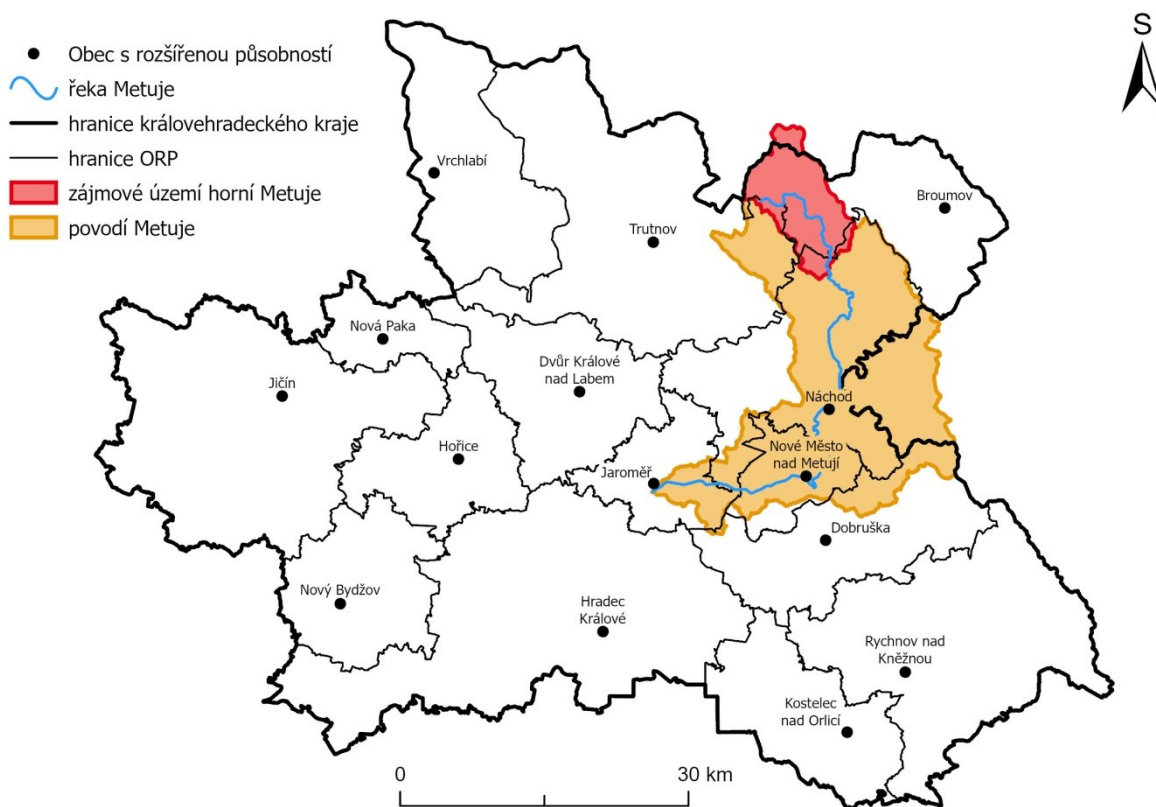
## 5. Fyzickogeografická charakteristika

### 5.1. Vymezení zájmového území

Řeka Metuje je situována v SV Čechách, přesněji v Královehradeckém kraji (s výjimkou krátkého pramenného úseku se celá nachází v okrese Náchod), při hranicích s Polskem. Pramení v nadmořské výšce přibližně 630 m n. m. na polích poblíž obce Hodkovice, která společně s pramenem náleží do katastrálního území obce Jívka. Vlívá se poté do Labe v Jaroměři, poblíž Josefovské pevnosti v nadmořské výšce 248 metrů. Její povodí odvádí vodu z velké části Broumovska, Klodzka (konkrétně z okolí Kudowy-Zdróje) a Orlických hor. Délka toku je 78,2 km, plocha povodí činí 610,625 km<sup>2</sup> a průměrný průtok u ústí je 7,05 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (Povodí Labe 2020).

Pro účely této práce se budeme zabývat horním úsekem řeky, konkrétně od pramene po soutok s potokem Vlášenska na jižním konci obce Česká Metuje, přibližně na 59 říčním km (obr. 12). Celý úsek náleží do CHKO Broumovsko. Plocha povodí tohoto úseku činí 93,104 km<sup>2</sup> a průměrný průtok na nejbližším hlášeném profilu v Maršově nad Metují, necelé 2 km po proudu, je 1,03 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (ČHMÚ 2020).

Obr. 12: Vymezení zájmového území v rámci královehradeckého kraje (Zdroj: dílo autora)





## 5.2. Geologická charakteristika

Sledované povodí spadá do vnitrosudetské pánve, která zasahuje i do sousedního Polska. Náleží tedy do oblasti Českého masívu, konkrétně do lugika. Česká část je tvořena kontinentálními sedimenty a vulkanity svrchního karbonu a permu, kontinentálními uloženinami spodního triasu a mořskými uloženinami svrchní třídy, kde tyto uloženiny dosahují mocnosti až 4 km (AOPK 2020). Podloží vnitrosudetské pánve je tvořeno slabě metamorfovanými sedimenty (fylity, droby) a vulkanity (Vizina et al. 2009). Od podkrkonošské pánve ji odděluje hronovsko-poříčský zlom.

Stratigraficky vývoj tohoto území probíhal v mezozoiku, převážně ve svrchní křídě (cenomanu, turonu a coniacu) a byl ovlivněn transgresí moře (ČGS 2020), proto je povodí vyjma blízkosti vodních toků marinní geneze. Říční síť se doformovala v kvartéru (holocénu). Okrajová část povodí patří do triasu, konkrétně jde o kaolinické křemenné pískovce spolu s arkózovitými pískovci bohdašínského souvrství v severní části při hranici s Polskem (příloha 2).

Velká část povodí spadá do podkategorie vnitrosudetské pánve, a to do pánve polické. Ta má synklinální stavbu s brachysynklinálním uzávěrem v severozápadním čele u Adršpachu. Celá pánev je od zbytku České křídové pánve oddělena na západě permskými a karbonskými uloženinami Jestřebích hor a na jihu výběžky krystalinika Orlických hor. Křídové sedimenty v pánvi patří k hejšovické oblasti (Kašpárek et al. 2006). Nejmladší vrstvy křídových uloženin tvoří kvádrové pískovce, tvořící skalní města (obr. 13). V oblasti pánve dochází k přirozené akumulaci podzemních vod.

**Obr. 13: Kvádrové pískovce v Adršpašském skalním městě (Foto: Kolovratník, převzato z oficiálního webu Adršpašských skal 2020)**

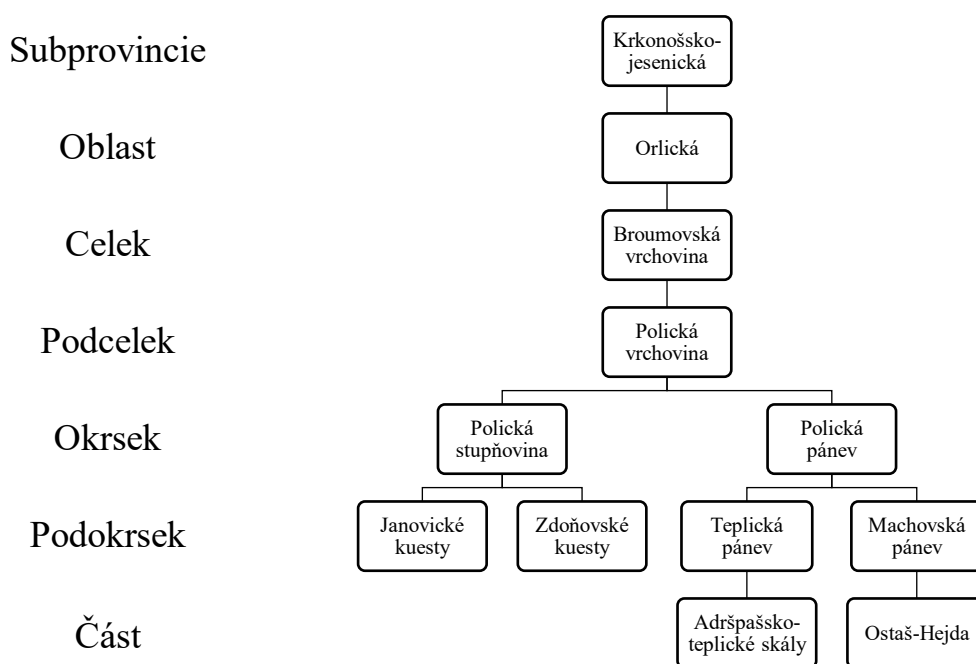


Polická pánev je rozdělena na dvě části příčným skalským zlomem, který vede od Bohdašína, přes Teplice nad Metují po Studnici (odděluje Adršpašské a Teplické skály). Do oblasti zasahuje také významný směrný zlom polický, který sleduje tok Metuje v Teplicích nad Metují, kde také kříží zlom skalský a pokračuje JV směrem k Ostaši.

### 5.3. Geomorfologická charakteristika

Oblast, stejně jako celé území Čech spadá do Hercynského systému, dále subsystému Hercynské pohoří a provincie Česká vysočina. Dále území náleží do následujících geomorfologických jednotek nižších řádů (obr. 14):

Obr. 14: Geomorfologické členění zájmového území (Zdroj: Balatka, Kalvoda 2006, upraveno)



Území Polické vrchoviny je hlavně kvůli přítomnosti Adršpašsko-teplického skalního města a kuest velmi členité. Nejvyšším bodem je vrchol Čáp (786 m n. m.), který je silně rozčleněným skalním hřbetem, na západním okraji Teplických skal. Na druhé straně nejnižším bodem je soutok Metuje s Vlásenkou (432 m n. m.) na jižním konci obce Česká Metuje. Střední výška oblasti činí 579 m n. m. Obecně nadmořská výška klesá ze severu k jihu a od západu k východu (příloha 3). Nejvyšší partií je Teplické skalní město, nejnižší pak údolí Metuje a jejich přítoků. Téměř se zde nenalézají rovinné plochy (do sklonu 2°), které najdeme hlavně v údolní nivě Metuje, která dosahuje šířky až 400 m. Přítomností vyvinutého pískovcového skalního města je zde mnoho ploch označovaných jako stěny či sruby (sklon více než 55°). Nejznámější skalní útvary mají i svá jména např.: Milenci, Starosta a Starostová či Homole cukru. Oblasti v okolí kuest jen dokreslují

rozmanitost sklonitostních poměrů v oblasti, kdy mírnější svahy směřují dovnitř synklinály (středu Polické pánve) a strmější naopak směrem k hranicím povodí (po obvodu pánve) a do Polska (příloha 4).

### **5.3.1. Polická pánev**

Okrsek, zaujímající většinou část zájmového území, je příčným skalským zlomem dále dělen na pánev teplickou (severnější) a machovskou (jižnější). Na hranicích se nachází věnec kuest (SV, SZ a JV) tvořící hranici s Polickou stupňovinou. V čelních svazích kuest jsou rozsáhlé rozsedliny podmíněné gravitací. Pro pánev je specifický tzv. pískovcový fenomén<sup>2</sup> a výstup skalního podloží v podobě stěn, srubů či věží lemujících Metuji od Teplic nad Metují až po Dřevíč (AOPK 2020).

Částí pánve je oblast Ostaš-Hejda v podokrsku machovské pánve na levém břehu Metuje JV od Teplic nad Metují. Oba vrcholy jsou tvořeny kvádrovými pískovci, stejně jako Adršpašsko-teplické skály. Ostaš (700 m n. m.) je rozčleněným stolovým vrchem, tvořeným hrástí podél polického zlomu. Severněji položená Hejda (626 m n. m.) je svědeckým pahorkem a oba vrcholy od sebe rozděluje údolí, kterým protéká potok Pelegrinka (Demek et al. 2006).

#### **5.3.1.1. Adršpašsko-teplické skály**

Jde o největší skalní město v České republice o rozloze přibližně 21 km<sup>2</sup> (Demek et al. 2006). Oblast je vzhledem k unikátnímu reliéfu z hlediska relativní výškové členitosti z velké části vrchovinou (příloha 5) a nacházejí se zde největší výškové rozdíly v zájmové oblasti (především na hranicích skalního města k údolí Metuje). Skalní město je rozděleno, na plošně menší Adršpašské skály a větší Teplické skály, Vlčí roklí, hlubokou erozní rýhou, která vede v přibližně ZSZ–VJV směru a protéká jí v západní části Metuje a ve východní Skalní potok. Podle Řezáče (1955) „Je náhlý ohyb potoka u Adršpašského jezírka ze směru východního na severní i prudký jeho spád v další části toku překonávaný 2 vodopády, to jsou všechno důvody, které svědčí o tom, že můžeme dnešní výtok z Adršpašských skal považovat za načepovaný, pirátstvím odvedený, který původně tekli celou Vlčí roklí k Teplicím“. Samotná plošina je pak rozčleněna mnoha dalšími roklemi

---

<sup>2</sup> Podle Mikuláše (1998, cit. v Navrátilová 2009, s. 12) „Pískovcový fenomén může definovat jako soubor živých a neživých složek přírody ovlivněných pravěkými, historickými i současnými lidskými zásahy, vázaný na specifický reliéf pískovcových skalních měst a výchozů“.

a stržemi, vyskytují se tu tak kaňonovitá údolí či soutěsky. Oba vodopády pod Adršpašským jezírkem na sebe navazují a nesou název Malý a Velký Adršpašský vodopád (obr. 15, 16), jejich výška je 4 a 16 metrů.

Ve skalách nalezneme makroformy (soutěsky, skalní věže, rozsedliny), mezofomy (skalní brány, okna, jeskyně) i mikroformy (voštiny, lišty, výklenky, trhliny) a velká část těchto forem sleduje směr význačných tektonických poruch (Řezáč 1955). Úpatí mnoha stěn, stejně jako střední části Vlčí rokle bývají pokryty hromadami suti či balvany. Kvádrové pískovce zvětrávají téměř výhradně mechanicky, zde nejvíce za vlivu periglaciálního zvětrávání (Řezáč 1955). Dochází k vyplavování jílovitého a kaolinitického tmelu a uvolňování křemenných zrn (Demek 1965).

**Obr. 16: Velký Adršpašský vodopád**

**Obr. 15: Malý Adršpašský vodopád**

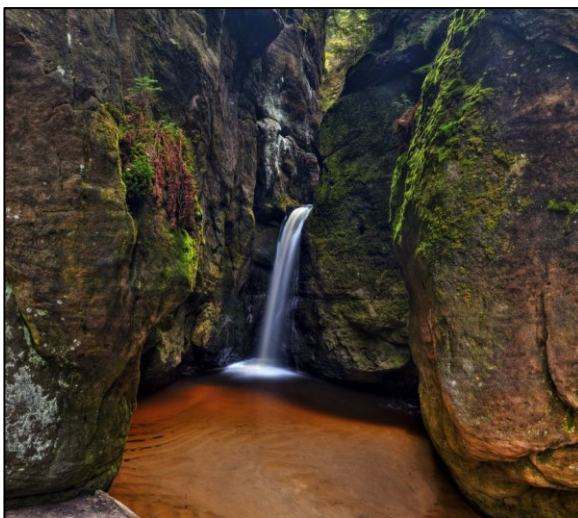


Foto: Kolovratník, převzato z oficiálního webu Adršpašských skal 2020



V Teplických skalách je vyvinuta síť soutěsek, detailněji členěný a hlubší reliéf než v Adršpašských skalách a také zde můžeme nalézt pseudokrasové jevy, mezi nejznámější patří více než 1 km dlouhá Teplická jeskyně na dně Skalního potoka (Adamovič et al. 2010). V Adršpašské části skal se dříve těžil písek (dnes je bývalý lom zatopen). Je také možné zde najít fulgurity (metamorfovanou horninu, která vzniká úderem blesku do pískovce).

### 5.3.2. Polická stupňovina

Okrsek zaujímá především severní hranici zájmového území. Převážně jde o pahorkatinu a ve sledované oblasti je jediné místo s výskytem pahorkatiny ploché. Tvoří ji kuestový lom, narušovaný zařízlými údolími přítoků Metuje (Adršpašský potok, Zdoňovský potok) (Demek et al. 2006). Kuesty jsou výsledkem selektivní denudace, konkrétně zde se střídají propustné pískovce a nepropustné slínovce (Vizina et al. 2009). Západní část zaujímají kuesty Janovické (obr. 17) tvořící severní uzávěr brachysynklinály Polické vrchoviny a na východě jsou kuesty Zdoňovské, jejichž vnější svahy spadají do kotliny v okolí polského města Mioszów (AOPK 2020).

Obr. 17: Kuesta poblíž Hodkovic, nedaleko pramene Metuje (Foto: dílo autora 2019)



### 5.4. Pedogeografická charakteristika

V oblasti mají vliv na pedogenezi biogeografické faktory, geologické podloží a z něj plynoucí matečná hornina a také extrémní reliéf. Pískovce v zájmové oblasti jsou chudé na vápník. Převažujícím půdním druhem jsou tedy půdy písčité, které jsou minerálně chudé a špatné na hospodaření (Válek 1964). V jižní části povodí už převažuje druh písčito-hlinitý. V oblastech čel kuest najdeme půdy hlinito-kamenité. V okolí České Metuje a potoku Vlášenska jsou půdy silně ohroženy vodní erozí a dochází zde k menším sesuvům (AOPK 2020).

Nejrozšířenějším půdní typem je, stejně jako v celé ČR, kambizem (příloha 6), která se typicky vyskytuje v oblastech pahorkatin a vrchovin. Vyskytuje se na území s humidnějším klimatem a váže se na členitý reliéf. Hlavní půdotvorným pochodem je intenzivní vnitropůdní zvětrávání (Tomášek 2007). V jižní části povodí převažují kambizemě dystrické, v malých izolovaných oblastech nalezneme i kambizem oglejenou.

Druhým nejčastějším typem je podzol, který se vyskytuje v oblastech velmi členitého reliéfu, proto ho v oblasti najdeme především v oblasti skalního města či vrcholů Ostaš a Hejda, které jsou příhodné pro vývoj podzolů i z hlediska nižších průměrných teplot a pokryvu jehličnatými lesy (Tomášek 2007). Hlavním půdotvorným činitelem je podzolizace. Vyskytuje se v subtypu železitém a modálním či arenickém.

Další půdní typy už pokrývají výrazně menší plochy v povodí. Především hraniční oblasti povodí a okraj skalního města či osamocených vrchů Ostaš a Hejda zabírají kryptopodzoly. Na rozdíl od podzolů je hlavním procesem vzniku intenzivní vnitropůdní zvětrávání jako u kambizemí (z kambizemí často kryptopodzoly vznikají). Váží se na svahový reliéf, proto je najdeme právě na okraji povodí a stejně jako podzoly se váží na chladnější a vlhčí klima (Tomášek 2007). V extrémním prostředí skalního města, přímo na matečné hornině najdeme vývojově mladé půdy, především litozem typická (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

V okolí přítoků Metuje pak najdeme gleje. Typické jsou pro údolní nivy a zamokřené úpady. Pseudogleje pak nacházíme v oblasti pramenišť, často se také střídají s luvizeměmi (Tesařová 2009). Luvizemě v oblasti doprovází gleje a pseudogleje v okolí vodních toků. Jsou typické vyběleným eluviálním horizontem. V oblasti již vyvinuté údolní nivy řeky Metuje, od Teplíc nad Metují, jsou fluvizemě.

Na čelech kuest nalezneme pelozemě, nazývané též slínovatky. Jde o těžké půdy, vázané na horniny poskytující zvětralinu, křídové jílovce a slínovce (Tomášek 2007). Na kamenných či balvanitých svazích Hejdy se vyskytují malé ostrůvky rankerů. V roklich skalního města (především pak ve Vlčí rokli) dochází k hromadění rašeliny a vzniku organozemě fibrické (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

V oblasti převažují pastviny (louky) nad ornou půdou, a to protože jak bylo zmíněno výše, zdejší půdy jsou minerálně chudé a navíc celá oblast spadá do CHKO Broumovsko. V oblasti se nachází jediné větší sídlo (Teplice nad Metují), i přesto se roztroušená

zástavba nachází prakticky podél celého toku řeky Metuje. V oblasti převažují jehličnaté lesy (příloha 7), nenalezneme zde i vzhledem k nadmořské výšce les listnatý. Kompletní pokrytí oblasti je uvedeno v tabulce 5.

**Tabulka 5: Land cover zájmového území (Zdroj: Vypočteno z dat Copernicus – Corine land cover 2018)**

Typ land coveru	Rozloha (km <sup>2</sup> )	Procentuální zastoupení (%)
Zástavba	2,3	2,5
Orná půda	19,4	20,8
Pastviny	31,3	33,6
Jehličnatý les	30,4	32,6
Smíšený les	3,8	4,1
Přechodné lesokřoviny	4,8	5,2
Odkrytá hornina	1,1	1,2

## 5.5. Biogeografická charakteristika

Zájmové území spadá podle individuálního biogeografického členění krajiny, určeného pro návrh ÚSES do provincie středoevropských listnatých lesů, podprovincie hercynské a regionu broumovského, kde tento region je shodný s geomorfologickým celkem Broumovská vrchovina (Culek et al. 2013). Tyto bioregiony byly vymezeny Culkem (1996) v publikaci Biogeografické členění České republiky.

Vlivem chladného mikroklimatu skalního pískovcového města zde jsou podmínky pro výskyt horských rostlinných druhů v nízké nadmořské výšce (Plachý 2005). Značná část polí na svazích a ve vyšších polohách byla po roce 1990 zatravněna. V oblasti se vyskytuje dubovobukový až smrkojedlobukový vegetační stupeň (stupně dle Zlatníka 1976), s převahou jedlobukového a smrkojedlobukového stupně (AOPK 2020). Nachází se zde také dvě lokality soustavy chráněných území Natura 2000. Jde o Adršpašsko-teplické skály s výskytem inverzních smrčín a zaujímavější oblast jako stejnojmenná NPR. Druhou je lokalita Metuje a Dřevíče, která v zájmovém území znamená celý tok Zdoňovského potoka a Metuje od jejich soutoku. V řece se vyskytuje vzácná mihule potoční (obr. 18).

Obr. 18: Mihule potoční (Foto: Merta, převzato z Hrnčlarová et al. 2009)



### 5.5.1. Flóra

Podle fytogeografického členění spadá většina zájmového území do obvodu Českomoravského mezofytika, Adršpašsko-teplické skály poté do Českého oreofytika (příloha 8). Českomoravské mezofytikum se poté dělí na okresy (pouze Sudetské mezihoří v oblasti) a na podokresy (Polická kotlina, Ostaš, Broumovské stěny).

Potenciální přirozenou vegetaci by zde tvořily především bikové bučiny a bučiny s kyčelnicí devítilistou. V oblasti skalního města a vrcholů Ostaš a Hejda poté (sub) montánní smrkový bor a smrčina (příloha 9). Z přirozené vegetace zde můžeme najít zbytky bučin a smrčin (Hrnčlarová et al. 2009).

Z dřevin v oblasti jednoznačně převládá smrk ztepilý (Plachý 2005). Dále se zde vyskytuje borovice, bříza bělokorá či zástupci keřů, jako je vřes obecný. Lesy v povodí zauímají více než 40 % plochy, dalších více než 30 % poté louky. Některé porosty v oblasti jsou maloplošně postiženy škůdci či větrem. Na loukách v podhůří pohraničních hor se běžně vyskytuje svízel severní, suchopýr úzkolistý, kuklík potoční, růže převislá, prstnatec májový či kýchavice bílá Lobelova. Ve skalním městě se v inverzních polohách vyskytují horské druhy jako podbělice alpská, violka dvoukvětá, papratka horská či mléčivec alpský. Obecně je ovšem flóra cévnatých rostlin v této oblasti chudá vlivem chudých půd a kyselého podloží. Naopak mechorostů se zde vyskytuje velké množství. Ve skalních štěrbinách poté můžeme najít puchýrník křehký či sleziník červený. V roklích skal se vyskytuje i rašeliništní vegetace, např.: záběhlík bahenní, ostřice Davallova (obr. 19), klikva bahenní (obr. 20) atd. Pro oblast suťových lesů jsou pak typické druhy jako měsíčnice vytrvalá či rybíz alpský. Ve vodních tocích a oblastech pramenišť můžeme narazit na zdrojovku potoční, baňatku potoční či prameničku obecnou. Doprovod vodních toků tvoří bledule jarní (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).



Obr. 20: Ostřice Davallova (Foto: Vydrová, převzato z Hrnčlarová et al. 2009)



Obr. 19: Klikva bahenní (Foto: Hájek, převzato z AOPK 2020)



### 5.5.2. Fauna

Fauna v celé CHKO je výsledkem antropogenního vlivu a (mikro) klimatu dané oblasti (Tesařová 2009). Z běžných druhů savců se zde vyskytuje ježek východní, srnec obecný, vzácně zde můžeme najít myšici temnopasou, bělozubku šedou, rejska horského, hraboše mokřadního či vydru říční. Na potulce se zde objevuje kamzík horský či los evropský (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

Adršpašsko-teplické skály jsou velmi významným stanovištěm a zimovištěm několika druhů netopýrů, jako jsou např.: vrápenec malý, netopýr severní, n. vodní, n. ušatý, n. pestrý i velmi vzácný netopýr pobřežní. (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

Oblast pískovcového skalního města a levého břehu Metuje od Teplic nad Metují zaujímá ptačí oblast Broumovsko. V té se vyskytují čáp černý, datel černý, reintrodukovaný sokol stěhovavý (obr. 21), sýc rousný, kulíšek nejmenší, či výr velký (Honka 2015). Ve skalním městě pak je možno narazit na poštolku obecnou či ostříže lesního (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

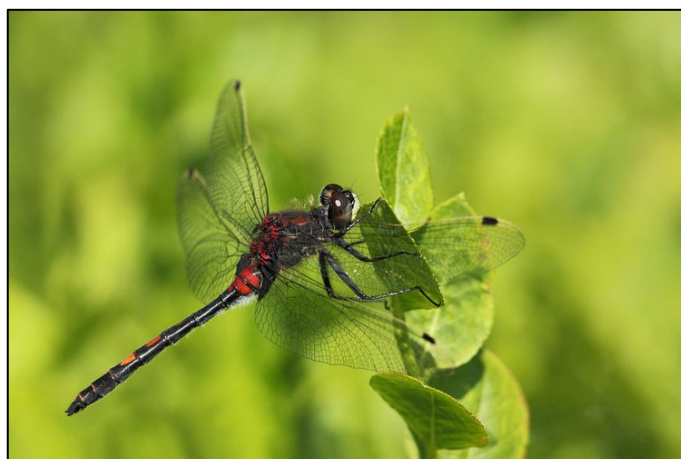
Obr. 21: Sokol stěhovavý (Foto: Hlaváč, převzato z AOPK 2020)



Z obojživelníků a plazů se zde vyskytují ropucha obecná, skokan hnědý, ještěrka obecná, j. živorodá, užovka obojková, zmije obecná, v oblasti pramenišť a čistých lesních toků vzácně mlok skvrnitý (Hrnčlarová et al. 2009). Veškeré tekoucí vody náleží do pstruhového pásma (Culek et al. 2013). Ve Zdoňovském potoce nalezneme vranku obecnou.

Mezi bezobratlými druhy můžeme nalézt mrakovleva obecného, šídlo modré, vážku ploskou, šídlatku velkou či v oblasti rašelin Černého jezírka vážku čárkovanou (obr. 22). V oblasti skal nalezneme tesaříky, kovaříky, mandelinky, střevlíčky, metu temnostní a v oblasti řeky Metuje recentní plže, např.: skalnici lepou či vlahovku karpatskou (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Díky nepřístupnosti některých lokalit v pískovcových městech se zde vyskytuje několik druhů bezobratlých, tzv. glaciálních reliktnů, které jsou vázány na pseudokrasové jeskyně či dna roklí (Plachý 2005). Jde kupříkladu o pavouka *Bathyphantes similis*, roztoče *Rhagidium gelicla* či můru *Polymixis xanthomista* (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

Obr. 22: Vážka čárkovaná (Foto: Balášová, převzato z AOPK 2020)



## 5.6. Klimatologická charakteristika

Zájmová oblast leží v kategorii Dfb (boreální, celoročně vlhké, středně teplé klima) podle Köppenovy klasifikace (Tolasz et al. 2007). Dle podrobnější Quittovi klasifikace (1971) povodí leží v rajonech MT2 a CH7, jejichž charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 6. Většina území náleží do MT2, v druhé části se nachází nejjižnější část povodí a jeho východní část (příloha 10). V okolí Zdoňovských kuest SZ–JV směrem prochází linie předělu vlhčí (české) a kontinentálnější (slezské) klimatické oblasti (Kopecký 2011). Langův dešťový faktor v celém území převyšuje hodnotu 100 (Tolasz et al. 2007).

Tabulka 6: Charakteristika klimatických oblastí podle Quitta (1971) (Zdroj: Vondráková, Voženílek, Vávra 2013)

Klimatická oblast	chladná	mírně teplá
Rajon	CH 7	MT 2
Počet letních dnů	10–30	20–30
Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více	120–140	140–160
Počet mrazových dnů	140–160	110–130
Počet ledových dnů	50–60	40–50
Průměrná teplota v lednu	-3°C–(-4°C)	-3°C–(-4°C)
Průměrná teplota v červenci	15°C–16°C	16°C–17°C
Průměrná teplota v dubnu	4°C–6°C	6°C–7°C
Průměrná teplota v říjnu	6°C–7°C	6°C–7°C
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	120–130	120–130
Srážkový úhrn ve vegetačním období	500–600 mm	450–500 mm
Srážkový úhrn v zimním období	350–400 mm	250–300 mm
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	100–120	80–100
Počet zamračených dnů	150–160	150–160
Počet jasných dnů	40–50	40–50

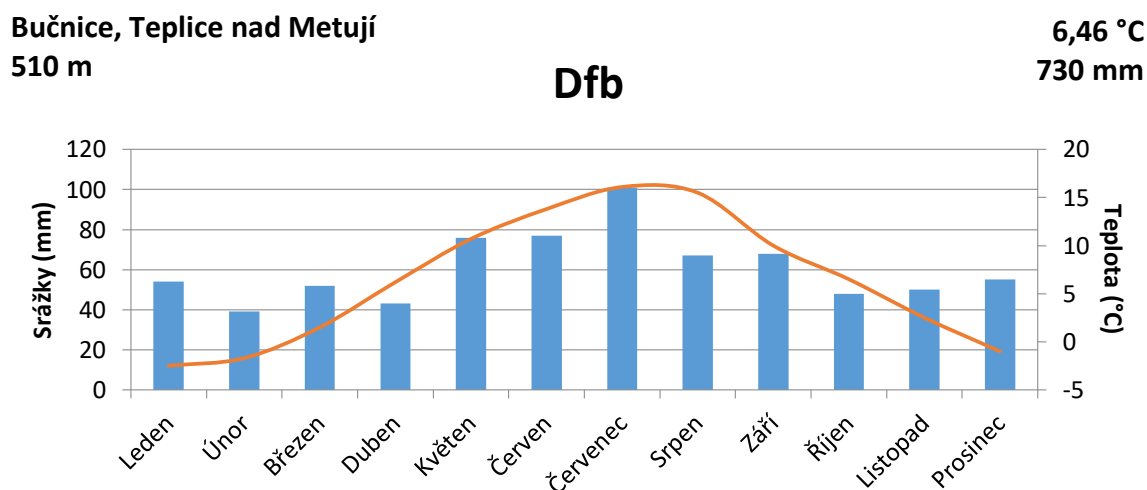
V celé oblasti Adršpašska a Teplicka panuje chladnější a drsnější klima v porovnání s okolím, což je zapříčiněno rozsáhlou členitostí krajiny (Kopecký 2011). Tento fakt je velmi dobře patrný na meteorologické stanici Bučnice (nebo též Dolní Adršpach), nacházející se v údolí Metuje obklopeném výrazně vyšší terénem, kde v zimě jsou zaznamenávány jedny z nejnižších teplot v republice (Tremel 2016). Oblast je typická výskytem inverzí především v roklicích a rozsedlinách skalního města, které přispívají ke zvýšení imisního zatížení (Kopecký 2011). Zima zde nastupuje o týden dříve než v okolí a také o týden déle trvá (Vajсарová 2014). Průměrná rychlost větru je kolem 3–4 m/s (Tolasz et al. 2007). Převládá západní až severní směr větru.

Oblast (a celé CHKO Broumovsko) i přes svou fyzicky geografickou významnost trpí nedostatečným monitoringem hydrometeorologické situace. V oblasti se nenachází žádná komplexní klimatická stanice a několik stanic srážkoměrných (AOPK 2020).

### 5.6.1. Teplota

Z hlediska teplot tvoří skalní město se svými roklinami a stržemi oblast s nižší teplotou oproti okolí. Průměrná roční teplota v oblasti se pohybuje mezi 5°C (v okolí skalního města) až 7°C v údolí Metuje v České Metuji. Její roční chod je zřejmý z klimagramu v Bučnici na grafu 1. V Adršpašské kotlině jsou často naměřené teploty vzduchu až o 4°C nižší než v Teplicích nad Metují (Kopecký 2011). Velmi často zde nastává tzv. mrazový den (přibližně 160 krát za rok). Počet ledových dní (50–70) převyšuje výrazně počet dní letních (20–30). Tropické dny se vyskytují jen ojediněle (Tolasz et al. 2007). I zde je patrný nárůst teplot vlivem globálního oteplování. Mezi lety 1980–2006 se průměrná roční teplota na stanici Bučnice zvýšila o 1°C (Kašpárek et al. 2006).

Graf 1: Klimagram ze stanice Bučnice vytvořený z dat 1999–2015  
(Zdroj: dílo autora, vytvořeno na základě dat Tremel 2016)

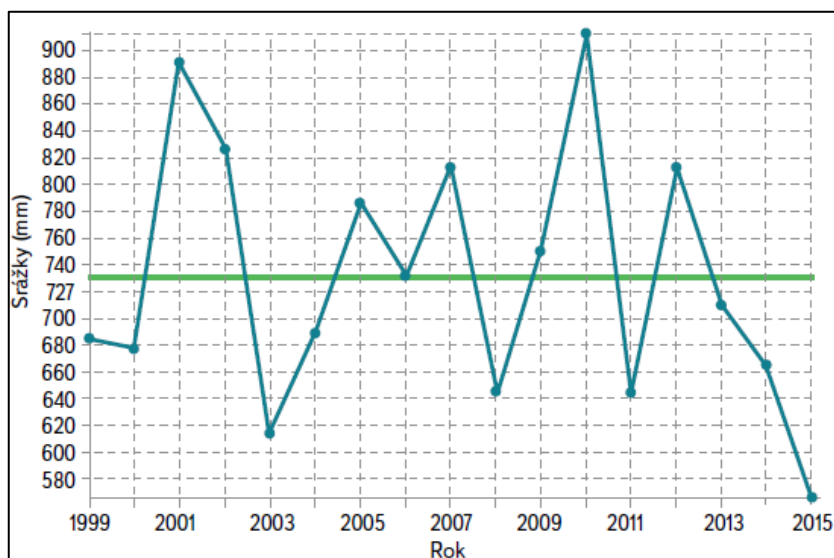


### 5.6.2. Srážky

Srážkově je celá polická křídlová pánev relativně homogenní (Vizina et al. 2009). Množství srážek v zájmovém území mírně narůstá v SZ směru do oblasti pohraničních hor (příloha 11). Průměrné roční úhrny srážek se pohybují mezi 850–1 000 mm, ve vegetačním období spadne kolem 600 mm (Kopecký 2011). Konkrétně na srážkoměrné stanici Bučnice činil roční úhrn srážek mezi roky 1999–2015 730 mm, s tím, že poslední roky pozorování byly výrazně sušší (obr. 23). Povodí Metuje zasáhla povodeň v roce 1997, kdy v průběhu

4 dní úhrn srážek činil až 300 mm (Tolasz et al. 2007). Sněhová pokrývka může především v roklích skalního města setrvat až do léta vzhledem k chladnu a nedostatku slunečního svitu (Kopecký 2011).

Obr. 23: Roční úhrny srážek na stanici Bučnice – zelená čára představuje průměrný úhrn za období 1999–2015 (Zdroj: Treml 2016, vytvořeno na základě dat ČHMÚ)



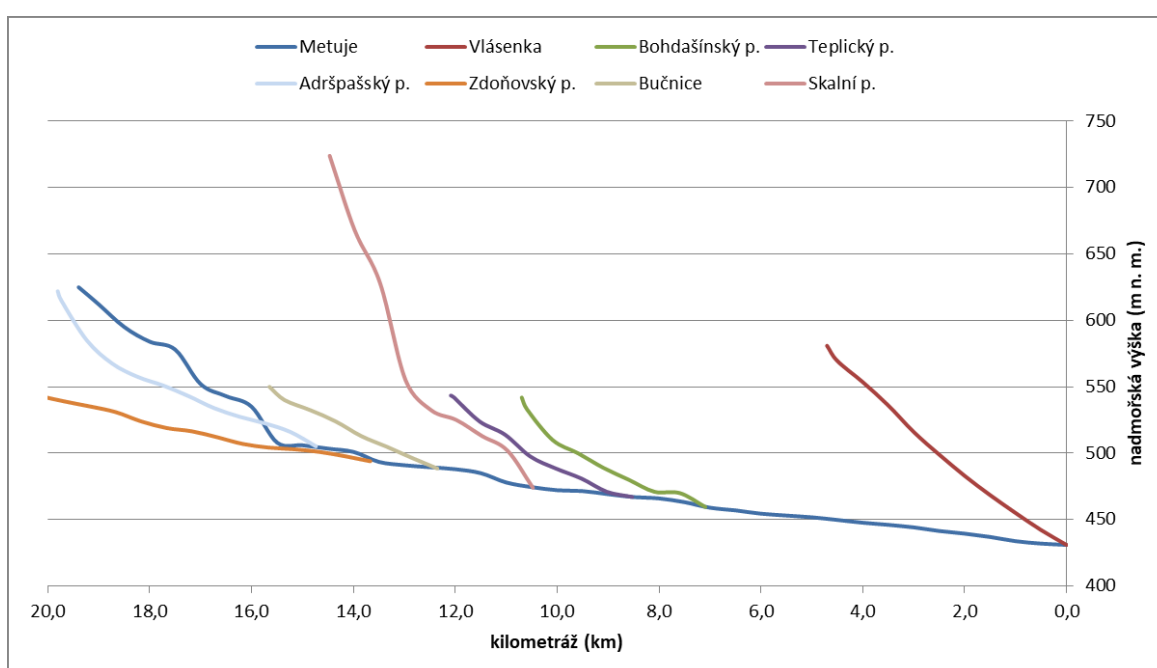
## 5.7. Hydrologická charakteristika

Plocha povodí zájmového území je 93,104 km<sup>2</sup>. Charakteristika povodí ( $\alpha$ ) je vějířovitá, uspořádání říční sítě je listovité. Povodí je značně asymetrické, kdy více než 2/3 připadají na levý břeh řeky Metuje, odkud také přijímá většinu přítoků. To potvrzuje také koeficient souměrnosti plochy povodí ( $K_S$ ) s hodnotou 0,368. Hustota říční sítě (příloha 12) je vzhledem k morfologické rozmanitosti oblasti velmi vysoká (1,267 km/km<sup>2</sup>). Povodí hraničí s povodími Úpy a Stěnavy, která náleží do úmoří Baltského moře. Z hodnot Gravellova koeficientu ( $K_G$ ) a koeficientu protáhlosti povodí ( $R_E$ ) lze stanovit jeho přibližný tvar, respektive, jak moc se blíží kruhu (tedy ideální souměrnosti). Z námi zjištěných hodnot vidíme, že povodí je mírně protáhlé. Samotná Metuje je tokem 2. řádu, dle absolutní (Gravellovy) řádovosti (příloha 13), její přítoky pak toky 3. řádu, kde většina z nich tokem 1. řádu dle Strahlera (příloha 14). Všechny charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 7 a výškopisné poměry doplňuje rozvinutý podélný profil (graf 2).

Tabulka 7: Charakteristiky povodí (Zdroj: dílo autora, vypočteno nad daty DIBAVOD a DMR 5G)

Charakteristika	Hodnota
Gravelliův koeficient ( $K_G$ )	1,448
Koeficient protáhlosti povodí ( $R_E$ )	0,673
Charakteristika povodí ( $\alpha$ )	0,356
Koeficient souměrnosti plochy povodí ( $K_S$ )	0,368
Převýšení ( $\Delta h$ )	354 m
Sklon povodí ( $I$ )	3,669 %
Koeficient reliéfu ( $R_h$ )	2,189 %
Hustota říční sítě ( $R$ )	1,267 km/km <sup>2</sup>
Míra křivolakosti ( $K$ )	1,916

Graf 2: Rozvinutý podélný profil toku Metuje (Zdroj: dílo autora)



### 5.7.1. Charakteristika toku Metuje

Řeka Metuje pramení v oblasti nazývané Kalousy na mírném svahu kvesty poblíž obce Hodkovice v nadmořské výšce přibližně 630 m n. m. Pramen se nachází v husté bylinné vegetaci obklopenou zemědělskou půdou (obr. 24). Po přibližně 400 m najdeme rybníček o poloměru přibližně 35 m. Tento pramen má ovšem tendenci v sezóně vysychat. Stálý je tok až po vstupu řeky do Vlčí rokle (obr. 25), kde přijímá svůj první přítok, který je někdy označován za pramen Metuje. Dalším potenciálním pramenem Metuje je dnešní pramen Zdoňovského potoka, který se do řeky vlévá za Adršpachem. Zdoňovský potok lze považovat za pramen Metuje, protože má delší tok, vyrovnanější spádovou křivku i větší plochu povodí (Řezáč 1955). Dodnes se vedou spekulace o tom, který tok je pramenný.

Obr. 24: Prameniště Metuje (Foto: Černý, převzato z reka-metuje.sije.cz 2019)



Obr. 25: Metuje ve Vlčí rokli (Foto: Černý, převzato z reka-metuje.sije.cz 2019)



Řeka po vstupu do Vlčí rokli přijímá několik menších pravostranných přítoků a má velký spád. Poté vtéká do Adršpašského jezírka, které je uměle vybudované, a v současnosti slouží především pro turisty. Od října do března je vypuštěno. Následují Velký a Malý Adršpašský vodopád a následně řeka teče soutěskou mezi kvádrovými pískovci skalního města severním směrem. Po opuštění skal přijímá první větší přítok, Adršpašský potok zleva. Následně teče asi 1 km dlouhým údolím ve tvaru V k soutoku se Zdoňovským potokem, odkud je údolí asymetrické, jelikož na pravém břehu lemují skalní město a na levém je vyvinuta až 200 m široká údolní niva. Od soutoku taktéž řeka po celý zbytek zájmového území sleduje osu Polické pánve (Kašpárek et al. 2006). Po dosažení Bučnice údolí opět nabývá tvaru V a řeka zde začíná zpomalovat, protože její spád se snižuje. Po dosažení okraje Teplíc nad Metují se řeka přibližně na 1 km rozděljuje na dvě ramena pomocí stavidla. První protéká parkem a hustou zástavbou obce, proto je silně antropogenně ovlivněno (obr. 26). Druhé rameno je uměle vybudované, z velké části vedené podzemí a slouží k napájení 3 rybníků. Po opuštění Teplíc nad Metují řeka tvoří četné zákruty a meandry před obcemi Javor a Dědov. Zde také dosahuje největší šířky niva, přibližně 400 m. Řeka je člověkem dotčena pouze nepatrně a pokračuje jižním směrem k České Metuji. Jakost vody se pohybuje mezi 2. - 4. třídou (Kestřánek, Vlček et al. 1984). V celém toku (především pak v úseku Adršpach – Bučnice) nalezneme velké množství mrtvého dřeva.

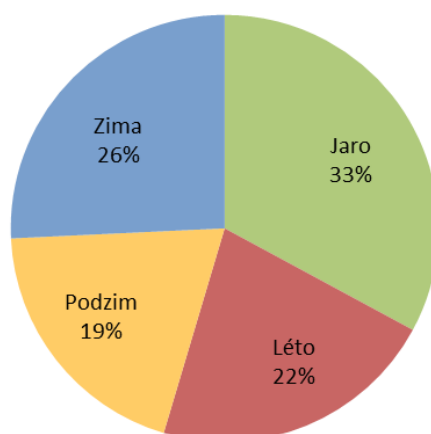
Obr. 26: Upravené koryto řeky v centru Teplic nad Metují (Foto: Černý, převzato z reka-metuje.sije.cz 2019)



### 5.7.2. Odtokové poměry

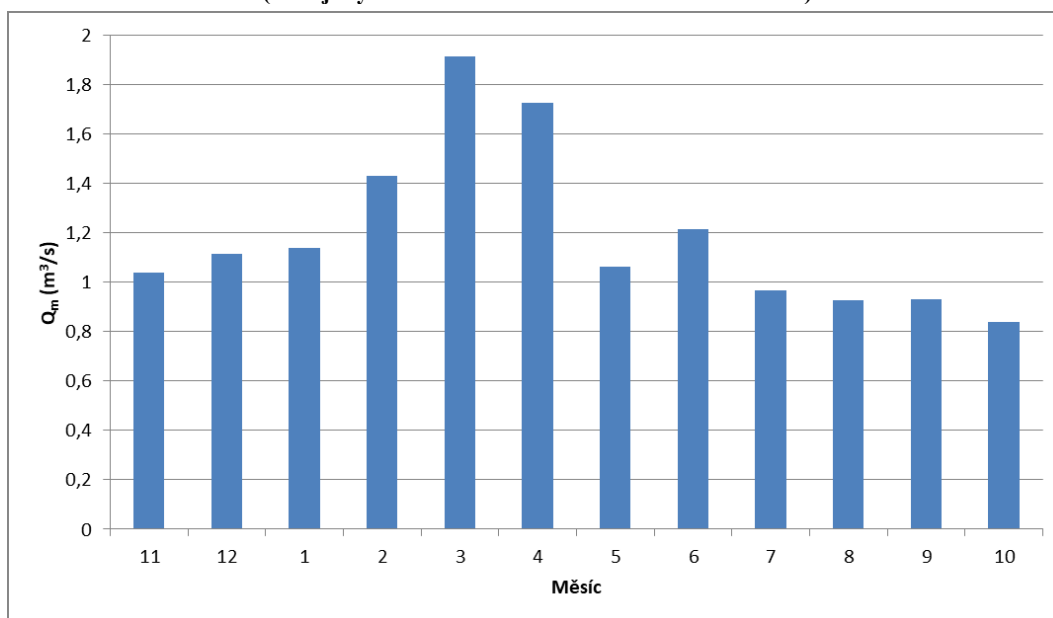
Všechny hodnoty odtoku jsou staženy k hlásnému profilu v Maršově nad Metují, přibližně 1,5 km po proudu řeky od České Metuje, jelikož jediný profil v zájmovém území byl v Javoru pouze do roku 1949. Řeka v tomto úseku nepřijímá žádné přítoky, proto jsou údaje vhodné k analýze. Na základě analýzy odtoku v období 1921–1960 je patrný trend odtoku. Maximálních hodnot dosahuje v jarních měsících při tání sněhu a minimální na počátku podzimu (graf 3 a 4). Odtokový režim je tedy dešťovo-sněhový. Odtok v jednotlivých měsících daného období je znázorněn grafem 5. Odtokový součinitel nabývá hodnoty 0,53 a specifický odtok činí  $12,46 \text{ l} \cdot \text{s} \cdot \text{km}^2$ , což je extrémně vysoká hodnota (Zítek et al. 1970).

Graf 3: Rozložení odtoku v ročních obdobích mezi lety 1921–1960 (Zdroj: dílo autora, vytvořeno na základě dat od Zítka et al. 1967)

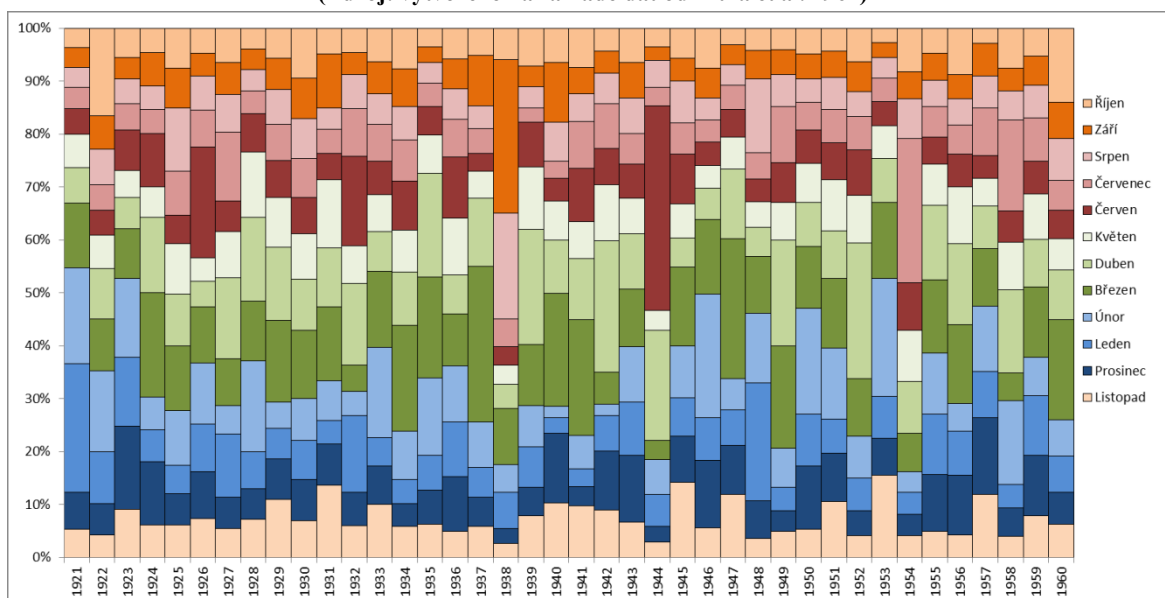




**Graf 4: Průměrné měsíční průtoky v hlásném profilu Maršov nad Metují v období 1921–1960**  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat od Zítka et al. 1967)



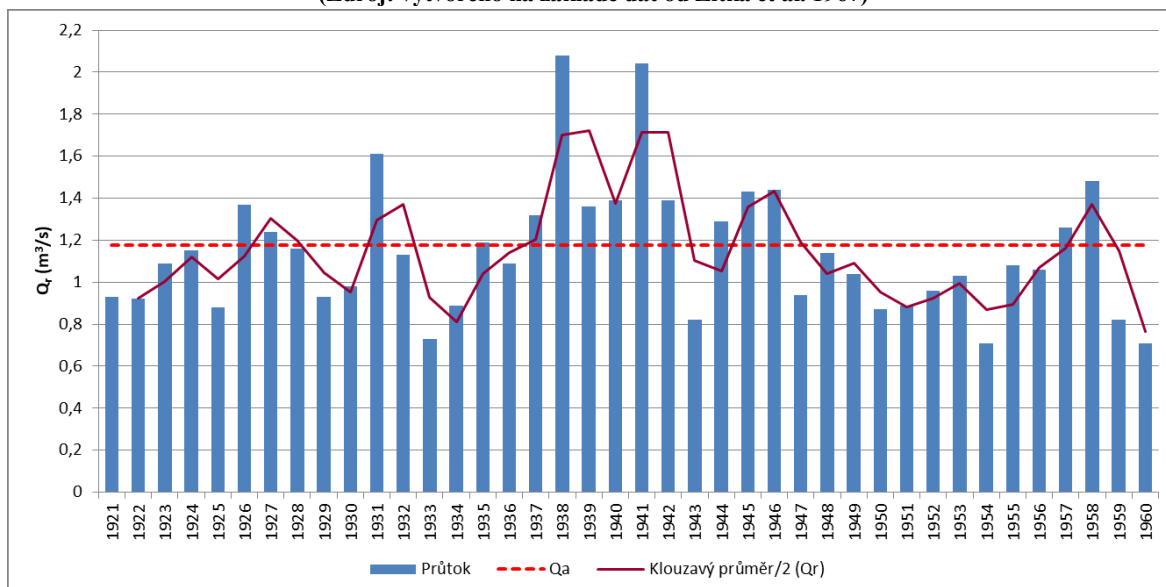
**Graf 5: Sezónní rozložení odtoku v období 1921–1960**  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat od Zítka et al. 1967)



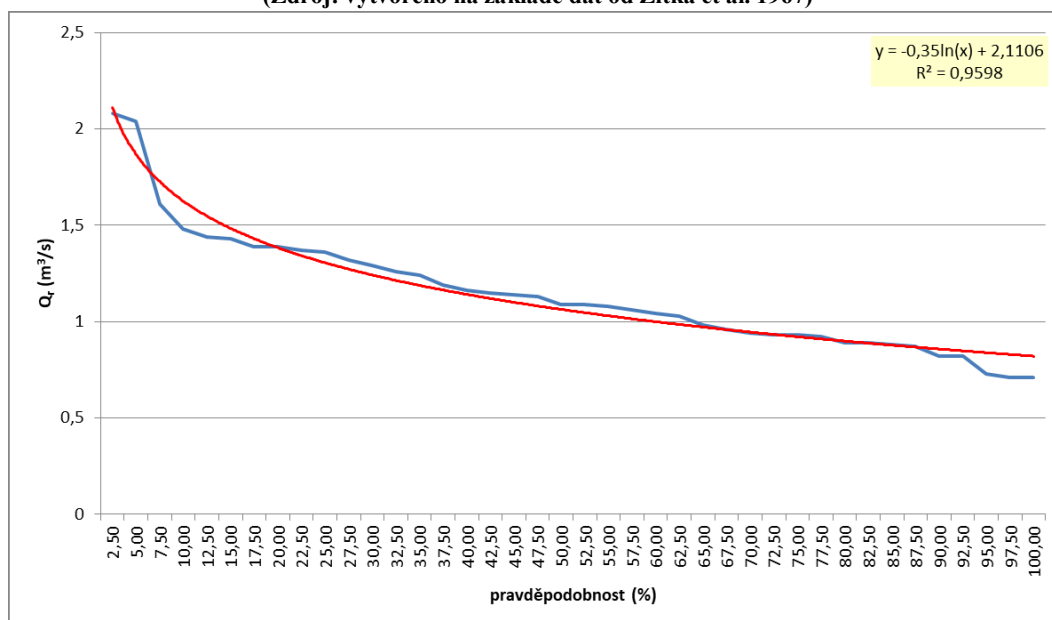
Průměrný roční odtok v období 1921–1960 má hodnotu  $1,175 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Roční průměrný odtok v jednotlivých letech je znázorněn na grafu 6. Z něj je patrný trend nadprůměrných průtoků v desetiletí 1937-1946 a následných suchých let 1947-1956. Podle Kašpárek et al. (2006) je patrný trend poklesu srážek a odtoku v povodí v následujícím období 1974–2004. Tento fakt potvrzuje také hodnota průměrného ročního průtoky zveřejněná ČHMÚ s hodnotou  $1,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (k roku 2019). Snížení odtoku je dáno vlivem hospodaření v minulosti, které vedlo k odvodňování krajiny, napřimování toku, budováním melioračních kanálů, zvýšením odběrů vody a růstem teploty, který vede

ke zvýšení výparu. Orná půda, která dříve byla výrazným rezervoárem vody, dnes tuto funkci neplní tak dobře kvůli jejímu utužování a ochuzení o organickou hmotu (AOPK 2020). Pravděpodobnost překročení N-letých průtoků je znázorněna na grafu 7.

**Graf 6: Průměrné roční průtoky mezi lety 1921–1960**  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat od Zítka et al. 1967)



**Graf 7: Křivka pravděpodobnosti překročení  $Q_r$  pro období 1921–1960**  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat od Zítka et al. 1967)



Kromě snižování odtoku také dochází ke snižování zásob podzemních vod (Kašpárek et al. 2006). Celá oblast náleží do CHOPAV Polická pánev, vyhlášené roku 1981 a zásobující pitnou vodou celé Náchodsko a Broumovsko (Faltysová et al. 2002). V oblasti proto najdeme spoustu pramenů. Hydrologický režim podzemních i povrchových vod je ovlivněn jejich čerpáním (AOPK 2020). Odběratelé vody v zájmovém území jsou uvedeni v tabulce 8.

**Tabulka 8: Uživatelé vody v povodí pro rok 2008 (Zdroj: Vizina et al. 2009)**

Uživatel	Tok	Množství (v tis. m <sup>3</sup> )
VaK Náchod-Adršpach, vrt VS-1	Adršpašský potok	15,9
G.B. Balená voda – Teplice nad Metují	Metuje	130,4
Continental Automotive Czech Republic, s.r.o.	Adršpašský potok	8,0
Horní Adršpach – ČOV	Adršpašský potok	42,6
Teplice n. Metují – ČOV	Metuje	298,4
Teplice n. Metují – ČOV Střemenské Podhradí	Metuje	7,8
General Bottlers CR, s.r.o., Teplice n. Metují	Bohdašinský potok	37,0
Česká Metuje – VK	Metuje	32,2
Horní Adršpach – VK mimo ČOV	Metuje	12,8
VaK Náchod – Teplice, VS-13	Teplický potok	6,6
VaK Náchod – Zdoňov, VS-2	Zdoňovský potok	28,4
VaK Náchod – Teplice, VS-15	Metuje	378,9
VaK Náchod – Dědov, NVS-9	Metuje	44,7
VaK Náchod – Teplice n. M., VS-5	Metuje	1813,6
VaK Náchod – Teplice n. M., zářezy Kamenec II., III.	Metuje	61,1

### 5.7.3. Povodně

Řeka Metuje má oproti okolním povodím schopnost tlumit velké vody a nedochází k velkým škodám (AOPK 2020). Největší zaznamenaná povodeň (dle průtoku) v roce 1938 dosáhla průtoku  $48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , což nedosahuje ani hodnoty  $Q_{50}$ . Nejvyšší zaznamenaný stav na profilu Maršov nad Metují za celé období pozorování dosáhl 207 cm při povodni v roce 1979. Při této povodni činil srážkový úhrn v oblasti až 175 mm za den a vedl ke 2 metrovému vzestupu hladiny během několika hodin (Kakos 1979, cit. v Cohorna 2014, s. 28). Druhé nejvyšší hodnoty dosáhla řeka v již zmiňovaném roce 1938 (202 cm), kdy také dosáhla nejvyššího průtoku. Poslední velká povodeň zasáhla území v červenci 1997 (199 cm), kdy její následky byly patrné hlavně na dolním úseku řeky pod Novým Městem nad Metují. Největší povodně vznikají v létě z přívalových srážek, největší jarní povodní byla ta z roku 2006, kdy hladina dosáhla výšky 173 cm. Na profilu Javor byl v jeho krátké existenci dokonce zaznamenán údaj 250 cm v roce 1928. V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých stupňů povodňové aktivity a N-letých průtoků.

**Tabulka 9: Stupně povodňové aktivity a N-leté průtoky na hlásném profilu Maršov nad Metují  
(Zdroj: Povodí Labe 2020)**

Stupeň povodňové aktivity	Výška (cm)	Průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
Bdělost	90	8,5
Pohotovost	120	15,4
Ohrožení	150	24,2
N-leté průtoky		
Q <sub>1</sub>		10,5
Q <sub>2</sub>		15,8
Q <sub>5</sub>		24,3
Q <sub>10</sub>		31,8
Q <sub>20</sub>		40,2
Q <sub>50</sub>		52,7
Q <sub>100</sub>		63,3

## 5.8. Ochrana krajiny

Celé zájmové území náleží do CHKO Broumovsko, vyhlášeného v roce 1991. Oblast CHKO je členěna do 4 zón ochrany. V našem zájmovém území se v první zóně (jádrové či přírodní) nachází celé Adršpašsko-teplické skalní město a několik menších lokalit. Do druhé zóny (přírodě blízké) pak náleží ostatní lokality pískovcového reliéfu (Ostaš, Hejda či Křížový vrch). Zbytek zájmového území patří do třetí zóny (AOPK 2020). Jednostranné lesnické a zemědělské hospodaření v minulosti zapříčinilo pokles biodiverzity. Došlo také k urychlení odtoku z území, degradaci a erozi půdy či nahrazení přirozené vegetace smrkovými monokulturami (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Na území celého CHKO je více než 300 lokalit vzácných živočišných druhů, kde mezi nejdůležitější a plošně největší lokality patří NPR Adršpašsko-teplické skály (180,43 ha), které jsou chráněny již od konce roku 1933. Chrání se zde členitost a biodiverzita největšího pískovcového skalního města ve střední Evropě a také pseudokrasový reliéf. Další významnou lokalitou je PR Křížová cesta (12,92 ha) v okolí Křížového vrchu, kde je centrem ochrany pozůstatek plošiny uprostřed brachysynklinály Polické pánve, kterou od skalního města odděluje údolí Metuje (Dimter 2011). Do našeho zájmového území také zasahuje okrajově PR Ostaš a PP Kočičí skály (příloha 15), kde obě lokality chrání pískovcový reliéf a na něj vázanou biotu. V blízkosti Teplic nad Metují se nachází PP Borek (3,63 ha), ve které leží zbytky reliktního boru (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Poslední chráněnou oblastí je PP Pískovcové sloupky (obr. 27), které vznikly krasověním, na severní hranici obce Česká Metuje. V oblasti se také nachází 3 památné stromy a ve všech případech jde o lípu malolistou.

Obr. 27: PP Pískovcové sloupky (Foto: Holub, převzato z AOPK 2020)



## 6. Výsledky

V této části práce jsou uvedeny výsledky hydromorfologického průzkumu horního toku řeky Metuje za použití metodiky HEM (Langhammer 2014). Nejprve jsou stanoveny referenční podmínky s vymezením jednotlivých úseků pro monitoring, následně hodnoceny jednotlivé zóny – koryto a trasa toku, dno s podélným profilem, břeh s příbřežní zónou a také inundační území. V těchto částech jsou hodnoceny i některé samostatné parametry hodnocené v rámci monitoringu. Poté jsou prezentovány výsledky celkového hydromorfologického stavu toku a jednotlivých úseků.

### 6.1. Rozvržení úseků, stanovení referenčních podmínek

Celkově bylo stanoveno 23 heterogenních úseků (mapa 1 a tabulka 10) o celkové délce 19 398 metrů. Průměrná délka úseku tak je 843,4 m, přičemž nejdelší úsek – MET008 měří 2 152 m a nejkratší hodnocený – MET021 351 m<sup>3</sup>. Poloha hranic úseků poté byla zpřesněna přímo v terénu pomocí GPS. Samotné terénní mapování proběhlo v rozmezí od 27. 10. 2019 do 29. 11. 2019, kdy nebyl vegetací znemožněn přístup ke korytu. Jako podklad pro mapování byla použita ZM ČR 1 : 10 000. Na stojaté vody se nevztahuje metodika HEM (Langhammer 2014), a proto nebyly hodnoceny úseky MET017 – Adršpašské jezírko ve skalním městě a MET022 – malý bezejmenný rybníček či retenční nádrž na polích přibližně 600 metrů od pramene.

Před samotným terénním mapováním bylo nutné stanovit referenční úseky. Referenční podmínky mají být stanoveny modelováním či prostorově, a tam kde nelze tyto postupy aplikovat expertním odhadem (Langhammer, Hartvich 2014). Protože v rámci ČR není k dispozici kompletní pokrytí sítě vodních útvarů, které by umožnilo identifikovat referenční lokality, je nutné využít expertního odhadu přímo na zvoleném toku.

Tok náleží do dvou typů vodních toků, proto byly stanoveny dva referenční úseky. Úsek MET006 pro tok pahorkatinný a MET018 pro vrchovinný. Podle podmínek stanovení referenčních lokalit by žádný z jednotlivých hodnocených ukazatelů neměl dosáhnout hodnocení horší než 2 v referenčním úseku a také v úseku pod a nad ním (Langhammer, Hartvich 2014), což splňují jednotlivé referenční úseky, ovšem ne úseky okolo nich (není možné splnit vzhledem k výsledkům u žádného z úseků).

---

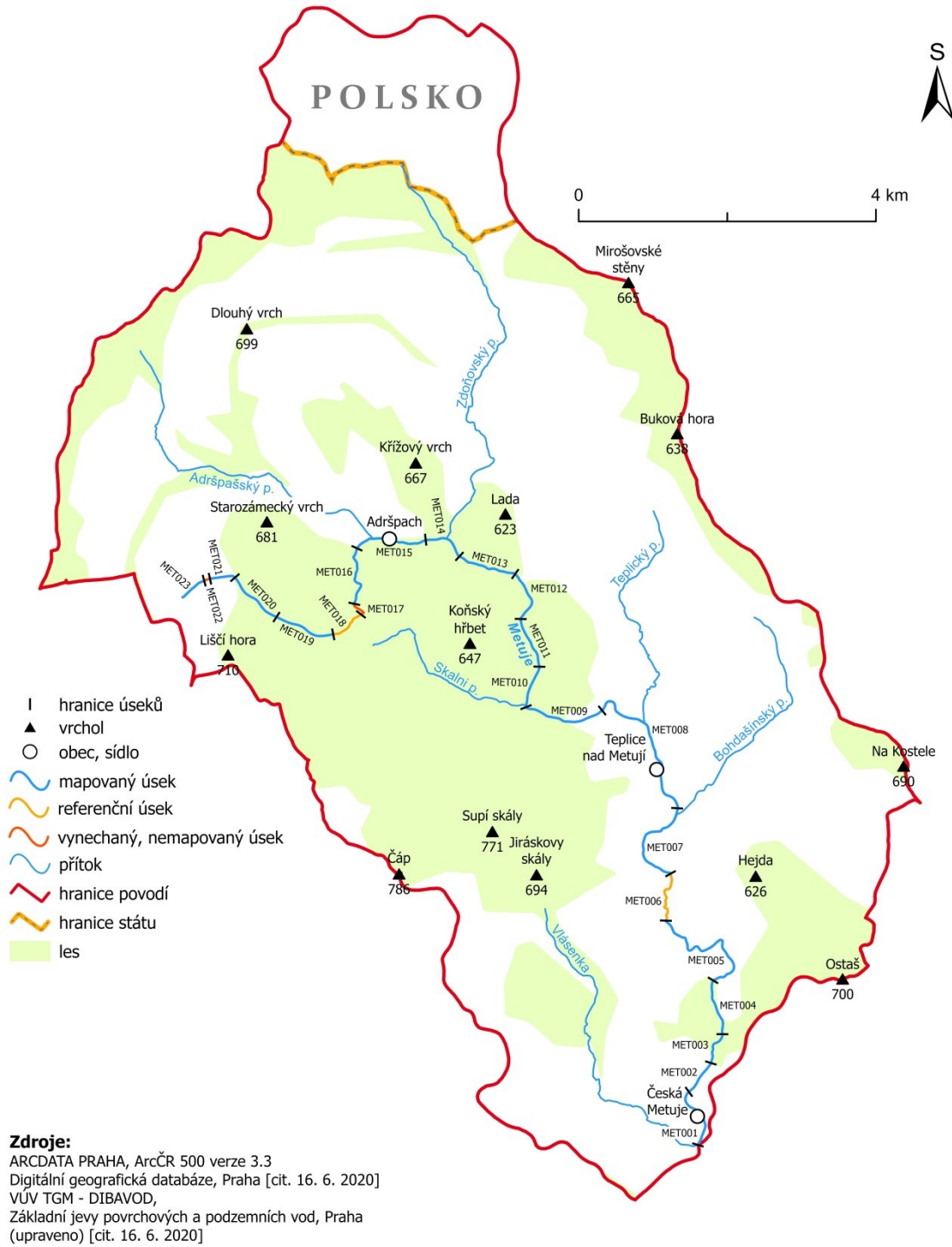
<sup>3</sup> Dva úseky jsou kratší než MET021, ale v obou případech jde o nehodnocené úseky - MET017, který měří 229 m a MET022 o délce 44 m.

**Tabulka 10: Základní charakteristiky jednotlivých úseků**

Označení úseku	Délka úseku (m)	X souřadnice (m) <sup>4</sup>	Y souřadnice (m)	Říční kilometr (ř. km)	Stručná charakteristika
MET001	885	1008556,180–1007831,800	612243,190–612274,200	58,981–59,866	Intravilán obce Česká Metuje
MET002	500	1007480,550	611920,060	59,866–60,366	Přirozeně přímý a hluboce zahloubený
MET003	515	1007108,310	611738,870	60,366–60,881	Zákruty na loukách
MET004	762	1006390,300	611763,510	60,881–61,643	Napřiměný úsek v extravilánu
MET005	2047	1005499,710	612305,307	61,643–63,690	Chatařská oblast Javor/Dědov
MET006	1035	1004877,720	612153,110	63,690–64,725	Referenční úsek, meandry
MET007	1425	1004032,810	611943,400	64,725–66,150	Významná redukce křivolakosti
MET008	2152	1002593,340	612783,770	66,150–68,302	Intravilán Teplic nad Metují
MET009	1147	1002399,820	613795,400	68,302–69,449	Ubytovací zařízení na pravém břehu
MET010	584	1001887,250	613536,370	69,449–70,033	Přirozeně přímý úsek, hluboce zahloubený
MET011	705	1001223,670	613706,890	70,033–70,738	Malé stupně redukcující sílu napřimění
MET012	758	1000606,090	613712,390	70,738–71,496	Chatařská oblast Bučnice
MET013	861	1000277,350	614428,820	71,496–72,357	Široká údolní niva
MET014	611	1000002,320	614859,880	72,357–72,968	Zahloubené údolí lemující skalní město
MET015	1026	1000001,320	615773,990	72,968–73,994	Vstup do Adršpašských skal
MET016	968	1000755,410	615909,510	73,994–74,962	Soutěska a vodopády
MET017	229	1000894,430	615849,000	74,962–75,191	Adršpašské jezírko – nehodnoceno
MET018	553	1001107,570	616254,240	75,191–75,744	Referenční úsek ve Vlčí rokli
MET019	808	1000785,530	616961,330	75,744–76,552	Vysoký spád, propustky
MET020	820	1000162,450	617456,390	76,552–77,372	Mělké koryto, propustky
MET021	351	1000141,290	617811,570	77,372–77,723	Celý úsek upraven
MET022	44	1000186,040	617837,580	77,723–77,767	Rybník – nehodnoceno
MET023	608	1000356,540	618352,400	77,767–78,166	Pramenná oblast, hluboce zahloubené

<sup>4</sup> Kromě prvního úseku u souřadnic X a Y jsou uvedeny souřadnice konce úseku, počáteční hranice úseku se shodují se souřadnicí úseku předchozího.

Mapa 1: Vymezení jednotlivých úseků na toku horní Metuje





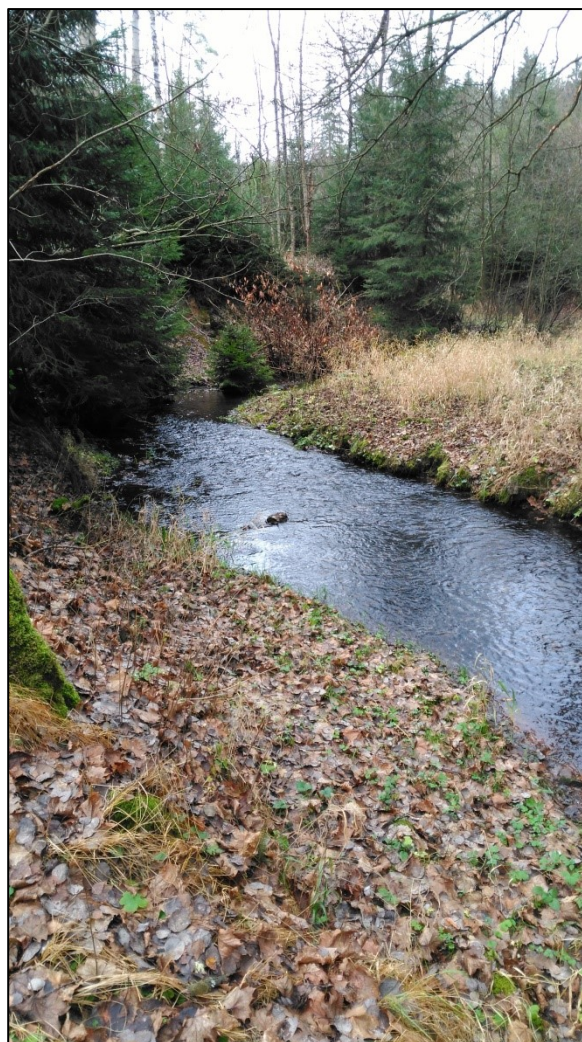
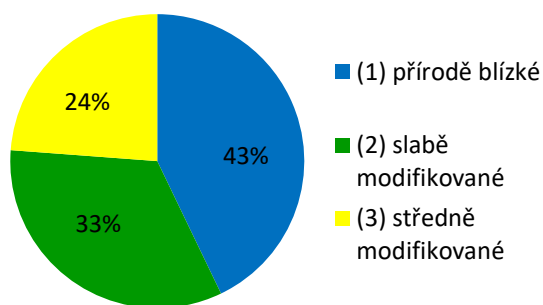
## 6.2. Koryto a trasa toku

Zóna koryto a trasa toku je hodnocena na základě 6 dílčích parametrů: Upravenost trasy toku, variabilita šířky koryta, variabilita zahloubení v podélném profilu, variabilita hloubek v příčném profilu, charakter proudění a ovlivnění hydrologického režimu.

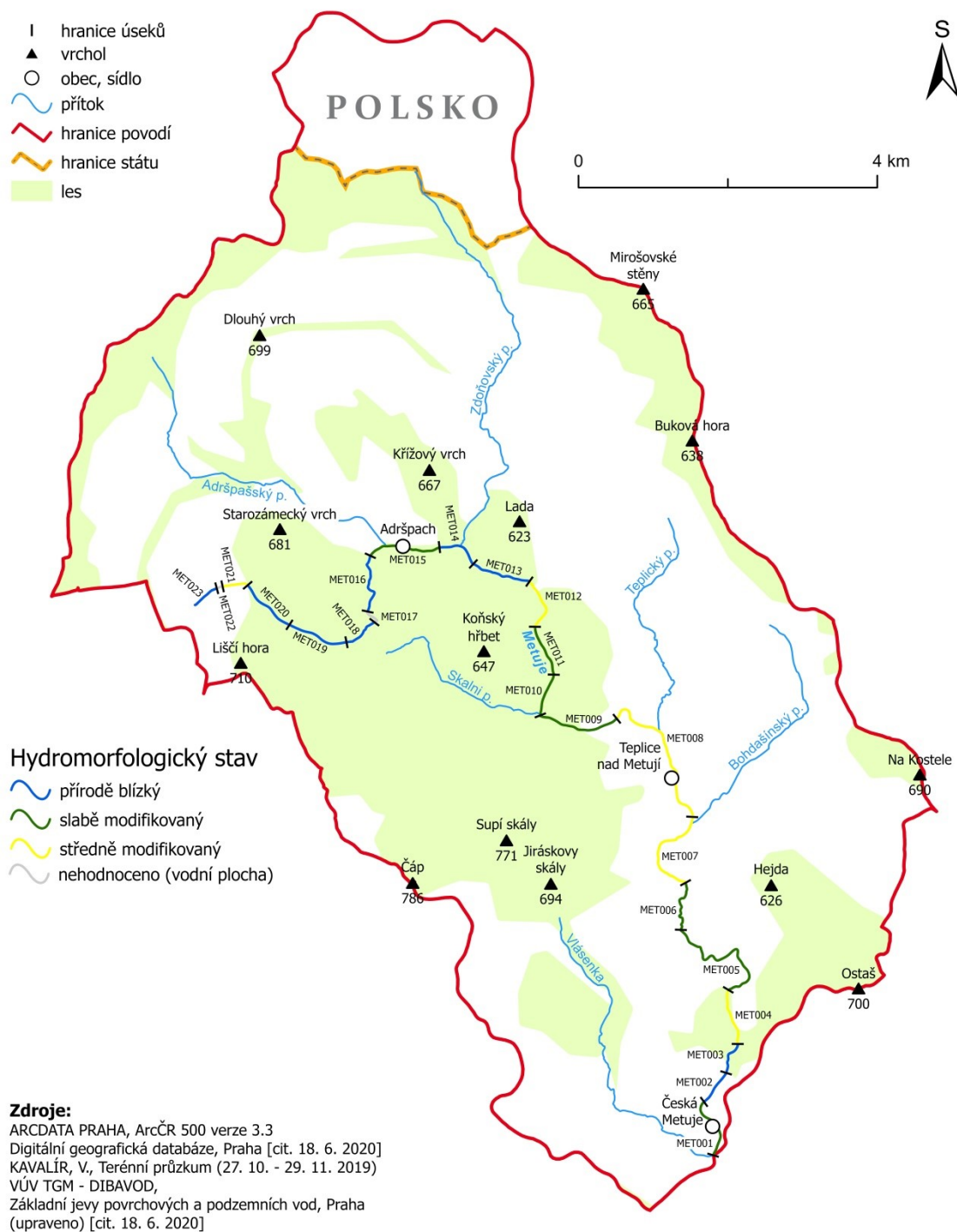
Při hodnocení této kategorie žádný z úseků nedosáhl horšího hodnocení než *středně modifikovaný*, kde toto ohodnocení má přibližně čtvrtina úseků, z nichž je velká část v oblastech zástavby (MET008, MET012), kde jsou tyto zásahy potřebné kvůli protipovodňové ochraně. 43 % úseků náleží do kategorie *přírodě blízký*, jedná se tedy o nejlepší možný stav (obr. 28). Tyto úseky leží hlavně v oblasti Adršpašského skalního města (mapa 2 a příloha 16), kde jsou jakékoliv zásahy do toku minimální a změnit jejich trasu nelze. Ostatní úseky jsou hodnoceny jako *slabě modifikované* (graf 8).

Obr. 28: Přírodě blízké koryto Metuje po opuštění skalního města, úsek MET014 (Foto: dílo autora)

Graf 8: Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro kategorii koryto a trasa toku

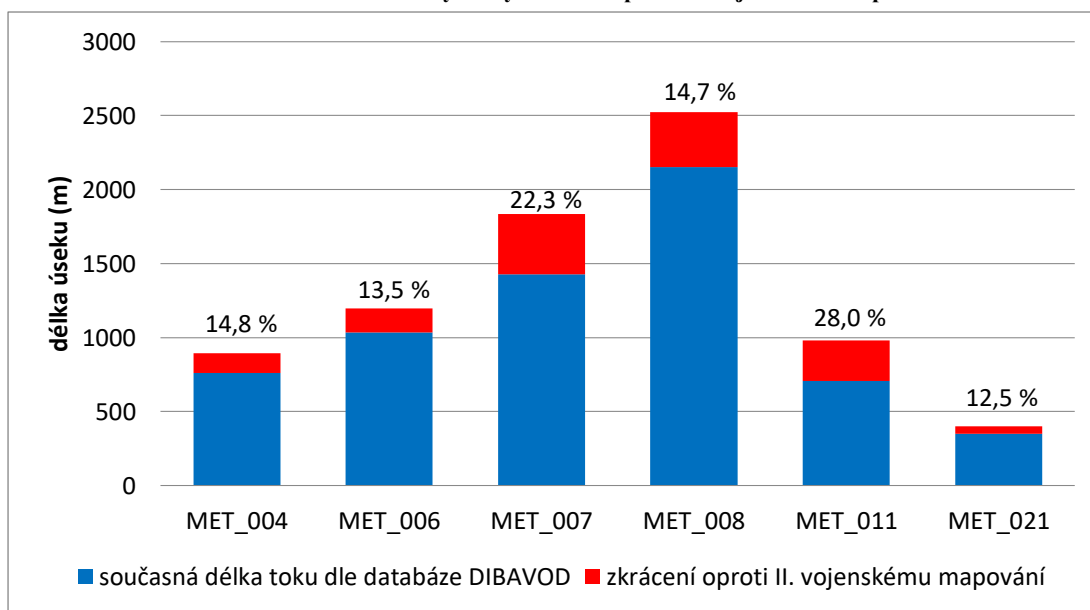


Mapa 2: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii koryto a trasa toku



Tok má v současnosti délku 19 398 m a převážně zákrutovitý charakter. V polovině 19. století měl přibližnou délku 20 967 m<sup>5</sup>, došlo tedy ke zkrácení o 1 569 m (7,5 %). K největším zásahům došlo v okolí Teplic nad Metují (úseky MET006, MET007 a MET008). Úpravy pouze těchto úseků zkrátily délku toku o 943 m. Přímou v Teplicích probíhala úprava trasy toku od roku 1925 do 1931 na úseku dlouhém přes 1,5 km, kdy byl tok upraven za účely odstranění inundace, neškodného odvedení velkých vod či zlepšení průtokových poměrů (Povodí Labe 1931). Přehled nejvíce zkrácených úseků nabízí graf 9. Odstranění meandrů je nejpatrnější při porovnání současné trasy s II. vojenským mapováním u úseku MET007 (mapa 3). Za nedotčené úseky můžeme v tomto směru považovat MET002, MET010, MET013 a MET018 – MET020, kdy pozorujeme rozdíly v jednotkách metrů, které mohou být způsobeny samovolným vývojem toku a nepřesností map II. vojenského mapování.

Graf 9: Přehled zkrácení vybraných úseků oproti II. vojenskému mapování

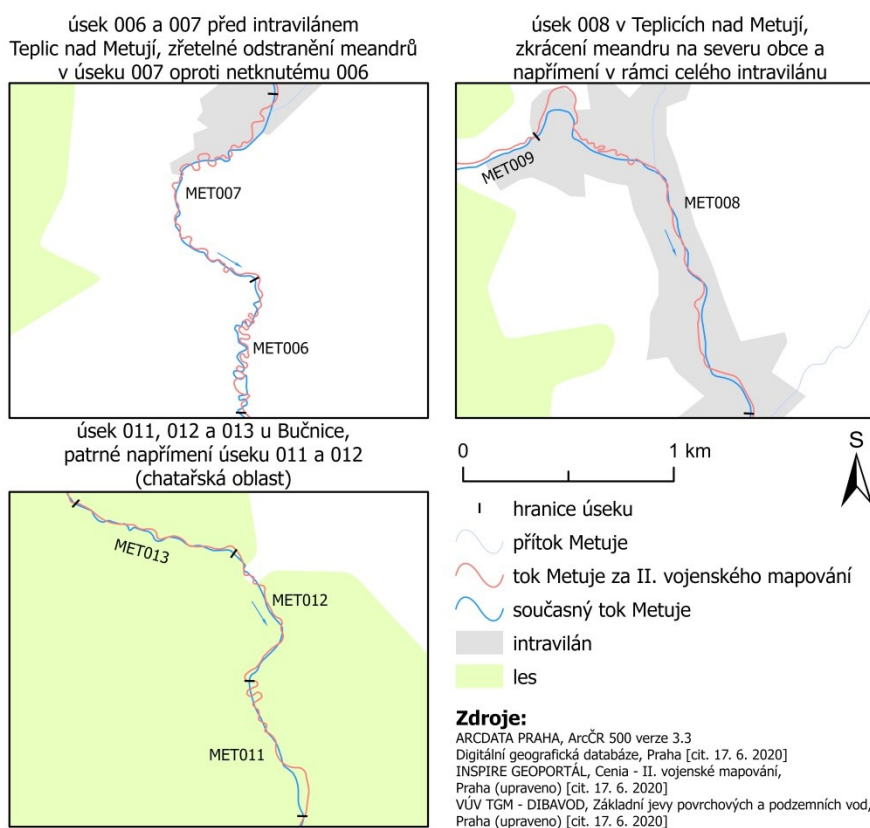


Téměř ve všech úsecích bylo koryto velmi variabilní v šířce koryta. U variability hloubek v příčném profilu byla většinou hodnocena jako *střední*. Jako *vysoká* byla hodnocena zejména v pramenné oblasti Adršpašských skal, kde tok vytvářel step-pool systémy a drobné kaskády. *Přirozeně nízká* variabilita hloubek se vyskytovala ve většině úseků, ale spíše jako doprovodná kategorie. *Nízká variabilita z důvodu úprav koryta* se nachází v úsecích MET008 a MET009, kde je tok dotčen úpravou a také v úseku MET021, kde má koryto tvar běžného melioračního lichoběžníku a je v celé délce upraveno. Variabilita zahloubení v podélném profilu je rovněž velmi vysoká. Nejčastěji se

<sup>5</sup> Na tento údaj je nutné nahlížet s rezervou, vzhledem k přesnosti II. vojenského mapování (Škarpich et al. 2016) a možným odchylkám při georeferencování dat.

vyskytuje zahloubení od 1–4 m, velmi často i zahloubení vyšší než 4 m. Zahloubení pod 1 m najdeme pouze v některých úsecích ve skalním městě. Poměrně často je zahloubení *uměle zvýšené*, většinou souvislou úpravou koryta s opevněním, ale vyskytují se i úseky se zvýšením umělého zahloubení bez opevnění (obr. 29). U charakteru proudění dominují kategorie *klouzavý a slapový proud*. U několika úseků pozorujeme *tůň*. V úseku MET016 jsou dva *vodopády* (Malý a Velký Adršpašský), po kterých následuje krátký *peřejnatý úsek* na úseku MET015. U úseků MET015 a MET019 najdeme drobné *kaskády* či *stupně*.

**Mapa 3: Přehled nejupravenějších úseků z hlediska jejich trasy na horní Metuji**



Ovlivnění hydrologického režimu je způsobeno celkem 4 hlavními jezy, které způsobují *trvalé vzduť* u úseků MET005, MET007, MET008 a MET013 (obr. 30). U většiny úseků mimo oblast Adršpašského skalního města dochází k drobným *odběrům vody a vypouštění*. Odběry jsou typické v chatařské oblasti Javor, Dědov (MET005) a v obci Česká Metuje (MET001) pro účely domácností. Již od konce 19. století jsou také evidovány odběry za účely zavlažování či zavodnění luk v okolí České Metuje (Okresní politická správa Broumov 1926). Od roku 1931 je v Teplicích nad Metují (MET008) veřejné koupaliště, které je dodnes napájeno řekou Metují. Voda je z ní odváděna do rybníka, který slouží jako přehřívací nádrž pro samotné koupaliště. V blízkosti chatařské oblasti Javor (MET007) od roku 1936 byla továrna na výrobu barev, která pro svůj provoz vyžadovala až 200 l/s a byla tak nejvýznamnějším odběratelem vody v oblasti.

Dnes je již tato výrobní zrušena a na jejím místě stojí objekty elektrárenské firmy JAVOR CZ s. r. o. K velmi významnému ovlivnění hydrologického režimu došlo v roce 1949, který stavbou jezu se stavidlem v zámeckém parku v Teplicích nad Metují odvádí část průtoku zatrubněným korytem do rybníků a úpravní vody v centru města, následně se tato voda navrácí do toku (Okresní úřad Broumov 1951). Vypouštění se týká především jednotlivých domácností, které nejsou napojeny na kanalizační systém. Ten je vybudován pouze v Teplicích nad Metují od roku 1987 společně s ČOV, která následně vypouští do toku vodu zbavenou nežádoucích látek (Jiráková 1993).

**Obr. 29:** Uměle zvýšené zahloubení koryta na levém břehu, úsek MET004 (Foto: dílo autora)



**Obr. 30:** První jez na Metují před osadou Bučnice, vytváří trvalé vzdutí, úsek MET013 (Foto: dílo autora)



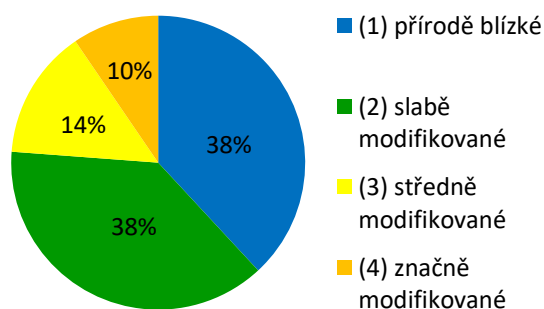
### 6.3. Dno a podélný profil

Zóna dna a podélný profil je hodnocena na základě 5 dílčích parametrů: Upravenost dna, struktury dna, dnový substrát, mrtvé dřevo v korytě a podélná průchodnost koryta.

Hodnocení zóny dna a podélného profilu dopadlo o poznání hůře než u koryta a trasy toku (příloha 16). Pro stav *přírodě blízký* a *slabě modifikovaný* je podíl úseků totožný – pro obě kategorie 38 % (graf 10). Tyto dobře hodnocené úseky se nacházejí především v oblasti Adršpašsko-Teplického skalního města (MET009 – MET016, MET018) a na dolní části toku u obce Česká Metuje (MET001 – MET004). Úseky MET005,

MET007 a MET008 hodnotíme jako *středně modifikované*. Charakter upravení dna je zde dán přítomností zástavby a souvislé úpravy koryta. *Značně modifikované* jsou úseky MET019 a MET020. Jedná se o úseky ve skalním městě, veřejnosti nepřístupné. Důvodem takto špatného hodnocení je přítomnost krátkých propustků o poloměru cca 25 cm (obr. 31) v daných úsecích, které jsou hodnoceny jako nevhodné z hlediska podélné průchodnosti koryta. Přehled hodnocení jednotlivých úseků v zóně dna a podélný profil znázorňuje mapa 4.

**Graf 10:** Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro zónu dna a podélného profilu



Dnový substrát je ve všech úsecích velmi rozmanitý. Nejčastěji se vzhledem k tomu, že tok protéká pískovcovým skalním městem, vyskytuje frakce *písku*, a to i na horním toku (obr. 32), přestože se běžně vyskytuje až na dolním toku, kde se usazuje při nízké rychlosti toku. Písek nenajdeme pouze u pramene nad skalním městem (úseky MET021 a MET023), kde tok protéká zemědělskou plochou a v prvním úseku ve skalním městě (MET020). Častým typem substrátu je také *štěrka* a *kameny*, v menší míře se vyskytují *balvany* a *prach s bahnem*, ve skalním městě i holé *skalní podloží*. *Umělý substrát*, nejčastěji dlažba či beton, se vyskytují na dně toku u souvislé úpravy v intravilánu Teplic nad Metují (MET008) a u jezů či stupňů po celé délce toku.

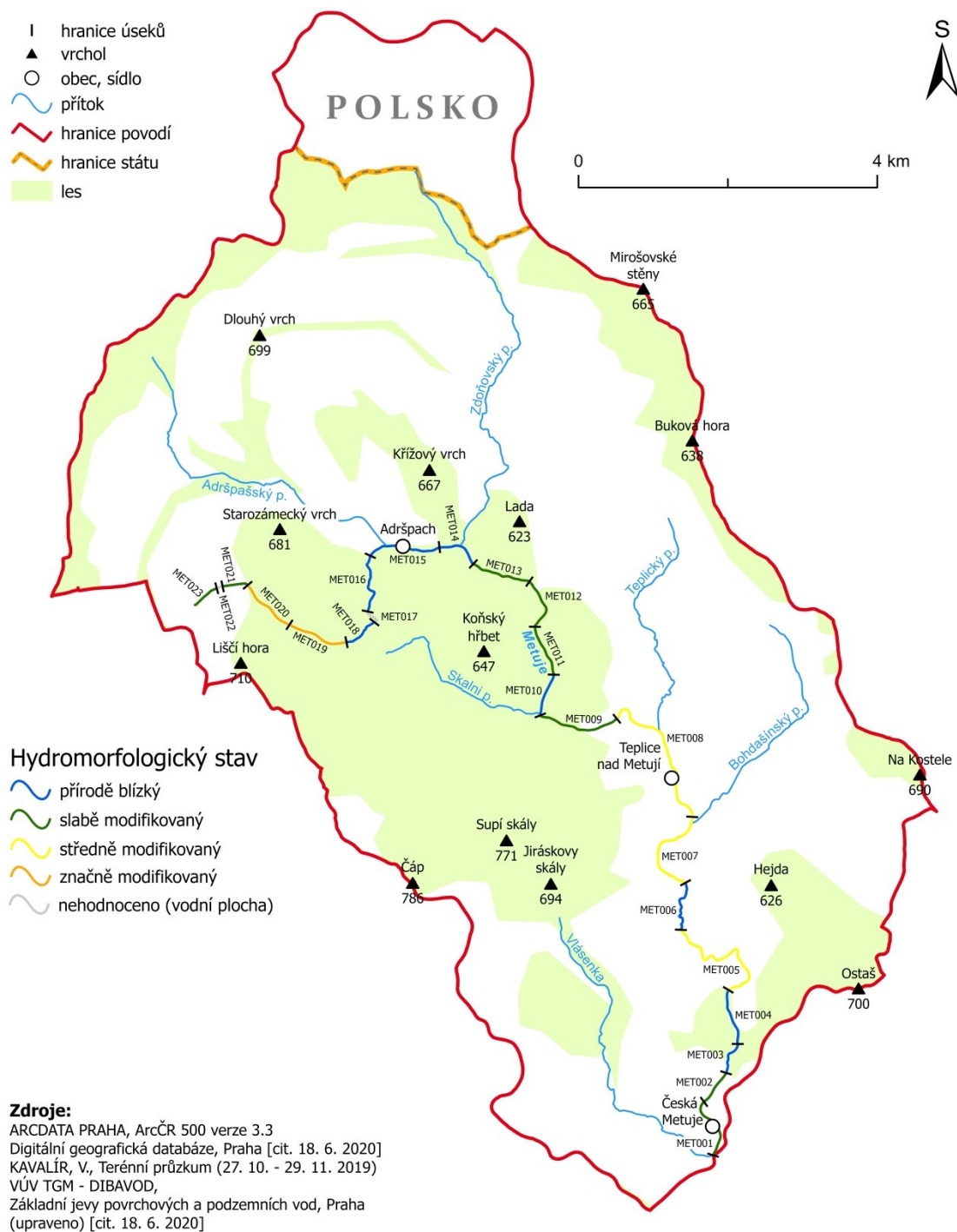
**Obr. 31:** Lesní cesta vedoucí přes propustek ve Vlčí rokli, část úseku MET019  
(Foto: Černý, převzato z reka-metuje.sije.cz 2019)



**Obr. 32:** Dnový substrát toku Metuje ve skalním městě je výhradně z písku, úsek MET016  
(Foto: Jidhash, převzato z flickr.com 2014)



Mapa 4: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii dno a podélný profil



U upravenosti dna je 11 úseků *dno bez známek úprav*. Jde o úseky ve skalním městě a převážně mimo intravilán. Jezy na toku jsou vytvořeny z *betonu* či *kamenné dlažby*. Nejčastějším místem zpevnění dna jsou oblasti mostních konstrukcí, kde je opět využita kamenná dlažba či beton. Na několika lokalitách najdeme *zpevnění dna kamenným pohozem* či *rovnaninou*, převážně v exponovaných zákrutech v blízkosti komunikace či obydlí v kombinaci s opevněním břehu, jedná se však o úseky s maximální délkou 5 m. U již výše zmíněných úseků MET019 a MET020 je část úseku *zatrubněna, zakryta* propustky. Dno v intravilánu Teplic nad Metují bude patrně upraveno v podstatné části úseku, ovšem tato úprava je pokryta množstvím sedimentů.

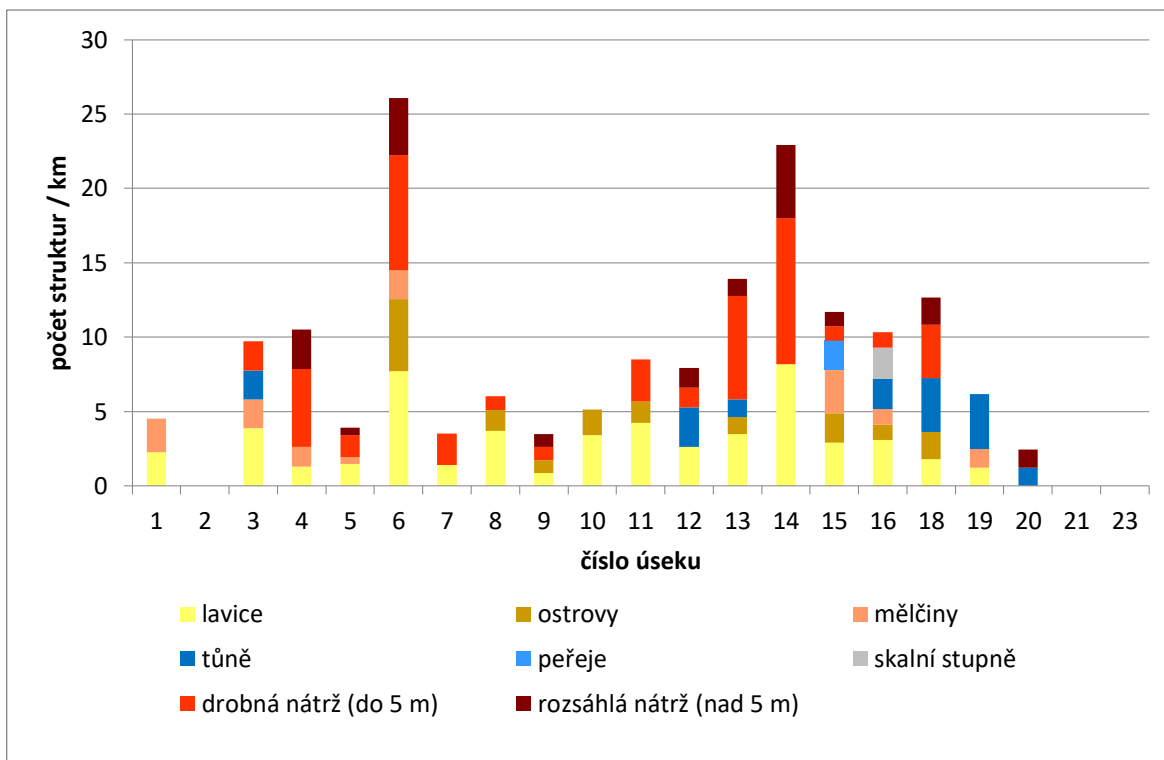
U ukazatele mrtvého dřeva v korytě nebyla hodnocena jeho *intenzita odstraňování*, protože tyto informace nebyly k dispozici. U všech úseků, vyjma pramenné oblasti (MET021 a MET023), kde vzhledem k povaze okolí nelze mrtvé dřevo očekávat, se mrtvé dřevo vyskytovalo. Nejméně ho bylo nalezeno v úsecích MET008 a MET007, tedy oblastech intravilánu, kde může docházet k jeho odstraňování, aby nevznikaly překážky pro rychle tekoucí vodu při vyšších vodních stavech. Naopak u úseků MET015, MET016, MET018 a MET019 se mrtvé dřevo vyskytuje na 50–90 % délky jednotlivých úseků. U většiny úseků se jeho výskyt pohybuje okolo 10–20 % délky úseku.

Struktury dna nám velmi dobře ukazují, jak moc je dno antropogenně zasaženo, protože člověk přirozeně tyto struktury odstraňuje či potlačuje. Největší množství struktur mezohabitatu (struktury dna a nátrže) na kilometr toku tak evidujeme u přírodě blízkých úseků – MET006 či MET014. Jejich největší rozmanitost je v úsecích ve skalním městě (MET015, MET016, MET018), naopak *žádné struktury dna* neevidujeme u pramenných úseků (MET021 a MET023), ale také u přirozeně přímého a slabě ovlivněného úseku MET002. Nejméně struktur na kilometr bylo nalezeno u úseků, protékajících intravilánem či roztroušenou zástavbou (MET001, MET005, MET007, MET008 či MET009), viz graf 11. Nejhojněji zastoupenou strukturou dna jsou *lavice*, které byly nalezeny alespoň jednou na 17 úsecích, nejvíce na úseku MET006, který je přírodě blízký a má meandrový charakter toku, hojně zastoupené jsou také u úseku MET014. Velké množství lavic je také na úseku MET008, tedy středně modifikovaném. Jejich přítomnost zde je ovšem dána délkou úseku (nejdelší ze všech – 2 152 m), nízkým vodním stavem (odhalení struktur nacházejících se pod hladinou) a nízkou rychlostí proudění, což umožňuje usazení převážně písčitého materiálu z Adršpašsko-Teplických skal. *Ostrovky* se nacházejí opět



hlavně u přírodě blízkých úseků či slabě modifikovaných. To samé platí o přítomnosti *mělčin*. *Tůně* najdeme především ve skalním městě, kde vytvářejí step-pool systémy nebo pod vodopády. Jediné významnější *peřeje* jsou na úseku MET015 u vstupu do Adršpašského skalního města. Jsou velmi pravděpodobně uměle vytvořené, protože oba břehy po jejich obvodu jsou opevněny a na dně se nachází množství kamenů a balvanů. Jediné *skalní stupně* na toku jsou Malý a Velký Adršpašský vodopád v úseku MET016.

Graf 11: Počet struktur mezohabitatu (struktur dna a břehové nátrže) na kilometr za jednotlivé úseky

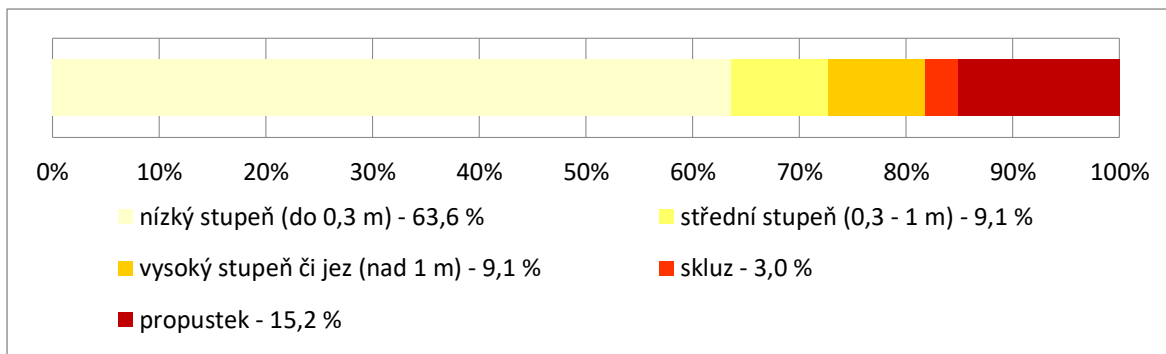


Podélná průchodnost koryta je ovlivněna celkem 33 překážkami (graf 12). *Bez překážek* je 8 úseků, převážně jde opět o úseky ve skalním městě či jeho okolí. V úsecích MET019 a MET020 se ovšem vyskytují již také zmíněné *propustky*, které jsou v oblasti Vlčí rokle nevhodné a nesmyslné. Přes ně vedou cesty, které jsou pouze pro pěší a vedou hlouběji do skalního města, navíc tato oblast je pro veřejnost vyloučena. Velká část překážek se nachází v intravilánu Teplic nad Metují, celkem 14. Jde převážně o *nízké stupně s výškou do 0,3 m<sup>6</sup>*. Zbylé tyto nízké stupně, které nepředstavují migrační překážku, jsou rozmístěny po celé délce toku, jejich větší koncentrace je pak ještě v úseku MET011, kde se nejspíše jedná o opatření, které má vést ke snížení rychlosti proudění a erozní činnosti po odstranění meandrů. *Stupně s výškou 0,3–1 m*, které již představují

<sup>6</sup> Výška všech překážek byla stanovena expertním odhadem, proto je nutné si uvědomit, že překážka, která je svými rozměry na hranici kategorie, mohla být zařazena do vedlejší kategorie.

migrační překážku pro velkou část ichtyofauny, evidujeme celkem 3. Nacházejí se na sobě navazujících úsecích v okolí Teplic nad Metují, MET007 – MET009. Dva z nich jsou migračně průchodné. Největší překážku představují *stupně či jezy s výškou nad 1 m*, které jsou na sledované části toku rovněž 3. První se nachází nad Bučnicí (MET013), druhý v zámeckém parku Teplic nad Metují (MET008) a poslední na konci Dědova (MET005). Jediný *skluz* (obr. 33) se nachází na konci České Metuje (MET001).

Graf 12: Procentuální zastoupení jednotlivých druhů překážek v podélném profilu toku



#### 6.4. Břeh a příbřežní zóna

Zóna břehu a příbřežní zóny je hodnocena na základě 3 dílčích parametrů: Upravenosti břehu, břehové vegetace a využití příbřežní zóny, která je definována jako vzdálenost 50 m od koryta toku.

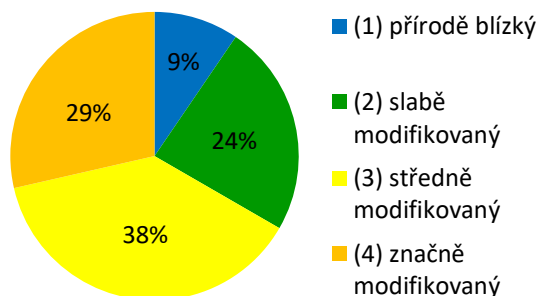
U hodnocení této oblasti výrazně poklesl podíl úseků s *přírodě blízkým* stavem (graf 13), kde tímto stavem jsou hodnoceny pouze oba referenční úseky MET006 a MET018. I počet úseků, hodnocených jako *slabě modifikované*, poklesl na 24 %. Výrazně tak vzrostl podíl úseků hodnocených jako *středně a značně modifikované*, které představují 2/3 všech úseků (mapa 5). *Značně modifikované* úseky se nacházejí hlavně v zastavěné oblasti Teplic a České Metuje (MET001, MET007 – MET009). Posledním úsekem s tímto hodnocením je

Obr. 33: Skluz v obci Česká Metuje, úsek MET001 (Foto: dílo autora)



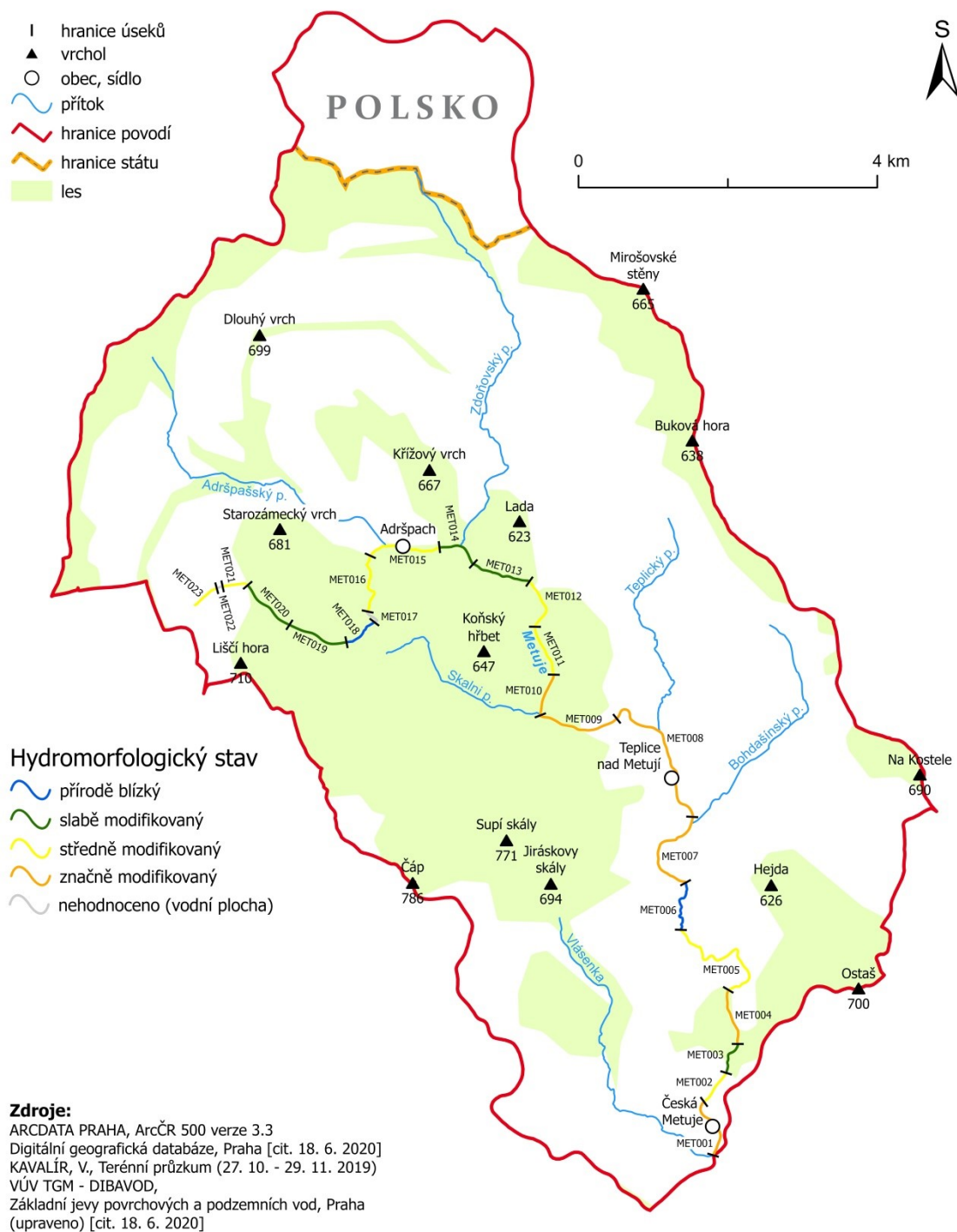
MET004, kde je tento špatný stav způsoben přítomností průmyslové oblasti firmy KOMAP Dědov s. r. o. na velké části levého břehu tohoto úseku. Břeh s příbřežní zónou je tak výrazně ovlivněn antropogenními vlivy a hůře hodnocen než samotná zóna koryta. Jde o kombinaci faktorů, jako jsou absence břehové vegetace, nevhodné využívání příbřežní zóny či zpevňování břehů.

Graf 13: Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro zónu břeh a příbřežní zóna

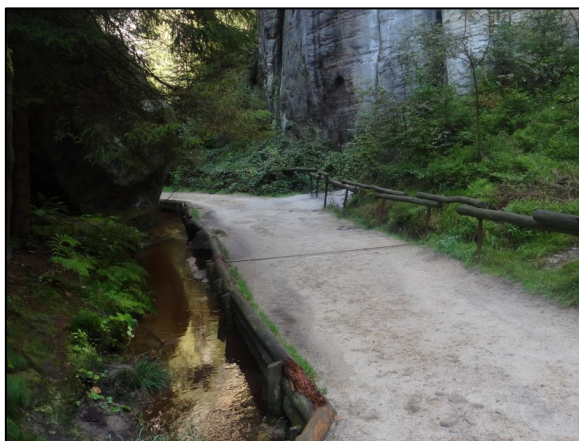


Břehy nejsou úpravou dotčeny u úseků MET003, MET004, MET006, MET018, MET020 a MET023. Jedná se o úseky, které jsou celkově i z hlediska břehu s příbřežní zónou hodnoceny jako přírodě blízké či slabě modifikované, pouze MET004 je hodnocen jako středně modifikovaný. Břehy jsou úpravou dotčeny i v Adršpašském skalním městě (MET016) za účelem zpřístupnění turistických tras, a proto zde muselo být koryto opevněno, převážně *kulatinou* (obr. 34), vyskytuje se ale i úsek s *kamennou dlažbou* (obr. 35). Ve veřejnosti nepřístupné Vlčí rokli (MET019) je rovněž břeh zpevněn, zde jde zřejmě o ochranu zdejší lesní cesty. Nejvíce dotčen je úsek MET008 v Teplicích nad Metují, kde různými typy opevnění je postižen celý sledovaný úsek. Z 50 % je tato část toku zpevněna *kamennou dlažbou*, jakožto následek *souvislé úpravy* z období první republiky. Zbylé části úseku jsou upraveny ostatními druhy opevnění, od *kulatiny*, přes *záhozy* či *pohozy* po *zpevnění betonem*. Přibližně 50 % celkové délky úseků je ještě upraveno na úsecích MET009 a MET012, kde se také nachází zástavba. Výrazněji jsou také dotčeny úseky MET001 a MET002 v České Metuji. Z typů opevnění se nejčastěji využilo *kamenné dlažby*, dále *záhozů* či *pohozů*, často ve fázi *rozpadu*. Méně často bylo užito *kulatiny* a *betonu*, v krátkých úsecích mimo zástavbu také *zatravnění*.

Mapa 5: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii břeh a příbřežní zóna



Obr. 34: Zpevněný břeh kulatinou v Adršpašském skalním městě, úsek MET016 (Foto: Černý, převzato z reka-metuje.sije.cz 2019)



Obr. 35: Zpevněný břeh ve stejném úseku, tentokrát ale kamennou dlažbou, úsek MET016 (Foto: dílo autora)



U úseků MET001 – MET011 (vyjma MET008) jednoznačně převládá *liniová vegetace*. Tu doplňují *přerušované pásy vegetace* a *přirozený les*, který se vyskytuje vždy pouze na jednom z břehů. U úseku MET008, který je celý v intravilánu, jsou břehy povětšinou *bez vegetace*, případně se vyskytují *jednotlivé stromy* či *přerušované pásy vegetace*. Jediné souvislejší stromořadí představuje zámecký park, jde přibližně o 200 m dlouhou část úseku. Úseky MET012 – MET014 jsou typické střídáním úseků *s trávobylinnou vegetací, jednotlivých stromů a keřů* či *přerušovaných pásů vegetace*. Od úseku MET015 do MET020 dominuje *přirozený les* (obr. 36). Pouze u úseku MET016, kdy tok protéká úzkou soutěskou skalního města, jsou břehy částečně *bez vegetace*. V poslední části (úseky MET021 a MET023) tok prochází polní oblastí, a tak zde dominuje *trávobylinná vegetace*.

Využití příbřežní zóny je velmi různorodé. Přirozené plochy, jako *lesy* a *louky* zaujmají téměř 56 %. Doplnují je také *plochy ponechané přirozenému vývoji*, které najdeme na přibližně 2 % plochy příbřežní zóny. Oproti dolnímu toku (od Nového Města nad Metují po soutok s Labem v Jaroměři) není tato oblast tak hustě obydlená a povětšinou je nevhodná k zemědělskému využití. Tyto přirozené plochy dominují na úsecích MET013 – MET015 a MET018 – MET020, vysoké zastoupení mají také na úsecích MET003,

MET006 a MET010. U úseku MET016 převažuje *přírozený skalní povrch* pískovcového skalního města.

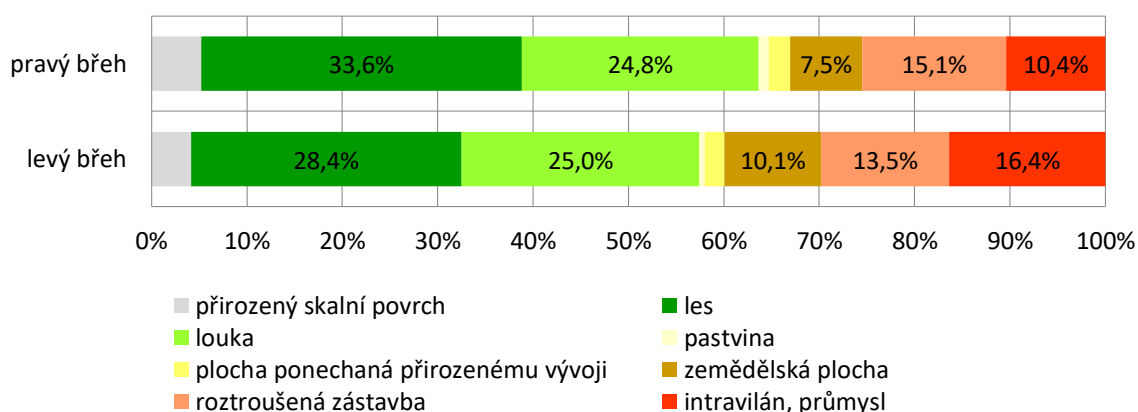
Obr. 36: Přírozený a nenarušený les v centru Vlčí rokle, úsek MET018  
(Foto: Černý, převzato z reka-metuje.sije.cz 2019)



*Zemědělskou plochu* najdeme u pramenných úseků MET021 a MET023. U MET007 je zemědělsky využívána příbřežní zóna zejména na levém břehu, u úseku MET002 poté na pravém. Příbřežní zóny je nejhůře hodnocena, pokud je využita pro *roztroušenou zástavbu* či *intravilán a průmysl*. Tyto dvě kategorie tvoří necelou třetinu příbřežní zóny. *Intravilán* tvoří úseky MET001 – obec Česká Metuje a MET008 – Teplice nad Metují. Zároveň do této kategorie je zahrnuta *průmyslová oblast* již zmíněné firmy KOMAP Dědov s. r. o. v úseku MET004. *Roztroušená zástavba* je u úseků chatářských oblastí MET005 či MET012.

Více antropogenně ovlivněn je levý břeh toku Metuje, kde má větší zastoupení *zemědělská plocha a intravilán*. Naopak přírozené plochy mají větší podíl na pravém břehu řeky, kde tvoří asi 2/3 rozlohy příbřežní zóny (graf 14). To může být dáno tím, že tok Metuje pravým břehem několik kilometrů lemuje oblast skalního města, a tudíž niva a možné úpravy příbřežní zóny jsou možné pouze na břehu levém.

Graf 14: Využití příbřežní zóny na jednotlivých březích podél toku Metuje

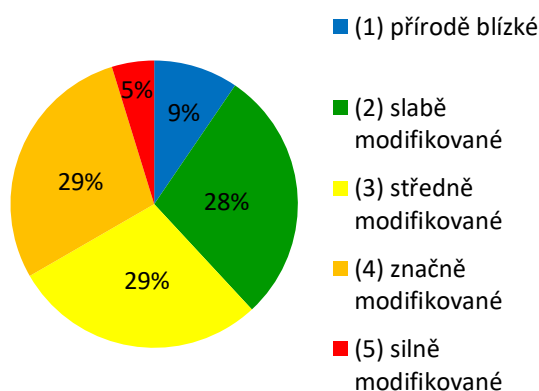


## 6.5. Inundační území

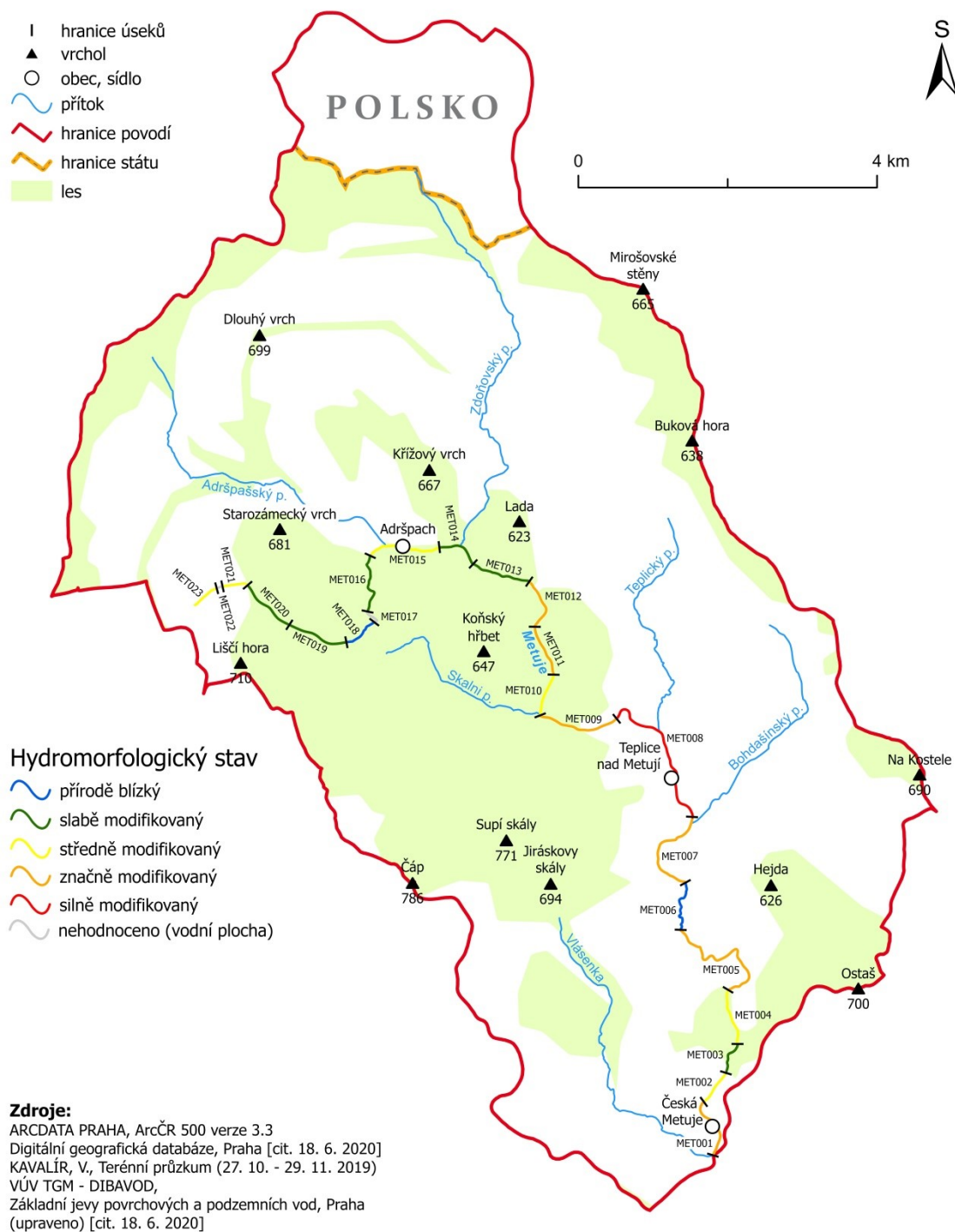
Zóna inundačního území je hodnocena na základě 3 dílčích parametrů: Využití údolní nivy, průchodnosti inundačního území a stability břehu s boční migrací koryta. Parametr využití údolní nivy byl hodnocen pouze u úseků, kde niva zaujímá alespoň 1/3 celkové délky úseku. U úseků, kde niva není vyvinuta nebo se nachází na méně než 1/3 jejich délky, byl tento parametr hodnocen stejně jako využití příbřežní zóny (byl mu přiřazen stejný podíl jednotlivých kategorií a následné vyhodnocení proběhlo podle tabulek pro využití údolní nivy).

Hodnocení této oblasti dopadlo ze všech nejhůře. *Přírodě blízký* stav najdeme stejně jako u oblasti břeh a příbřežní zóna pouze u referenčních úseků – MET006 a MET018. 28 % úseků hodnotíme jako *slabě modifikované* (graf 15), jde o úseky především ve skalním městě (MET016 – MET020) a jeho okolí, kde buď není vyvinuta niva, nebo do ní není zasaženo. Většinu úseků řadíme do *středně a značně modifikovaných*. Většinu z těchto úseků najdeme mezi úseky MET001 – MET012, tedy v oblasti, kde je již vyvinuta niva a ta je využita pro zemědělské účely či zastavěna (mapa 6). Část trasy mezi těmito úseky řeku lemují pozemní komunikace, která narušuje průchodnost inundačního území. Již několikrát zmiňovaný úsek MET008, který vede intravilánem Teplic nad Metují, náleží do kategorie *silně modifikovaný*. Niva je zde po celé délce využita pro zástavbu a boční pohyb koryta je na většině úseku omezen opevněním břehů.

Graf 15: Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro zónu inundačního území



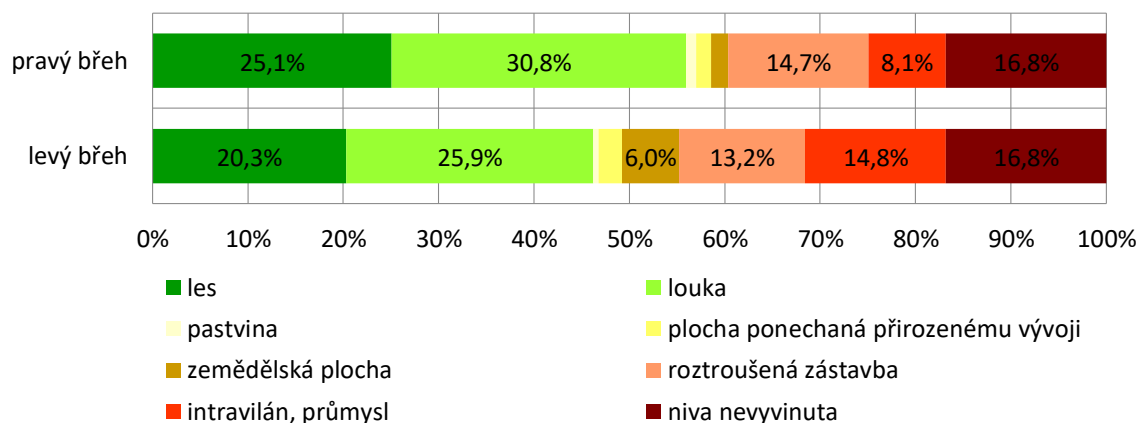
Mapa 6: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii inundační území





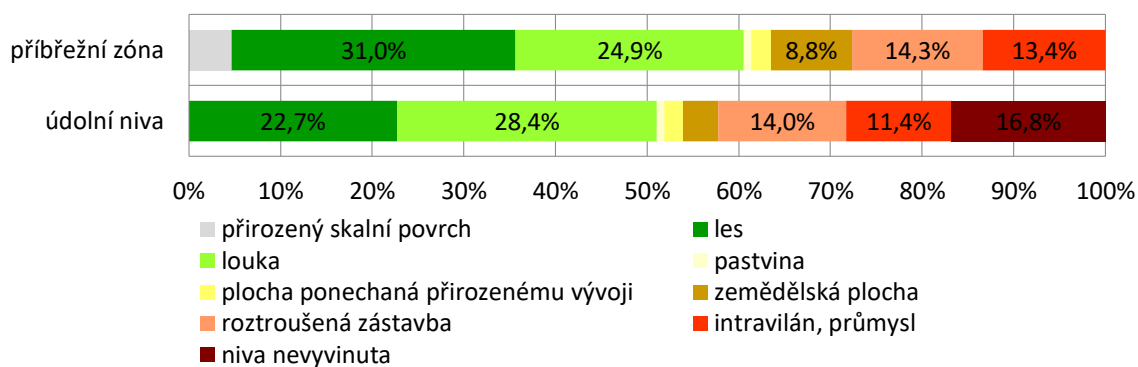
Níva není vyvinuta na 16,8 % celkové délky sledovaných úseků. Jde o úseky v oblasti pramene (MET021, MET023), dále v oblasti Adršpašského skalního města (MET016, MET019) a na úsecích MET010 a MET011, kde tok protéká hluboce zařízlým údolím ve tvaru V. Tam, kde je níva vyvinuta, najdeme z větší části přirozené plochy, tedy *louky* a *lesy* či *plochy ponechané přirozenému vývoji*. Jde především o úseky MET002 – MET004 mezi Českou Metují a Dědovem či MET013 – MET015 mezi Bučnicí a Adršpachem. Drobná níva je vyvinuta i přímo ve Vlčí rokli v jádru skalního města (MET018 a MET020), protože tok překonává zdejší výškové převýšení hlavně na úseku MET019. Více těchto ploch se nalézá na pravém břehu Metuje (graf 16), což je jako u příbřežní zóny dáno tím, že pravým břehem tok lemují skalní město. *Intravilán* či *průmyslové plochy* najdeme více na levém břehu. Tento rozdíl je dán tím, že na levém břehu se nachází větší část obce Česká Metuje a rozsáhlý areál firmy KOMAP Dědov s. r. o. (obr. 37). *Roztroušená zástavba* tvoří 14 % celkové délky úseků, majoritně tvoří úseky MET005 (Dědov) a MET012 (Bučnice). *Zemědělsky* je výrazněji užíván levý břeh, protože zemědělsky využívána je také téměř celá levobřežní níva úseku MET007. U pravého břehu jsou pro orbu užity pouze krátké části úseků MET001 a MET002. Graf 17 nabízí srovnání využití údolní nivy s příbřežní zónou, nutné je si uvědomit, že níva na rozdíl od příbřežní zóny není u několika úseků vyvinuta.

Graf 16: Využití údolní nivy na jednotlivých březích podél toku Metuje



Podélnou průchodnost inundačního území narušuje zejména silnice III/30110 vedoucí z České Metuje do Adršpachu. Tato komunikace vede *paralelně s korytem* (obr. 38) a je kvůli tomu břeh na několika místech opevněn či vytvořen násep. Pozemní komunikace vede po náspu podél levého břehu toku v celé délce úseků MET011 nebo MET013, kde je to dáno šířkou údolí. *Napříč nivou* je komunikace vedena po náspech pouze u mostních konstrukcí v úsecích MET008 a MET005. U úseků MET001 a MET008, tedy úseků vedoucích zástavbou, je patrné *zkapacitnění koryta* (obr. 39). V České Metuji k tomuto rozšíření došlo po povodni v roce 1997.

Graf 17: Využití příbřežní zóny a údolní nivy podél toku Metuje



Obr. 37: Letecký snímek úseku MET004 – na pravém břehu je příbřežní zóna a niva tvořena lesem, na levém patrný komplex firmy KOMAP Dědov s. r. o. (Zdroj: ČÚZK, upraveno)



Obr. 38: Paralelně vedená komunikace s tokem, nutné opevnění břehu a znemožnění boční migrace koryta, úsek MET005 (Foto: dílo autora)



Obr. 39: Zúžení toku na konci obce Česká Metuje po jeho zkapacitnění v jejím centru, úsek MET001 (Foto: Černý, převzato z reka-metuje.sije.cz 2019)



*Omezení bočního pohybu koryta je hlavně na úsecích, kde je opevněn břeh. Jedná se tak o oblasti zástavby. U úseku MET008 je jeho vývoj omezen téměř po celé délce, z velké části je omezen také u úseků MET001, MET007, méně pak u MET005 či MET012. To zabraňuje tvorbě *břehových nátrží*, v menším počtu se pak vyskytují i *fluviální akumulace*. *Stabilní břeh bez nátrží a akumulací* je u přirozeně přímého úseku MET002 a u pramenných úseků MET021 a MET023. Malý počet těchto struktur se vyskytuje v oblasti skalního města (MET016 – MET020), kde to je podmíněno geomorfologií oblasti. Největší koncentraci těchto struktur nalezneme u úseků, které jsou hodnoceny jako přírodě blízké či slabě modifikované (obr. 40). Jde hlavně o úseky MET006 a MET014, vyšší koncentrace je také u úseků MET004 či MET013.*

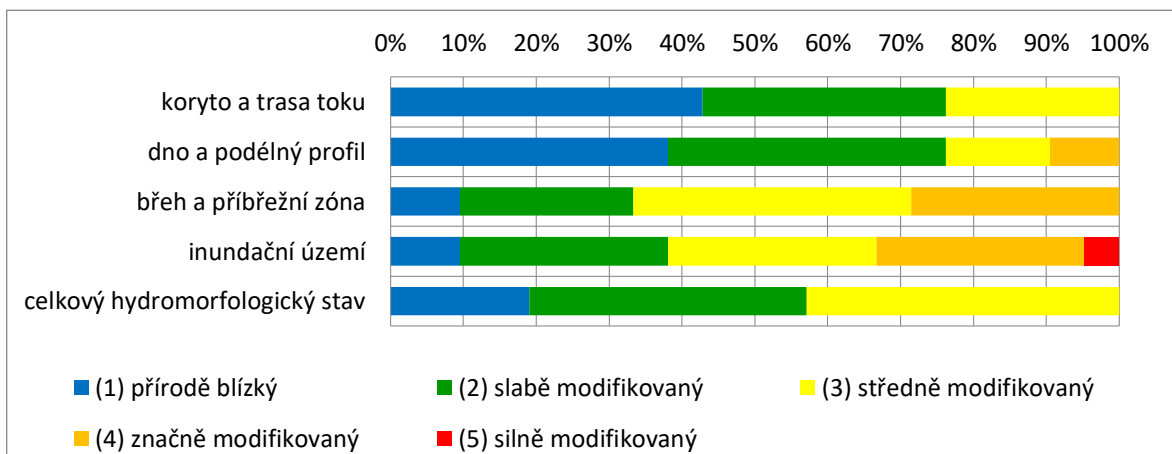
**Obr. 40: Rozsáhlá břehová nátrž, přirozený vývoj koryta, úsek MET006  
(Foto: dílo autora)**



## 6.6. Celkové hodnocení hydromorfologického stavu

V celkovém hodnocení hydromorfologického stavu jednotlivých úseků žádný z nich nedosáhl horšího hodnocení než *středně modifikovaný*, i přes špatné hodnocení zón břehu s příbřežní zónou a inundačního území, protože hodnocení samotného koryta je přisuzována větší váha ve zvolené metodice HEM (Langhammer 2014), což je zřejmé i ze srovnání hodnocení jednotlivých zón s celkovým hodnocením hydromorfologického stavu z grafu 18. Nejhorší hodnocení má úsek MET008, který má skóre 3,475, a náleží tak stále do kategorie *středně modifikovaný*. Naopak nejlepšího skóre, (1,138) dosáhl úsek MET018, který se nachází ve Vlčí rokli Adršpašských skal. Celkově *přírodě blízkého* stavu dosáhly 4 úseky, *slabě modifikovaných* je 8 a *středně modifikovaných* 9. Úseky MET017 a MET022 nebyly hodnoceny. Celý vodní tok má poté skóre 2,401, je tedy hodnocen jako *slabě modifikovaný*.

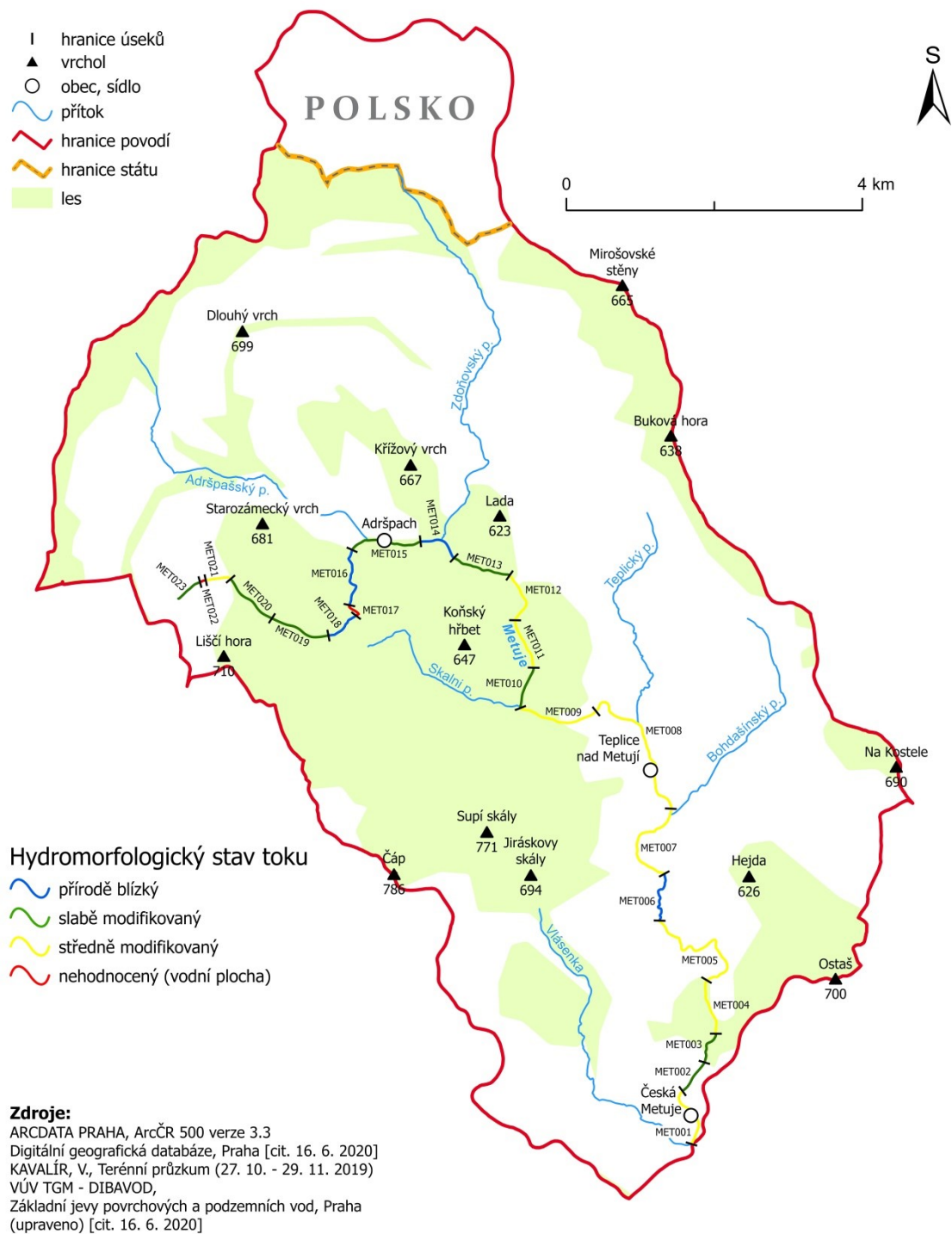
**Graf 18: Srovnání celkového hodnocení hydromorfologického stavu s jednotlivými zónami hodnocení na horním toku Metuje**



U hůře hodnocených úseků je více ovlivněna a využívána niva či příbřežní zóna, koryto je často upraveno (napříměno, přítomnost stupňů atd.). Jde hlavně o úseky, kde již je vyvinuta niva, a tudíž i zástavba. 8 z 9 *středně modifikovaných* úseků nalezneme mezi úseky MET001 – MET012 (mapa 7). Dobře hodnocené úseky se z velké části nacházejí v oblasti skalního města (MET013 – MET020), kde zásahu do toku nejsou tak markantní.

Úsek MET001 prochází obcí Česká Metuje, proto je zdejší niva z velké části zastavěná, břehy jsou opevněny a koryto je zde i zkapacitněno. I proto je hodnocen jako *středně modifikovaný*. Zdejší úpravy slouží zejména k protipovodňové ochraně této obce. Úseky MET002 a MET003 jsou v lepším stavu než předchozí úsek, hodnotíme je jako *slabě modifikované*. Úsek MET002 je přirozeně přímý a nedotčený úsek i protože údolí zde má na části úseku tvar V. Nelze jej však hodnotit jako přírodě blízký z důvodu absence jakýchkoliv struktur dna a protože využití nivy a příbřežní zóny je částečně zemědělské a na levém břehu najdeme několik staveb. MET003 se svým skóre (1,550) velmi blíží *přírodě blízkému* stavu. Nachází se zcela mimo zástavbu, niva není téměř narušena a tok je bez modifikací. Příčinnou klasifikace úseku jako *slabě modifikovaného* je přítomnost malé zemědělské plochy (asi 10 % celkové délky úseku) v nivě a násep komunikace III/30110 vedoucí podél levého břehu toku. Úsek MET004 je *středně modifikován*. Jedná se napříměný úsek, který postrádá vegetaci podél celého levého břehu. Velkou část nivy zaujímá průmyslová oblast firmy KOMAP Dědov s. r. o. Následující úsek MET005 vychází také jako *středně modifikovaný*. Prochází chatařskou oblastí místních částí Teplic nad Metují – Javor a Dědov. Podélnou průchodnost zde narušuje rozsáhlý, asi 1 metr vysoký, boční jez, který vytváří vzduť hladiny. Vzhledem k tomu, že zde neexistuje kanalizační systém, dochází z většiny zdejších objektů k vypouštění odpadů přímo do toku. Úsek MET006, hodnocený jako *přírodě blízký*, je zároveň referenčním. Tok zde nebyl téměř narušen, vytváří soubor meandrů. Pouze jedna část úseku, asi 25 m dlouhá, vytváří dojem napřímění, může se ovšem jednat o přirozený proces. Úseky MET007 – MET009 jsou *středně modifikované*. U úseku MET007 byla výrazně zkrácena jeho délka odstraněním meandrů o více než 400 m. Úsek téměř postrádá jakékoliv struktury dna, v jeho horní části se nachází přibližně 0,5 m vysoký jez. Niva a příbřežní zóna jsou využity z velké části pro zemědělství na levém břehu a pro roztroušenou zástavbu na pravém. Nivou rovněž prochází pozemní komunikace.

Mapa 7: Celkový hydromorfologický stav jednotlivých úseků na toku Metuje



Největší a nejpatrnější změny tok prodělal v jediném větším sídle v zájmovém území – v Teplicích nad Metují, případně jeho blízkém okolí. Úsek MET008 je tak souvislou úpravou koryta toku, aplikací několika menších stupňů a jednoho více než metrového do podélného profilu, opevněním břehů a využitím nivy pro zástavbu hodnocen jednoznačně nejhůře. Tyto zásahy zde však většinou byly vynuceny protipovodňovou ochranou v době první republiky, kdy bylo cílem hlavně rychlé odvedení povodňové vlny, i když to ve výsledku u většiny podobných úprav vedlo ke zvýšení kulminace. U částí těchto úprav jsou již patrné renaturační procesy, zejména u opevnění koryta na jižním konci města.

Úsek MET009 je ovlivněn zejména častým opevněním, protože na jeho pravém břehu se nachází penziony a hotelová zařízení. Proto je zde také časté přemostění toku a přítomnost parkovišť. Na levém břehu toku opět vede pozemní komunikace do Adršpachu. Úsek MET010 je *slabě modifikován*. Řeka zde vytváří údolí tvaru V mezi Teplickými skalami a Lysým vrchem, proto se jedná o přirozeně přímý úsek s absencí většího počtu fluviálních akumulací a hlavně nivy. Nachází se zde ovšem velké množství mrtvého dřeva a tok tu protéká lesem. Úseky MET011 a MET012 jsou vyhodnoceny jako *středně modifikované*. Úsek MET011 jeví známky napřímení zejména u hranic s úsekem MET012. Jsou zde 4 nízké stupně, přibližně 15 cm vysoké, které pravděpodobně mají tlumit účinky erozní síly, kterou tok získal tímto napřímením. Na strmém pravém břehu se nachází les, na levém vede po celé jeho délce silnice. MET012 prochází chatařskou oblastí Bučnice, která náleží pod Teplice nad Metují. Proto je zde na asi 50 % celkové délky úseku opevnění břehu a břehová vegetace je zde také velmi omezená, většinou ve formě jednotlivých stromů či trávobylinné vegetace. Úsek MET013 je *slabě modifikovaný* a to i přestože se nachází mimo jakoukoliv zástavbu a má plně vyvinutou nivu, která je ponechána přirozenému vývoji. Nachází se zde asi 1 metr vysoký jez, který je migračně neprůchodný. Výrazně narušena je průchodnost inundačního území již několikrát zmíněnou komunikací, která vede nivou. Rovněž většinu úseku na březích nalezneme pouze trávobylinnou vegetaci. Následující úsek, MET014, je v *přírodě blízkém* stavu. Za to může jeho částečná izolovanost. Podél pravého břehu lemuje skalní město a levý břeh má vyvinutou nivu od soutoku se Zdoňovským potokem (asi 50 % délky úseku), do té doby tok vytváří zahluobené údolí bez možnosti přístupu. MET015 je *slabě modifikovaný*, i když po většinu své délky je nedotčený. Příčinou tohoto hodnocení je okolí vstupu do Adršpašských skal, kde je tok opevněn a nachází se zde roztroušená zástavba.

Tento úsek je unikátní vysokým podílem mrtvého dřeva, které se hromadí v oblasti za vstupem do skal, kde tok vytváří hluboce zařízlé údolí. Úsek MET016 je první, který se celý nachází ve skalním městě a je hodnocen jako *přírodě blízký*. I přesto je zde ovlivněn opevněním, převážně z kulatiny, ale i z kamenné dlažby, kvůli zdejší turistickým stezkám. Protože se jedná z velké části o soutěsku, chybí zde břehová vegetace. MET017 je nehodnocený úsek, nachází se zde Adršpašské jezírko.

Úsek MET018, který dosahuje celkově nejlepšího skóre, je tedy také hodnocen, jako *přírodě blízký*, se nalézá ve veřejnosti nepřístupné části skalního města. Tok zde není vůbec ovlivněn, vyjma vzdutí, které může vytvářet Adršpašské jezírko (vypuštěno pravidelně v období říjen – březen). Úseky MET019 a MET020, které jsou také v nepřístupné části skalního města, jsou hodnoceny jako *slabě modifikované*. To je dáno hlavně přítomností propustků v těchto úsecích, přes které vedou zdejší lesní cesty. Úsek MET019 je částečně opevněn kamennou dlažbou podél jedné z cest. Úsek MET021 se již nachází na polích mimo skalní město. Koryto zde bylo upraveno do podoby melioračního lichoběžníku, ztratilo tak variabilitu zahloubení v podélném profilu i variabilitu hloubek v příčném profilu. Navíc je zcela napřímáno. V celé příbřežní zóně je zemědělská plocha. Proto jej hodnotíme jako *středně modifikovaný*. Úsek MET022 tvoří asi 1500 m<sup>2</sup> rozsáhlý rybník či retenční nadrž, není proto hodnocen. Pramenný úsek MET023 hodnotíme jako *slabě modifikovaný*. Břehovou vegetaci tvoří hustá trávobylinná vegetace v jinak homogenním okolí, které tvoří zemědělská oblast. Celkové vyhodnocení dílčích parametrů všech úseků je v příloze 16.



## 7. Diskuze

V zájmovém území povodí horní Metuje byla aplikována metodika HEM (Langhammer 2014), která je v souladu s požadavky Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/ES, ČSN EN 14614 – Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik toků i ČSN EN 15843 – Jakost vod (Langhammer 2014). Účelem užití této metodiky bylo vyhodnocení hydromorfologického stavu horního toku Metuje a zjištění míry ovlivnění antropogenními vlivy na této části toku.

Práci podobného rázu se stejnou metodikou se zaobíralo již několik bakalářských a diplomových prací. V povodí Metuje ovšem práce podobného typu nebyla provedena. Obecně se na řeku Metuji zaměřuje pouze několik prací na Univerzitě Palackého v Olomouci, a spíše se zajímají o protipovodňovou ochranu na dolním toku v okolí Nového Města nad Metují, jako třeba práce od Cohorny (2014).

Při srovnání výsledků s pracemi jiných autorů zjistíme mnoho podobností. Šmerousová (2010) při zkoumání povodí Slubice zjistila, že opevnění se nejčastěji vyskytuje v oblastech, kde došlo k napřímení. Také tvrdí, že se toto opevnění často nachází ve fázi rozpadu a dochází u něj k renaturačním procesům. Podobné trendy sledujeme u několika úseků na horní Metuji. Napřímení se podle výsledků Bažantové (2009) a Douděrové (2012) stejně jako v našem případě v největší míře vyskytuje v úsecích, které prochází zástavbou či významnou zemědělskou plochou. Douděrová (2012) také ve své práci zjistila, že nejvíce stupňů v toku se nachází v napřímených úsecích, což na Metuji pozorujeme u úseků MET008 a MET011. Kyselka (2010) a Tichý (2017) tvrdí, že úpravou toku dochází k eliminaci či alespoň omezení výskytu struktur dna, jako jsou lavice, mělčiny atd. Stejného výsledku bylo dosaženo v této práci, kdy u úseků, které jsou v oblastech zástavby a jsou nejvíce postiženy úpravami, evidujeme nižší počet těchto struktur než u úseků neovlivněných. Tichý (2017) svým výstupem také potvrzuje, že břehové nátrže, jako jedny ze struktur mezohabitatu, se nejvíce vyskytují u úseků hodnocených jako *přírodě blízké* či tam, kde upravený úsek končí a *přírodě blízký* začíná. To samé platí u studie od Kiss, Amissah, Fiala (2019), kteří pozorují větší množství těchto břehových nátrží u úseků, které se vyznačují větší křivolakostí, tedy u nenapřímených a většinou antropogenně nedotčených úseků. Naše výsledky se shodují se závěry Kyselky (2010) v tom, že nejvíce antropogenně modifikovány a poškozeny jsou úseky v oblasti zástavby a nejméně úseky s minimem antropogenních zásahů.

Některé naše závěry se naopak liší od výsledků jiných prací. Šmerousově (2010) vyšla nejlépe oblast inundačního území a nejhůře koryto a trasa toku, tedy přesně naopak oproti naší práci. Zřejmě to je způsobeno tím, že v případě Slubice není inundační území tak markantně ovlivněno jako v našem případě, navíc byla použita starší verze metodiky HEM (Langhammer 2007a). Šmerousově (2010) z terénního průzkumu také vyšel závěr, že nejvíce narušené úseky jsou pod pramenem toku Slubice. Tento rozdíl je velmi pravděpodobně dán tím, že tok Metuje protéká NPR Adršpašsko-Teplickými skalami, tudíž zde není prostor na větší zásahy do toku či jeho okolí. Geomorfologie terénu a krajinný pokryv má také velký vliv na probíhající procesy v toku a fluviální dynamiku. Kyselka (2010) pozoruje mrtvé dřevo pouze u pramenných úseků řeky Bíliny. V této studii zde nenalezneme mrtvé dřevo, což je dáno oblastí, kde Metuje pramení, tedy uprostřed polí, kdežto Bílina v lesích.

Je potřeba brát v úvahu specifika zájmové lokality. Oblast Adršpašsko-Teplického skalního města je v České republice jedinečná a i proto se některé sledované ukazatele zde mohou vymykat od jiných toků, které patří do typologie vrchovinných toků. Například tok zde teče částečně po obnaženém skalním podloží, vytváří vodopády, dnový substrát je tvořen pískem, není vyvinuta niva, absentuje břehový porost atd. Rettichová (2010) a Douděrová (2012) upozorňují na to, že na výsledky má rozhodující vliv délka úseku. U příliš dlouhého úseku dochází ke zkreslení výsledků, kratší úseky jsou náročné na zpracování v terénu i následném vyhodnocování.

Při terénním průzkumu byla výška jezů a stupňů v korytě stanovena odhadem. Proto jejich zařazení do kategorií v parametru *podélná průchodnost koryta* nemusí být přesné a může promlouvat do celkového hodnocení hydromorfologického stavu, protože tento parametr má vyšší váhu než větší parametrů. U hodnocení tohoto parametru také není v metodice uvedeno, zda se hodnotí pouze umělé stupně v korytě toku nebo se berou v potaz i stupně přírodní. V našem případě přírodní stupně (typicky vodopády ve skalním městě) nebyly zahrnuty do hodnocení. V případě zahrnutí by například úsek MET016 nedosahoval stavu *přírodě blízkému*.

U parametru *ovlivnění hydrologického režimu* a hodnocení vypouštění mohlo docházet k chybám, protože mnoho objektů mělo zřetelné vyvedení odpadů do toku, ale nebylo možné zjistit, jestli jsou odpady těmito otvory do toku skutečně vypouštěny, případně o jaké odpadní vody se jedná. Může se jednat o odpady z domácnosti, ale také

o odvod vody ze srážek či odvodnění přilehlé komunikace. U celkového zkrácení trasy toku výsledky ovlivňuje přesnost map II. vojenského mapování, která je odhadována na 20 m (Škarpich et al. 2016). V případě užití již přesnějším map III. vojenského mapování by ovšem tok již mohl být částečně ovlivněn a upraven, proto bylo voleno II. vojenské mapování.

Při hodnocení parametru *variabilita hloubek v příčném profilu a struktur dna* hraje roli průtok v době mapování. Při nižších vodních stavech dochází k odhalení některých lavic a dalších struktur, naopak při vyšších stavech jsou tyto struktury pod hladinou a hodnocení variability hloubek v příčném profilu se stává komplikovanější a hůře měřitelné. V hodnocení parametru *mrtvého dřeva v korytě* v pramenné oblasti toku (úseky MET021 a MET023) bylo dosaženo nejhoršího stupně hodnocení, nelze však očekávat jeho přítomnost vzhledem k rázu okolní krajiny.

U parametru *využití údolní nivy* nastal problém, kdy metodika HEM (Langhammer 2014) neřeší situaci, kdy niva není vyvinuta, kde by možná bylo vhodné o tuto možnost metodiku rozšířit. Parametr byl tedy hodnocen při absenci nivy, nebo pokud zaujímala méně než 30 % celkové délky úseku, stejně jako parametr *využití příbřežní zóny*.

Tato práce může mít své budoucí uplatnění v případě uvažování revitalizace horního toku Metuje. Může sloužit k vytipování úseků, které jsou vhodné k revitalizaci. Nejvhodnějším úsekem k revitalizaci by mohl být úsek MET007, kde tok opouští intravilán Teplic nad Metují, nehrozí tak zaplavení zástavby, ale pouze orné půdy. Tok zde měl meandrový charakter a byla zde tedy výrazně zkrácena jeho délka. Také úsek MET011 byl zkrácen, i když neprochází zástavbou, navíc může sloužit jako rozlivová zóna před intravilánem obce Teplice nad Metují, kde revitalizační úpravy kvůli protipovodňové ochraně nelze provést. V úvahu by také mohlo vejít odstranění propustků na úsecích MET019 a MET020 v jinak nedotčené části Vlčí rokly. Mohou být nahrazeny například jednoduchými dřevěnými prkny, jako u úseku MET018. Protože metodika HEM (Langhammer 2014) hodnotí aktuální stav jednotlivých parametrů, bylo by možno po provedení případných revitalizací vyhodnotit, které parametry byly ovlivněny, jak, případně v jaké míře.

## 8. Závěr

Cílem předkládané bakalářské práce bylo zpracovat rešerši odborné literatury zabývající se tematikou hydromorfologie a úprav vodních toků. V praktické části byl proveden průzkum zájmového území, horní Metuje, metodikou HEM (Langhammer 2014). Z tohoto průzkumu byl následně vyhodnocen hydromorfologický stav vodního útvaru, jednotlivých úseků a zjištěna míra antropogenního ovlivnění toku.

Na základě vyhodnocování bylo zjištěno, že nejpostiženější úseky jsou v oblasti zástavby či její blízkosti, kde tyto zásahy jsou často vynuceny protipovodňovou ochranou. Naopak nejlépe vyšly úseky v oblasti NPR Adršpašsko-Teplických skal, kde úseky hodnotíme jako přírodě blízké či slabě modifikované. Nejčastějšími typy antropogenního ovlivnění je opevnění břehů či snížení podélné průchodnosti koryta pomocí stupňů, případně propustků. Nejpostiženější sledovanou oblastí je inundační území, jehož průchodnost je narušena pozemní komunikací a u úseků, kde je niva vyvinuta, je přítomna většinou i zástavba. Nejlépe hodnocenou oblastí je koryto a trasa toku i přesto, že celkově byl tok zkrácen o 1 569 m oproti polovině 19. století, docházelo především k odstranění meandrů. Výskyt struktur dna velmi dobře koresponduje s charakterem a mírou ovlivnění úseku.

Žádný z 21 hodnocených úseků nedosáhl horšího hodnocení než středně modifikovaný. Celkem 4 úseky jsou hodnoceny jako přírodě blízké, 8 stupněm slabě modifikované a 9 jako středně modifikované, kde převážná většina těchto hůře hodnocených úseků se nachází na dolním toku sledované části toku. Celý téměř 19,5 km dlouhý úsek toku Metuje je pak hodnocen jako slabě modifikovaný.

Zvolená metodika, užitá v této práci, může být i v budoucnu společně s dalšími druhy metodik, využita ke zhodnocení celého povodí Metuje z hlediska hydrologického sucha. Hydromorfologického hodnocení by tak bylo pouze jednou z nezbytných částí výzkumu. Celé povodí a vliv jeho upravenosti na hydrologické sucho se tak může stát záměrem plnění diplomové práce či dalšího výzkumu. Je potřeba ale v dalším výzkumu brát ohled na využití krajiny celého povodí, i protože z hodnocení vyšlo inundační území nejhůře a využití krajiny následně ovlivňuje evapotranspiraci, která má vliv na odtokový režim, s následným dopadem na mnoho hydromorfologických charakteristik.

## 9. Seznam zdrojů a literatury

ADAMOVIČ, J., CÍLEK, V., MIKULÁŠ, R. (2010): Atlas pískovcových skalních měst České a Slovenské republiky. Academia, Praha.

AHILAN, S., O'SULLIVAN, J. J., BRUEN, M., BRAUDERS, N., HEALY, D. (2013): Bankfull discharge and recurrence intervals in Irish rivers. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 7, 166, 381–393.

ALLAN, J. D. (2004): Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2002, 35, 257–284.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha.

BAŽANTOVÁ, T. (2009): Změny srážko-odtokových poměrů a antropogenní úpravy v povodí Lomnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

BELLETTI, B., RINALDI, M., BUIJSE, A. D., GURNELL, A. M., MOSSELMAN, E. (2015): A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, 5, 73, 2079–2100.

BEZDÍČEK, V. (1966): Úprava vodních toků. VÚT, Brno.

BIEDENHARN, D. S., THORNE, C. R., WATSON, C. C. (2000): Recent morphological evolution of the Lower Mississippi River. *Geomorphology*, 3–4, 34, 227–249.

BODOQUE, J. M., LADERA, J., YELA, J. L., ALONSO-AZCÁRATE, J., BRITO, D., ANTIGÜEDAD, I., DURAN, R., ATTARD, E., LAUGA, B., SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M. (2017): Recovering hydromorphological functionality to improve natural purification capacity of a highly human-modified wetland. *Ecological Engineering*, 103, 332–343.

BROWN, A. G., LESPEZ, L., SEAR, D. A., MACAIRE, J. J., HOUBEN, P., KLIMEK, K., BRAZIER, R. E., VAN OOST, K., PEARS, B. (2018): Natural vs anthropogenic streams in Europe: History, ecology and implications for restoration, river-rewilding and riverine ecosystem services. *Earth-Science Reviews*, November 2017, 180, 185–205.

BRŮNA, V., BUCHTA, I., UHLÍŘOVÁ, L. (2002): Identifikace historické sítě prvků ekologické stability krajiny na mapách vojenských mapování. Závěrečná zpráva. UJEP, Ústí nad Labem.

CIGOŠOVÁ, C. (1999): Extrémní odtoky z malých povodí – z hlediska správy drobných toků. In: Kolektiv autorů (ed.): Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí: sborník: mezinárodní vědecká konference 22. 9. 1999 a 23. 9. 1999. Dům techniky ČSVTS, Brno, 53-58.

COHORNA, L. (2014): Ochrana území před povodňovým rizikem na dolním toku Metuje. Bakalářská práce. Katedra geografie, PřF UPOL, Olomouc.

CULEK, M. (1996): Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha.

CULEK, M., GRULICH, V., LAŠTŮVKA, Z., DIVÍŠEK, J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno.

CZERNIAWSKI, R., SŁUGOCKI, Ł., KREPSKI, T., WILCZAK, A. (2020): Spatial Changes in Invertebrate Structures as a Factor of Strong Human Activity in the Bed and Catchment Area of a Small Urban Stream. 5–7.

ČERVENÝ, J., BÖHM, B., BUBENÍČKOVÁ, L., BUCHTELE, J., ČULÍK, J., DAŇKOVÁ, H., FRIGA, J., HLADNÝ, J., KŘÍŽ, V., KURPELOVÁ, M., NEDELKA, M., ŠEBEK, O., ŠKULEC, Š., VANÍČEK, K., VITOSLAVSKÝ, J., ZÁVODSKÝ D. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

ČSN EN 14614 (2004): Jakost vod – Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik řek. Český normalizační institut, Praha.

ČSN EN 15843 (2010): Jakost vod – Návod pro určení stupně modifikace hydromorfologie řek. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.

DE WAAL, L. C., LARGE, A. R. G., WADE, P. M. (1998): Rehabilitation of rivers: principles and implementation. Wiley, Chichester.

DÉCAMPS, H., FORTUNÉ, M., GAZELLE, F., PAUTOU, G. (1988): Historical influence of man on the riparian dynamics of a fluvial landscape. *Landscape Ecology*, 3, 1, 163–173.

DEMEK, J. (1965): Geomorfologie českých zemí. ČSAV, Praha.

DEMEK, J. (1987): Obecná geomorfologie. Academia, Praha.

DEMEK, J., MACKOVČIN, P., BALATKA, B., BUČEK, A., CIBULKOVÁ, P., CULEK, M., ČERMÁK, P., DOBIÁŠ, D., HAVLÍČEK, M., HRÁDEK, M., KIRCHNER, K., LACINA, J., PÁNEK, T., SLAVÍK, P., VAŠÁTKO, J., OCHMAN, J. (2006): Zeměpisný lexikon ČR, Hory a nížiny. AOPK, Brno.

DIMTER, T. (2011): Ochrana přírody. In: Dimter, T., Lisák, P.: Adršpašsko. JUKO, Náchod, 88-89.

DOUDĚROVÁ, Š. (2012): Vliv úprav toků na následky povodní na příkladu povodí Stropnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Kutná Hora.

- DYNESIUS, M., NILSSON, C. (1994): Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science*, 5186, 266, 753–762.
- EDWARDS, B. L., KEIM, R. F., JOHNSON, E. L., HUPP, C. R., MARRE, S., KING, S. L. (2016): Geomorphic adjustment to hydrologic modifications along a meandering river: Implications for surface flooding on a floodplain. *Geomorphology*, 269, 149–159.
- ERLICH, P., HLADNÝ, J., KOPP, J. (2006): Voda v zemědělství. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha, Praha, 62-65.
- FALTYSOVÁ, H., MACKOVČIN, P., SEDLÁČEK, M. (2002): Královéhradecko, Chráněná území ČR V. AOPK, Praha.
- FILIP, J., TOMAN, F. (1999): Meliorace a trvale udržitelná společnost. In: Kolektiv autorů (ed.): Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí: sborník: mezinárodní vědecká konference 22. 9. 1999 a 23. 9. 1999. Dům techniky ČSVTS, Brno, 85-90.
- FINLAY, J. C. (2011): Stream size and human influences on ecosystem production in river networks. *Ecosphere*, 8, 2, art87.
- GARCIA, X. F., SCHNAUDER, I., PUSCH, M. T. (2012): Complex hydromorphology of meanders can support benthic invertebrate diversity in rivers. *Hydrobiologia*, 1, 685, 49–68.
- GOVORUSHKO, S. M. (2007): Effect of human activity on rivers. *Soviet Soil Science*, 2, 21, 40–47.
- HAASE, P., HERING, D., JÄHNIG, S. C., LORENZ, A. W., SUNDERMANN, A. (2013): The impact of hydromorphological restoration on river ecological status: A comparison of fish, benthic invertebrates, and macrophytes. *Hydrobiologia*, 1, 704, 475–488.
- HASSELQUIST, E. M., POLVI, L. E., KAHLERT, M., NILSSON, C., SANDBERG, L., MCKIE, B. G. (2018): Contrasting responses among aquatic organism groups to changes in geomorphic complexity along a gradient of stream habitat restoration: Implications for restoration planning and assessment. *Water (Switzerland)*, 10, 10, 1–32.
- HICKIN, E. J. (1984): Vegetation nad river channel dynamics. *The canadian geographer*, 28, 111-126.
- HONKA, D. (2015): Vybrané tvary reliéfu na středním toku Metuje. Bakalářská práce. Katedra geografie, PřF UPOL, Olomouc.
- HOPKINS, K. G., BAIN, D. J., COPELAND, E. M. (2014): Reconstruction of a century of landscape modification and hydrologic change in a small urban watershed in Pittsburgh, PA. *Landscape Ecology*, 3, 29, 413–424.
- HORNÍK, S., BUZEK, L., MIČIAN, L., PECH, J., TRNKA, P. (1986): Fyzická geografie II. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

HRNČLAROVÁ, T., MACKOVČIN, P., ZVARA, I., et al. (2009): Atlas krajiny České republiky. MŽP ČR, Praha.

HUDSON, P. F., MIDDELKOOP, H., STOUTHAMER, E. (2008): Flood management along the Lower Mississippi and Rhine Rivers (The Netherlands) and the continuum of geomorphic adjustment. *Geomorphology*, 1–2, 101, 209–236.

CHURCH, M. (1992): Channel morphology and typology. In Calow, P., Petts, G. E. (ed): *The river handbook*. vol. 1. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 126-143.

IRIBAR, A., SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M., LYAUTEY, E., GARABÉTIAN, F. (2008): Differentiated free-living and sediment-attached bacterial community structure inside and outside denitrification hotspots in the river-groundwater interface. *Hydrobiologia*, 1, 598, 109–121.

JANEČEK, M. (1999): Vědecko-výzkumné záměry Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy Praha na přelomu tisíciletí. In: Kolektiv autorů (ed.): *Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí: sborník: mezinárodní vědecká konference 22. 9. 1999 a 23. 9. 1999*. Dům techniky ČSVTS, Brno, 39-42.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007): Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In: Langhammer, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. PřF UK a MŽP ČR, Praha, 307-315.

JANSKÝ, B., KOPP, J. (2006): Jezera a mokřady. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): *Voda v České republice*. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 36-39.

JELÉN, J. (2015): Mapování upravenosti říčního koryta řeky Bíliny se zaměřením na riziko povodní. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UJEP, Ústí nad Labem.

JELÉN, J., MATĚJČEK, T. (2016): Anthropogenic river alterations and their effects on the flood situations (bílina river case study). *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 1, 51, 97–111.

JIRÁKOVÁ, D. (1993): Povodí Metuje – odtokové poměry a kvalita povrchových vod. Diplomová práce. PřF UK, Praha.

JUST, T. (2017a): Jak vypadá přírodní vodní tok? In: Cílek, V. et al.: *Voda a krajina*. Dokořán, Praha, 119-142.

JUST, T. (2017b): Úpravy vodních toků. In: Cílek, V. et al.: *Voda a krajina*. Dokořán, Praha, 143-157.

JUST, T., MATOUŠEK, V., DUŠEK, M., FISCHER, D., KARLÍK, P. (2005): Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Český svaz ochránců přírody. Ekologické služby a MŽP ČR, Praha.



KAKOS, V. (1979): Zhodnocení meteorologické situace při červnové povodni. Zpravodaj podniku Povodí Labe, číslo 3, Hradec Králové.

KALUZA, T., SZOSZKIEWICZ, K., SZALKIEWICZ, E. (2016): Hydromorphological effect of introducing small water structures in river restoration - The example of PBHS implementation. *Journal of Ecological Engineering*, 2, 17, 90–96.

KANOTR, P., ŠACH, F. (2003): Úloha horských lesů při tlumení povodní. In: Kolektiv autorů (ed.): Sborník příspěvků z mezinárodní konference: Protipovodňová prevence a krajinné plánování. ČSSI, Pardubice, 193-200.

KAŠPÁREK, L., KNĚŽEK, V., NOWACKI, F., PROCHÁZKOVÁ, J., UHLÍK, J. (2006): Vodní zdroje vnitrosudetské pánve. VÚV TGM, Praha.

KENDER, J., CÍLEK, V., HLADNÝ, J., JONGEPIEROVÁ, I., JUST, T., LOŽEK, V., NĚMEC, J., NOVOTNÁ, D., PLESNÍK, J., SVOBODA, J., TREML, V., VOPÁLKA, J., ZEMAN, J. (2004): Voda v krajině: kniha o krajinnotvorných programech. Consult, Praha.

KERN, K. (1992): Rehabilitation of streamas in south-west Germany. In: Boon, P. J., Calow, P., Petts, G. E. (ed.): River conservation and management. Wiley, Chichester, 321-335.

KESTŘÁNEK, J., VLČEK, V., et al. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR, Vodní toky a nádrže. Academia, Praha.

KILINC, S. F., KAY, P. (2018): Determination of the Most Suitable Assessment Methods of River Hydromorphology for Turkey. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 2, 2, 110–148.

KISS, T., AMISSAH, G. J., FIALA, K. (2019): Bank processes and revetment erosion of a large lowland river: Case study of the lower Tisza River, Hungary. *Water (Switzerland)*, 6, 11.

KISS, T., FIALA, K., SIPOS, G., SZATMÁRI, G. (2019): Long-term hydrological changes after various river regulation measures: Are we responsible for flow extremes? *Hydrology Research*, 2, 50, 417–430.

KLUIBR, J. (2010): Meliorace II. Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, Vodňany.

KNIGHTON, D. (1998): Fluvial forms and processes. Arnold, Londýn.

KONDOLF, G. M., PIÉGAY, H., SEAR, D. (2003): Integrating geomorphological tools in ecological and management studies. In: Kondolf, G. M., Piégay, H. (ed.): Tools in fluvial geomorphology. John Wiley & Sons, Chichester, 633-660.

- KONVIČKOVÁ, M. (1998): Vodní hospodářství a krajina. In: Němec, J. (ed.): Krajina a voda. EnviTypo, Praha.
- KOPECKÝ, J. (2011): Klimatické poměry. In: Dimter, T., Lisák, P.: Adršpašsko. JUKO, Náchod, 44-47.
- KOPP, J. (2006): Vodní eroze. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 93-95.
- KOPP, J., ŘÁDEK, I. (2006): Úpravy vodních toků. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 102-106.
- KRÁLOVÁ, H. (2001): Řeky pro život. Revitalizace řek a péče o nivní biotopy. Veronica, Brno.
- KREJČÍ, L. (2012): Strategie adaptačních opatření pro plán oblasti povodí Moravy, pilotní projekt regionálního rozsahu – A. Říční nivy. Unie pro řeku Moravu, Hlubočky.
- KŘÍŽEK, M., ENGEL, Z. (2007): Geomorfologické projevy povodní příkladová studie povodně 2002 v povodí Otavy. PřF UK, MŽP ČR, Praha.
- KUJANOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M. (2016): Improvement in physical river habitat quality in response to river restoration measures. *Geografie-Sborník CGS*, 1, 121, 54–78.
- KUJANOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M., HOŠEK, Z. (2018): The relationship between river types and land cover in riparian zones. *Limnologica*, November 2017, 71, 29–43.
- KULHAVÝ, F. (2003): Vliv víceúčelového využívání hydromelioračních staveb na vodní hospodářství krajiny. In: Kolektiv autorů (ed.): Sborník příspěvků z mezinárodní konference: Protipovodňová prevence a krajinné plánování. ČSSI, Pardubice, 120-127.
- KULHAVÝ, F., KULHAVÝ, Z. (2008): Navrhování hydromelioračních staveb. ČKAIT, Praha.
- KUNDZEWICZ, Z. W., PIŃSKWAR, I., BRAKENRIDGE, G. R. (2018): Changes in river flood hazard in Europe: A review. *Hydrology Research*, 2, 49, 294–302.
- KVÍTEK, T. (2006): Zemědělské meliorace. Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice.
- KYSELKA, J. (2010): Hydromorfologický průzkum řeky Bíliny. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- LANE, E. W. (1955): The importance of fluvial geomorphology in hydraulic engineering. Laboratorní zpráva. Commissioner's office, Denver.

- LANGHAMMER, J. (2007a): HEM, Metodika pro monitoring hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. PřF UK, Praha.
- LANGHAMMER, J. (2007b): Úpravy toků a údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh povodní. Povodně a změny v krajině, 271–294.
- LANGHAMMER, J. (2014): HEM 2014, Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. MŽP ČR, Praha.
- LANGHAMMER, J., HARTVICH, F., MATTAS, D., ZBOŘIL, A. (2009): Vymezení typů vodních toků. PřF UK, Praha.
- LANGHAMMER, J., HARTVICH, F. (2014): HEM 2014, Metodika typově specifického hodnocení hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. PřF UK, Praha.
- LANGHAMMER, J., VAJSKEBR, V. (2007): Využití GIS pro analýzu zkrácení říční sítě na základě historických mapových podkladů. In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině. PřF UK a MŽP ČR, Praha, 153-168.
- LANGHANS, S. D., LIENERT, J., SCHUWIRTH, N., REICHERT, P. (2013): How to make river assessments comparable: A demonstration for hydromorphology. *Ecological Indicators*, 32, 264–275.
- LARSEN, L. G., HARVEY, J. W., CRIMALDI, J. P. (2009): Predicting bed shear stress and its role in sediment dynamics and restoration potential of the Everglades and other vegetated flow systems. *Ecological Engineering*, 12, 35, 1773–1785.
- LATAPIE, A., CAMENEN, B., RODRIGUES, S., PAQUIER, A., BOUCHARD, J. P., MOATAR, F. (2014): Assessing channel response of a long river influenced by human disturbance. *Catena*, 121, 1–12.
- LEOPOLD, L. B. (1997): *Water, rivers and creeks*. University science books, Sausalito.
- LEOPOLD, L. B. (2000): *A view of the river*. Harvard university press, Cambridge.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. (1957): *River channel patterns: Braided, meandering and straight*. United states government printing office, Washington.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G., MILLER, J. P. (1995): *Fluvial processes in geomorphology*. Dover publications, New York.
- MACURA, L. (1966): *Úpravy tokov*. Státní nakladatelství technické literatury, Bratislava.
- MAREŠ, K. (1997): *Úpravy toků – navrhování koryt*. ČVUT, Praha.

- MATOUŠEK, V. (2006): Teplotní režim povrchových vod. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 100-101.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2003): Ekohydrologický monitoring jako podklad pro revitalizaci vodních toků: Modelová studie povodí Rakovnického potoka. Disertační práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2007a): Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu Rámcové směrnice ochrany vod EU. Závěrečná výzkumná zpráva projektu GAČR č. 205/02/P102. PřF UK a GAČR, Praha.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2007b): Revitalizace ekosystémů a jejich význam v protipovodňové ochraně. In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině. PřF UK a MŽP ČR, Praha.
- MATOUŠKOVÁ, M. (2008): Ekohydrologický monitoring vodních toků: v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/ES. PřF UK, Praha.
- MERMILLOD-BLONDIN, F., GAUDET, J. P., GÉRINO, M., DESROSIERS, G., CREUZÉ DES CHÂTELLIERS, M. (2003): Influence of macroinvertebrates on physico-chemical and microbial processes in hyporheic sediments. *Hydrological Processes*, 4, 17, 779–794.
- MÍCHAL, I. (1994): Ekologická stabilita. MŽP ČR, Praha.
- MIKULÁŠ, R. (1998): Pískovcový fenomén Skalské tabule. *Ochrana přírody*, 53, 4, 107–111.
- MILLAR, R. G. (2000): Influence of bank vegetation on alluvial channel patterns. *Water Resources Research*, 4, 36, 1109–1118.
- MONTGOMERY, D. R. (1999): Munity Structure Tends Toward an Equilibrium. *Journal Of The American Water Resources Association*, 2, 35, 397–410.
- NANSON, G. C., KNIGHTON, D. A. (1996): Anabranching rivers: Their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 3, 21, 217–239.
- NAVRÁTILOVÁ, Š. (2009): Tvary zvětrávání a odnosu pískovců v západní části CHKO Český ráj. Bakalářská práce. Geografický ústav PřF, Masarykova univerzita, Brno.
- NĚMEC, J., KENDER, J. (2006): Revitalizace říčních systémů. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 107-109.
- NĚMEC, J., KOPP, J. (2006): Voda v průmyslu. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 59-61.
- NEPF, H. M. (2012): Hydrodynamics of vegetated channels. *Journal of Hydraulic Research*, 3, 50, 262–279.

- NESMĚŘÁK, I. (2006): Vodovody a kanalizace. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 51-58.
- NETOPIĽ, R., BRÁZDIL, R., DEMEK, J., PROŠEK, P. (1984): Fyzická geografie I. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- NIENHUIS, R. H., LEUVEN, R. S. E. W. (2001): River restoration and flood protection: Controversy or synergism? *Hydrobiologia*, 1998, 444, 85–99.
- O'CONNELL, E., EWEN, J., O'DONNELL, G., QUINN, P. (2007): Is there a link between agricultural land-use management and flooding? *Hydrology and Earth System Sciences*, 1, 11, 96–107.
- OKRESNÍ SPRÁVA POLITICKÁ BROUMOV (1926): Vodní kniha Broumovsko I. Broumov.
- OKRESNÍ ÚŘAD BROUMOV (1951): Vodní kniha Broumovsko II. Broumov.
- PAVANELLI, D., CAVAZZA, C., LAVRNIĆ, S., TOSCANO, A. (2019): The long-term effects of land use and climate changes on the hydro-morphology of the Reno river catchment (Northern Italy). *Water (Switzerland)*, 9, 11.
- PEDROLI, B., DE BLUST, G., VAN LOOY, K., VAN ROOIJ, S. (2002): Setting targets in strategies for river restoration. *Landscape Ecology*, 1, 17, 5–18.
- PETKOVSKA, V., URBANIĆ, G. (2015): The links between morphological parameters and benthic invertebrate assemblages, and general implications for hydromorphological river management. *Ecohydrology*, 1, 8, 67–82.
- PETŘÍČEK, V. (1998): Údolní nivy a jejich územní ochrana. In: Němec, J. (ed.): Krajina a voda. EnviTypo, Praha.
- PETTS, G., YENORY, M., SADLER, J. (2006): Linking hydrology and biology to assess the water needs of river ecosystems. *Hydrological Processes*, 20, 2247–2251.
- PICCO, L., SITZIA, T., MAO, L., COMITI, F., LENZI, M. A. (2016): Linking riparian woody communities and fluviomorphological characteristics in a regulated gravel-bed river (Piave River, Northern Italy). *Ecohydrology*, 1, 9, 101–112.
- PINAY, G., CLÉMENT, J. C., NAIMAN, R. J. (2002): Basic principles and ecological consequences of changing water regimes on nitrogen cycling in fluvial systems. *Environmental Management*, 4, 30, 481–491.
- PINTER, N., VAN DER PLOEG, R. R., SCHWEIGERT, P., HOEFER, G. (2006): Flood magnification on the River Rhine. *Hydrological Processes*, 1, 20, 147–164.
- PLACHÝ, V. (2005): Koncepce územního plánu VÚC Adršpašsko-Broumovsko. Výzkumná zpráva, č. 356/05. Empla AG spol. s r. o., Hradec Králové.

- PODHRÁZSKÁ, J. (2003): Vliv hospodaření v povodí na změny odtokových poměrů. In: Kolektiv autorů (ed.): Sborník příspěvků z mezinárodní konference: Protipovodňová prevence a krajinné plánování. ČSSI, Pardubice, 107-113.
- POPPE, M., KAIL, J., AROVIITA, J., STELMASZCZYK, M., GIEŁCZEWSKI, M., MUHAR, S. (2016): Assessing restoration effects on hydromorphology in European mid-sized rivers by key hydromorphological parameters. *Hydrobiologia*, 1, 769, 21–40.
- POVODÍ LABE, STÁTNÍ PODNIK (1931): Úpravy Metuje v Teplicích nad Metují, spis IHA1NA/44. Z1–Technická skupina Hradec Králové, Hradec Králové.
- PREGUN, C. Z. (2016): Ecohydrological and morphological relationships of a regulated lowland river; based on field studies and hydrological modeling. *Ecological Engineering*, 94, 608–616.
- PRICE, S. J., FORD, J. R., COOPER, A. H., NEAL, C. (2011): Humans as major geological and geomorphological agents in the anthropocene: The significance of artificial ground in great Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1938, 369, 1056–1084.
- RANZI, R., BOCHICCHIO, M., BACCHI, B. (2002): Effects on floods of recent afforestation and urbanisation in the Mella River (Italian Alps). *Hydrology and Earth System Sciences*, 2, 6, 239–254.
- RAVEN, P. J., FOX, P., EVERARD, M., HOLMES, H. T. H., DAWSON, F. H. (1997): River Habitat Survey: a new system to classify rivers according to their habitat quality. *Freshwater Quality: Defining the indefinable. Freshwater Quality: Defining the Indefinable?*, January 2015, 215–234.
- REMO, J. W. F., CARLSON, M., PINTER, N. (2012): Hydraulic and flood-loss modeling of levee, floodplain, and river management strategies, Middle Mississippi River, USA. *Natural Hazards*, 2, 61, 551–575.
- RETTICHOVÁ, Z. (2010): Vliv úpravy toků a nivy na následky povodní na příkladu povodí Volyňky. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- RINALDI, M., BELLETTI, B., BUSSETTINI, M., COMITI, F., GOLFIERI, B., LASTORIA, B., MARCHESE, E., NARDI, L., SURIAN, N. (2017): New tools for the hydromorphological assessment and monitoring of European streams. *Journal of Environmental Management*, 202, 363–378.
- RITTER, D. F., KOCHER, R. C., MILLER, J. R. (2011): *Process geomorphology – Fifth Edition*. Waveland Press, Long Grove.
- ROBERT, A. (2003): *River processes: An introduction to fluvial dynamics*. Arnold, London.
- ROCCATI, A., FACCINI, F., LUINO, F., DE GRAFF, J. V., TURCONI, L. (2019): Morphological changes and human impact in the Entella River floodplain (Northern Italy) from the 17th century. *Catena*, June 2018, 182.

- ROSGEN, D. L. (1994): C A T E N A A classification of natural rivers. *Catena*, 22, 169–199.
- RS 2000/60/ES (2000): Rámcová směrnice o vodní politice. Evropská unie.
- RUDA, A. (2014): *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*. MUNI, Brno.
- ŘEZÁČ, B. (1955): *Terasy řeky Metuje a tabulová plošina Adršpašsko-teplická*. ČSAV, Praha.
- SCHABUSS, M., SCHIEMER, F., HABERSACK, H., LIEDERMANN, M., CORRIDOR, E. T. (2005): A comprehensive concept for an eco-hydrological assessment of large scale restoration programmes of floodplain rivers. January 2015, 41–46.
- SCHINEGGER, R., TRAUTWEIN, C., MELCHER, A., SCHMUTZ, S. (2012): Multiple human pressures and their spatial patterns in European running waters. *Water and Environment Journal*, 2, 26, 261–273.
- SIMON, A., COLLISON, A. J. C. (2002): Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms*, 5, 27, 527–546.
- SMITH, D. G. (1983): Anastomosed fluvial deposits: modern examples from Western Canada. In: Collinson, J., Lewin, J. (ed.): *Modern and ancient fluvial systems*. Special Publication of the International Association of Sedimentologists 6, 155–168.
- STRAHLER, A. (1999): *Introducing Physical Geography*. Wiley, New York.
- SUPUKA, J. (2003): Rozptýlená zeleň v krajine a jej hodnotenie v metodike krajinného plánu (LANDEP). In: Kolektiv autorů (ed.): *Sborník příspěvků z mezinárodní konference: Protipovodňová prevence a krajinné plánování*. ČSSI, Pardubice, 79-86.
- SVOBODA, P., ŠOBR, M., JANSKÝ, B., VLASÁK, T. (2015): Vliv říční nivy na hydrologický režim. *Geografie*, 3, 120, 354–371.
- ŠINDLAR, M., ZAPLETAL, J., PELÍŠEK, I. (2012): Geomorfologické procesy vývoje vodních toků. Část I. Typologie korytotvorných procesů. Sindlar Group, Hradec Králové.
- ŠÍPEK, V., MATOUŠKOVÁ, M., DVOŘÁK, M. (2010): Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods. 169, 309–319.
- ŠKARPICH, V., KAŠPÁREK, Z., GALIA, T., HRADECKÝ, J. (2016): Antropogenní impakt a jeho odezva v morfologii koryt beskydských štěrkonosných toků: Příkladová studie řeky Ostravice, Česko. *Geografie-Sbornik CGS*, 1, 121, 99–120.
- ŠLEZINGR, M. (2010): *Revitalizace toků: příspěvek k problematice úprav vodních toků*. Vutium, Brno.

- ŠMEROUSOVÁ, K. (2010): Návrh revitalizačních opatření v povodí Slubice na podkladě ekohydromorfologického průzkumu. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- ŠOLC, J. (2018): Hodnocení revitalizačních efektů na vodních tocích se zaměřením na hydromorfologii. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- ŠŤASTNÝ, B. (2006): Zdravotní rizika a havarijní znečištění vod. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 96-99.
- ŠVORCOVÁ, S. (1998): Péče o vodní toky a její vliv na krajinu. In: Němec, J. (ed.): Krajina a voda. EnviTypo, Praha.
- TESAŘOVÁ, B. (2009): Hodnocení geodiverzity na území CHKO Broumovsko. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- THORNE, C. R. (1982): Processes and mechanisms of river bank erosion. In: Hey, R. D., Bathurst, J. C., Thorne, C. R. (ed.): Gravel-bed rivers. Wiley, Chichester, 227-271.
- THORNE, C. R. (1997): Channel types and morphological classification. In: Thorne, C. R., Hey, R. D., Newson, M. D. (ed.): Applied fluvial geomorphology for river engineering and management. John Wiley & Sons, Chichester, 175-222.
- TICHÝ, V. (2017): Hodnocení a návrh revitalizačních opatření vodních toků v urbanizované a rurální krajině. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- TOLASZ, R., MÍKOVÁ, T., VALERIÁNOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. (2007): Atlas podnebí Česka 1961 – 2000. ČHMÚ, Praha.
- TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha.
- TREML, P. (2016): Teplota vzduchu a srážky na meteorologické stanici Bučnice v povodí horní Metuje. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 58, 5, 6-19.
- VAJSAROVÁ, I. (2014): Geomorfologické poměry lokality Lada v CHKO Broumovsko. Diplomová práce. Katedra geografie PřF UPOL, Olomouc.
- VÁLEK, B. (1964): Půdy východních Čech. Východočeské nakladatelství, Havlíčkův Brod.
- VERDONSCHOT, P. F. M. (2000): Integrated ecological assessment methods as a basis for sustainable catchment management. Hydrobiologia, 422–423, 389–412.



- VERDONSCHOT, P. F. M. (2009): The significance of climate change in streams utilised by humans. *Fundamental and Applied Limnology*, 1, 174, 101–116.
- VIZINA, A., KAŠPÁREK, L., KNĚŽEK, M., KAŠPÁREK, J., UHLÍK, J., FRIDRICHOVÁ, R., RAKOVEC, O., HORÁČEK, S. (2009): Vodní bilance v podmínkách klimatické změny v povodí horní Metuje. VÚV TGM, Praha.
- VOGEL, R. M. (2011): Hydromorphology. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2, 137, 147–149.
- VONDRÁKOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V., VÁVRA, A. (2013): Climatic regions of the Czech Republic. *Journal of Maps*, 9, 3, 425–430.
- VRÁNA, K., DOSTÁL, T., GERGEL, J., KENDER, J., ZUNA, J. (2004): Revitalizace malých vodních toků. Consult Praha, Praha.
- VYHLÁŠKA Č.98/2011 SB. (2011): O způsobu hodnocení stavu povrchových vod, způsobu hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých útvarů povrchových vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu povrchových vod. MŽP ČR a MZ ČR, Praha.
- ZÁKON Č. 254/2001 SB. (2001): Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
- ZHANG, Z., TAO, F., DU, J., SHI, P., YU, D., MENG, Y., SUN, Y. (2010): Surface water quality and its control in a river with intensive human impacts—a case study of the Xiangjiang River, China. *Journal of Environmental Management*, 12, 91, 2483–2490.
- ZHAO, Y., ZENG, L., WEI, Y., LIU, J., DENG, J., DENG, Q., TONG, K., LI, J. (2020): An indicator system for assessing the impact of human activities on river structure. *Journal of Hydrology*, January, 582, 124547.
- ZÍTEK, J., et al. (1967): Hydrologické poměry ČSSR, díl II. Hydrometeorologický ústav, Praha.
- ZÍTEK, J., et al. (1970): Hydrologické poměry ČSSR, díl III. Hydrometeorologický ústav, Praha.
- ZONG, L., NEPF, H. (2011): Spatial distribution of deposition within a patch of vegetation. *Water Resources Research*, 3, 47, 1–12.
- ZUNA, J. (1979): Úpravy malých vodních toků s ohledem na požadavky životního prostředí. Výzkumný ústav meliorací, Praha.

## 9.1. Internetové zdroje

ADRŠPAŠSKÉ SKÁLY (2020): Adršpašské skály, oficiální webové stránky, <https://www.skalyadrspach.cz/> (cit. 13. 6. 2020).

AOPK (2020): Správa CHKO Broumovsko, <http://broumovsko.ochranaprirody.cz/> (cit. 6. 3. 2020).

COPERNICUS (2020): CORINE Land Cover, CLC 2018, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (cit. 5. 7. 2020).

ČERNÝ, V. (2019): Řeka Metuje – fotografie, <https://reka-metuje.sije.cz/> (cit. 13. 6. 2020).

ČGS (2020): Geologie České republiky, <http://www.geology.cz/svet-geologie/poznej-geologii/geologie-cr>, (cit. 6. 3. 2020).

ČHMÚ (2020): Hlásná a předpovědní povodňová služba, evidenční list hlásného profilu č. 12, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307158](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307158), (cit. 6. 3. 2020).

ČÚZK (2018): Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), <https://www.cuzk.cz/>, (cit. 5. 7. 2020).

DVORSKÝ, T. (2018): Úpravy toků, <http://hgf10.vsb.cz/546/UT/index.html> (cit. 1. 6. 2020).

JIDHASH (2014): Adršpašské skály, Metuje, <https://www.flickr.com/photos/96127997@N07/albums/72157634198923514> (cit. 2. 7. 2020).

JUST, T. (2020): AOPK – Voda v krajině: Péče o vodní režim krajiny, <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/> (cit. 27. 5. 2020).

POVODÍ LABE (2020): Stavy a průtoky na vodních tocích, <http://www.pla.cz/portal/sap/cz/PC/Prehled.aspx>, (cit. 6. 3. 2020).

UNITED STATES FOREST SERVICE (2019): Locating your trail bridge for longevity, <https://www.fs.fed.us/eng/index.shtml> (cit. 13. 6. 2020).

VÚV TGM (2020): Oddělení geografických informačních systémů a kartografie DIBAVOD, <http://www.dibavod.cz/17/geodatabaze-dibavod.html> (cit. 5. 7. 2020).

## 10. Seznam grafických prvků a tabulek

### 10.1. Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Vzájemné vztahy ve fluviálním systému .....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2: Rosgenova klasifikace vodních toků .....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3: Schéma vzájemných vztahů mezi geomorfologickými procesy, habitatem a říčními a břehovými ekosystémy .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4: Silně opevněné a degradované koryto vodního toku ve tvaru typického melioračního lichoběžníku .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 5: Model vývoje destrukce opevnění břehu společně se zahlubováním toku .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 6: Hypotetický roční hydrogram technicky upravené řeky s omezenou spojitostí s nivou a toku s přirozeným rozlivem v nivě .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 7: Vliv napřímení na fluviální procesy .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 8: Nedotčení přírodní koryto a srovnatelné technicky upravené koryto .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 9: Hlavní revitalizační efekty .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 10: Umístění jednotlivých druhů stromů, jako vegetačního doprovodu při revitalizacích .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 11: Prostorový kontext a překrytí mezi jednotlivými typy metodik .....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 12: Vymezení zájmového území v rámci královehradeckého kraje .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 13: Kvádrové pískovce v Adršpašském skalním městě .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 14: Geomorfologické členění zájmového území .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 15: Malý Adršpašský vodopád .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 16: Velký Adršpašský vodopád .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 17: Kuesta poblíž Hodkovic, nedaleko pramene Metuje .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 18: Mihule potoční .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 19: Ostřice Davallová .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 20: Klikva bahenní .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 21: Sokol stěhovavý .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 22: Vážka čárkovaná .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 23: Roční úhrny srážek na stanici Bučnice .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 24: Prameniště Metuje .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 25: Metuje ve Vlčí rokli .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 26: Upravené koryto řeky v centru Teplíc nad Metují .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 27: PP Pískovcové sloupky .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 28: Přírodě blízké koryto Metuje po opuštění skalního města, úsek MET014 .....</i>	<i>73</i>

<i>Obr. 29: Uměle zvýšené zahloubení koryta na levém břehu, úsek MET004 .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 30: První jez na Metuji před osadou Bučnice, vytváří trvalé vzdutí, úsek MET013 .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 31: Lesní cesta vedoucí přes propustek ve Vlčí rokli, část úseku MET019.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 32: Dnový substrát toku Metuje ve skalním městě je výhradně z písku, úsek MET016.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 33: Skluz v obci Česká Metuje, úsek MET001.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 34: Zpevněný břeh kulatinou v Adršpašském skalním městě, úsek MET016 .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 35: Zpevněný břeh ve stejném úseku, tentokrát ale kamennou dlažbou, úsek MET016.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 36: Přirozený a nenarušený les v centru Vlčí rokli, úsek MET018.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 37: Letecký snímek úseku MET004.....</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 38: Paralelně vedená komunikace s tokem, nutné opevnění břehu a znemožnění boční migrace koryta, úsek MET005 .....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 39: Zúžení toku na konci obce Česká Metuje po jeho zkapacitnění v jejím centru, úsek MET001 .....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 40: Rozsáhlá břehová nátrž, přirozený vývoj koryta, úsek MET006 .....</i>	<i>92</i>

## **10.2. Seznam grafů**

<i>Graf 1: Klimagram ze stanice Bučnice vytvořený z dat 1999–2015 .....</i>	<i>60</i>
<i>Graf 2: Rozvinutý podélný profil toku Metuje .....</i>	<i>62</i>
<i>Graf 3: Rozložení odtoku v ročních obdobích mezi lety 1921–1960.....</i>	<i>64</i>
<i>Graf 4: Průměrné měsíční průtoky v hlásném profilu Maršov nad Metují v období 1921–1960 ....</i>	<i>65</i>
<i>Graf 5: Sezónní rozložení odtoku v období 1921–1960.....</i>	<i>65</i>
<i>Graf 6: Průměrné roční průtoky mezi lety 1921–1960.....</i>	<i>66</i>
<i>Graf 7: Křivka pravděpodobnosti překročení <math>Q_r</math> pro období 1921–1960.....</i>	<i>66</i>
<i>Graf 8: Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro kategorii koryto a trasa toku .....</i>	<i>73</i>
<i>Graf 9: Přehled zkrácení vybraných úseků oproti II. vojenskému mapování.....</i>	<i>75</i>
<i>Graf 10: Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro zónu dna a podélného profilu .....</i>	<i>78</i>
<i>Graf 11: Počet struktur mezohabitatu (struktur dna a břehové nátrže) na kilometr za jednotlivé úseky .....</i>	<i>81</i>
<i>Graf 12: Procentuální zastoupení jednotlivých druhů překážek v podélném profilu toku .....</i>	<i>82</i>
<i>Graf 13: Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro zónu břeh a příbřežní zóna.....</i>	<i>83</i>
<i>Graf 14: Využití příbřežní zóny na jednotlivých březích podél toku Metuje .....</i>	<i>86</i>
<i>Graf 15: Zastoupení stupňů hydromorfologického stavu toku Metuje pro zónu inundační území ...</i>	<i>87</i>
<i>Graf 16: Využití údolní nivy na jednotlivých březích podél toku Metuje .....</i>	<i>89</i>

<i>Graf 17: Využití příbřežní zóny a údolní nivy podél toku Metuje .....</i>	90
<i>Graf 18: Srovnání celkového hodnocení hydromorfologického stavu s jednotlivými zónami hodnocení na toku Metuje .....</i>	92

### **10.3. Seznam map**

<i>Mapa 1: Vymezení jednotlivých úseků na toku horní Metuje.....</i>	72
<i>Mapa 2: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii koryto a trasa toku.....</i>	74
<i>Mapa 3: Přehled nejunravenějších úseků z hlediska jejich trasy na horní Metuji.....</i>	76
<i>Mapa 4: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii dno a podélný profil .....</i>	79
<i>Mapa 5: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii břeh a příbřežní zóna.....</i>	84
<i>Mapa 6: Hydromorfologický stav toku Metuje pro kategorii inundační území.....</i>	88
<i>Mapa 7: Celkový hydromorfologický stav jednotlivých úseků na toku Metuje .....</i>	94

### **10.4. Seznam tabulek**

<i>Tabulka 1: Etapy vývoje odborných představ o korytotvorných procesech .....</i>	15
<i>Tabulka 2: Hodnoty navrhovaných průtoků pro kapacitu koryta dle již zaniklé normy ČSN 73 6823 – z dnešního a revitalizačního pohledu naddimenzované průtoky polí, lesů a luk.....</i>	37
<i>Tabulka 3: Parametry v jednotlivých zónách metodiky HEM.....</i>	44
<i>Tabulka 4: Klasifikace hydromorfologického stavu dle vypočteného skóre .....</i>	46
<i>Tabulka 5: Land cover zájmového území .....</i>	55
<i>Tabulka 6: Charakteristika klimatických oblastí podle Quitta (1971).....</i>	59
<i>Tabulka 7: Charakteristiky povodí.....</i>	62
<i>Tabulka 8: Uživatelé vody v povodí pro rok 2008.....</i>	67
<i>Tabulka 9: Stupně povodňové aktivity a N-leté průtoky na hlásném profilu Maršov nad Metují.....</i>	68
<i>Tabulka 10: Základní charakteristiky jednotlivých úseků .....</i>	71

## 11. Seznam příloh

- Příloha 1: HEM 2014 - Hydroekologický monitoring, mapovací formulář*
- Příloha 2: Mapa geologických poměrů v povodí horní Metuje*
- Příloha 3: Mapa geomorfologických jednotek a výškových poměrů v povodí horní Metuje*
- Příloha 4: Mapa sklonitosti v povodí horní Metuje*
- Příloha 5: Mapa relativní výškové členitosti v povodí horní Metuje*
- Příloha 6: Mapa půdních poměrů v povodí horní Metuje*
- Příloha 7: Mapa land coveru v povodí horní Metuje*
- Příloha 8: Mapa fytogeografických jednotek a krajinných typů v povodí horní Metuje*
- Příloha 9: Mapa potenciální přirozené vegetace v povodí horní Metuje*
- Příloha 10: Mapa klimatu v povodí horní Metuje*
- Příloha 11: Mapa srážek v povodí horní Metuje v letech 1996–2000*
- Příloha 12: Mapa hustoty říční sítě v povodí horní Metuje*
- Příloha 13: Mapa absolutní řádovosti vodních toků v povodí horní Metuje*
- Příloha 14: Mapa Strahlerovy řádovosti vodních toků v povodí horní Metuje*
- Příloha 15: Mapa ochrany krajiny v povodí horní Metuje*
- Příloha 16: Tabulková databáze vyhodnocení jednotlivých úseků a jejich dílčích parametrů*