

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta
Ústav Hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky
Studijní obor: Hydrologie a Hydrogeologie



Bc. Miroslav Jonáš

Návrh revitalizace vodního toku v urbanizovaném území

Concept of stream restoration in urban area

Diplomová práce

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

Praha, 2022

Zadání diplomové práce

Název práce:

Návrh revitalizace vodního toku v urbanizovaném území.

Cíle práce:

Hlavním cílem práce je vypracování návrhu revitalizace vodního toku na podkladě a hodnocení již provedených revitalizačních opatření. Hodnocení a návrh budou realizovány na základě analýzy dostupných datových zdrojů a terénního průzkumu.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje:

- rešerše zahraniční a domácí odborné literatury na danou problematiku
- stručná geografická charakteristika zájmového území – povodí Bouřlivce
- vyhodnocení odtokových poměrů a protipovodňové ochrany ve zvoleném úseku
- výpočet stávající a navrhované kapacity koryta
- vyhodnocení jakosti povrchových vod
- vypracování návrhu revitalizace zvoleného úseku vodního toku (návrh trasy koryta, návrh podélného profilu, návrh příčných profilů, návrh doprovodné vegetace)
- zhodnocení realizovaných a navrhovaných revitalizačních opatření v urbanizované krajině

Datové zdroje: odborná literatura, mapové a distanční datové podklady, informace a data od správců vodních toků, ČHMÚ, VÚV T.G.M. Praha, terénní průzkum.

Datum zadání: 28.11. 2020

Jméno studenta: Bc. Miroslav Jonáš

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

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 Praze, dne 29.08. 2022

Podpis

Poděkování:

Autor tímto srdečně děkuje vedoucí této práce – RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za cenné rady a trpělivost při nesčetných konzultacích. Za praktické tipy, ohledně odebírání terénních dat a jejich následného vyhodnocení, patří velký dík RNDr. Kateřině Kujanové, Ph.D., doc. RNDr. Zdeňku Klimentovi, CSc., RNDr. Janu Najserovi, Ph.D. a Mgr. Jakubu Roháčovi, Ph.D. Za zapůjčení potřebné literatury autor děkuje VÚV TGM v Brně. Ke zlepšení celkové kvality práce nadále přispěla Bc. Dominika Weyrová. Závěrem by rád autor poděkoval své rodině, a to za jejich neutuchající podporu po celou dobu studia.

OBSAH

1. Úvod a cíle práce	21
2. Vodní toky v urbanizované krajině	22
2.1 Zrychlený povrchový odtok	22
2.2 Snížená jakost vody	23
2.3 Homogenizace a incize koryta	26
3. Termín revitalizace	27
3.1 Zásady revitalizace v intravilánu	27
3.2 Zásady revitalizace v extravilánu	33
3.3 Revitalizace vodních ekosystémů v kontextu hydroekologie a hydromorfologie	37
3.4 Zhodnocení revitalizačního efektu z pohledu hydromorfologie	42
3.5 Případová studie vybraného intravilánového revitalizačního projektu	43
3.5.1 Řeka Somer, Velká Británie	44
4. Hydrotechnické výpočty v rámci říčních revitalizací	47
4.1 Drsnost koryta	47
4.1.1 Historický přehled	47
4.1.2 Mikrodrsnost a makrodrsnost	49
4.1.3 Praktické stanovení drsnosti	50
4.1.4 Speciální případy, shrnutí obecných poznatků	51
4.2 Posouzení stability koryta	52
4.2.1 Metoda tangenciálních napětí	52
4.2.2 Stabilita na nakloněném svahu	54
4.2.3 Metoda tečných napětí dle Zuny	54
4.2.4 Metoda nezanášecích a nevymílacích rychlostí	55
5. Aplikované metody a zdroje dat	57
5.1 Analýza odtokových poměrů	57

5.2	Analýza jakosti vody	60
5.3	Analýza historického průběhu trasy koryta	62
5.4	Posouzení hydromorfologického stavu toku	62
5.5	Geodetické zaměření koryta	63
5.6	Analýza majetko-právních poměrů	66
5.7	Zrnitostní analýza říčního substrátu	66
5.7.1	Granulometrie podkladové vrstvy	66
5.7.2	Granulometrie krycí vrstvy	70
5.8	Výpočty aktuální kapacity koryta	71
5.8.1	Postup určení drsnosti	72
5.8.2	Postup určení sklonu	73
5.9	Výpočty stability koryta	73
5.10	Metodika návrhu podélného profilu	74
5.11	Metodika návrhu příčných profilů	75
6.	Vymezení zájmového území	77
7.	Fyzicko-geografické poměry zájmového území	78
8.	Výsledky	86
8.1	Analýza odtokových poměrů	86
8.2	Kvalita povrchových vod	94
8.2.1	Analýza dat Povodí Ohře, s.p. – soutok Bouřlivce a Loučenského p.	94
8.2.2	Analýza vlastních odběrů	100
8.3	Historický průběh trasy koryta Bouřlivce v intravilánu obce Lahošť	108
8.4	Hydromorfologický průzkum, typy opevnění koryta toku v k.ú. obce Lahošť	111
8.5	Geodetické zaměření trasy koryta, podélného profilu a příčných profilů	114
8.6	Analýza majetko-právních poměrů	115
8.6.1	Majetko-právní poměry při Q ₂₀	115

8.6.2 Majetko-právní poměry při Q_{100}	116
8.7 Zrnitostní analýza říčního substrátu – granulometrie	119
8.7.1 Analýza podkladové vrstvy	119
8.7.2 Analýza krycí vrstvy a finální vyhodnocení zrnitosti říčního substrátu	120
8.8 Výpočty aktuální kapacity koryta	123
8.8.1 Porovnání aktuálních a návrhových kapacit	124
8.9 Stabilita koryta	125
8.10 Návrh podélného profilu	127
8.10.1 Variantní řešení „A“	127
8.10.2 Variantní řešení „B“	128
8.10.3 Variantní řešení „C“	128
8.10.4 Variantní řešení „D“	128
8.11 Návrh příčných profilů	130
8.11.1 Vzorový příčný profil „P2“	130
8.11.2 Vzorový příčný profil „P4“	131
8.11.3 Vzorový příčný profil „P6 – VAR 1“	133
8.11.4 Vzorový příčný profil „P6“	137
8.11.5 Vzorový příčný profil „P9“	137
8.11.6 Vzorový příčný profil „P11“	139
8.12 Evaluace revitalizačního efektu	142
9. Diskuze výsledků	144
10. Závěr	147
11. Literatura	149
11.1 Internetové zdroje	158
12. Přílohy	160

SEZNAM GRAFICKÝCH PŘÍLOH

Obrázky

- Obr. 1 – Přirozená boční migrace koryta podporující tvorbu břehových nátrží
- Obr. 2 – Znemožnění boční migrace koryta v sevřeném obdélníkovém profilu
- Obr. 3 – Schéma bypassového koryta (perspektivní pohled)
- Obr. 4 – Detailní záběr možných řešení klidové zóny v okolí bypassového koryta, které citlivě přibližuje okolí vodního toku obyvatelům z přilehlého intravilánu (ortografický pohled)
- Obr. 5 – Ukázka relativně zdařilé intravilánové revitalizace Litovicko-Šáreckého potoka
- Obr. 6 – Porovnání historických mapových podkladů II. vojenského mapování a císařských otisků stabilního katastru z hlediska vykreslení průběhu vodních toků
- Obr. 7 – Možné nákresy ideálního meandru variující dle počtu oblouků
- Obr. 8 – Rozmístění stanovišť vhodných druhů dřevin v závislosti na vzdálenosti od koryta a přísunu slunečních paprsků
- Obr. 9 – Ukázky přirozené a umělé diverzifikace proudění
- Obr. 10 – Negativní odezva bentosu na provedené revitalizace ve finských tocích
- Obr. 11 – Ukázky stavu koryta řeky Somer před revitalizací
- Obr. 12 – Návrh designového řešení revitalizace řeky Somer a vybraných příčných profilů
- Obr. 13 – Porovnání referenčního a výsledného stavu revitalizačního projektu v intravilánu města Midsomer Norton
- Obr. 14 – Lokalizace odběrného místa Povodí Ohře, s.p.
- Obr. 15 – Pozice odběrných míst pro vlastní analýzu jakosti vody
- Obr. 16 – Odběry v zájmovém úseku – umělé vytváření „tůní“ za účelem efektivnějšího čerpání
- Obr. 17 – Ukázka geodetických zaměřovacích prací
- Obr. 18 – Bodově zaměřený podélný profil a příčné profily v prostředí ArcMap 10.6
- Obr. 19 – Ukázka nemožného zaměření maximální kapacity v oblastech profilů P2 a P8
- Obr. 20 – Ukázka měření omočeného obvodu a plochy pro výpočty maximální kapacity
- Obr. 21 – Odběr jemnozrnné podkladové vrstvy i s vodou
- Obr. 22 – Rozdělení zájmového transektu na tři odběrné oblasti
- Obr. 23 – Rozmístění odběrných míst říčního substrátu na podkladu Ortofota
- Obr. 24 – Flow-chart popisující postup zpracování vzorků podkladové vrstvy v laboratoři
- Obr. 25 – Relativně pravidelný tvar zrn krycí vrstvy odběrných míst Z1, resp. Z2

- Obr. 26 – Ukázka detailního výpočtu sklonů v příčných profilech
- Obr. 27 – Ukázka přirozeného fluvialního chování toku
- Obr. 28 – Lokalizace zájmové oblasti v rámci území České republiky
- Obr. 29 – 2,5D TIN DMR (složen z trojúhelníkové iregulární sítě) odrážející vertikální zonálnost povodí Bouřlivce
- Obr. 30 – Fytogeografické členění a hlavní typy biochor v povodí
- Obr. 31 – Skupiny mrtvých koniferů při cestě mezi přehradou Fláje a obcí Dlouhá Louka
- Obr. 32 – Vývoj změn land-coveru v povodí mezi lety 1990-2018
- Obr. 33 – Geologické poměry povodí a jeho nejbližšího okolí
- Obr. 34 – Pedologické poměry povodí a jeho nejbližšího okolí
- Obr. 35 – Hydrogeologické rajony procházející povodím a jeho nejbližším okolím
- Obr. 36 – Chod průměrných denních, měsíčních, respektive ročních průtoků
- Obr. 37 – Periodogram datové řady průměrných denních průtoků
- Obr. 38 – Intervaly M-denních průtoků
- Obr. 39 – Křivka dosažení či překročení jednotlivých průtoků
- Obr. 40 – Výpočty intervalů opakování průtoků v semilogaritmickém zobrazení pomocí „RI metody“ a inverzně zobrazená pravděpodobnost dosažení či překročení vybraných průtoků
- Obr. 41 – Výpočty N-letých průtoků pomocí Gumbelova extrémního teoretického rozložení
- Obr. 42 – Vývoj průměrných denních klimatických dat
- Obr. 43 – Jednoduché a podvojně součtové čáry, období 04/2005-10/2020
- Obr. 44 – Paprskový graf sezonality minimálních průměrných měsíčních průtoků
- Obr. 45 – Ukázka nepovolených odběrů v zájmovém úseku
- Obr. 46-a – Vývoj základních obecných a fyzikálně-chemických ukazatelů jakosti vody v roce 2020
- Obr. 46-b – Vývoj konduktivity v roce 2020
- Obr. 46-c – Vývoj pH v roce 2020
- Obr. 47-a – Inverzní závislost koncentrací rozpuštěného O₂ na teplotě vody
- Obr. 47-b – Vzájemný vztah konduktivity a rozpuštěného kyslíku
- Obr. 47-c – Vzájemný vztah konduktivity a teploty vody
- Obr. 47-d – Míra signifikantnosti vzájemných asociací vybraných obecných a fyzikálně-chemických ukazatelů

- Obr. 48 – Vývoj nutrientů v roce 2020
- Obr. 49 – Vliv průtoků na ukazatele jakosti vody
- Obr. 50 – Výtok odpadních vod do toku – „ČOV“ pod obcí Mikulov
- Obr. 51-a – Letní koncentrace vybraných kovů a metaloidů – odběr dne 24.06.2021
- Obr. 51-b – Podzimní koncentrace vybraných kovů a metaloidů – odběr dne 03.11.2021
- Obr. 51-c – Zimní koncentrace vybraných kovů a metaloidů – odběr dne 04.02.2022
- Obr. 52-a – Letní koncentrace základních a fyzikálně-chemických ukazatelů – odběr dne 24.06.2021
- Obr. 52-b – Podzimní koncentrace základních a fyzikálně-chemických ukazatelů – odběr dne 03.11.2021
- Obr. 52-c – Zimní koncentrace základních a fyzikálně-chemických ukazatelů – odběr dne 04.02.2022
- Obr. 53-a – Podélný vývoj konduktivity vodního toku Bouřlivec v k.ú. obce Lahošť
- Obr. 53-b – Podélný vývoj rozpuštěného O₂ vodního toku Bouřlivec v k.ú. obce Lahošť
- Obr. 53-c – Podélný vývoj teploty vody vodního toku Bouřlivec v k.ú. obce Lahošť
- Obr. 53-d – Podélný vývoj pH vodního toku Bouřlivec v k.ú. obce Lahošť
- Obr. 54 – Identifikace místa znečištění sírany v podzimním odběru
- Obr. 55 – Vývoj nutrientů v podélném směru
- Obr. 56 – Zhoršené organoleptické vlastnosti toku u přítoku z Růžového rybníku
- Obr. 57 – Vývoj všech stanovovaných ukazatelů pro oblast přítoku z Růžového rybníku – situace ke 04.02.2022
- Obr. 58 – Nejstarší použitý mapový podklad – Císařské otisky stabilního katastru z roku 1842
- Obr. 59-a – Historický průběh trasy Bouřlivce v roce 1938
- Obr. 59-b – Sekvence použitých historických mapových a ortofoto snímků ilustrující změnu v charakteru opevnění Bouřlivce
- Obr. 60-a – Jednotlivé typy opevnění Bouřlivce mezi ř. km 7,637 – 5,272
- Obr. 60-b – Doplnění délek typů opevnění
- Obr. 61 – HMS úseků Bouřlivce mezi ř. km 7,637 – 5,272
- Obr. 62 – Vymapování míst odběrů a hlavních kanalizačních výpustí (k říjnu 2021)
- Obr. 63 – Zaměřený podélný profil a příčné profily v pracovním prostředí ArcMap 10.6
- Obr. 64 – Přehled majetko-právních poměrů při zátopě odpovídající Q₂₀

- Obr. 65-a – Přehled majetko-právních poměrů při zátopě odpovídající Q_{100}
- Obr. 65-b – Doplnění kvantitativního vyjádření vlastníků a typů pozemků při situaci Q_{100}
- Obr. 66 – Zrnitostní křivky podkladové vrstvy říčního substrátu
- Obr. 67 – Výsledné zrnitostní křivky
- Obr. 68 – Podélný vývoj hraničních průtoků porušujících stabilitu dna koryta v přímé trase
- Obr. 69 – Rozdělení podélného profilu z hlediska vhodnosti použití jednotlivých variantních řešení kynety
- Obr. 70 – a,b,c,d – Schématická variantní řešení kynety
- Obr. 71 – Nízkokapacitní cihlový most v sousedství profilů P3 a P4
- Obr. 72 – Pravobřežní zeď z kamenné dlažby v prostoru profilu P4
- Obr. 73 – Prostor obecního parku po pravé straně koryta ÚSEKU 2
- Obr. 74 – Nově vysázená stromová vegetace na horní hraně levého břehu části ÚSEKU 2
- Obr. 75 – Ukázka začlenění přístupu z plochých kamenů
- Obr. 76 – Ukázka variantního řešení kynety „B“ – přechod toku „suchou nohou“
- Obr. 77 – Variantní řešení přístupu k toku pomocí dřevěné kulatiny
- Obr. 78 – Ukázka takřka neexistujícího prostoru kolem koryta v ÚSEKU 3
- Obr. 79 – Oblast kompostu zasahující do koryta v oblasti ÚSEKU 3
- Obr. 80-a – Aktuální stav v oblasti příčného profilu P11
- Obr. 80-b – Variantní řešení I. – aplikace balvanitého výhonu pod pravobřežní zeď směřující proudění vody do středu koryta
- Obr. 80-c – Variantní řešení II. – doplnění pravostranných výhonů o zatravnění levostranné bermy

Tabulky

- Tab. 1 – Hodnoty migračních schopností vybraných druhů ryb
- Tab. 2 – Průměrné a maximální rychlosti vybraných druhů ryb
- Tab. 3 – Gumbelovy hodnoty y_N a σ_N v závislosti na délce časové řady
- Tab. 4 – Třídy kvality vody dle ČSN 75 7221
- Tab. 5 – Tabulkové drsnostní hodnoty balvanů, valounů a šterku
- Tab. 6 – Platnost navrhovaných opatření vzorových příčných profilů v rámci celé délky podélného profilu

- Tab. 7 – Přehled vývoje změn land-coveru
- Tab. 8 – Přehled výpočtů N-letých průtoků vycházející z grafického zobrazení Obr. 40
- Tab. 9 – Výpočet N-letosti pomocí Gumbelova extrémního teoretického rozložení
- Tab. 10 – Detailní hydromorfologický stav zájmového úseku (ř. km 6,785 – 6,325)
- Tab. 11 – Vybrané kvantily a efektivní zrna odběrných míst podkladové vrstvy
- Tab. 12 – Rozměry os a váha jednotlivých zrn krycí vrstvy
- Tab. 13 – Výsledné velikosti kvantilů zrnitosti a efektivních zrn
- Tab. 14 – Aktuální maximální kapacity Bouřlivce v jednotlivých příčných profilech
- Tab. 15 – Porovnání aktuálních a návrhových maximálních kapacit koryta ve vzorových příčných profilech
- Tab. 16 – Navrhovaná struktura substrátu kynety zájmového úseku revitalizační studie
- Tab. 17 – Výpočty stability ve vzorových příčných profilech
- Tab. 18 – Možná začlenění variantních řešení kynety do podélného profilu
- Tab. 19 – Potenciální změna hydromorfologického stavu zájmového úseku při hodnocení metodikou HEM

Přílohy

- Příloha 1 – Geodeticky zaměřené příčné profily P1 a P2
- Příloha 2 – Geodeticky zaměřené příčné profily P3 a P4
- Příloha 3 – Geodeticky zaměřené příčné profily P5 a P6
- Příloha 4 – Geodeticky zaměřené příčné profily P7 a P8
- Příloha 5 – Geodeticky zaměřené příčné profily P9, P10 a P11
- Příloha 6 – Geodeticky zaměřený podélný profil
- Příloha 7 – Přehledová tabulka dotčených parcel při zátopě Q_{20}
- Příloha 8 – Přehledová tabulka dotčených parcel při zátopě Q_{100}
- Příloha 9 – Tabulkové hodnoty korekčního faktoru omočeného obvodu břehu („ nC_f “)
- Příloha 10 – Vzorový příčný řez „P2“ – ÚSEK 1, ř. km 6,379
- Příloha 11 – Vzorový příčný řez „P4“ – ř. km 6,473
- Příloha 12 – Vzorový příčný řez „P6 – VAR 1“ – ÚSEK 2, ř. km 6,542
- Příloha 13 – Vzorový příčný řez „P9“ – ÚSEK 3, ř. km 6,710
- Příloha 14 – Vzorový příčný řez „P9 – VAR 2“ – ÚSEK 3, ř. km 6,710

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratky

AOPK ČR – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky

AOX – Halogenované organické látky

BMK – Stabilita břehu a boční migrace koryta

BVG – Břehová vegetace

ČGS – Česká geologická služba

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČOV – Čistírna odpadních vod

ČSN – Česká státní norma

ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

DIBAVOD – Digitální báze geografických dat

DMR – Digitální model reliéfu

DNS – Dnový substrát

GIS – Geografický informační systém

HGR – Hydrogeologický rajon

HMS – Hydromorfologický stav

HR – Hydrologický rok

CHSK – chemická spotřeba kyslíku

KS – Klimatická stanice

LG – Limnigraf

LPO – Levá příbřežní oblast

MDK – Mrtvé dřevo v korytě

m n.m. – metry nad mořem

OHR – Ovlivnění hydrologického režimu

PAST – PAleontological STatistics

PIN – Průchodnost inundačního území

POH – Povodí Ohře, s.p.

PPK – Podélná průchodnost koryta

PPO – Pravá příbřežní oblast

PRO – Charakter proudění

PřF UK – Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta

RI – Recurrence interval

RL – Rozpuštěné látky

RÚIAN – Registr územní identifikace, adres a nemovitostí

STD – Struktury dna

TRA – Upravenost trasy toku

UBR – Upravenost břehu

UDN – Upravenost dna

VAR – Varianta/Variantní řešení

VHL – Variabilita zahloubení v podélném profilu

VHP – Variabilita hloubek v příčném profilu

VN – Vodní nádrž

VNI – Využití údolní nivy

VPZ – Využití příbřežní zóny

VSK – Variabilita šířky koryta

WMS – Webová mapová služba

ZABAGED – Základní báze geografických dat

Symbols

d_e – efektivní zrn

d_x – kvantil zrnitostní křivky (obecně)

n_o – drsnost břehových částí omočeného obvodu

n_r – výsledná drsnost složeného profilu

v_n – nezanášecí rychlost

v_v – nevymílací rychlost

y_N – variantní snížená hodnota průměru v Gumbelově metodě extrémní teoretické distribuce

y_T – variantní snížená časová hodnota vybraného intervalu N-letosti v Gumbelově metodě extrémní teoretické distribuce

ρ_m – hustota splavenin

σ_N – variantní snížená hodnota směrodatné odchylky v Gumbelově metodě extrémní teoretické distribuce

Al – hliník

Ar – relativní atomová hmotnost

As – arsen

Br – brom

Ca – vápník

Cd – kadmium

Cl – chlor

F – fluor

Fe – železo

H₂O₂ – peroxid vodíku

K – draslík

Mg – hořčík

Mn – mangan

N – dusík

Na – sodík

N-NH₄ – amoniakální dusík

N-NO₂ – dusitanový dusík

N-NO₃ – dusičnanový dusík

P – fosfor

Pb – olovo

P_{celk} – celkový fosfor

P-PO₄ – (ortho)fosforečnanový fosfor

Si – křemík

SO₄²⁻ – sírany

Sr – stroncium

TOC – celkový organický uhlík („*Total organic carbon*“)

V – vanad

x, x_T – průtok dle Gumbelovy metody extrémní teoretické distribuce

Zn – zinek

C – Chézyho rychlostní součinitel

H – nadmořská výška

K – frekvenční faktor v Gumbelově metodě extrémní teoretické distribuce

L – délka/vzdálenost

O – omočený obvod

Ob – omočený obvod břehů

Od – omočený obvod dna

Q – průtok

R – hydraulický rádius

S – plocha koryta

T – interval N -letosti

c – koncentrace

i/I – sklon

m – pořadí průtoku v sestupném seznamu

n – dle kontextu, většinou Manningův drsnostní součinitel

nCf – korekční faktor drsnosti břehů

p – pravděpodobnost dosažení či překročení

v – střední průřezová rychlost

\bar{x} – průměr

ρ – hustota vody

σ – směrodatná odchylka

Abstrakt

Tato diplomová práce předkládá revitalizační studii drobného vodního toku, konkrétně se jedná o úsek Bouřlivce – přítoku řeky Bíliny, protínající intravilán obce Lahošť. Revitalizační studie byla řešena v rámci smluvního výzkumu Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy (PřF UK) a Povodí Ohře, s.p. Závěrečná zpráva tohoto výzkumu je součástí citované literatury na konci kvalifikační práce.

Mezi hlavní cíle studie patřilo navržení revitalizačních opatření, která primárně povedou ke: 1) zlepšení hydromorfologického a ekologického stavu toku, 2) zvýšení protipovodňové ochrany a 3) pozvednutí rekreační využitelnosti v těsné blízkosti vodoteče. Celkem bylo geodeticky zaměřeno, pomocí totální geodetické stanice, 11 příčných profilů v rámci podélného profilu o délce cca 454 m. Byla navržena modifikace nového způsobu výpočtu drsnosti složených profilů a pro každý profil byly spočteny aktuální i návrhové maximální průtočné kapacity. V rámci podélného profilu byla navržena mozaika 4 variantních řešení, která se na zájmovém úseku pravidelně střídají.

Zrnitostní rozbor říčního substrátu v navazujících úsecích poskytl podklad pro návrh charakteru substrátu dna zájmového úseku. Součástí výstupu není pouze doporučená velikost efektivního zrna (d_e), ale také doporučené velikosti zrn základních kvantilů zrnitostní křivky. Stabilita nově navrhovaného substrátu, v oblasti dna kynety, byla posouzena dle Neillovy rovnice nevyvílací rychlosti.

Hodnocení revitalizačního efektu navržených opatření, z hlediska hydromorfologie a hydroekologie, bylo provedeno dle certifikované metodiky HEM (Langhammer, 2014). Výsledek indikuje výrazné zlepšení a posunutí hydromorfologického stavu zájmového úseku ze 4. třídy do 3. třídy kvality. V závěrečné diskuzi jsou nastíněny přínosy a limity této práce a zmíněn aspekt doprovodné vegetace.

Klíčová slova: Revitalizace, návrh trasy koryta, podélný profil, příčný profil, opevnění, vegetační doprovod, revitalizační efekt

Abstract

This diploma thesis presents a restoration study of a small watercourse in the urban area, specifically the section of Bouřlivec - a tributary of the Bílina River, crossing the municipality of the village Lahošť. The restoration study was carried out as a part of the contract research of the Faculty of Science, Charles University in Prague and Povodí Ohře, state enterprise. The final report of this research is part of the cited literature at the end of the qualification thesis.

Among the main objectives of the study was the design of restoration concept that will primarily lead to: 1) improving the hydromorphological and ecological state of the stream, 2) increasing flood protection and 3) increasing recreational usability in close proximity to the watercourse. A total of 11 cross section profiles within a longitudinal profile with a length of approx. 454 m were geodetically measured using the total geodetic station. A modification of the new method of calculating the roughness of cross section profiles was proposed and for each profile the current and design maximum flow capacities were calculated. As part of the longitudinal profile, a mosaic of 4 variant solutions was designed, which alternate regularly within the section of interest.

The grain size analysis of the river substrate was held in the surrounding sections to the section of restoration. This analysis provided the basis for the design of the substrate character of the newly designed river bed. The stability of the newly proposed river substrate was assessed according to the Neill's equation.

Evaluation of the restoration effect, in terms of hydromorphology and hydroecology, was carried out according to the certified HEM methodology (Langhammer, 2014). The significant change and shift in the hydromorphological state of the section from 4th to 3rd quality class was detected. The results and limits of this study are outlined in the final discussion. Also, the aspects of vegetation belt are discussed.

Key words: Restoration, concept of channel route, longitudinal profile, cross section profile, fortification, vegetation belt, restoration effect

*„If there is a magic on this planet,
it is contained in [water](#).“*

-Loren Eiseley-

Části předkládající kvalifikační práce se shodují se závěrečnou zprávou smluvního výzkumu pro Povodí Ohře, s.p (dále jako „POH“). Diplomant byl členem řešitelského týmu a hlavním autorem následující výzkumné zprávy:

JONÁŠ, Miroslav and Milada MATOUŠKOVÁ, (2022). *Revitalizační studie vodního toku Bouřlivec v intravilánu obce Lahošť*. Závěrečná výzkumná zpráva smluvního výzkumu pro POH. Přírodovědecká fakulta UK, 120 s.

Shodné či mírně modifikované části se týkají především následujících kapitol: Úvod a cíle práce, Aplikované metody a zdroje dat, Výsledky, Diskuze výsledků a Závěr.

V Březnici, dne 13.06.2022

Bc. Miroslav Jonáš

1. Úvod a cíle práce

Revitalizace vodních toků dnes patří mezi nejpodstatnější prováděná ekohydrologická opatření v krajině. Zpravidla se snaží opět obnovit a oživit vodní toky, které byly v minulých dekádách nevhodně, někdy až nelogicky opevněny. Mezi nejpoužívanější technické typy opevnění se v minulosti řadily prefabrikované betonové desky, které nepodporují estetickou stránku vodoteče a výrazně ovlivňují i ekohydrologický a hydromorfologický stav toku. Mezi zásadní negativa patří omezení komunikace vody v korytě s mělkým oběhem hyporeálu, nemožnost vytvoření přirozené morfologie dna a zpravidla zcela kompletní vyřazení splaveninového režimu, kdy sediment unášen v suspenzi v takto opevněných tocích, díky nízké drsnosti kynety a vysoké průřezové rychlosti, nepodléhá procesu sedimentace. Naopak, velké množství tohoto jemného materiálu sedimentuje v navazujících – neopevněných/přírodních úsecích a při větších průtocích je pak tento nashromážděný jemný sediment vyplaven do objektů směrem po proudu (vodních nádrží, urbanizovaných oblastí apod).

Při revitalizačních opatřeních v intravilánech patří mezi hlavní cíle snaha o zlepšení hydromorfologického stavu při zachování protipovodňové ochrany. Hlavní překážky bránící tzv. úplné revitalizaci jsou často velmi malý využitelný prostor kolem koryta a komplikované majetko-právní poměry.

Mezi hlavní cíle této práce lze řadit vypracování revitalizační studie vybraného zájmového úseku, nastínění případných limitů bránících úplné revitalizaci, zhodnocení potenciálního revitalizačního efektu a sumarizace závěrečných doporučení při postupu revitalizačních prací.

2. Vodní toky v urbanizované krajině

V oblastech intravilánů jsou vodní toky a jejich přímé okolí ovlivňovány celou řadou urbanizačních faktorů. Tyto jsou dnes v odborné rovině popisovány tzv: Syndromem urbánních toků („*Urban stream syndrome*“). Mezi charakteristické znaky tohoto syndromu lze řadit: (1) zrychlený povrchový odtok, (2) sníženou jakost vody, (3) homogenizaci a incizi koryt, (4) pokles biodiverzity a nárůst tolerantních druhů (dle Walsh *et al.*, 2005). Poslední bod syndromu urbánních koryt zde nebude diskutován, neboť není příliš relevantní z hlediska praktické části práce.

2.1 Zrychlený povrchový odtok

V extravilánu je rychlost povrchového odtoku podmíněna řadou faktorů, mezi které se řadí především míra předchozího nasycení půdního profilu, sklonitost reliéfu a samotný land-use okolní krajiny. V zastavěných územích všemu vévodí tvrdé, nepropustné povrchy s nízkým albedem, které silně akcelerují rychlost povrchového odtoku (Arnold, Gibbons, 1996 in Jonáš, 2020). Tyto umělé nepropustné povrchy jsou jedním z hlavních příčinných faktorů řídicí změny hydrologického režimu v povodí (May *et al.*, 1997) a v kombinaci s opevněnými koryty prizmatického charakteru výrazně zvyšují profilovou (průřezovou) rychlost vody v korytě. Finkenbine *et al.*, (2000, p. 1150) přisuzují snížení biodiverzity ichtyofauny v městských korytech právě těmto příliš vysokým rychlostem vody, které jsou zvláště problematické v místech bez výskytu větších kusů dřevní hmoty či balvanů, za nimiž se tvoří víry, kde ryby odpočívají. Své tvrzení opírají o řadu odborných publikací monitorující tento úkaz především na snižující se populaci kanadských lososů v oblasti Britské Kolumbie. Snížená míra biodiverzity v toku přímo ovlivňuje nejen jeho ekologickou stabilitu, ale také jeho rekreační využití.

S rychlostí povrchového odtoku však přímo souvisí i pravidelné výkyvy říční dynamiky – především povodně. Případná rychlost vzestupu kulminační průtokové vlny je velmi silně spjata právě s mírou zastavěnosti území nepropustnými povrchy, a tedy s rychlostí povrchového odtoku. Právě tento rychlý nárůst vzestupné větve povodňové vlny, spolu s často nevhodnými technickými úpravami koryt a neuspokojivou hydrologickou funkcí údolní nivy, způsobuje katastrofální povodně. Příkladem v České republice může být povodeň z přívalových dešťů v podhůří Orlických hor roku 1998. Co se týče událostí v zahraničí, tak jistě stojí za zmínku blesková povodeň v pobřežním anglickém městečku Boscastle, která v plné síle udeřila 16. srpna 2004 (Xia *et al.*, 2011). Společným rysem těchto událostí je silná přívalová srážka o intenzitě přes 200 mm a velmi příkrý spád horních úseků inkriminovaných

toků, které přivedly povodňové vlny do oblasti intravilánů (Xia *et al.*, 2011, ČHMÚ, 1998, Povodí Labe, s.p., 2008).

Úseky bezprostředně navazující na zájmový úsek revitalizace, a to jak po, tak proti proudu, jsou zcela zásadní pro optimální začlenění revitalizovaného úseku do krajiny. Tento poznatek aktivně zmiňuje již Mareš (1997), který upozorňuje především na management transformačních účinků inundačního území na kulminační průtoky v úseku pod revitalizací. Just *et al.*, (2005), ale okrajově také Jonáš (2020) zmiňují důležitost úseků nad revitalizací, a to z hlediska protipovodňové ochrany. Vhodná biotechnická opatření v těchto úsecích, spočívající především ve snížení incize koryt, která přispívají k bezpečným rozlivům do inundačního území, zpomalují množství a rychlost přitékající vody do intravilánů a výrazně tak snižují požadavky na průtočnou kapacitu koryt v těchto zastavěných oblastech. Na první pohled možná okrajově, přesto však velmi úzce, s touto problematikou souvisí i finanční aspekt vodohospodářských úprav toků. Při průchodu povodňové vlny technicky stabilizovaným korytem může velmi snadno dojít k poškození těchto opevňovacích prvků vlivem velkých vymílacích rychlostí proudící vody. Následkem je nutná restabilizace, která spolkně nemalé finanční náklady. Problematika zrychleného povrchového odtoku tedy ovlivňuje městské tratě ve velmi komplexním měřítku, nemluvě o problematice zhoršení jakosti vod, které budou věnovány následující řádky.

2.2 Snížená jakost vody

Mareš (1997) upozorňuje na často zhoršenou kvalitu vody v městských korytech, nemluvě o tvrdých technických opevněních, které připomínají spíše stokové kanály než koryta vodních toků. S technickým opevněním dna koryt souvisí i výrazné snížení či plné odejmutí samočisticí schopnosti toku, zde probíhající především filtrací přes dnový substrát. Jakost urbánních koryt je tedy komplexně ovlivněna nejen degradovanou údolní nivou, ale také morfologickým stavem samotného koryta. Nicméně kvalitně posoudit stav kvality vody v urbánních korytech je značně složitý proces, a to především díky velkému množství potenciálních zdrojů znečištění (Duda *et al.*, 1982). Krucíální je zde především funkce příbřežní zóny, respektive údolní nivy. Celá řada studií již prokázala schopnost pásů břehové vegetace ovlivňovat teplotní podmínky v toku, redukovat množství vstupujících sedimentů či poměrně efektivně odfiltrovat splachy nutrientů do vodních toků (viz Osborne, Kovacic, 1993, Barling, Moore, 1994, Lee, 1999). Důležitá je zde především šíře vegetačního pásu. Barling, Moore (1994) diskutují tuto problematiku na kostře několika výzkumů především v Austrálii, ale také v západní Kanadě či Kalifornii. Z této rešerše se jeví jako nejefektivnější šíře 20-30 m (viz Barling, Moore, 1994, p. 544), avšak takto

výrazný prostor kolem toku zpravidla není v oblastech intravilánů k dispozici. Důležitost rozměrů vegetačních pásů zkoumají také Bingham *et al.*, (1980), a to na lokalitách, kde hrozí znečištění toků živočišnými odpady. Vzájemná korelace mezi sníženou jakostí vody a zrychleným povrchovým odtokem je tedy zřetelná.

Chemismus aquatických habitatů je velmi specifický a některé látky, pro člověka esenciální, jsou pro tyto ekosystémy značně toxické. Jedná se například o měď (Cu), (Pitter, 1990) a také zřejmě zinek (Zn). Mezi prvky, jejichž toxicita je výrazná pro člověka i vodní ekosystémy, lze bezpochyby zařadit rtuť (Hg) či arsen (As). Vlivem zvýšených antropogenních emisí je odhadováno, že koncentrace rtuti v atmosféře jsou nyní až 3x vyšší v porovnání s preindustriálním obdobím (Mason *et al.*, 1994 in Eckley *et al.*, 2008). Rtuť nejenže dopadá na zemský povrch ve formě suché depozice, ale může se také uvolňovat z asfaltovaných povrchů (Eckley *et al.*, 2008). Při srážkových událostech jsou pak tyto koncentrace odváděny do městských koryt. Do lidského organismu se zřejmě nejčastěji tento vysoce toxický těžký kov dostává ve formě methylrtuti, která se relativně snadno akumuluje v rybách (Myers *et al.*, 2000). Z práce Myerse *et al.*, (2000) je možné vyvodit očekávaný poznatek, který směřuje k vyšším koncentracím rtuti v antropogenně silněji zasažených oblastech. Relativně nová práce Eckleyho *et al.*, (2008) si kladla za cíl kvantifikovat množství ulpívající rtuti, vypadávající z atmosférické depozice, a to především na městských skleněných plochách různých sklonů v kanadském městě Torontu. Sklo je dle jejich mínění zcela ideálním povrchem, neboť jej lze izolovat od okolních zdrojů rtuti a může být velmi snadno vyčištěno od reziduálních koncentrací z atmosférické depozice (viz Eckley *et al.*, 2008). Výsledky ukazují, že na rozdíl od půdních pokryvů, ze kterých je rtuť uvolňována jen v malých koncentracích po dlouhé časové periody, tak na skleněných površích měst jsou v periodách mezi srážkovými událostmi kumulovány relativně velké koncentrace rtuti, která je následným úhrnem vyplavena do aquatických ekosystémů (Eckley *et al.*, 2008). Zcela evidentně je zde tedy patrný vliv urbanizace na množství rtuti obsažené ve vodním prostředí.

Kromě rtuti byl výše v textu jako další velmi toxický prvek zmíněn As. Ten se v přírodě vyskytuje zejména ve formě sulfidů (např. arsenopyrit). Ve vodě poté jako As^{III} či As^V s tím, že As^V je v oxickém prostředí nejstabilnější formou (Pitter, 1990, p. 219-220). Studie Wällstedt *et al.*, (2010), zabývající se koncentracemi As a vanadu (V) v celkem 62 švédských tocích prokazuje, že As i V nejčastěji putují vodním médiem navázány na železo (Fe), a to na 59 a 60 tocích. Zřejmá korelace mezi As a V byla zjištěna také s celkovým organickým uhlíkem (TOC = „Total organic carbon“), a to na 53 tocích. Naopak nízké koncentrace As byly zjištěny v tocích se zvýšenými koncentracemi orthofosforečnanů. Autoři tento jev, na základě rešerše

odborné literatury, připisují zhoršeným sorpčním schopnostem As v přítomnosti orthofosforečnanových, síranových a hydrogenkarbonátových aniontů. Z této švédské studie tedy vyplývá poměrně silná závislost výskytu As, respektive V na Fe a organické hmotě.

Velmi zajímavou hypotézu v souvislosti s výskytem organického uhlíku v zastavěných oblastech prezentují Sickman *et al.*, (2007). Ti, opírající se o řadu odborných publikací zabývajících se danou problematikou, se domnívají, že zvýšené koncentrace v zastavěných oblastech by mohly být způsobeny jejich uvolňováním z půdy. Ta je silně narušována tíhou postupující urbanizace, která akceleruje půdní erozi a vystavuje půdní organickou hmotu oxidačním podmínkám (Deverel, Rojstaczer, 1996 in Sickman *et al.*, 2007, p. 12), nemluvě o efektu tepelného ostrova města, který jen urychluje tyto procesy (Peterson, Owen, 2005 in Sickman *et al.*, 2007, p. 12). Avšak primárním zdrojem TOC v intravilánových vodních tocích se zdají být odpadní vody (Sickman *et al.*, 2007).

Mezi další látky, výrazně ovlivňující jakost vod v intravilánech, se řadí specifické organické látky. Langhammer (2009) zmiňuje, že se ve vodním prostředí vyskytují ve třech formách: (1) jako volně rozpuštěné látky, (2) látky adsorbované na suspendovaných látkách či sedimentech, (3) látky akumulované v organismech. Mezi nejvíce rizikové patří halogenované organické látky (AOX), které jsou velmi dobře rozpustné v tucích a olejích. Tato vlastnost těmto látkám usnadňuje akumulaci v organismech, které je pak jen velmi těžce vylučují (Langhammer, 2009, p. 80). Tyto halogenované organické látky jsou nejčastěji vytvářeny při chemických industriálních procesech, jako bělení, které zahrnují použití chloru (Langhammer, 2009, Qin *et al.*, 2018, Milh *et al.*, 2020). Kromě vysoké toxicity těchto látek je problémem především jejich odstranění z vodního prostředí, které běžnými čistícími procesy může být nedostatečné (Osman *et al.*, 2013 in Milh *et al.*, 2020, p. 2). Nové metody odstranění těchto látek byly však v minulých letech představeny. Jedná se například o sorpci na aktivní uhlí (viz Qin *et al.*, 2018), nicméně Luyten *et al.*, (2013) upozorňují, že tato metoda je vhodná pouze pro odpadní vody s minimálním výskytem organických látek nebo nízkou hodnotou chemické spotřeby kyslíku (CHSK). Jiný přístup odstranění AOX nabízí Ribeiro *et al.*, (2020), a to za pomoci pokročilého oxidačního Fentonova procesu, který vychází z reakce dvoumocného železa (Fe^{2+}) s peroxidem vodíku (H_2O_2). Výsledkem této reakce je kromě trojmocného železa (Fe^{3+}) především hydroxidový radikál, který je schopen oxidovat silné organické polutanty, mezi které se AOX řadí (dle Torrades *et al.*, 2003 in Ribeiro *et al.*, 2020, p. 771).

2.3 Homogenizace a incize koryta

Homogenizací se rozumí technicko-stabilizační vodohospodářské úpravy koryt vodních toků, které jim odebírají přirozenou pestrost a variabilitu v podélném i příčném profilu. Z hydraulického hlediska lze hovořit o vytváření prizmatických koryt, tedy koryt s neměnnými geometrickými charakteristikami (Pech, Roub, 2014, p. 71). Incize poté představuje zvýšené zahlubování koryt, které bylo prováděno buď cíleně, především za účelem navýšení průtočné kapacity koryta anebo jak zmiňují Shields Jr. *et al.*, (1994) vzniká jako sekundární projev napřimování koryt, které výrazně ovlivňuje průběh sedimentačního režimu v korytě. Kolísání množství unášených sedimentů, spolu se sníženou transportní kapacitou koryta, poté vede ke dnové erozi a vzniku incize (Galay, 1983 in Shields Jr. *et al.*, 1994, p. 43). Ač se to na první pohled nemusí jevit, nevhodně vodohospodářsky opevněná koryta výrazně ovlivňují celou řadu hydrologických procesů. Jonáš (2020) upozorňuje na omezení komunikace povrchové vody s vodou hyporeálu, a to na příkladu antropogenně ovlivněných podkrušnohorských toků Bouřlivce a Loučenského potoka. Ložek (1998) neváhá tato vodohospodářská opatření označit za umrtvující z hlediska dynamiky vodních toků i celých nivních ekosystémů. Za naprosto nevhodné poté označuje incizi a vyzdívání profilů v zalesněných oblastech. Dle autorovi studie odborných pramenů, a vlastních zkušeností, lze negativní vliv homogenizace a incize poté obecně shrnout v následujících krocích: (1) nedostatečná variabilita tvarové členitosti koryta, (2) nedostatečná variabilita hydraulické členitosti koryta, (3) absence živočišných habitatů a vhodných rostlinných stanovišť, která degraduje ekologické funkce poříčního území a snižuje jeho biodiverzitu, (4) neutěšený stav doprovodné zeleně, který brání vhodné integraci toku do okolní krajiny, (5) zpravidla snížená nebo zcela omezená migrační průchodnost v podélném směru, která výrazně ovlivňuje migračně nedostupné úseky proti proudu, (6) snížení samočisticích schopností koryta, (7) podemílání břehů, podpora dnové eroze a destabilizace koryt za vysokých průtoků, (8) ovlivnění režimu transportu plavenin a ukládání dnových splavenin, (9) nedostatečná kooperace s přírodnějšími úseky koryt, která vede k maximalizaci dopadů povodňové vlny, (10) snížená rekreační využitelnost poříčního území.

Výše uvedená negativa popisují, hlavní vlivy, kterými byly v minulém století vodní toky v zastavěných oblastech (ale nejen v nich) „odměněny“. Výrazným řídicím faktorem těchto morfologicky i ekologicky degradovaných úprav jsou ve většině případů komplikované majetko-právní vztahy a velmi omezený prostor kolem koryta vodního toku bránící tzv. úplné revitalizaci.

3. Termín revitalizace

V dnešní vrcholné době industrializace a rostoucí urbanizace se nátlak na vodní toky a reservoáry neustále zvyšuje, a to jak z pohledu socioekonomického (dopravní využití vodních cest, rekreace aj.), tak z pohledu fyzicko-geografického (zhoršení jakosti vod, narušení hydrologického režimu a kontinuity, ovlivnění morfologických vlastností toku a mnohé další). S rostoucím poznáním nejen v oblasti hydrologie či hydrogeologie, ale i dalších spjatých vědních oborů si dnešní společnost začíná stále více uvědomovat klíčovou a nezastupitelnou roli, které vodní aspekty v intravilánech, ale logicky i extravilánech, zastávají. Toto se plně odráží nárůstem publikací odborných článků, které řeší různé prvky této ožehavé problematiky. Téměř všechny tyto články spojuje zvýšený důraz, který vnáší na anglický termín „*restoration*“. V českém prostředí se tento překládá pojmem *revitalizace*.

Autor vnímá revitalizaci jako antropogenní úpravu vodního toku či jeho blízkého okolí, která cílí na komplexní zlepšení ekologických, morfologických a hydrochemických funkcí říčního habitatu, snažící se o maximální možnou migrační prostupnost pro vodní faunu a citlivou integraci vodního toku do okolního prostředí. Lewis (2018, p. 33) popisuje ekologickou revitalizaci jako disciplínu a proceduru, která se snaží zmírnit environmentální škody s nadějí, že revitalizační opatření povedou k nápravě ekosystémů podléhajících pokračující nebo předcházející degradaci (dle Lewis, 2018, p. 33). Naproti tomu Lake *et al.*, (2007) hovoří o revitalizačních projektech jako o praktických nástrojích k testování a lepšímu pochopení struktury ekologického systému (Lake *et al.*, 2007, p. 598). Definice je celá řada a zpravidla záleží na odborném zaměření autora, který definici formuluje. Jiné aspekty bude považovat za klíčové hydrolog, jiné krajinný ekolog, jiné hydrobiolog a jiné vodohospodářský inženýr. Všechny definice by však měla spojovat dohromady snaha o opětovné ekologické povznesení zájmového území, avšak Dufour, Piégay (2009) upozorňují, že během let se revitalizační cíle stále více přizpůsobují a podřizují lidským potřebám, než potřebám ekologickým (Dufour, Piégay, 2009, p. 2). Lidské zájmy výrazně zasahují do finálního provedení revitalizačních studií především v intravilánech měst a obcí, kde snaha přiblížit vodní tok veřejnosti často převyšuje hydroekologické aspekty revitalizace. Naopak v extravilánu by měly být cíle podepřeny zájmem projektantů o co nejexaktnější návrat aquatického prostředí do jeho historického stavu, a to pomocí technik využívajících primárně přírodní materiály.

3.1 Zásady revitalizace v intravilánu

Velmi křehké ekvilibrium mezi říčním habitatem a lidskou populací bylo výrazně narušeno rozvíjející se zástavbou, a především sérií vodohospodářských úprav prováděných v minulém

století. Obrazem těchto úprav se tak stala často souvisle opevněná koryta s neměnnými geometrickými charakteristikami, která jsou morfologicky i ekologicky degradována a celou řadu let již neplní funkce, které jsou od intravilánových koryt požadovány. Primární funkcí těchto koryt je bezpečné převedení N-letých kulminačních průtoků přilehlou zástavbou.

Dnes již naštěstí dochází ke zlepšení stavu dříve vodohospodářsky negativně ovlivněných koryt, a to procesem revitalizačních případně renaturačních postupů. Jak již bylo nastíněno výše, tak primárním zájmem revitalizace vodních ekosystémů v intravilánech měst a obcí je z logických důvodů ochrana okolní zástavby či dopravní infrastruktury. Mezi další cíle lze poté řadit (dle Just *et al.*, 2020, p. 304-305): 1) zlepšení ekologického stavu vodního toku, 2) zlepšení vzhledu vodního toku a vytvoření přírodě blízkého říčního pásu, nabízejícího příjemné pobytové a rekreační prostředí obyvatelům. Ochrana okolní zástavby, jakožto jednoznačně hlavnímu cíli intravilánových revitalizací tedy musí být podřízeny i vodohospodářské strategie a postupy, které danou revitalizaci doprovázejí. Tyto postupy se v některých bodech velmi výrazně liší od revitalizačních postupů ve volné krajině, a to především proto, že řada přirozených hydrologických pochodů, ve volné krajině silně podporovaných, je v oblastech intravilánů považována za nežádoucí. Typickým ukazatelem těchto procesů je boční migrace koryta, která podemíláním břehů v otevřené krajině přirozeně přetváří tvar koryty. Na druhou stranu negativním projevem těchto procesů může být zvýšená míra zahloubení, která není v extravilánu příliš žádoucí (Obr. 1). V intravilánech je kladen silný důraz na stabilizaci a protierozní ochranu břehů (Obr. 2) a boční pohyb koryta je zde nepřijatelný, i když v úsecích, které nesousedí se zástavbou, by mohl být podporován.



Obr. 1 – Přirozená boční migrace koryta podporující tvorbu břehových nátrží, řeka Skalice v úseku Březnice – Dobrá Voda, vlevo. Snímek vpravo zachycuje přirozený proces stabilizace erodovaných břehů pomocí kořenových pletenců stromové vegetace v oblastech břehové čáry. Úsek Litovicko-Šáreckého potoka. Zdroj: (archiv autora, 27.02.2021, resp. 25.08.2022)



Obr. 2 – Znemožnění boční migrace koryta v sevřeném obdélníkovém profilu. Zdroj: (archiv autora, 27.02.2021, Zalužanský potok protínající intravilán obce Lety)

Stabilizace je v intravilánech silně skloňovaným pojmem, jejíž zabezpečení je podkládáno sérií hydrotechnických výpočtů, které kvantifikují stabilitu koryta v oblasti dna i břehů, a to v přímé linii, ale i v oblouku. Ovšem to neznamená, že hydroekologická stránka revitalizací v intravilánech by měla být zanedbávána, zpravidla se však projektanti musí spokojit pouze s přírodní úpravou dna anebo zmírněním sklonu svahů. Mezi největší překážky, které znemožňují výraznější ekologické pozvednutí poričního území v zastavěných oblastech se řadí: 1) nedostatek prostoru kolem koryta: zástavba či dopravní infrastruktura je často vedena paralelně v těsné blízkosti s korytem a neumožňuje jeho vymanění z napřímené trasy, 2) problematické majetko-právní vztahy, které mohou výslednou revitalizaci velmi prodražit, prodloužit, ale také zcela znemožnit, 3) ovlivnění hydrologického režimu (kontinua) tamními obyvateli: problém vyvstávající na povrch především v době nízkých vodních stavů a v oblastech, kde dochází k výrazným ilegálním odběrům. Příliš mírný sklon či příliš velká heterogenita a drsnost dnového substrátu nově modelovaného koryta v kombinaci s ilegálními odběry pak může vést k nezabezpečení minimálního ekologického zůstatkového průtoku.

Pro naplnění primárního konceptu intravilánových revitalizací – ochrany okolní zástavby a infrastruktury se přistupuje ke zvýšení průtočné kapacity koryta, jehož modelace musí odpovídat vybraným návrhovým průtokům. Obecná ustanovení nedoporučují v intravilánech kalkulovat s nižším návrhovým průtokem než Q_{20} . Nicméně samotné navýšení průtočné kapacity je podmíněno jedním zásadním faktorem – charakterem přibřežní zóny. Právě dle jejího charakteru lze vymezit několik možných vodohospodářských technik. *Situace A*: v těsné blízkosti koryta se nenachází stavby, ani dopravní infrastruktura, existuje možnost výrazně proměnit tvar trasy kynety převádějící běžné průtoky a inundační území proměnit do podoby

rekreačních pásů (Mareš, 1997, p. 19) či konceptu povodňových parků (Just *et al.*, 2020, p. 302), které zhodnocují ekologické aspekty příbřežní zóny, respektive nivy. Dalším možným řešením v těchto podmínkách je modelace tzv. bypassového koryta (bypassu), jak upozorňují například Just *et al.*, 2005, (Obr. 3). Princip bypassu slouží k plnění několika nejen hydrologických, ale také ekologických či krajinářských funkcí. Koryto je na počátku vstupu do zastavěné oblasti rozděleno na dvě ramena – rameno A, rameno B (Obr. 3). Rameno A je původní, morfologicky degradované, a tedy napřímené koryto, které převádí vodu intravilány za vysokých profilových rychlostí a rameno B představuje nově modelované koryto, které je podstatně mělké než původní rameno A, jeho příčný profil má zpravidla miskovitý či pekáčovitý tvar a kyneta je vedena zákrutovou trasou. Přitékající voda do oblasti intravilánu se rozdělí mezi obě tato ramena, což povede ke snížení požadavků na průtočnou kapacitu nekapacitního ramena A, a zároveň vyšší střední doba zdržení v korytě B významně pozvedne ekologické a morfologické aspekty nejen v samotném korytě (míra samočištění), ale podél celého bypassu. Sekundární funkcí bypassového koryta by mělo být přiblížení vodního ekosystému a jeho okolí tamním obyvatelům, a to převážně za použití přírodních konstrukčních prvků (klád, balvanů, aj.), (Obr. 4).

Situace B: není dostatečný prostor kolem koryta a jedinou možností, jak navýšit průtočnou kapacitu, je změnami topografie dna, materiálem dnového substrátu, sklonem a opevňujícím materiálem břehů. V extrémních případech není možnost výrazněji ovlivnit dokonce ani břehy, a to v oblastech, kde je koryto z bezpečnostních důvodů uzavřeno v technickém omezení z kamenných či betonových zdí. Postupy vedoucí k navýšení kapacity koryt v takto stísněných podmínkách by měly být konzultovány s co největším spektrem odborníků (Riley, 1998). Jedním z možných přístupů je bezpochyby použití bermy, jež je podrobněji diskutováno na příkladu revitalizační studie v kapitole 3.5.1. Pokud z nějakého důvodu (např. finančního) se projektant nerozhodne aplikovat bermu, je poté více než nutné věnovat velkou dávku pozornosti topografii dna. V souvislosti s maximalizací průtočné kapacity koryta při nedostatečných finančních prostředcích zmiňují Jůva *et al.*, (1984, p. 119) koncept tzv. *hydraulicky výhodného příčného profilu*, který je určen následujícími hydraulickými parametry (Jůva *et al.*, 1984, p. 119):

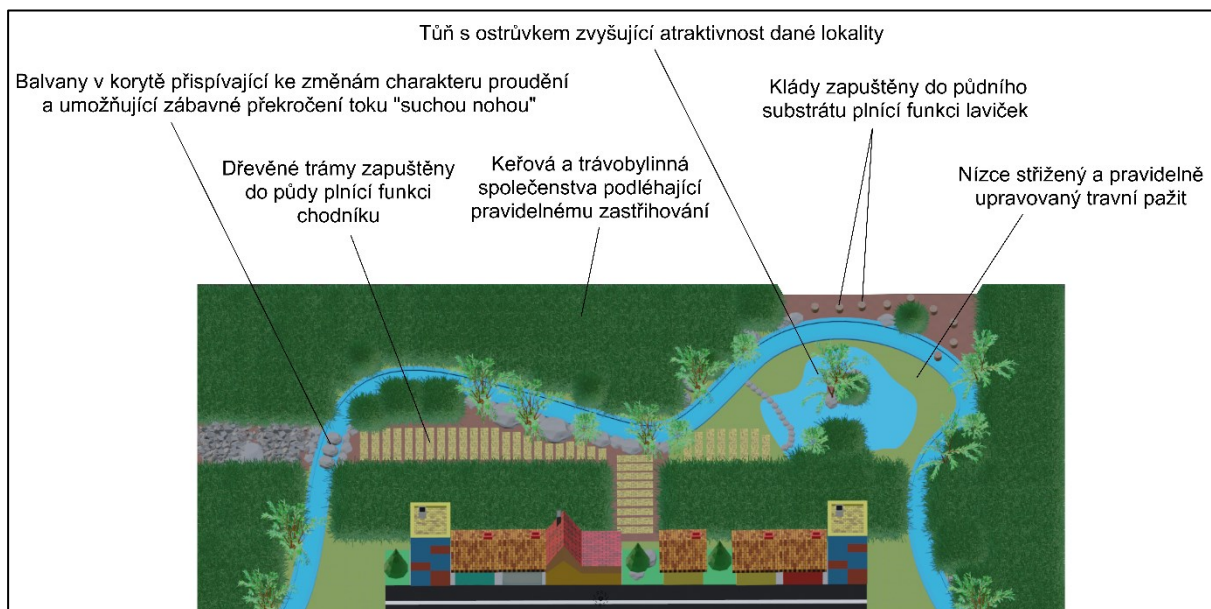
$$b = 1,15 \cdot h_v; S = 1,73 \cdot h_v^2; O = 3,45 \cdot h_v; R = 0,5 \cdot h_v \quad (3.1),$$

kde b = šířka profilu ve dně (m), h_v = hloubka návrhového průtoku (m), S = průtočný profil (m^2), O = omočený obvod profilu (m), R = hydraulický poloměr (m). Z těchto řádků vyplývá forma obecné rovnice popisující kroky k pozvednutí morfologie koryta v zastavěných

oblastech: navýšení hydraulické členitosti (avšak bez sekundární incize) → povede ke zvýšení drsnostního koeficientu koryta → vyústí ve snížení rychlosti vody, která při povodňových situacích proudí korytem → nižší rychlosti rozkládají kulminaci mezi větší časovou periodu a snižují tedy požadavek maximální průtočné kapacity koryta v kritickém čase kulminace. Navýšení drsnosti koryta je možné ještě podpořit vysázením vhodných druhů rostlin do oblasti břehů, neboť jak uvádí Chow (1959), vegetace má podstatný vliv na výslednou hodnotu drsnostního koeficientu.



Obr. 3 – Schéma bypassového koryta (perspektivní pohled). Zdroj: (grafické zpracování autora, adaptováno dle Just et al., 2005)



Obr. 4 – Detailní záběr možných řešení klidové zóny v okolí bypassového koryta, které citlivě přibližuje okolí vodního toku obyvatelům z přilehlého intravilánu (ortografický pohled). Zdroj: (grafické zpracování autora, adaptováno dle Just et al., 2005)

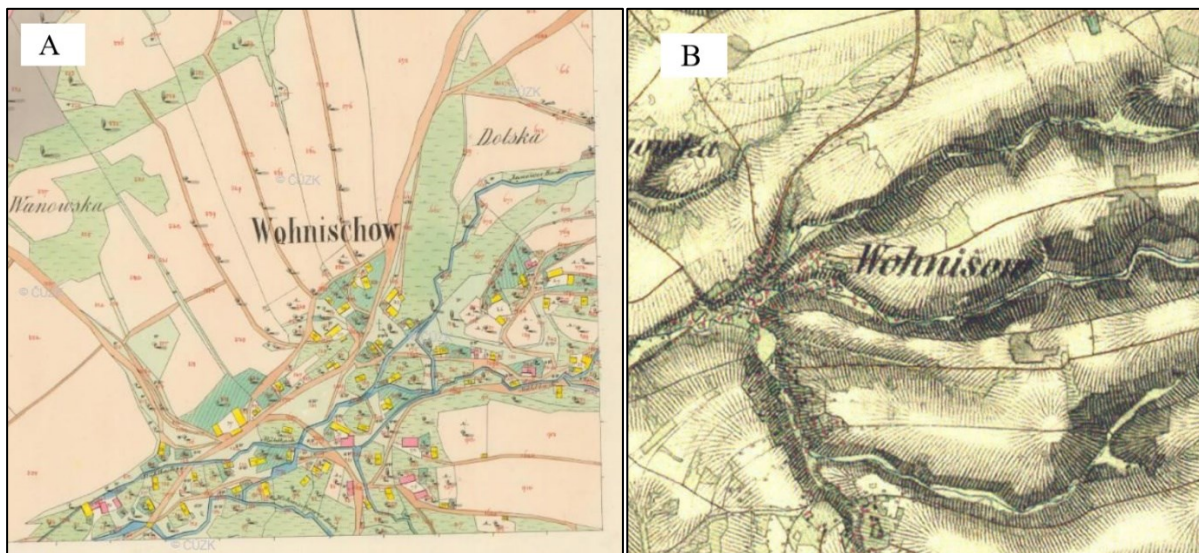
Z údajů uvedených v kapitole 2 je zřejmé, že vodní toky v intravilánech jsou zatěžkány větší mírou znečištění než úseky v otevřené krajině. Revitalizace by tedy měla pamatovat i na podporu samočisticích procesů, ať už fyzikálně-chemických či hydrobiologických, které přispívají ke zlepšení kvality vody. Poslední, řekněme zásadou, je pokusit se revitalizovanou lokalitu v rámci možností co nejvíce přiblížit a nabídnout k rekreaci tamním obyvatelům. Tento krok může pozitivně pozvednout kvalitu lidského života v okolí revitalizovaného toku, ekonomicky zhodnotit přilehlé nemovitosti, a v rámci větších světových metropolí i podpořit plavby výletních lodí či míru turismu v oblasti (Nakamura *et al.*, 2006, p. 428). Příkladem z našich končin může být revitalizační úprava Litovicko-Šáreckého potoka v Praze (Obr. 5).



Obr. 5 – Ukázka relativně zdařilé intravilánové revitalizace Litovicko-Šáreckého potoka. Na snímcích je zachycena lokalita Zlatnice v Šáreckém údolí. Nová meandrující kyneta, prvky přibližující vodní prostředí tamním obyvatelům a četné tůně sloužící jako útočiště především pro obojživelníky – to jsou jen některé aspekty celé revitalizace. Je však třeba dodat, že projektanti disponovali potřebným prostorem v inundačním území. Revitalizace lokality Zlatnice proběhla mezi lety 2012-2013 (Pražská příroda). Zdroj: (archiv autora, 22.03.2021)

3.2 Zásady revitalizace v extravilánu

Hlavní snahou revitalizací v otevřené krajině by mělo být navrácení aktuální podoby koryta do jeho historické, antropogenně nedotčené verze. K tomu je třeba řádně prostudovat vhodné historické mapové podklady a odhalit tak původní průběh trasy. Ihned zde však nastává problém. Co lze považovat za vhodný historický podklad? Langhammer (2014, p. 22) ve své metodice hydromorfologického monitoringu (HEM) vyzdvihuje a doporučuje mapové podklady II. vojenského mapování, a to především proto, že popisují krajinu před hlavním nástupem industriální revoluce a éry napřimování toků. I když jsou tyto podklady volně dostupné (historický podklad serveru Mapy.cz) anebo jako WMS vrstva pro prohlížení v geografických informačních systémech (dále GIS), jejich kvalita nemusí být vždy dostatečná. Občas rozeznat na mapě průběh trasy vodního toku je velmi složité, téměř až nemožné. Toto se sice zpravidla týká pouze drobných vodních toků, ale i tak to může v některých situacích představovat překážku. Cestu z tohoto problému by mohly nabízet mapové poklady ještě staršího data – císařské otisky stabilního katastru. Tyto podklady jsou dostupné po jednotlivých mapových listech jako archiválie Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (dále ČÚZK) a schéma historických tras vodních toků je zde velmi dobře čitelné, a to především díky detailnějšímu měřítku (Obr. 6).



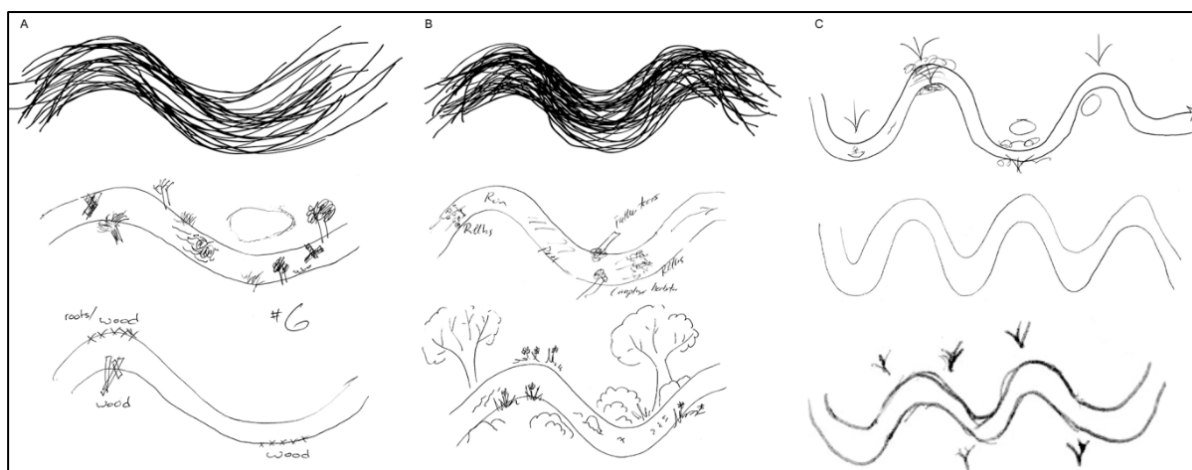
Obr. 6 – Porovnání historických mapových podkladů II. vojenského mapování (B) a císařských otisků stabilního katastru (A) z hlediska vykreslení průběhu vodních toků. Na snímku je zachycen průběh Janovského a Ohnišovského potoka v intravilánu obce Ohnišov a jeho blízkého okolí. Vodní tok je bezpochyby rozeznatelný na obou mapových podkladech, avšak v císařských otiscích je značně jednodušší detailně tento rozklíčovat. Zdroj: (Archiválie ČÚZK, Mapy.cz, cit. 27.02.2021, upraveno)

Po prostudování vhodného historického mapového podkladu a předběžnému stanovení trasy toku, lze přejít k detailnějším aspektům celé revitalizace. Mezi ty primární lze bezpochyby řadit stanovení návrhového průtoku. V otevřené krajině (extravilánu) by měly být revitalizaci podporovány přirozené hydrologické funkce toku. Mezi tyto se řadí pravidelná vybřežení a krátkodobá zatopení inundačního území, která vykazují řadu známých benefitů. Klíčovým faktorem je tedy modelace příčného profilu koryta tak, aby jeho průtočná kapacita za běžných průtoků tyto záplavy umožňovala. Pro tyto potřeby se volí návrhový průtok, který odborná literatura nejčastěji udává hodnotou Q_{30d} či intervalem mezi $Q_{30d} - Q_1$ (Mareš, 1997, p. 15, Just *et al.*, 2020, p. 96). Vyšší hodnoty návrhových průtoků připadají dle autora v úvahu pouze tehdy, sousedí-li vodní tok se zemědělskou půdou mimořádné bonity.

Velmi důležité je v extravilánech pečlivá práce s hydrologickými daty, především s hodnotami průtoků a vodních stavů. Jako ideální postup se jeví využití kontinuálních měření limnigrafy. V případě, že se poblíž lokality žádný nevyskytuje, lze data získat hydrometrováním či „flow-trackerem“ a za vyšších stavů empirickým výpočtem či ADCP sonarem. V hydrologických datových řadách je poté věnována zvýšená pozornost především dlouhodobému průměru – Q_a , u vodních stavů poté nejčastěji se vyskytující hodnotě – modus. Úpravy koryta, ať už hydraulické či obecně tvarové, by měly být cíleny na oblasti omočeného obvodu koryta, tedy na oblasti, jimiž fyzicky protéká většinu hydrologického roku voda. Právě hydraulická či tvarová členitost kynety je pro celkový morfologický a ekologický stav nejkritičtější a nejpodstatnější. O tom, že technické opevnění dna zde nemá své místo není třeba hovořit. Ojedinelé výjimky mohou představovat mosty či viadukty, jejichž pilíře jsou umístěny v korytě. V těchto případech je technická stabilizace potřebná. Zřejmě posledním prvkem vstupujícím do rovnice pozvedající morfologické aspekty koryt v otevřené krajině je jejich podélná migrační prostupnost. Většina revitalizačních akcí v extravilánech se týká spíše dolních úseků toků s menšími hodnotami převýšení a sklony reliéfu, kde má trasa koryta přirozenou tendenci vytvářet zákruty, případně meandry. Aplikace jezů, stupňů či jiných bariér je zde velmi nevhodná. Tyto mají místo zpravidla v horních či středních úsecích toků s příkřejšími sklony, kde zmírňují dopady dnové eroze. Jediným efektem těchto prvků v korytě ve spodních úsecích je výrazné prodražení celé revitalizace a odříznutí nížinatých úseků od úseků horních, zpravidla proudivých. I když se tyto myšlenky zdají být logické, v praxi tomu tak vždy není. Příkladem mohou být některé úseky Bouřlivce (Jonáš, 2020). Množství migračních bariér různých typů na evropských tocích se snaží kvantifikovat Belletti *et al.*, (2020). Autoři této studie odhadují v České republice více než 20 000 těchto migračních bariér

s hustotou výskytu 0,78 bariéry/km vodního toku, což je v kontextu ostatních zkoumaných států bohužel relativně vysoká hodnota (viz Belletti *et al.*, 2020, p. 438).

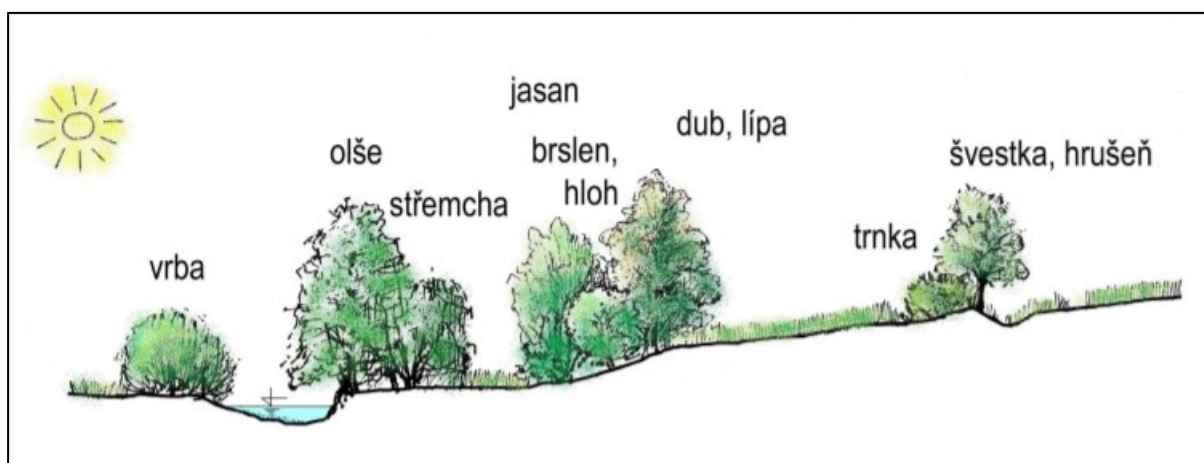
Za zcela ideálních podmínek, především z hlediska prostupnosti inundačního území, by měla být snaha kynetu co nejvíce rozmeandrovat, podpořit tím retenci vody v krajině a samočisticí procesy v tocích. V souvislosti s návrhem této meandrující kynety vydávají doporučení Just *et al.*, (2020, p. 96): 1) šíře meandrového pásu by měla 10-14x převyšovat šíři koryta, 2) poloměr meandrových oblouků by měl 2-3x převyšovat šíři koryta, 3) vzdálenost mezi vrcholem oblouku meandru a následným brodem by měla 5-7x převyšovat šíři koryta, 4) poměr šířky a hloubky kapacitně naplněného koryta by měl být u potoků 4 – 6 : 1 a u říček (tedy větších vodních toků) 10 : 1. Jaký je ale ideální tvar meandru? Tvar či šíře meandrového pásu musí být volena s ohledem na okolní prostředí. Avšak za zcela ideálních podmínek tato limitace odpadá. Wilson *et al.*, (2020) vypracovali metodiku, která spočívala v tom, že na vědecké konferenci („*Society of Freshwater Science annual meeting*“) roku 2017 požádali přisedící vědce, aby jim nakreslili možná revitalizační řešení pro napřímený úsek toku. Celkem obdrželi 308 nákresů, které následně analyzovali. Předlohu ideálního meandru poskytl autorům tvar „linie krásy“, prezentované Hogarthem (Hogarth, 1753, in Wilson *et al.*, 2020, p. 350). Průměrná sinuosita ideálního meandru byla stanovena, ve vzájemných souvislostech s linií krásy, na 1,2 a nákrese byla zachycena 128 respondenty (Wilson *et al.*, 2020, p. 351, Obr. 7).



Obr. 7 – Možné nákrese ideálního meandru variující dle počtu oblouků. Zdroj: (Wilson *et al.*, 2020, p. 352)

Morfologické zásady úprav koryt v extravilánech byly alespoň okrajově nastíněny. Nicméně nebyl zatím probírán aspekt doprovodné zeleně. Vegetační doprovod vodních toků zastává opravdu nepřeberné množství většinou pozitivních, ale někdy také negativních funkcí. Vhodné druhy a doporučené způsoby založení probírá Šimíček (1999).

Je třeba ctít zásady výsadby různých druhů dle rozdílných břehových částí, a to především z hlediska tolerantnosti vůči zaplavení. Mezi nejpodivnější praktiky, se kterými se autor setkal je výsadba ovocných dřevin velmi blízko břehové hrany. Tyto druhy mají bezpochyby své místo v revitalizačních opatřeních, ale doporučuje se je umísťovat jako složky doprovodných porostů navazující na revitalizaci (Just *et al.*, 2005). Zcela jistě je není vhodné umísťovat blízko hranice pravidelné zátopy. Sem naopak spadají druhy vodě rezistentní či druhy preferující zamokřené půdy. Velmi pěkné schéma v souvislosti s rozmístěním možných druhů dřevin v závislosti na vzdálenosti od koryta prezentují Just (*et al.*, 2005, Obr. 8).



Obr. 8 – Rozmístění stanovišť vhodných druhů dřevin v závislosti na vzdálenosti od koryta a přísunu slunečních paprsků. Zdroj: (Just *et al.*, 2005)

Nelze přehlížet ani význam vegetace v břehové čáře a efekt mrtvého dřeva v korytě. Výčet funkcí, které vegetace (dřeviny) v břehové čáře plní jsou následující (dle Just, 2013 in Baroš (ed.), 2013): 1) kořenové pletence těchto dřevin se podílejí na tvarové členitosti vodního toku a poskytují ceněná stanoviště a úkryty pro tavní živočichy, 2) tyto dřeviny podporují dynamickou stabilitu koryta, přispívají ke stabilizaci průběhu břehové linie a podporují dílčí stranový vývoj koryta, 3) zejména v nezastavěných úsecích niv příznivě ovlivňují povodňové proudění a chod splávi, podporují proces transformace povodňové vlny do okolní krajiny a zachytávají množství splávi, které by mohlo přispět k ucpání nekapacitních staveb níže po toku a tyto poškodit, 4) tyto dřeviny jsou zdrojem ekologicky významné dřevní hmoty. Benefity, které plní tyto dřeviny v břehové čáře jsou v řadě ohledů nenahraditelné, a tak je velká škoda, pokud jsou tyto, například z důvodu snazšího přístupu rybářů k toku, pokáceny.

Závěrem by autor rád zmínil vhodnost začlenění takových druhů rostlin, které jsou pro danou lokalitu typické. Nejlepší inspiraci zde poskytuje sama příroda. Pouhým krátkým terénním průzkumem zájmové lokality lze v závislosti na druhové struktuře okolní vegetace

odhadnout například: 1) nejpravděpodobnější náletové druhy, 2) vhodné rozmístění druhů v závislosti na vzdálenosti od koryta, 3) podíl nativních a invazních druhů na lokalitě a mnoho dalšího. Projekt ozelenění by měl být vždy navrhován s myšlenkou citlivého začlenění revitalizovaného úseku do okolní krajiny.

3.3 Revitalizace vodních ekosystémů v kontextu hydroekologie a hydromorfologie

Při každé technické úpravě vodních toků dochází k opětovnému narušení biologické rovnováhy habitatu, a to buď přechodně či dokonce trvale. Je tedy zásadní, aby byly v maximální možné míře zohledňovány podmínky pro vývoj rostlinných i živočišných společenstev (Mareš, 1997, p. 8). Revitalizační projekt, a to i v případě stísněných podmínek v zastavěných oblastech, by se vždy měl snažit pojmout úpravu habitatu co nejkompexněji. V komplexním revitalizačním přístupu musí být brán zřetel i na hyporheickou zónu, která představuje velmi důležitou složku korytního systému (viz Hester, Gooseff, 2010, Lawrence *et al.*, 2013, Gordon *et al.*, 2013). Výše uvedené literární prameny poskytují výčet hlavních benefitů zdravě fungující hyporheické zóny na vodní habitaty. Velmi klíčovým aspektem všech revitalizačních projektů musí být také jejich následné zhodnocení. Zhodnocení by mělo probíhat v dostatečném časovém odstupu, aby měl vegetační doprovod či vegetační opevnění břehů dostatečný prostor k vývoji a koryto dostatek času, aby se hydrologicky přizpůsobilo provedeným úpravám. Problém nedostatečné evaluace provedených prací se týká i států vodohospodářsky velmi vyspělých. Pander, Geist (2013) zmiňují, že mezi lety 1994-2011 utratily vodohospodářské instituce v Bavorsku více než 300 milionů euro za implementaci revitalizačních projektů, nicméně až u 86 % z nich nejsou k dispozici žádné údaje, které by hodnotily úspěšnost provedených prací (Pander, Geist, 2013, p. 109-110). Začátkem 90. let bylo ve Velké Británii provedeno více než 100 revitalizačních úprav vodních toků, ale následnou evaluaci jich prošlo pouze 5 (Holmes, 1991 in Kondolf, Micheli, 1995, p. 1).

V České republice byly ještě před pár lety revitalizace značně nestálé. Komplexně velmi kvalitně řešené projekty se střídaly s nepovedenými, které přispívaly k prohloubení ekologické i morfologické degradace. S tímto tvrzením souhlasí kupříkladu Skácel (2000), který doslova uvádí: „*Úpravy toků byly prováděny především z hlediska snadné technické proveditelnosti a splnění techniky požadovaných parametrů koryta, bez ohledu na důsledky pro krajinu. Úpravy spojené s napřímením koryta a jeho nepřirozeným opevněním postihly také malé vodní toky a meliorační příkopy. Problémy, které se z tohoto důvodu začaly objevovat v režimu průtoků, vyvolaly nutnost dalších investic podobného charakteru i v níže položených úsecích toků.*“ (Skácel, 2000, p. 275). V dnešní době se v České republice stále více zohledňuje ekologický

aspekt revitalizací. V tomto ohledu je vhodné se inspirovat okolními evropskými státy, a to především při inkorporaci hydroekologických, respektive hydromorfologických zásad do tamních revitalizačních projektů. Pečlivým studiem těchto prací, případně i fyzickým navštívením lokality, pak v ideálním případě vzniká databáze vhodných revitalizačních opatření, která se následně vytřídí dle specifického použití na zájmové lokalitě.

Mezi hlavní revitalizační aktivity, které pozvedají hydroekologický statut revitalizovaného úseku lze řadit vybrané hydrobiologické ukazatele, které vhodně kvantifikují pestrost zoocenózy. Mezi tyto ukazatele lze řadit: 1) diverzitu ichtyofauny, 2) abundanci makrozoobentosu, 3) diverzitu ostatních bezobratlých. Tyto ukazatele jsou bohužel v mnoha ohledech ignorovány a často také ovlivňovány nedotaženými revitalizačními úpravami. Mezi typický případ lze řadit diverzifikaci (redynamizaci) proudění (Obr. 9). Diverzifikace proudění je v antropogenně minoritně ovlivněných tocích přirozeným jevem, který vede k častému střídání charakteru proudění. Pestrý charakter proudění má v tocích celou řadu benefitů: 1) vytváří množství ekologicky cenných habitatů, 2) podporuje procesy samočištění či 3) obecně podporuje přirozené fluviální procesy v tocích. Při takovémto výčtu benefitů není ničím překvapivým, že se projektanti snaží při revitalizačních projektech vytvářet úseky s umělou diverzifikací proudění (např. aplikace solitérních balvanů, kamenné skluzy, prahy, výhony či stupně). Jejich zařazení do koryta však musí být prováděno s velkým rozmyslem. V závislosti na velikosti ryb, teplotě vody a jejich pohlaví jsou pro některé druhy ryb problematické již překážky o výšce 5 cm (viz Tab. 1 dle TNV 75 2321, 2011). Je tedy třeba míru objektů, které jsou vnášeny do koryta za účelem diverzifikace, přizpůsobit tamní rybí obsádce, a to nejen z hlediska druhového zastoupení, ale také z hlediska dlouhodobě pozorovaných velikostí lovených ryb. Příliš vysoký stupeň pak sice přispívá k diverzifikaci proudění, ale zároveň neumožňuje migraci živočichů proti proudu, silně prodražuje celou revitalizaci a v celkovém výsledku jej lze poté hodnotit negativně. Obecně poté platí, že v příkřejších proudivých úsecích lze instalovat stupně o něco vyšší, naproti tomu v nížinatých úsecích s minimálními sklony by mělo být, pokud to podmínky na lokalitě dovolují, od stavby těchto staveb zcela upuštěno, a to především díky druhům zastoupených ryb v těchto úsecích, které nejsou schopny vyvinout takové rychlosti, jako ryby obývající dravější úseky. Ostatně zajímavé porovnání rychlostí několika desítek rybích druhů předkládají Katopodis, Gervais (2016, p. 524-528), viz Tab. 2. Hodnoty z Tab. 2 slouží jako zajímavá porovnání k uváděným hodnotám v Tab. 1.

Tab. 1 – Hodnoty migračních schopností vybraných druhů ryb. Zdroj: (TNV 75 2321, 2011 p. 20, graficky upraveno)

Druh	Délka těla ryby (cm)	Skoková rychlost plavání ($m.s^{-1}$)	Maximální rychlost plavání ($m.s^{-1}$)	Výška skoku (m)
Pstruh obecný	5	0,92	/	0,28
	15	1,65	/	0,40
	30	3,10	0,75	0,80
Střevle potoční	7	1,10	0,55	0,30
Vranka obecná	8	0,60 – 1,00	neplave	0,05
Vranka pruhoploutvá	8	0,60 – 1,00	neplave	0,05
Jelec tloušť	30	1,50 – 2,70	0,80	0,50
Ostroretka stěhovavá	30	1,60 – 3,10	0,85	0,35
Parma obecná	35	1,80 – 2,70	0,90	0,40
Cejn velký	25	0,60 – 0,95	0,50	0,25
Mník jednovousý	50	1,30	0,80	0,40
Mihule potoční	18	0,50 – 0,80	0,50	0,10

Tab. 2 – Průměrné a maximální rychlosti vybraných druhů ryb. Zdroj: (Katopodis, Gervais, 2016, p. 524-528, graficky upraveno)

Druh	Průměrná délka těla ryb (cm)	Průměrná rychlost ($m.s^{-1}$)	Maximální rychlost ($m.s^{-1}$)
Úhoř říční	26	0,759	1,284
Parma obecná	12,3	1,387	2,635
Karas obecný	10,1	0,798	1,300
Kapr obecný	16,3	0,779	1,400
Štika obecná	10,8	0,221	0,435
Hrouzek obecný	11,2	0,572	0,602
Jelec tloušť	12,0	1,156	1,556
Jelec proudník	14,1	1,079	1,547
Mník jednovousý	29,6	0,753	1,910
Okoun říční	14,0	0,968	1,130
Plotice obecná	13,0	1,017	1,552
Pstruh obecný	15,3	1,085	1,788
Pstruh duhový (rainbow)	11,6	0,408	1,470
Lipan podhorní	16,6	0,946	1,907

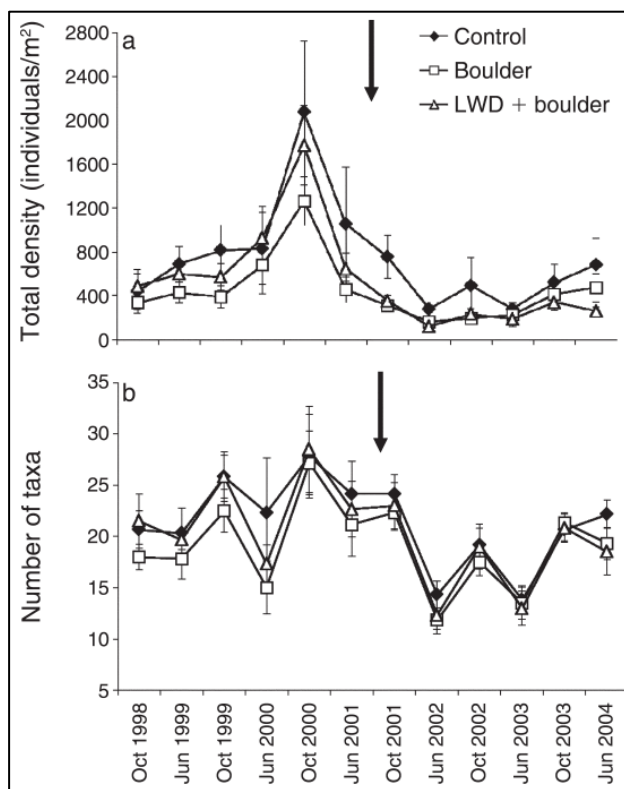
U většiny revitalizačních akcí nejsou také výše zmíněné ukazatele podrobeny následné evaluaci. Důvodů vyvstává na povrch hned několik: 1) je potřeba odebírat vzorky v pravidelných intervalech před samotnou revitalizací, aby bylo možné data po provedení všech prací s těmi referenčními porovnat, 2) odběr a zatřídění makrozoobenthosu je zpravidla prováděn v jarních a podzimních měsících a identifikovat jednotlivé druhy není jednoduché, 3) odběr vzorků po provedení prací je realizován v nedostatečném časovém odstupu, koryto se nestačilo hydrologicky přizpůsobit, vegetační doprovod není plně uchycen a stabilizován a výsledky odběrů nejsou reprezentativní, 4) odběr není prováděn dostatečně často, není možné pozorovat vývoj diverzity živočichů na lokalitě a případně určit možné zdroje kontaminace, které jejich abundanci ovlivňují.

Reakci benthosu na revitalizační akce v šumavských potocích popisují Bojková *et al.*, (2017). Z jejich výsledků vyplývá, že již pouhý rok po provedené revitalizaci byla druhová hojnost benthosu velmi dobrá, což kromě samotné úpravy bylo způsobeno napojením těchto úseků na úseky přírodní, které byly bez migračních překážek. Především driftujícím benthickým druhům se tedy podařilo nově vytvořené území rekolonizovat. Na druhou stranu v úseku výrazně chyběly druhy, které potřebují ke svému životu heterogenní kamenitý substrát (viz Bojková *et al.*, 2017). Nicméně při porovnání s výzkumy podobné tematiky v zahraničí např. (Louhi *et al.*, 2011) lze tuto benthickou odezvu hodnotit velmi kladně. Avšak tato evaluace pracuje s pouze 1 – letým pozorováním dané lokality. V této velmi krátké době po ukončení všech prací nemohlo dojít k potenciálně plné rekolonizaci a pro komplexní zhodnocení celkového dopadu revitalizace je třeba post-monitoring provádět i nadále v nadcházejících letech. V zahraničí je nicméně situace mírně odlišná, jak uvádí (Louhi *et al.*, 2011), kteří řeší efektivitu revitalizačních opatření v souvislosti s výskytem zoocenózy říčního substrátu (benthosu) ve Finsku. Hlavním důvodem jsou cíle revitalizací ve Finsku, které se zpravidla zaměřují na podporu sportovního rybolovu. Většina revitalizací je tedy koncipována ve stylu navýšení hydraulické členitosti koryta, nejčastěji aplikací velkých balvanů (Nilsson *et al.*, 2005 in Louhi *et al.*, 2011). Tyto nové habitaty slouží poté jako útočiště především pro lososovité (*Salmonidae*) druhy ryb – například pstruha obecného (*Salmo trutta*), (Louhi *et al.*, 2011). Z toho vyplývá, že primárně je modifikováno říční dno, to však s sebou nese řadu možných problémů z hlediska rozvoje benthosu. Mezi ty největší neduhy přeměny topografie dna patří odstranění životodárných mechů a nárostů, které mohou pokrývat kameny, mrtvé říční dřevo či obecně říční substrát. Tyto nárosty jsou, jak se ukazuje, velmi silně spjatý s abundancí benthosu (viz Muotka *et al.*, 2002 in Louhi *et al.*, 2011, p. 1951, 1952, Louhi *et al.*, 2011).

Právě toto může být jeden z aspektů proč, v krátkém časovém odstupu od revitalizace, dochází ke snížení nejen celkové hustoty abundance, ale také počtu taxonů benthosu, jak nastiňují Louhi *et al.*, (2011, Obr. 10). Celkově finská studie nezaznamenala, ani v průběhu téměř 20-ti let, nějaké signifikantní zlepšení na revitalizovaných úsecích z hlediska diverzity a zastoupení benthosu. Na druhou stranu, sami autoři uznávají, že možná necelé dvě dekády nemusí představovat dostatečný časový prostor pro kolonizaci (Louhi *et al.*, 2011, p. 1958). Co však, možná nepřímo ze studie vyplývá je, že pokud je brán v revitalizacích zřetel na hydrobiologickou či hydroekologickou stránku věci, poté je pozornost zpravidla upřena na diverzitu ichtyofauny. Avšak vodohospodářské zásahy nelze v tomto směru generalizovat. Co platí a prospívá pro navýšení diverzity rybí obsádky, může mít zcela opačný efekt na další zástupce aquatické fauny. Je proto třeba všechny úpravy v toku provádět za účelem vyšších cílů, kdy je zohledňováno co největší množství potenciálně proměnných, které vstupují do výsledné rovnice revitalizačního úspěchu. Zvýšená pozornost by neměla být věnována pouze korytu samotnému, ale také jeho blízkému okolí. „Právě jeho blízké okolí, v podobě říčních břehů a údolní nivy, představuje z hlediska krajinné ekologie přechodné zóny mezi aquatickými a terestrickými ekosystémy. Tyto přechodné zóny poté slouží jako přírodní koridor pro průchod organismů a plavenin do, ale i z koryta“ (dle May, 2006, p. 478).



Obr. 9 – Ukázky přirozené a umělé diverzifikace proudění. Na snímku vlevo je vyobrazena přirozená změna charakteru proudění na řece Blanici (úsek mezi Zábrdským a Podedvorským mlýnem). Na snímku vpravo poté uměle introdukovaná změna charakteru proudění pomocí kamenného (balvanitého) skluzu na řece Kocábě ve Štěchovicích. Zdroj: (archiv autora, 20.04.2021 (Kocába), 09.05.2021 (Blanice))



Obr. 10 – Negativní odezva benthosu na provedené revitalizace ve finských tocích. Šipka v grafických výstupech představuje datum provedené revitalizace (pozdní léto 2001). Jednotlivé symboly v osách linií poté představují typ toku, resp. revitalizační úpravu, kterou prošel. Jako nejhorší možné řešení se zdá modelace topografie říčního dna pomocí velkých balvanů. Jejich velká váha vyžaduje k jejich umístění těžkou techniku, která devastuje a ničí mechy a jiné důležité nárosty, které, zdá se, jsou pro opětovné usazení benthosu, klíčové.

Zdroj: (Louhi et al., 2011, p. 1954)

3.4 Zhodnocení revitalizačního efektu z pohledu hydromorfologie

Evaluace provedené revitalizace je zcela klíčová pro posouzení kvality a úspěchu provedených prací. Hodnocení musí detailně kvantifikovat stav před a po provedené revitalizace v jasně stanovených parametrech. Avšak výběr těchto parametrů nelze generalizovat a je třeba jej přizpůsobit konkrétní lokalitě a také cíli revitalizace. Například hodnotit zlepšení inundačního prostoru v některých stísněných intravilánových revitalizacích se jeví jako bezpředmětné. Z toho tedy vyplývá, že parametry podléhající hodnocení budou odlišné u akcí v extravilánu a intravilánu. Pro zhodnocení revitalizačního efektu v extravilánu lze velmi dobře využít řadu metod hydroekologického, resp. hydromorfologického monitoringu. V ČR používané metodiky HEM (Langhammer, 2014) či EcoRivHab (Matoušková, 2003; 2004; 2008) hodnotí aquatický habitat ve všech hlavních zónách. Kromě výše zmíněných metodik HEM a EcoRivHab se lze v procesu hodnocení hydromorfologie habitatu opřít i o jiné, možná méně známé metodiky, kupříkladu Lehotský, Grešková, (2007), Demek et al., (2007) a mnohé další.

Pokud je hodnocen efekt revitalizace v intravilánech, mohou být některé parametry z výše zmíněných metodik cíleně vypuštěny (viz Šolc, 2018) anebo použity zcela nové přístupy, které v posledních letech pronikly do světa hydroekologie a revitalizací. Velmi komplexní metodiku („Urban stream assessment system“) hodnotící mimo jiné také začlenění revitalizace z hlediska socio-ekonomického aspektu, představují Ranta et al., (2021). Tento holistický přístup vyčleňuje 5 hlavních hodnotících sekcí, pod které spadá 17 různých typů divizního

členění. Hlavní okruhy hodnotících sekcí cílí na kvantifikování biodiverzity, ekologických funkcí a habitatů, které jsou zcela nedílnou součástí řádných ekologických funkcí každého aquatického systému, a také celistvě pohlíží na služby, které by měl revitalizovaný systém podávat, a to jak z hlediska ekosystémové stability, tak z hlediska navýšení životní a kulturní úrovně v jeho okolí. Naopak téměř čistě hydraulicko-morfologickou metodiku hodnocení („*The urban river restoration index*“) ukazují Veról *et al.*, (2019). Tato metodika je velmi silně zaměřena na zhodnocení fluviálně morfologických parametrů v otevřených korytech, ale věnuje se také míře propustnosti půd či hospodaření s odpadními vodami v povodí. K hodnocení provedeného revitalizačního zásahu však lze využít také prvky moderní techniky – drony („*UAV*“) či foto simulace.

Zkratka „*UAV*“ slouží pro označení „*Unmanned aerial vehicle*“ (Langhammer, 2019, citace abstraktu). Využití „*UAV*“ při revitalizačních projektech se uplatní ve všech fázích revitalizace. S pomocí „*UAV*“ lze předběžně: 1) vymezit zájmový úsek revitalizace (například na základě trasy koryta a využití okolní krajiny), 2) stanovit ekologickou hodnotu krajiny v širším měřítku kolem zájmového úseku, včetně převažujících vegetačních pásem. Tento krok je následně prospěšným při vybírání vhodných druhů vegetačního doprovodu, ale také k odhadu, jaké náletové dřeviny se pravděpodobně budou účastnit procesu sukcese, 3) zhodnotit efekt revitalizace na základě porovnání předchozích a aktuálních snímků.

Využití „*UAV*“ jako pomůcky charakterizující progres a úspěch revitalizačních akcí představuje Langhammer (2019), a to na posouzení revitalizačního efektu na Hostavickém potoce. Po připojení termálních senzorů na platformu lze navíc odhalit například míru hydraulického propojení koryta s podzemní vodou (Harvey *et al.*, 2019).

Mezi další novější přístupy se řadí princip „*foto simulace*“. Zájmový úsek revitalizace je vyfocen (referenční stav) a do snímku jsou postupně přidávány revitalizační prvky, které by na zájmové lokalitě mohly být skutečně použity. Poté se vyhodnotí potenciální efekt těchto opatření z hlediska ekosystémové stability či z hlediska akceptance dané úpravy tamními obyvateli. Detailněji celý tento proces popisují (Poledníková, Galia, 2021), a to na příkladu řeky Lubiny, protínající intravilán města Příbor.

3.5 Případová studie vybraného intravilánového revitalizačního projektu

Níže uvedená studie podává náhled možných řešení revitalizací vodních toků v intravilánech. Studie byla vybrána v souvislosti s praktickou částí této práce, která řeší revitalizaci v prostorově stísněných podmínkách intravilánu obce Lahošť.

3.5.1 Řeka Somer, Velká Británie

Řeka Somer je říčkou na jihozápadě Velké Británie a u města Midsomer Norton se vlévá do řeky Wellow Brook. Jako zájmová oblast revitalizace byla zvolena trasa koryta procházející jednou z hlavních tříd města Midsomer Norton, a to o délce 167 m (River Restoration Centre, 2011). Stav koryta před úpravou (Obr. 11) je vcelku typickým pohledem na mnoho vodních toků protínajících hustou zástavbu. Koryto disponuje průměrnou hloubkou 0,5 m a průměrnou šířkou 4,5 m, boční pohyb koryta je omezen betonovými stěnami, které podpírají přilehlé komunikace a zároveň slouží jako protipovodňová ochrana. Trasa koryta v kynetě je silně napřímena s nízkou mírou hydraulické a tvarové členitosti. Podélná prostupnost je omezena několika jezy a v korytě je minimum vhodných živočišných habitatů. Zřejmě nejzásadnějším problémem je zde však silné zanášení jemným fluviálním materiálem. Revitalizace je zde tedy na místě a mezi hlavní cíle tohoto revitalizačního projektu se řadí: 1) zvýšení morfologické pestrosti koryta, 2) zachování a tam, kde je to možné obnovení živočišných habitatů, 3) odstranění jezů a dalších zastaralých vodohospodářských prvků, 4) zachování a tam, kde je to možné zlepšení ekologické kvality živočišných habitatů, které se týkají především břehů a příbřežní zóny, 5) zvýšení protipovodňové ochrany morfologickou úpravou koryta.

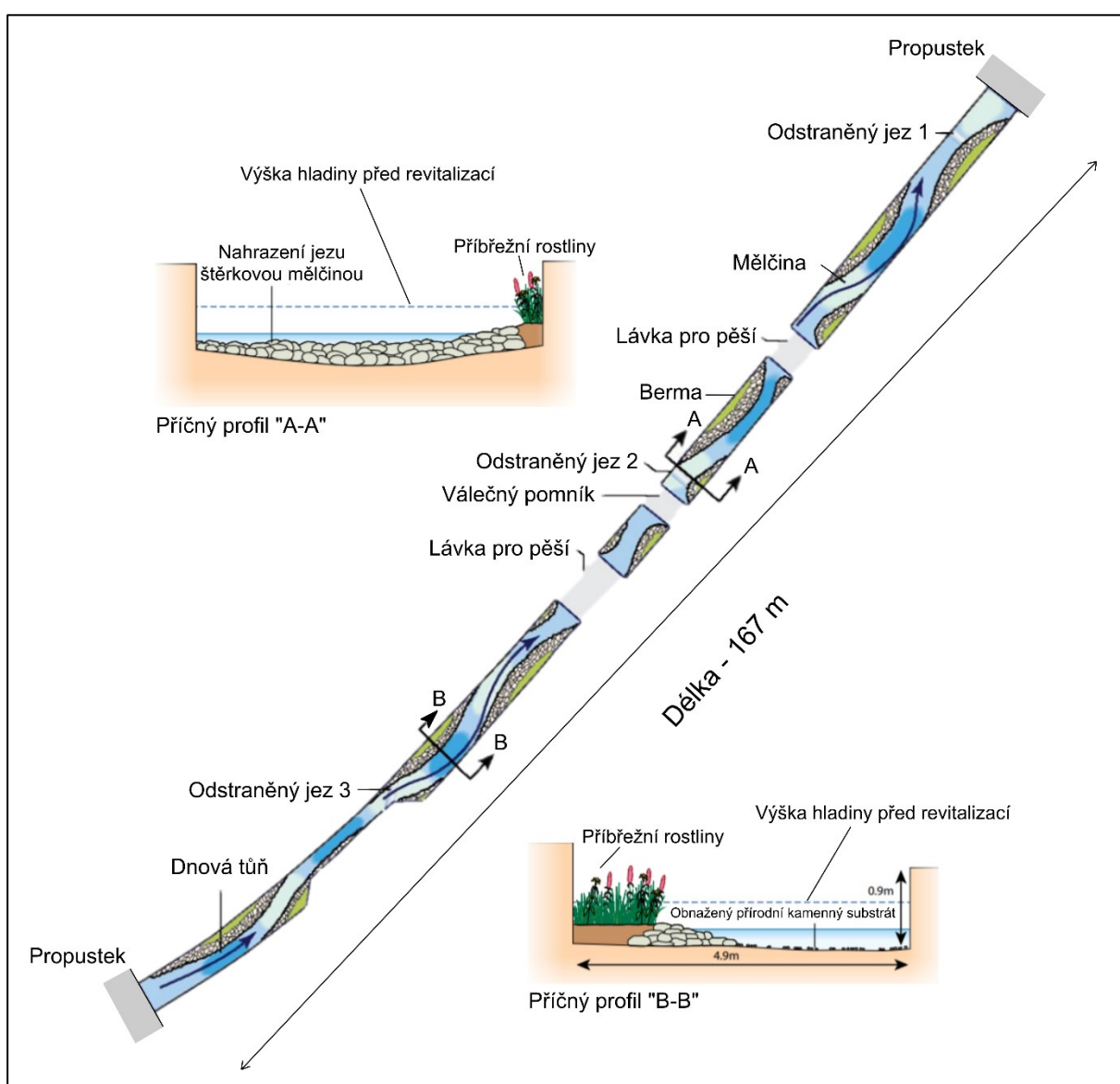


Obr. 11 - Ukázky stavu koryta řeky Somer před revitalizací. Zdroj: (Woodland Water & Gardens and D. Longley, 2011 in RRC Case study 3.10)

Zásadním prvkem této revitalizace bylo vytvoření zákrutové kynety aplikací berem. Primární kostra byla modelována z pískovcových bloků z nedalekého lomu, které byly ručně vkládány do koryta. Pískovcové bloky variovaly v různých velikostech, s největšími kusy o velikosti 0,40 x 0,30 x 0,15 m. Pro podkladový zásyp byl použit sediment z koryta, který byl vytěžen. Bermy byly pokryty vybranými druhy příbřežních rostlin, jednalo se například o Rozrazil potoční (*Veronica beccabunga*), Pomněnku bahenní (*Myosotis scorpioides*) anebo Mátu vodní (*Mentha aquatic*). Druh příbřežních rostlin byl stanoven na základě několika podstatných kritérií: 1)

jelikož se jedná o revitalizaci v hustě zastavěné oblasti, rostliny musí v květu dostatečně plnit estetickou funkci, 2) zvolené druhy rostlin by měly zasahovat do nově modelovaného koryta, ale zároveň při povodňových situacích musí být dostatečně ohebné, aby nekladly přílišný odpor proudící vodě přetékající přes bermy a nesnižovaly tak průtočnou kapacitu koryta.

Aplikace berem výrazně pozvedla ekologické a morfologické funkce koryta. Souběžně byly také odstraněny migrační překážky v podobě jezů, avšak jejich krajní části byly zakomponovány přímo do bermy. Projektanti také mysleli na zvýšení hydraulické členitosti a heterogenity topografie dna. V revitalizovaném úseku se střídají kombinace dnových tůň a mělčin. Mělčiny byly vytvořeny ze šterku o velikosti frakcí 40–60 mm. Ukázky nákrešů příčných profilů a designu celé úpravy nabízí obrázek 12 (Obr. 12).



Obr. 12 – Návrh designového řešení revitalizace řeky Somer a vybraných příčných profilů.
Zdroj: (RRC Case study 3.10, 2011, upraveno)

Projektanti se vypořádali s nulovým prostorem po obou stranách koryta prakticky jedinou možnou cestou – úpravou dna. Kladně lze hodnotit především používání místních a přírodních materiálů, obzvláště pak praktické začlenění vybagrovaného sedimentu, jehož případná sanace by byla velmi nákladná. Zákrutová trasa, a především rostlinami pokryté bermy, vytváří příjemný estetický dojem. Co je však u projektů v intravilánech klíčové, byla získána podpora ze stran tamních občanů, kteří se dokonce sami zapojili do procesu výsadby rostlin. Výsledný počin tak lze hodnotit pozitivně, což potvrzují i evaluace revitalizačních prací, které proběhly v červnu roku 2012, tedy rok po dokončení. Z těchto vyplývá, že koryto z hydrologického hlediska dobře přijalo zavedené úpravy, rostlinstvo se usadilo na povrchu berem, a především došlo ke zlepšení jakosti vody a míry biodiverzity.

Nicméně i v tomto projektu se dají nalézt některé aspekty, které mohly být řešeny lépe: 1) použité přírodní materiály k modelaci berem byly světlé a než dojde k jejich pokrytí biofilmem, mohou působit v korytě jako nežádoucí prvek. Jako lepší varianta se jeví kamenivo z navazujících úseků koryt anebo kamenivo z přilehlé řeky Wellow Brook. Na druhou stranu tyto zásahy by mohly vést k negativnímu ovlivnění ekosystémů v těchto úsecích, 2) do projektu mohlo být začleněno více prvků, které přibližují vodní tok obyvatelům, ovšem na druhou stranu prostorová limitace zde byla velkou překážkou. Celková částka za revitalizaci – v přepočtu cca 1 200 000 Kč se na první pohled může jevit jako vysoká, ale v kontextu českých projektů takto rozhodně nepůsobí. Pro porovnání může sloužit revitalizace Bouřlivce (ř. km 6,328 – 5,788), která atakovala hranici 21 mil. Kč. Výslednou podobu úpravy odhaluje obrázek 13 (Obr. 13).



Obr. 13 – Porovnání referenčního a výsledného stavu revitalizačního projektu v intravilánu města Midsommer Norton. Zdroj: (Woodland Water & Gardens and D. Longley, 2011 in RRC Case study 3.10)

4. Hydrotechnické výpočty v rámci říčních revitalizací

4.1 Drsnost koryta

Drsnost koryta vyjadřuje míru odporu materiálu vůči proudění vody. Obecně lze popsat drsnost kynety, bermy, břehových částí i inundačního prostoru. Mezi drsností a rychlostí proudění vody platí nepřímá úměra – tedy čím nižší drsnost, tím větší rychlost proudění, a tedy i průtok. Drsnost lze vyjádřit několika parametry. Tím zřejmě nejznámějším je Manningův drsnostní součinitel (koeficient) - n [-]. Jiné vyjádření drsnosti je pomocí Chézyho rychlostního součinitele (koeficientu) - C [$m^{0.5} \cdot s^{-1}$]. Vzájemný přepočtení je vyjádřeno následujícím vztahem:

$$n = \frac{1}{C} \quad (4.1).$$

Další možností, jak vyjádřit míru odporu proudění je poměrem střední průřezové rychlosti a třecí rychlosti (viz Výbora, 1989, p. 60 in Raplík *et al.*, 1989):

$$\frac{v}{v_*} = \frac{C}{g^{1/2}} \quad (4.2),$$

kde v = střední průřezová rychlost, v_* = třecí rychlost. Tento vztah lze přepsat do tvaru dle Rov. 4.2. Z tohoto je pak již snadno určena drsnost. Samotný výpočet drsnosti je stále velmi problematickým, a to i přes velké množství vzorců, které byly na toto téma publikovány. Drsnost totiž velmi výrazně ovlivňuje průtok, a i mírná změna drsnosti ($0 \pm 0,001$) představuje změnu průtoku o cca 3-3,5 % (Jonáš, nepublikováno). Při revitalizačních studiích a projektech by tedy stanovení drsnosti měla být věnována značná pozornost.

4.1.1 Historický přehled

Empirické vzorce nejčastěji stanovují výpočet parametru C , který zohledňuje vliv povrchu a odporu koryta na výslednou rychlost proudění. Mezi první vzorce publikované na toto téma spadá vzorec Ganguillet-Kuttera. Vzorec byl publikován roku 1869 a byl odvozen na základě množství experimentálních dat a jednalo se o první vzorec, ve kterém byl použit součinitel drsnosti (Mattas, 2014, p. 23). Vzorec detailněji popisuje následující literatura (Agroskin *et al.*, 1955, p. 151).

Mezi další, spíše archaické přístupy, lze řadit vzorec Bazina. Do Bazinova vzorce vstupuje tzv. Bazinův součinitel drsnosti, a právě tento proměnný parametr je jedním z hlavních důvodů, proč se pro hydraulické výpočty rychlostí v otevřených korytech příliš nevyužívá. Bazinovy hodnoty drsnosti pro jednotlivé materiály se totiž výrazně odlišují od dnes běžně používaných hodnot Manninga (Mattas, 1998, p. 37). Bazinův vzorec je detailněji probírán

následující literaturou: (Agroskin *et al.*, 1955, p. 151-152, Dub, 1957, p. 199, Mattas, 1998, p. 37-38).

Poněkud specifický je vzorec Agroskina (Agroskin *et al.*, 1955), jelikož do finální podoby výpočtu vstupuje tzv: *součinitel hladkosti* (k), který byl tímto ruským vědcem stanoven na základě vzájemného vztahu s drsnostním součinitelem (n), a to, jak jej udává Pavlovský (viz Agroskin *et al.*, 1955). Agroskinův vzorec vychází z teoretických předpokladů kvadratického zákona odporu a experimentálních dat popisující různé drsnosti u různých materiálů (Agroskin *et al.*, 1955, p. 154-155). Výsledná podoba vzorce kvantifikuje Chézyho rychlostní součinitel dle rovnice (4.3), (dle Agroskin *et al.*, 1955, p. 155):

$$C = 17,72 (k + \log R) \quad (4.3),$$

kde (k) je součinitel hladkosti viz (Agroskin *et al.*, 1955). Vzájemný přepočtení mezi součiniteli hladkosti (k) a drsnosti (n) je poté dán následujícím vztahem (4.4), (dle Agroskin *et al.*, 1955, p. 155):

$$k = \frac{1}{17,72n} = \frac{0,05643}{n} \quad (4.4).$$

Velmi hojně využívaná rovnice, především v sovětských státech, to je přístup Pavlovského. Pavlovského vzorec vyčnívá nad ostatními značně variabilní hodnotou mocnitele, která může být závislá buď na hodnotě hydraulického poloměru (Agroskin *et al.*, 1955) anebo na drsnosti povrchu koryta (Brachtel, Taus, 1962, Libý, 1977 in Mattas, 2014, p. 25). Meze platnosti Pavlovského vzorce jsou ohraničeny hodnotami drsností dle Pavlovského (viz Agroskin *et al.*, 1955) a rozpětím hydraulického poloměru 0,1 – 3 m. Nicméně Mattas (2014) zmiňuje, že v obecné rovině panuje přesvědčení, že jej lze dobře uplatnit i mimo tyto nastavené limity. Samotná podoba vzorce je velmi podobná Forchheimerovu či Manningovu přístupu a udává se ve tvaru:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (4.5),$$

kde y = proměnný mocnitel, který je bez zjednodušení vyjádřen ve tvaru:

$$y = 2,5n - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10) \quad (4.6).$$

Vzorec pro výpočet parametru y lze následně zjednodušit třemi základními přístupy:

1) dle hodnot hydraulického poloměru (dle Agroskin *et al.*, 1955)

$$R < 1 \text{ m}; y \approx 1,5\sqrt{n}; R > 1 \text{ m}; y \approx 1,3\sqrt{n} \quad (4.7),$$

2) dle hodnot drsnostního součinitele (dle Brachtl, Taus, 1962 in Mattas, 2014, p. 25)

$$0,010 \leq n < 0,015; y \approx \frac{1}{6}; 0,015 \leq n < 0,025; y \approx \frac{1}{5}; n \geq 0,025; y \approx \frac{1}{4} \quad (4.8),$$

3) dle hodnot drsnostního součinitele (dle Libý, 1977, in Mattas, 2014, p. 25)

$$y = 1,6\sqrt{n}; n \geq 0,025 \quad (4.9).$$

Rychlostní rovnici pro výpočet střední průřezové rychlosti lze poté vyjádřit následujícím vztahem (dle Jůva *et al.*, 1984, p. 124):

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{2}+y} I^{1/2} \quad (4.10).$$

Zřejmě nejznámější a nejpoužívanější ze všech představovaných vzorců, který je v různých směrech a modifikacích diskutován v celé řadě odborné literatury je vzorec Manninga (viz Chow, 1959, Henderson, 1966, Sturm, 2001, Chaudhry, 2008) a mnohé další. Manningův vztah je zapsán ve tvaru:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (4.11).$$

Rychlostní vzorec pro výpočet střední průřezové rychlosti lze poté vypočítat pomocí rovnice (5.11) anebo následujícím vztahem (dle Jůva *et al.*, 1984, p. 124):

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (4.12).$$

4.1.2 Mikrodrsnost a makrodrsnost

Drsnost, vyjádřena jedním číslem, se ve skutečnosti sestává ze dvou složek: mikrodrsnosti a makrodrsnosti (přechodový stav = mesodrsnost), (Smelík, 2015, p. 16). Mikrodrsnost převažuje u koryt s málo pohyblivým dnem, mírným sklonem, většími hloubkami a spíše jemnozrnným sedimentem (Smelík, 2015, p. 16). Naopak makrodrsnost se spíše očekává u více skloněných, proudivých toků s převahou hrubozrnných sedimentů (Klouček, 2008 in Smelík, 2015, p. 16). Výbora (1989, p. 51 in Raplík *et al.*, 1989) popisuje makrodrsnost jako dnové zvrásnění koryta. Z toho vyplývá, že by tedy měla popisovat topografické nerovnosti dna a vycházet spíše z osy c než z osy b splavenin. Výbora (1989, p. 57 in Raplík *et al.*, 1989), na výpočtech Gončarova zmiňuje, že makrodrsnost (n_d) zvrásněného dna může být i trojnásobně větší než stupeň drsnosti rovného dna (Rov. 4.13), a to především u jemnozrnných sedimentů.

$$\frac{n_d}{n} = 3,02 \quad (4.13).$$

Většina vzorců popisující zvrásnění dna většinou nerozlišuje formu dnového útvaru. Ať už se jedná o vztahy Gončarova či Einsteina (viz Výbora 1989, p. 61 in Raplík *et al.*, 1989). Toto mění práce Simonse a Richardsona, kteří uvádějí vztah výpočtu drsnosti zvrásněného dna pro různé formy zvrásnění, které jsou uvedeny v následující odborné literatuře (viz Výbora, 1989, p. 63 in Raplík *et al.*, 1989).

Kromě makrodrsnosti u jemnozrnných splavenin existují i vzorce pro její výpočet u podhorských a horských toků s hrubozrnným substrátem. Zde není zvýšená drsnost až tak primárně dána formou dnového útvaru, ale výskytem valounů či balvanů, které mohou i často zasahovat svou horní částí nad hladinu. Často ve výskytu těchto velkých zrn dochází k přepadu a tranzici do bystřinného proudění (Smelík, 2015, p. 16). Mezi hlavní rovnice, popisující tuto drsnost, se řadí vztah Libýho (Libý, 1977 in Výbora, 1989, p. 72 in Raplík *et al.*, 1989):

$$C = 17,72 \log \frac{1,85 R}{R_a} \quad (4.14),$$

kde R_a lze vyjádřit zjednodušenými empirickými vztahy (dle Maleňák a Kališ in Libý, 1977 in Výbora, 1989, p. 73 in Raplík *et al.*, 1989):

$$R_a = 0,633 d_e^{0,75} \quad (4.15)$$

$$R_a = 0,418 d_{90}^{0,75} \quad (4.16),$$

kde velikosti zrn jsou v mm.

4.1.3 Praktické stanovení drsnosti

Existuje mnoho možností, jak prakticky stanovit drsnost. Mezi ty nejjednodušší se řadí použití tabelárních hodnot a katalogů drsností. Zřejmě nepoužívanější je v tomto ohledu práce Chowa (1959). Nicméně pro přesnější výpočty, které jsou při revitalizační studii třeba, je vhodné výpočet drsnosti položit některému z logaritmických či empirických vzorců. Mezi známé vztahy se řadí vzorec Stricklera (4.17), který však ve své primární podobě nezohledňuje hydraulický rádius a reaguje tedy pouze na změny různých kvantilů zrnitosti. Vztah je zmíněn v celé řadě literatury, např. Výbora (1989, p. 51 in Raplík *et al.*, 1989)

$$n = \frac{1}{\overline{d\bar{\sigma}}} \quad (4.17),$$

kde hodnota konstanty $\Rightarrow 21,1$ (homogenní písčité dno, viz Mattas, 2014, p. 32) či $\Rightarrow 24,4$ (Chanson, 1999 in Mattas, 2014, p. 32). Velikost zrna je nejčastěji udávána jako medián. Jiný

tvar Stricklerova vztahu, již zohledňující hydraulický rádius, je k vidění kupříkladu v následující literatuře (viz Smelík, 2015, p. 98):

$$\frac{v}{v_*} = \frac{21,1}{\sqrt{g}} * \left(\frac{R}{d_{50}}\right)^{\frac{1}{6}} \quad (4.18).$$

Pro převážně šterkonosné toky s hrubozrnným substrátem se nabízí vztah Limerinose (Limerinos, 1970). Tento vzorec byl odvozen na kalifornských tocích a nehodí se při situaci, kdy je koryto protkáno jemnozrnnými splaveninami. Obecné meze platnosti Limerinosa vzorce jsou uvažovány pro substrát: 1,5-250 mm a pro n : 0,02-0,1 (viz US Army Corps of Engineers, 1994, p. 5-8 in US Army Corps of Engineers 1991). Samotný vzorec je položen následujícím vztahem:

$$\frac{n}{R^{1/6}} = \frac{0.0926}{1.16 + 2.0 \log \frac{R}{d_{84}}} \quad (4.19).$$

Nicméně výše uvedené vzorce kalkulují drsnost převážně dna, avšak je třeba zohlednit i drsnost vegetace břehů, bermy, případně také inundačního prostoru. Především ve složených profilech je tak výpočet drsnosti relativně složitý. Vzorců a postupů pro určení drsnosti bylo publikováno opravdu mnoho a v praxi vždy záleží na zkušenostech projektanta, který výpočet provádí. Možná ukázka výpočtu drsnosti ve složených profilech je detailněji rozebrána ve stati 5.8.1.

4.1.4 Speciální případy, shrnutí obecných poznatků

Z předchozích řádků vyplývá, že hodnoty součinitelů drsnosti velmi výrazně ovlivňují finální vypočtenou hodnotu průtoku v otevřených korytech. Příliš drsné koryto s mírným sklonem by mohlo v období sucha přinášet riziko nezabezpečení minimálních zůstatkových průtoků. Za minimální zůstatkový průtok je považována hodnota Q_{355} případně Q_{330} – tedy hydrologické limity sucha. Samozřejmě velmi důležité parametry vstupující do empirických vzorců jsou hydraulické parametry koryt (plocha, hydraulický poloměr, šíře ve dně či hladině, sklon svahů, omočený obvod). Tyto jsou však ve většině případů terénně zaměřeny geodetickým měřením a potenciální míra chybného stanovení je tedy mnohem nižší než u určení drsnostních součinitelů. Kromě empirických vzorců se používá ke stanovení drsnosti v otevřených korytech také logaritmických vzorců, které většinou kalkulují s vybranými kvantily zrnitostní křivky. Jedná se například o práci Limerinose (1970) či známý rychlostní vzorec Stricklera. Kromě geodetického zaměření koryta je třeba v těchto případech provést granulometrickou analýzu, která bude zřejmě nejčastěji kvantifikována proséváním přes kalibrována síta, ale dá se uplatnit i terénní metoda Wolmana (Wolman, 1954) či novější terénní přístup dle Bevenger, King

(1995) anebo metody optické granulometrie (Detert, Weitbrecht, 2012;2013). Mattas (2014, p. 32-33) zmiňuje ještě další výpočetní přístupy, které kalkulují například se sklonem čáry energie. Nicméně Chézyho rovnice střední průřezové rychlosti není univerzálně platná ve všech podmínkách. Ve skutečnosti je limitována sklonem nivelety dna ($I = \max 3 \%$). Pro případy příkřejších sklonů je používán vzorec Ehrenbergera, (dle Jůva *et al.*, 1984, p. 125), který je zapsán ve tvaru:

$$v = 55 \cdot R^{0,52} \sin \alpha^{0,40} \cdot k \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.20),$$

kde α = úhel sklonu nivelety dna koryta, k = součinitel provzdušnění o hodnotě vždy menší než 1, který je určen dle sklonu nivelety dna koryta dle vztahů:

$$\sin \alpha > 0,477; k = 28 \cdot R^{-0,05} \sin \alpha^{-0,74} \quad (4.21),$$

$$\sin \alpha < 0,477; k = 0,4 \cdot R^{-0,05} \sin \alpha^{-0,26} \quad (4.22).$$

4.2 Posouzení stability koryta

Posouzení stability koryta je bezesporu jedna z nejdůležitějších výpočetních operací, která doprovází vypracování revitalizační studie. Koryto by mělo být posuzováno nejen v oblasti dna, ale taky břehů, a to jak v přímé linii, tak v oblouku. Stabilita koryta je důležitá také z hlediska udržitelnosti a ekonomické stránky celé revitalizace a má své místo nejen v modelaci návrhu zcela nového koryta, ale také při revitalizačních pracích na korytech již existujících (Synková, 2008, p. 25). Primárním cílem vyšetření stability svahu je stanovení jeho optimálního sklonu, a to jak z hlediska bezpečnosti, tak z hlediska úspor v přesunu zeminy (Weiglová, 2007, p. 161). Základní body, ke kterým je při stabilizačních pracích vhodné přihlédnout, předkládají Jůva *et al.*, (1984, p. 129). Tyto jsou platné a zcela aktuální i v dnešní době. Zmiňují například důležitost stabilizačních postupů pro začlenění revitalizovaného úseku do okolní krajiny, a to jak z hlediska krajinářského, tak z hledisek hydrologických, které kvantifikují především splaveninový a průtokový režim anebo chemické složení vody (viz Jůva *et al.*, 1984, p. 129). Posouzení stability koryta musí být podloženo a posouzeno sérií výpočtů, vycházet zde pouze z odhadu a odborných zkušeností projektanta je silně nevhodné. Nezpůsobně opevněné koryto může podléhat zanášení anebo naopak vymílání, které za přispění proudu času negativně ovlivňuje komplexní morfologii celého koryta. Vyčleňují se tři základní metody pro posouzení stability koryta.

4.2.1 Metoda tangenciálních napětí

Tento přístup vychází ze srovnání průměrné hodnoty tečného napětí, které je vyvoláno silou proudící vody (τ) a kritické hodnoty tečného napětí (τ_{crit}), (Mlčochová, 2014, p. 39).

V následujících řádcích bude nastíněna problematika stability částice na dně. Stabilita částice na dně vychází z následujících porovnání (Synková, 2008, p. 46):

$$\tau_{crit} > \tau \text{ dno je stabilní; } \tau_{crit} < \tau \text{ dno je nestabilní} \quad (4.23).$$

Průměrnou hodnotu tangenciálního napětí působící na dno koryta lze vyjádřit obecným vztahem, (viz Synková, 2008, p. 46):

$$\tau = \rho g R_d i \quad (4.24),$$

kde ρ = hustota vody, g = gravitační zrychlení, R_d = hydraulický poloměr dna, i = sklon hladiny. Vztah (4.24) lze ještě rozepsat z hlediska spotřebování energie potřebné k překonání mikrodrsnoti, respektive makrodrsnoti koryta. Mikrodrsnotí se rozumí povrchový odpor částice dna. Makrodrsnot naopak popisuje tvarový odpor částice dna (dle Mareš, 1997, p. 89). Rovnice tangenciálního napětí spotřebovávající energii pro překonání odporové mikrodrsnoti je (dle Mareš, 1997, p. 89, Mattas, 2014, p. 78) položena následujícím vztahem:

$$\tau' = \rho g R' i_E \quad (4.25),$$

kde τ' = část celkového tečného napětí potřebného pro překonání povrchového odporu částice dna, R' = hydraulický poloměr odpovídající povrchovému odporu rovného dna, i_E = sklon čáry energie (u rovnoměrného proudění odpovídá sklonu dna). Vztah (4.26) zohledňující tvarový odpor makrodrsnoti je vyjádřen (dle Mareš, 1997, p. 89, Mattas, 2014, p. 78) vztahem:

$$\tau'' = \rho g R'' i_E \quad (4.26),$$

kde τ'' = část celkového tečného napětí potřebného pro překonání tvarového odporu částice dna, R'' = hydraulický poloměr odpovídající tvarovému odporu dnových útvarů. Z výše uvedeného vyplývá, že výsledné hodnoty průměrných tangenciálních napětí jsou spočteny jako součet povrchového odporu částice a tvarového odporu částice (Mareš, 1997, p. 89):

$$\tau = \tau' + \tau'' \quad (4.27).$$

Z hlediska praktických výpočtů je však problematičtější určení kritického tečného napětí. V souvislosti s touto problematikou zmiňuje Mareš (1997) zjednodušený vztah pro výpočet kritického tečného napětí:

$$\tau_{crit} = 760,8 d_e \quad (4.28),$$

kde d_e = kvantil efektivního zrna, který je stanoven z granulometrických metod, kupříkladu ze zrnitostní křivky. Vztah (4.28) vychází z Meyer-Peterovy rovnice, která za předpokladu rovného dna pokládá výpočet kritického tečného napětí (viz Mareš, 1997, p. 119) vztahu:

$$\tau_{crit} = A (\rho_s - \rho) g d_e \quad (4.29),$$

kde $A = 0,047$, Shieldsova hodnota určující počátek pohybu většího množství částic, $\rho_s =$ hustota splavenin odpovídající hodnotě $2650 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$. Po dosazení těchto hodnot do vztahu (4.29) je získán vztah (4.28). Podobný přístup zohledňující kvantil efektivní velikosti zrna je znám jako vzorec Kreye (Raplík, 1989 in Ďurďa, 2014, p. 25):

$$\tau_{crit} = 0,7143 \rho d_e \quad (4.30).$$

Z výše uvedených skutečností tedy vyplývá, že pro výpočet kritické hodnoty tečného napětí je zcela klíčové určit bod, kdy se částice ze své stabilní polohy na dně dávají do pohybu. Tento je možné stanovit s přispěním Shieldsova diagramu, který je však ve své primární formě omezen pouze na oblast turbulentního proudění (Mareš, 1997, p. 115).

4.2.2 Stabilita na nakloněném svahu

Vyšetření stability částice na ukloněném svahu je obzvláště důležité při navrhování typu technické stabilizace svahu, včetně mocnosti a typu zeminy. Vyšetření stability svahu lze popsat v těchto základních krocích: 1) přepočítání průměrné hodnoty tangenciálního napětí působící na rovné dno na průměrné tangenciální napětí působící na svahu, 2) výpočet čísla stability částice na rovném dně, 3) výpočet čísla stability částice na svahu, 4) vyšetření celkové stability svahu dle stupně bezpečnosti. Tyto kroky jsou patrné v práci Synkové (2008, p. 29-30) a vztahy potřebné pro výpočet stability částice na nakloněném svahu lze dohledat kupříkladu v následující literatuře: (Mareš 1997, Weiglová, 2007).

4.2.3 Metoda tečných napětí dle Zuny

Zuna (2008) vytýká obecně používaným rovnicím kvantifikujícím tečná napětí v korytě tu skutečnost, že stanovují průměrné hodnoty pro celý omočený obvod koryta. Nerozlišují tedy oblasti zvýšeného a sníženého namáhání. Zuna již v roce 1983 (Zuna 1983 in Mareš 1997, p. 133-134 and in Zuna, 2008, p. 78) doporučuje pro výpočet mezních hodnot tečných napětí v jednotlivých oblastech omočeného obvodu koryta předpokládat jejich parabolické rozdělení. Na základě této hypotézy prezentuje tři rovnice výpočtu hodnot tečného napětí v jednotlivých částech omočeného obvodu koryta (dle Zuna, 2008, p. 79):

$$T_Z = \frac{T * (b + 2t)}{1.13b + 1.33t} \quad (4.31),$$

$$T_X = T_Z * \sqrt{\frac{T - t}{T}} \quad (4.32),$$

$$T_{max} = 1.2T_Z \quad (4.33),$$

kde T_Z = tečné napětí v patě svahu [Pa], T_x = tečné napětí v bodě x ve svahu [Pa], T_{max} = tečné napětí v ose dna [Pa], b = šířka dna koryta [m], T = délka omočeného svahu [m], t = vzdálenost bodu x od paty svahu [m]. V rámci příloh své práce poté Zuna (2008) prezentuje pomocné tabulky s typickými hodnotami tečných napětí (v Pa) pro jednotlivé typy opevnění koryta. Namátkou lze uvést například: kosený travní porost (80-90 Pa), oživený kamenný zához (100-140 Pa) či dlažbu z lomového kamene na sucho – 250 mm (120-140 Pa), (Zuna, 2008, p. 163).

4.2.4 Metoda nezanášecích a nevymlácích rychlostí

Tato metodika posouzení stability koryta vychází ze vzájemného porovnání střední průřezové (profilové) rychlosti s rychlostmi nezanášecími (v_n) a nevymlácími (v_v), (Synková, 2009, p. 106, Ďurďa, 2014, p. 26). Z důvodu výše zmíněného porovnání je také nazývaná metodou střední průřezové rychlosti, přičemž pro stabilní stav platí: $v_n < v < v_v$, kde v_n = nezanášecí rychlost, v_v = nevymlácí rychlost, v = střední průřezová rychlost. Při instabilitě (labilitě) platí pro výše uvedené nerovnosti: $v > v_v$. Vzájemný přepočítání rychlosti na nezanášecí je položen následujícím vztahem (Synková, 2009):

$$v_n = 0,7 * v_v \quad (4.34).$$

Existuje celá řada vzorců pro výpočet nevymlácích, resp. nezanášecích rychlostí. Jejich použití se zpravidla řídí velikostí d_e , celkovým charakterem říčního substrátu (velká variace velikostí zrn či stejnozrný materiál), charakterem proudění či geometrií profilu. Pro jemnozrnější dnové substráty se používají zpravidla vzorce Mavise, Šamova či Gončarova. Některé tyto rovnice, včetně vhodnosti jejich použití, popisuje následující literatura: (Výbora, 1989 in Raplík *et al.*, 1989).

Výše uvedené vztahy jsou vhodnější ke stanovení nevymlácích rychlostí u toků s převažujícím písčítým dnem, avšak příliš se nehodí pro šterkonosná koryta. V rámci české praxe patří mezi zřejmě nejpoužívanější rovnice stanovení nevymlácí rychlosti Meyer-Peter a Müllerova rovnice (dále jako „MP rovnice“), jejíž meze platnosti jsou obecně udávány v rozmezí d_e 4-30 mm, avšak Zelíková (2012) udává, že se v praxi běžně používá i pro hrubozrnější materiály. Zároveň však upozorňuje na sníženou míru spolehlivosti výsledků při takovémto použití. Základní rovnice je položena následujícím vztahem (Šlezinger, 2006 in Zelíková, 2012, p. 27):

$$v_v = C \sqrt{0,047 \gamma' d_e} \quad (4.35),$$

kde C = Chézyho rychlostní součinitel, konstanta 0,047 představuje již uvedený Shieldsův parametr a γ' = hustota částice na dně, která je vyjádřena tímto známým vztahem:

$$\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_v}{\gamma_v} \quad (4.36),$$

kde γ_s = hustota splavenin a γ_v = hustota vody. Kromě základního zápisu MP rovnice (rov. 4.35) se lze setkat ještě s jejími modifikacemi, které jsou představeny kupříkladu následující literaturou: (Výbora, 1989 in Raplík *et al.*, 1989 a Patočka, Macura, 1989 in Zelíková, 2012, p. 27).

Mezi další rovnice, stanovující nevymílací rychlosti u toků s hrubozrnějším materiálem dna, se řadí vztahy Leviho. Lze se opět setkat s několika modifikacemi, které detailněji představuje celá řada technické vodohospodářské literatury, autor je zde tedy nebude uvádět. Ačkoliv jsou vztahy Leviho v praxi používané, Výbora (1989 in Raplík *et al.*, 1989) na porovnání Šamova a dalších autorů upozorňuje, že v porovnání s jinými vztahy mohou mít v některých případech tendenci nadhodnocovat výsledné rychlosti. Tímto se tedy dostáváme k poslednímu používanému vztahu, a tím je rovnice C. T. Neilla (Výbora, 1989 in Raplík *et al.*, 1989), jež byla použita k posouzení stability koryta Bouřlivce v této práci a detailněji je rozepsána ve statí 5.9.

5. Aplikované metody a zdroje dat

5.1 Analýza odtokových poměrů

Podnikem Povodí Ohře, s.p. byla poskytnuta datová řada průtoků z LG Lahošť, a to v rozmezí 19.11.2002 – 07.02.2022. Časová řada nebyla ekvidistantní, především v prvotních letech dochází k relativně častým výpadkům v měření (např. léto 2003). Tyto chybějící hodnoty nebyly zpětně dopočítávány. Kromě čistě datové řady průtoků, byla také kolegy z Povodí Ohře, s.p. poskytnuta datová řada průměrných denních teplot a srážek pro nejbližší klimatickou stanici – Všechlapy. Datová řada srážek byla k dispozici od dubna 2005 do října 2020 a datová řada teplot do února 2022.

Datová řada průtoků byla podrobena standardnímu vyhodnocení pomocí nástrojů hydrologické a obecné statistiky. Byly vykresleny grafy vývoje denních, měsíčních i ročních středních hodnot, včetně mediánů a modusů pro každý rok. Poté byly pro každý rok stanoveny hodnoty M-denních průtoků (Q_{30} - Q_{355}). Okometricky zřetelný poklesový trend ve vodnosti byl potvrzen standardním Mann-Kendallovým testem (Mann 1945, Kendall, 1975), který prokázal statisticky signifikantní pokles (výstup není součástí práce). Periodicita dat byla stanovena základní spektrální analýzou, a to pomocí jednoduchého periodogramu.

Kromě výše zmíněných úkonů byla zkonstruována průtoková křivka dosažení či překročení a určen průtok odpovídající 1. kvartilu (hranice ekosystémového průtočného deficitu) a průtok odpovídající 3. kvartilu (hranice ekosystémového průtočného nadbytku), (viz Gao *et al.*, 2012 in Sharma *et al.*, 2019, p. 3116-3117).

Závěrem byly spočteny N-leté průtoky, vycházející z průtokových poměrů na lokalitě za necelé dvě předchozí dekády. K výpočtu byla použita datová řada průtoků v intervalu měření po 10-ti minutách. V prvním kroku byly vybrány pro každý hydrologický rok maximální pozorované průtoky, které byly seřazeny od největšího po nejmenší. Každému průtoku bylo uděleno pořadí (1 = nejvyšší pozorovaná hodnota průtoků, 2 = druhá nejvyšší pozorovaná hodnota apod.). Následně byl výpočet N-letosti proveden dvěma odlišnými metodami. Tou zcela bazální – „RI metodou“ – tedy semilogaritmické zobrazení pravděpodobnosti opakování či dosažení jednotlivých průtoků a následně Gumbelovou metodou extrémního teoretického rozdělení (Gumbel, 1941, Gumbel, 1958 in Ponce, 2014). Výpočty byly vedeny od hydrologického roku 2003 (není zcela kompletní, začíná 19.11.) po rok 2021. Prvním krokem výpočtu N-letosti pomocí RI metody bylo spočtení pravděpodobnosti dosažení či překročení jednotlivých průtoků, a to dle Rovnice 5.1. V následném kroku byly stanoveny N-leté průtoky, a to dle Rovnice 5.2.

Rovnice 5.1 – Spočtení pravděpodobnosti dosažení či překročení nejvyšších pozorovaných průtoků

$$p = m/(n + 1) \quad (5.1),$$

kde p = pravděpodobnost dosažení či překročení, m = sestupné pořadí průtoku, n = celkový počet pozorovaných průtočných hodnot.

Rovnice 5.2 – Spočtení N-letosti „RI metodou“ (Dunne, Leopold, 1978 in Edwards *et al.*, 2019)

$$T = (n + 1)/m \text{ anebo } T = 1/p \quad (5.2),$$

kde T = interval N-letosti [roky].

Při výpočtu Gumbelovou metodou je třeba opět vybrat maximální pozorované průtoky v jednotlivých hydrologických rocích, sestupně je seřadit a udělit každému průtoku pořadí. Dále je spočten průměr = \bar{x} a směrodatná odchylka souboru = σ . V dalším kroku je třeba pro počet pozorování (zde 19 hodnot = 19 let) vybrat z Gumbelových tabulek variantní snížené hodnoty průměru = y_N a směrodatné odchylky = σ_N . Z použité tabulky (Tab. 3) vyplývá, že pro $n = 19$ je $y_N = 0,5220$ a $\sigma_N = 1,0566$. V dalším kroku je dle Rovnice 5.3 nalezena snížená variantní časová hodnota = y_T pro vybraný interval N-letosti a frekvenční faktor K , který vychází z Rovnice 5.4. Z těchto hodnot poté lze Rovnicí 5.5 spočítat výsledný průtok = x (někdy také značen x_T) pro každý časový interval.

Rovnice 5.3 – Nalezení snížené variantní časové hodnoty odpovídající vybranému intervalu N-letého průtoku (viz Selaman *et al.*, 2007).

$$y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right) \quad (5.3),$$

kde T = interval N-letosti [roky].

Rovnice 5.4 – Výpočet frekvenčního faktoru (viz Kaur *et al.*, 2021)

$$K = \left(\frac{y_T - y_N}{\sigma_N}\right) \quad (5.4).$$

Rovnice 5.5 – Výpočet N-letých průtoků (viz Selaman *et al.*, 2007)

$$x = \bar{x} + \left(\frac{y - y_N}{\sigma_N}\right)\sigma \quad (5.5),$$

kde x = vypočtená hodnota N-letého průtoku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], odpovídající zvolenému intervalu N-letosti, jeho variantní snížené časové hodnotě a frekvenčním faktoru, $y = y_T$. Rovnice 5.5 lze také přepsat v následujícím tvaru (modifikace rovnice dle Chow, 1951 in Kaur *et al.*, 2021):

$$x_T = \bar{x} + K\sigma_{N-1} \quad (5.6),$$

$$\text{kde } \sigma_{N-1} = \sqrt{\sum \frac{(x-\bar{x})^2}{N-1}} \quad (5.7).$$

Tab. 3 – Gumbelovy hodnoty y_N a σ_N v závislosti na délce časové řady. Zdroj: (Gumbel, 1958 in Ponce, 2014)

n	y_n	σ_n	n	y_n	σ_n	n	y_n	σ_n
8	0.4843	0.9043	35	0.5403	1.1285	64	0.5533	1.1793
9	0.4902	0.9288	36	0.5410	1.1313	66	0.5538	1.1814
10	0.4952	0.9497	37	0.5418	1.1339	68	0.5543	1.1834
11	0.4996	0.9676	38	0.5424	1.1363	70	0.5548	1.1854
12	0.5035	0.9833	39	0.5430	1.1388	72	0.5552	1.1873
13	0.5070	0.9972	40	0.5436	1.1413	74	0.5557	1.1890
14	0.5100	1.0095	41	0.5442	1.1436	76	0.5561	1,1906
15	0.5128	1.0206	42	0.5448	1.1458	78	0.5565	1,1923
16	0.5157	1.0316	43	0.5453	1.1480	80	0.5569	1,1938
17	0.5181	1.0411	44	0.5458	1.1499	82	0.5572	1,1953
18	0.5202	1.0493	45	0.5463	1.1519	84	0.5576	1,1967
19	0.5220	1.0566	46	0.5468	1.1538	86	0.5580	1,1980
20	0.5236	1.0628	47	0.5473	1.1557	88	0.5583	1,1994
21	0.5252	1.0696	48	0.5477	1.1574	90	0.5586	1,2007
22	0.5268	1.0754	49	0.5481	1.1590	92	0.5589	1,2020
23	0.5283	1.0811	50	0.5485	1.1607	94	0.5592	1,2032
24	0.5296	1.0864	51	0.5489	1.1623	96	0.5595	1,2044
25	0.5309	1.0915	52	0.5493	1.1638	98	0.5598	1,2055
26	0.5320	1.0961	53	0.5497	1.1653	100	0.5600	1,2065
27	0.5332	1.1004	54	0.5501	1.1667	150	0.5646	1,2253
28	0.5343	1.047	55	0.5504	1.1681	200	0.5672	1,2360
29	0.5353	1.1086	56	0.5508	1.1696	250	0.5688	1,2429
30	0.5362	1.1124	57	0.5511	1.1708	300	0.5699	1,2479
31	0.5371	1.1159	58	0.5515	1.1721	400	0.5714	1,2545
32	0.5380	1.1193	59	0.5518	1.1734	500	0.5724	1,2588
33	0.5388	0.1226	60	0.5521	1.1747	750	0.5738	1,2651
34	0.5396	1.1255	62	0.5527	1.1770	1000	0.5745	1,2685

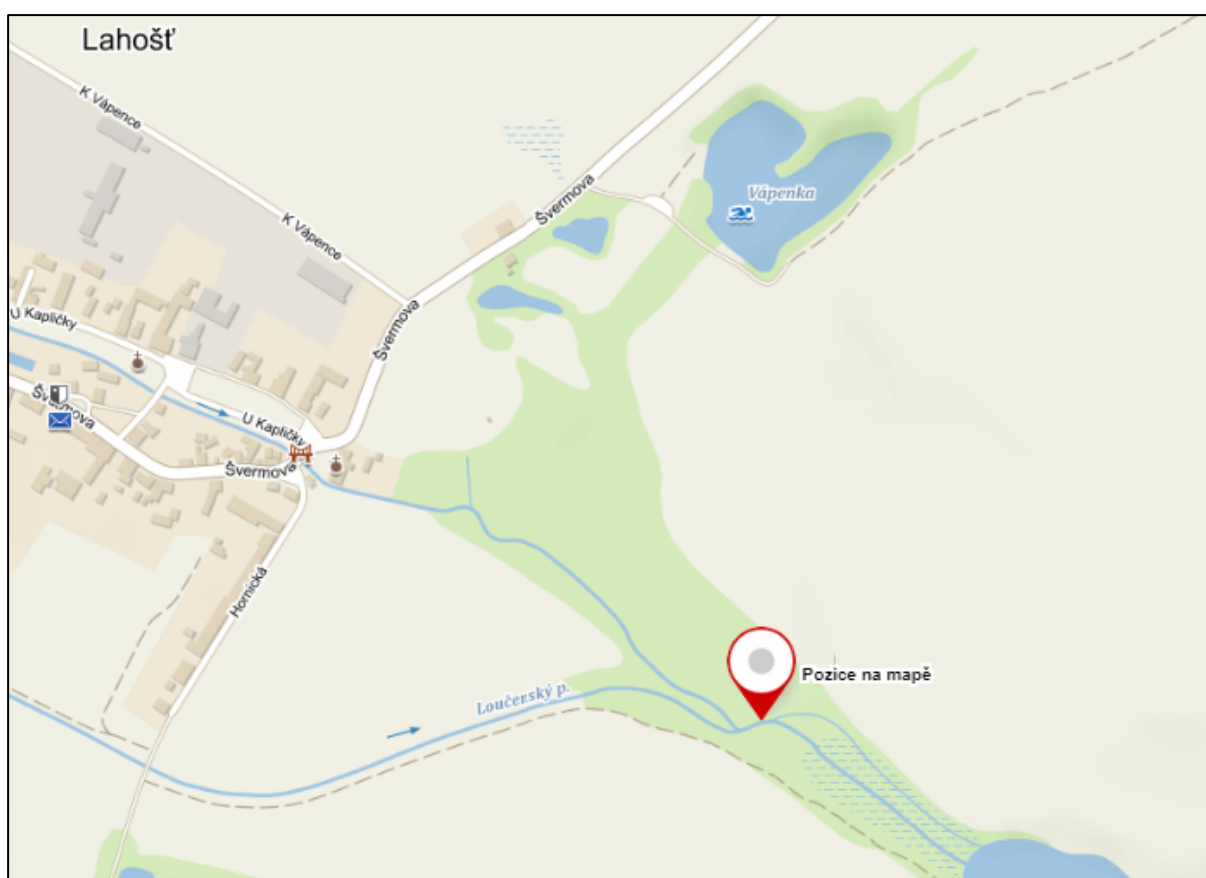
Výsledné hodnoty N-letých průtoků jsou výrazně nižší než hodnoty ČHMÚ z roku 2007, avšak nelze je navzájem porovnávat, jelikož k jejich získání nejspíše vedly odlišné výpočetní metody.

Klimatická data byla použita pro standardní vykreslení vývoje denních průměrů a konstrukci jednoduchých a podvojných součtových čar. Pro tento účel byla srážková data agregována do průměrných měsíčních hodnot, které byly následně kumulovány a kumulus vyjádřen v procentech, obdobně tak i u dat průměrných měsíčních průtoků. Jejich vzájemné promítnutí do grafu reprezentuje jednoduchá součtová čára či podvojná součtová čára, která

promítá hydroklimatická data proti sobě. Ve finálním kroku byl zkonstruován paprskový graf sezonality zobrazující minimální průměrné měsíční průtoky.

5.2 Analýza jakosti vody

Odběry za účelem posouzení jakosti Bouřlivce v zájmovém území a jeho nejbližším okolí lze rozdělit do dvou částí. V první části byla zpracována data Povodí Ohře, s.p., která monitorují celý rok 2020. Místo odběru těchto dat je vyobrazeno na Obr. 14. Celkem bylo k dispozici 12 odběrů v průběhu celého roku. Tato data byla standardně vyhodnocena a jednotlivé obecné i fyzikálně-chemické ukazatele zařazeny do tříd kvality dle ČSN 75 7221, verze z roku 2017 (Tab. 4)



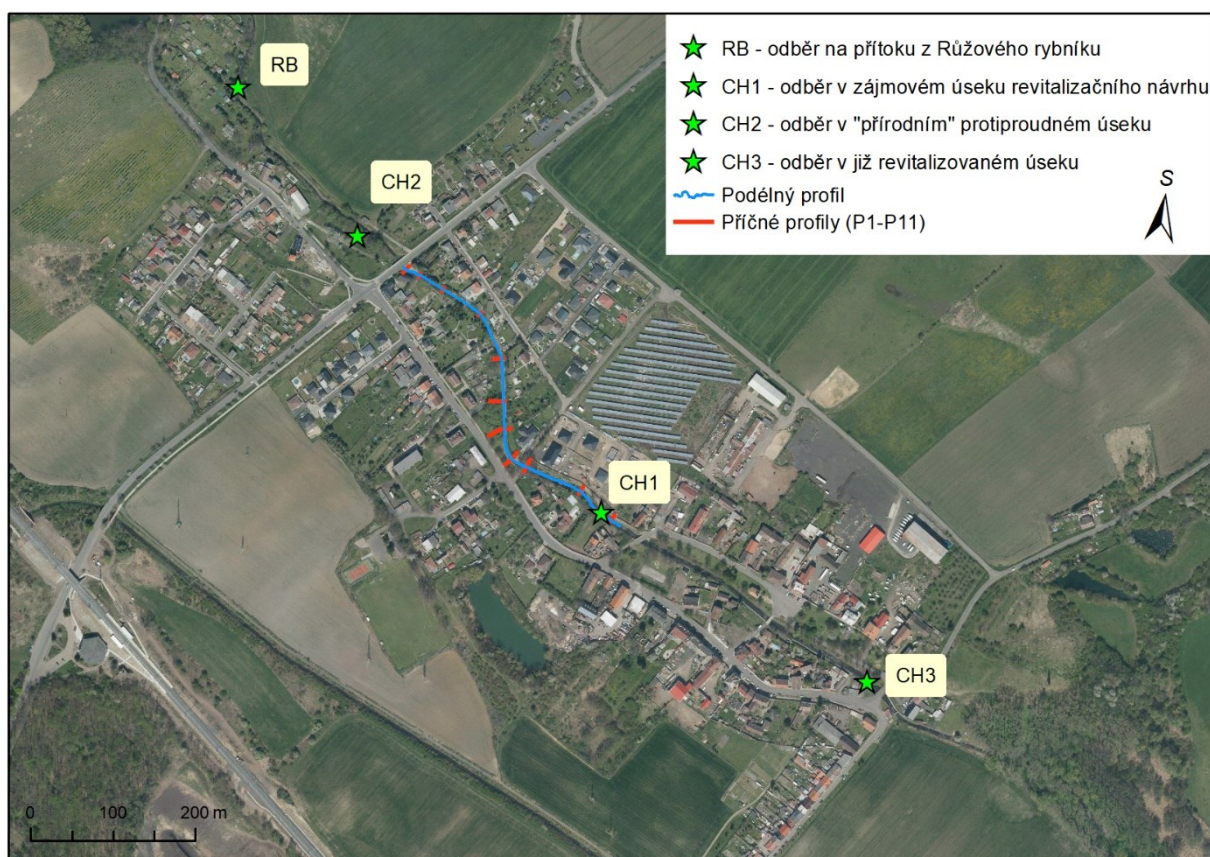
Obr. 14 – Lokalizace odběrného místa Povodí Ohře, s.p. Zdroj: (Mapy.cz – Základní mapa)

Tab. 4 – Třídy kvality vody dle ČSN 75 7221. Zdroj: (ČSN 75 7221, 2017)

Třídy jakosti	Slovní označení jednotlivých tříd
1. Třída jakosti	Neznečištěná voda
2. Třída jakosti	Mírně znečištěná voda
3. Třída jakosti	Znečištěná voda
4. Třída jakosti	Silně znečištěná voda
5. Třída jakosti	Velmi silně znečištěná voda

Součástí práce nejsou pouze vyhodnocená data získaná od podniku Povodí Ohře, s.p., ale také data z vlastních odběrů. Odběrná místa byla situována v oblasti zájmového úseku a jeho nejbližších navazujících úsecích („přírodní“ úsek proti proudu a již revitalizovaný úsek po proudu), (Obr. 15). Odběrná místa byla vybrána strategicky, a to primárně ze dvou důvodů: 1) porovnat jakost vody vtékající do oblasti intravilánu s jakostí vody z oblasti vytékající a posoudit případné zdroje znečištění, 2) zhodnotit samočisticí schopnost již revitalizovaného úseku. Samotné odběry proběhly 24.06.2021, 03.11.2021 a 04.02.2022 a byly vyhodnoceny Geochemickou laboratoří PřF UK, která kromě základních ukazatelů stanovuje také celou škálu dalších ukazatelů, především z řad kovů a metaloidů, které se dají rozčlenit na tři skupiny: 1) kovy a metaloidy ovlivňující organoleptické vlastnosti vody – zpravidla se jedná o sloučeniny železa (Fe) a manganu (Mn), 2) kovy a metaloidy silně toxické pro vodní prostředí, avšak pro člověka esenciální – například měď (Cu), 3) kovy a metaloidy silně toxické – kadmium (Cd), olovo (Pb), arsen (As) či uran (U).

Před samotnou revitalizací by bylo vhodné minimálně odebrat vzorky sedimentu z pod betonových desek a podrobit je analýze na výskyt těžkých kovů, jelikož po jejich odebrání může dojít téměř k okamžitému vyplavení jemného substrátu.



Obr. 15 – Pozice odběrných míst pro vlastní analýzu jakosti vody. Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, terénní průzkum)

Jelikož Geochemická laboratoř stanovuje nutrienty pouze jako dusičnany (NO_3^-) a nikoliv jako dusičnanový dusík (N-NO_3^-), bylo třeba všechny ukazatele týkající se sloučenin dusíku a fosforu přepočítat přes stechiometrické koeficienty. Použité koeficienty a ukázka výpočtu na příkladu sloučenin dusíku je v následující literatuře a vychází z porovnání relativní atomové hmotnosti (Ar), (Langhammer, 2009, p. 63). Rychlá ukázka pro převod fosforečnanů (PO_4) je poté v Rov. 5.8.

Rovnice 5.8 – Ukázka přepočtu PO_4 ($c = 1,28 \text{ mg/l}$) na orthofosforečnanový fosfor (P-PO_4)

Ar: P = 31, O = 16 $\Rightarrow \text{PO}_4 = 31 + 4 \cdot 16 = 95 \Rightarrow \text{P/PO}_4 = 31/95 = \mathbf{0,3263} \Rightarrow 1,28 \cdot 0,3263 = \mathbf{0,4177}$

5.3 Analýza historického průběhu trasy koryta

Součástí této dokumentace je také historický přehled vývoje trasy koryta v intravilánu obce Lahošť. Nejstarší použité mapové podklady byly Císařské otisky stabilního katastru z roku 1842. Cílem bylo, přes sérii historických ortofoto snímků, které jsou volně dostupné na stránkách Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (ČÚZK), určit změny půdorysného průběhu trasy koryta vodního toku a přibližně časový horizont prováděných úprav, které vedly k aktuálnímu stavu koryta.

5.4 Posouzení hydromorfologického stavu toku

Kompletní hydromorfologický průzkum Bouřlivce, od pramenné oblasti po jeho severní zaústění do VN Všeclapy, byl proveden v létě roku 2020 (Jonáš, 2020). Kromě Bouřlivce byl posouzen kompletní hydromorfologický stav i druhého nejvýznamnějšího toku povodí – Loučenského potoka, a to v celé jeho délce. Celkem bylo vytyčeno více než 100 úseků těchto toků, které se liší svou hydromorfologickou strukturou. Detailně je celý tento proces popsán v bakalářské práci Jonáše (2020) a shrnut je v závěrečné výzkumné zprávě (Šobr, 2021). Tato část práce se tedy bude soustředit výhradně na hydromorfologii, typy opevnění a vymapování výpustí a míst černých odběrů zájmového úseku a jeho nejbližší okolí (ř. km 7,637-5,272).

Celkový hydromorfologický stav Bouřlivce dosáhl 3. třídy kvality (z 5. ti možných) a řadí se tak mezi toky, které lze označit jako středně modifikované. Stejně třídy kvality dosáhl i již revitalizovaný úsek v obci Lahošť, avšak zájmový úsek byl hodnocen 4. třídou kvality a na celém toku patřil k nejhorším (Jonáš, 2020). Důvodů je hned několik. Vzhledem k typu skórování metodiky HEM (Langhammer, 2014), která byla pro posouzení hydromorfologie použita, všechny úseky toků protínající hustě či řídko zastavěné oblasti automaticky ztrácí skóre v několika důležitých ukazatelích, které se týkají především využití příbřežní oblasti a údolní nivy, nemluvě o často zvýšeném zahloubení (viz Langhammer, 2014). Tyto atributy

samozřejmě nemohou být revitalizací výrazně ovlivněny a je tedy nutné počítat s tím, že hydromorfologická kvalita intravilánových úseků se v drtivé většině případů nemůže blížit těm extravilánovým. Primárním důvodem žalostné hydromorfologické kvality zájmového úseku (ř. km 6,785-6,328, při mapování Jonáše (2020) – ř. km 6,785-6,325) je již zmiňované opevnění betonovými deskami, které je v rámci celého toku ojedinělé.

Kromě obvyklých hydromorfologických ukazatelů byla terénním průzkumem zanesena do mapových podkladů také poloha hlavních výpustí či odběrných míst na území zájmového úseku. Výpustě byly dále rozčleněny na aktivní (většinu roku aktivně protékané) a neaktivní (protékané jen občas). Podobným principem byly rozděleny i oblasti odběrných míst, avšak je nutné zmínit, že monitoring probíhal v říjnu roku 2021 – tedy již po konci hlavní letní sezóny, a většina v mapě zanesených „neaktivních odběrů“ přechází od jarních měsíců opět do aktivního stavu (Obr. 16). Pravidelné odběry povrchové vody jsou problematické, především na Bouřlivci, který má dlouhodobě potíže s vodností (viz kapitola 8.1).



Obr. 16 – Odběry v zájmovém úseku – umělé vytváření „tůň“ za účelem efektivnějšího čerpání. První foto vlevo ukazuje stav v letních měsících – „za plného provozu“. Druhé foto je z října roku 2021. Zdroj: (foto Miroslav Jonáš)

5.5 Geodetické zaměření koryta

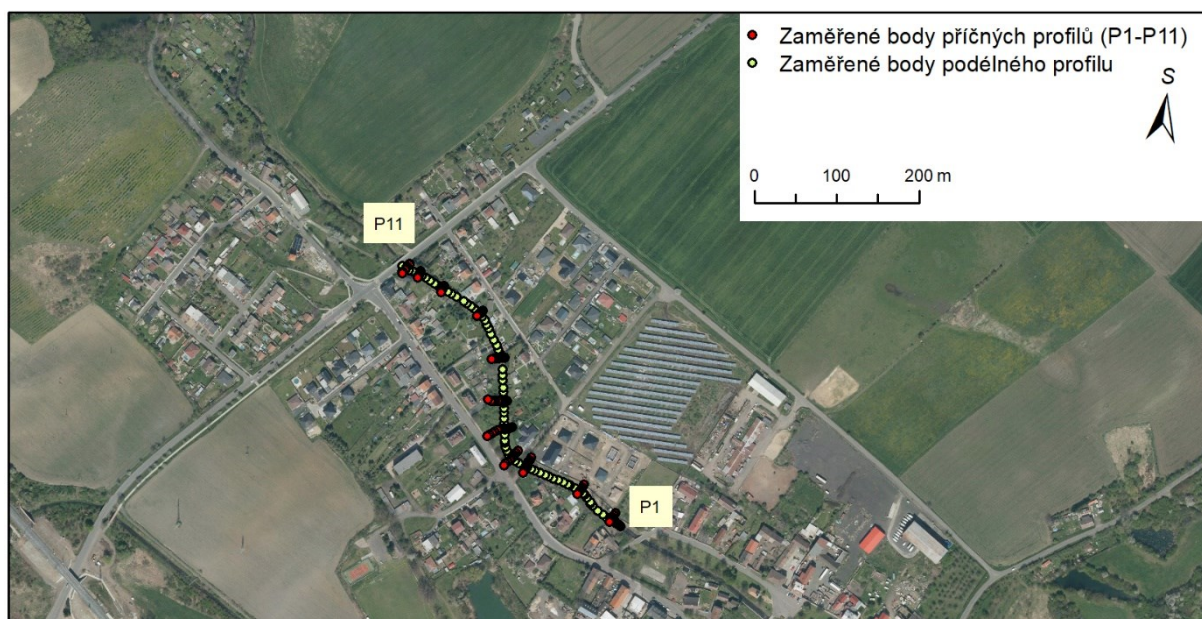
Geodetické zaměření koryta bylo provedeno dne 24.06.2021 pomocí totální geodetické stanice LEICA TS 16 R1000 (Obr. 17). Celkem bylo zaměřeno 230 bodů (Obr. 18), z toho 90 se týkalo podélného profilu, kdy průměrný rozstup mezi těmito zaměřovanými body činil 5,0438 m. Celková zaměřená délka podélného profilu – 453,94 m. Počet zaměřených bodů varioval u každého příčného profilu, zpravidla od vyšších jednotek až po první desítky u nejdelších

profilů. Zaměření profilů již bylo prováděno v souřadnicovém systému S-JTSK. Míra přesnosti zaměření je tedy vysoká.

Příčné profily byly zaměřeny až po maximální možnou hranu, kterou dovozoval prostor kolem koryta. Nelze tedy tvrdit, že byla zaměřena jejich maximální kapacita. Tu šlo spolehlivěji určit jen u profilů P4, P5, P6 a přiblížit se u profilů P3, P7 a P11. Problematické bylo zaměření profilů P1, P2, P8, P9 a P10, ať už díky variabilnímu prostoru po stranách koryta anebo díky oploceným pozemkům, které začínaly takřka na břehové hraně (Obr. 19). Při následujících výpočtech aktuální i návrhové maximální kapacity je třeba mít toto na paměti a prezentovaná čísla chápat ve výše zmíněných souvislostech.



Obr. 17 – Ukázka geodetických zaměřovacích prací. Vlevo – přesuny stativu s totální geodetickou stanicí podél celé trasy úseku. Vpravo – zaměřování bodů podélného profilu pomocí zaměřovacího krystalu. Zdroj: (foto Milada Matoušková).



Obr. 18 – Bodově zaměřený podélný profil a příčné profily v prostředí ArcMap 10.6.

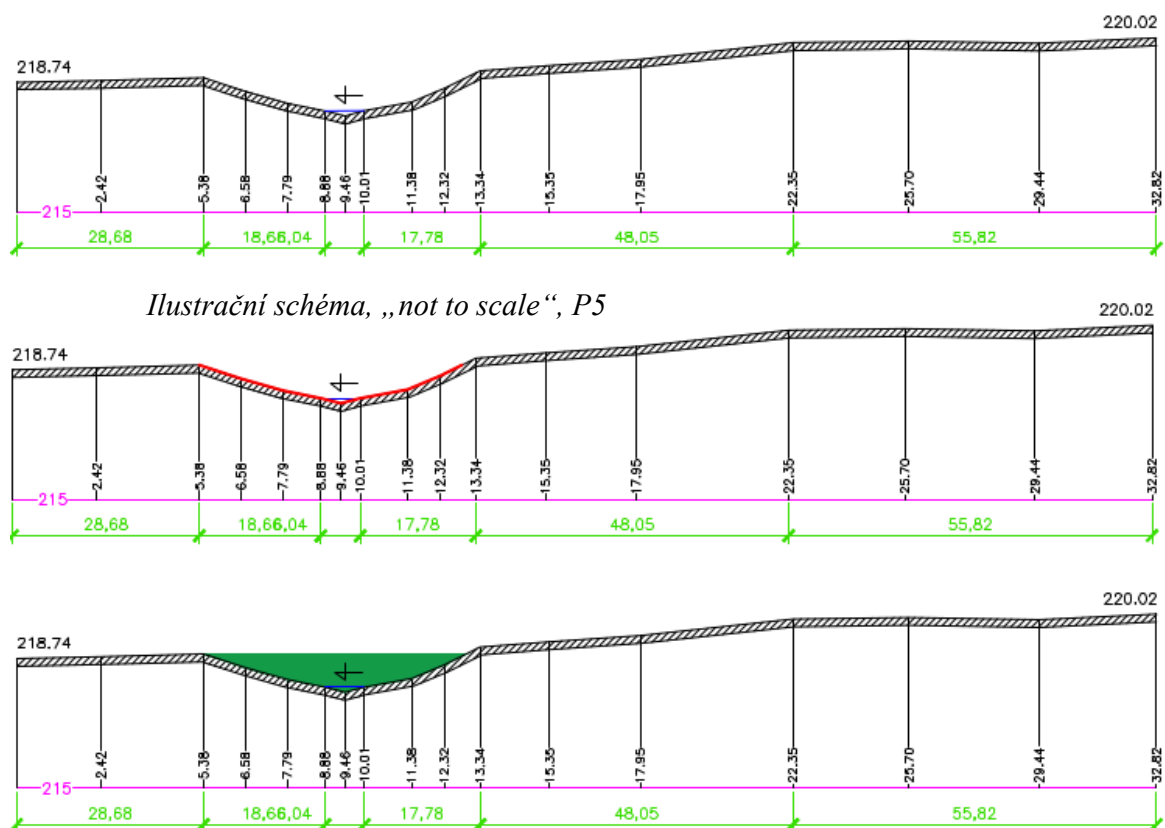
Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, terénní průzkum). Pozn.: Směr proudění: P11-P1.

Zaměřené profily byly překresleny v programu AutoCAD 2022 (Příloha 1-6), primárně ze dvou důvodů: 1) přesné určení hydraulických parametrů omočeného obvodu (O) a plochy (S) pro výpočty kapacity a stability, 2) vhodné prostředí k přesnému ilustrativnímu zákresu revitalizačního návrhu do jednotlivých příčných profilů. Ukázku odměření známých hydraulických parametrů v prostředí AutoCAD 2022 poskytuje obrázek 20 (Obr. 20).



Obr. 19 – Ukázka nemožného zaměření maximální kapacity v oblastech profilů P2 a P8.

Zdroj: (foto Milada Matoušková)



Obr. 20 – Ukázka měření omočeného obvodu (snímek uprostřed) a plochy (spodní snímek) pro výpočty maximální kapacity. Zdroj: (terénní průzkum)

5.6 Analýza majetko-právních poměrů

Následovala analýza majetko-právních poměrů. Pomocí katastrálních dat ČÚZK a dat zátopových oblastí Q₂₀ a Q₁₀₀, které byly poskytnuty podnikem Povodí Ohře, s.p., byl v prostředí ArcMap 10.6 zpracován detailní rozbor. Tento sloužil k vytyčení šířky hranice pozemků ve správě Povodí Ohře, s.p. Návrh revitalizačních prací se pak soustředí do oblasti těchto pozemků.

Každá dotčená parcela ve výše zmíněných zátopových oblastech byla zaznamenána do přehledových tabulek (Příloha 7, resp. 8). Součástí výstupů v těchto tabulkách je označení parcely, její výměra, přehled všech dohledatelných vlastníků, typ parcely (pozemková/stavební) a aktuální využití parcely, které je rozčleněno do následujících kategorií: 1) ostatní plocha – zahrnuje parcely, které jsou aktuálně využívány jako manipulační pozemková plocha, komunikační pozemková plocha, plocha fotovoltaické elektrárny v obci Lahošť (patrně na Ortofotu) či slouží k jinému, blíže nespecifikovanému účelu, 2) zahrada, 3) vodní plocha (koryto), 4) trvalý travní porost, 5) orná půda, 6) ovocný sad, 7) zastavěná plocha a nádvoří. Pokud je parcela v držení více fyzických osob, je tato skutečnost v přehledových tabulkách patrná. Tato studie nicméně počítá při návrzích příčných profilů pouze s prostorem kolem koryta, který spadá pod správu Povodí Ohře, s.p.

5.7 Zrnitostní analýza říčního substrátu

Mezi další výzkumné metody aplikované přímo v terénu patřil odběr říčního substrátu pro zrnitostní analýzu (granulometrii). Ta byla provedena odděleně pro podkladovou i krycí vrstvu, což ve výsledku rapidně zvyšuje reprezentativnost nejen celého odběru, ale především následného výpočtu.

5.7.1 Granulometrie podkladové vrstvy

Odběr byl proveden 03.11.2021. Aby nedošlo při odběru ke ztrátě jemnozrné vrstvy, je potřeba vzorek odebrat i s vodou (Obr. 21). Zároveň je cílem jednou hodnotou popsat celý odběrný transekt. Avšak, jak je známo, zrnitost říčního substrátu je odlišná u břehů a v proudnici. Za účelem získání co nejvíce reprezentativního vzorku pro daný transekt byl tento vzorkován ve třech oblastech: 1) levá příbřežní oblast (LPO), 2) proudnice, 3) pravá příbřežní oblast (PPO), (Obr. 22). Po odběru jsou všechny části v laboratoři slity a zájmový transekt je poté reprezentován jako zrnitostní průměr ze všech tří odběrných částí. Jelikož je v zájmové oblasti vlivem betonového opevnění dna koryto prakticky bez substrátu, odběr byl prováděn na dvou místech nad plánovanou revitalizací a jedním místem pod, v úseku již provedené revitalizace (Obr. 23).

Postup zpracování vzorků podkladové vrstvy byl proveden v laboratoři mechaniky zemin PŘF UK a popisuje jej „flow-chart“ na Obr. 24. Proces vyhodnocení byl zjednodušen, kdy sedimentační proces byl ukončen dříve, než došlo k sedimentaci jílových a koloidních partikul. Zanedbatelný podíl těchto částí na celkové hmotnosti odebraného vzorku dovolil takto postupovat. Zrnitostní křivky podkladových vrstev byly vykresleny pro všechna tři odběrná místa. Při tomto procesu bylo dbáno základních požadavků pro zpracování granulometrických analýz. Vertikální osa symbolizuje procentuální zachycení na sítích, které odráží horizontální osa, zobrazující velikost zrn [mm]. Horizontální osa musí být vždy zlogaritmována – grafické zpracování pak tedy nabývá semilogaritmického charakteru.

Nadále byly určeny všechny základní kvantily zrnitostní křivky, a to od d_{10} až po d_{max} . Vybraný kvantil zrnitostní křivky – např. d_{50} je popsán jedním číslem v [mm], které značí, že v rámci zrnitostní křivky existuje přesně 50 % zrn větších i menších rozměrů – tzv. „mediánový kvantil“. Obdobně kupříkladu d_{84} je velikostní hodnota zrna, které je větší než 84 % všech zrn v analýze a pouze menší než 16 % zrn. Samozřejmostí je také výpočet efektivního zrna, které bylo spočteno dle Rovnice 5.9 (Rov. 5.9). Hodnota efektivního zrna (dále jako d_e) je zcela klíčová pro následující výpočty stability (kapitola 5.9).

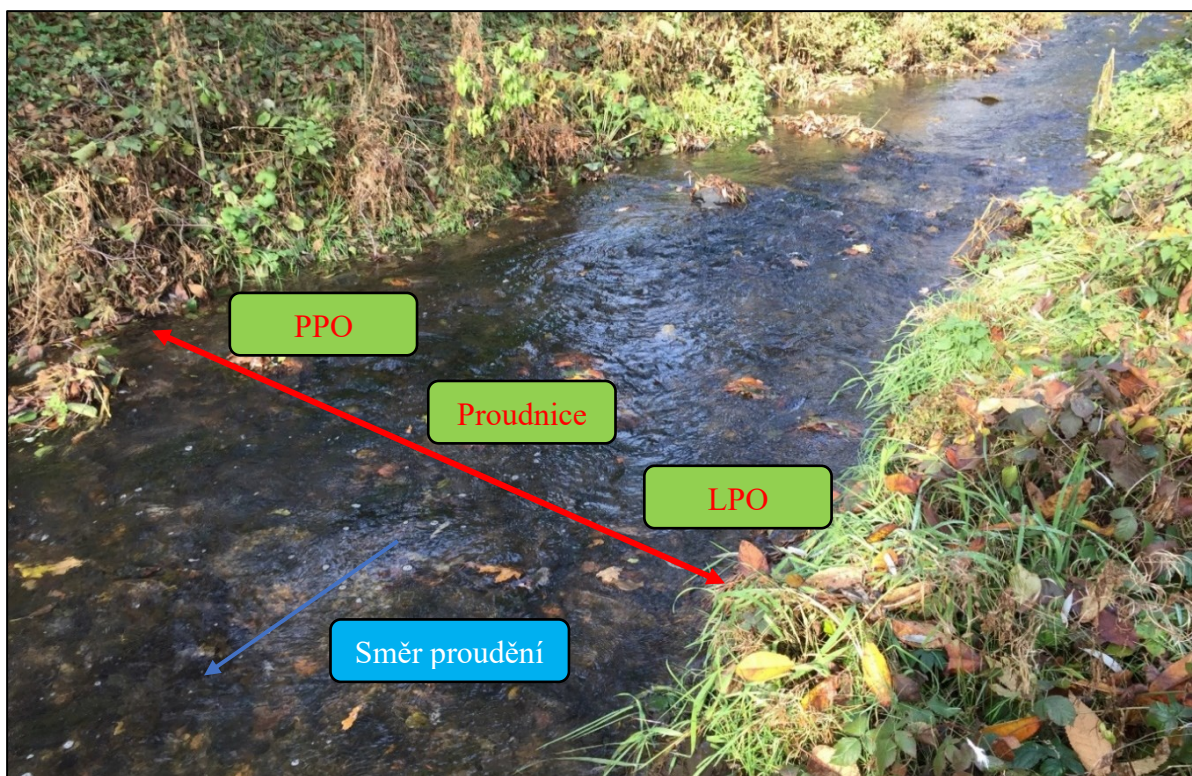


Obr. 21 – Odběr jemnozrnné podkladové vrstvy i s vodou. Zdroj: (foto Dominika Weyrová)

Rovnice 5.9 – Výpočet efektivního zrna

$$d_e = \frac{\sum d_i * p_i}{100} \quad (5.9),$$

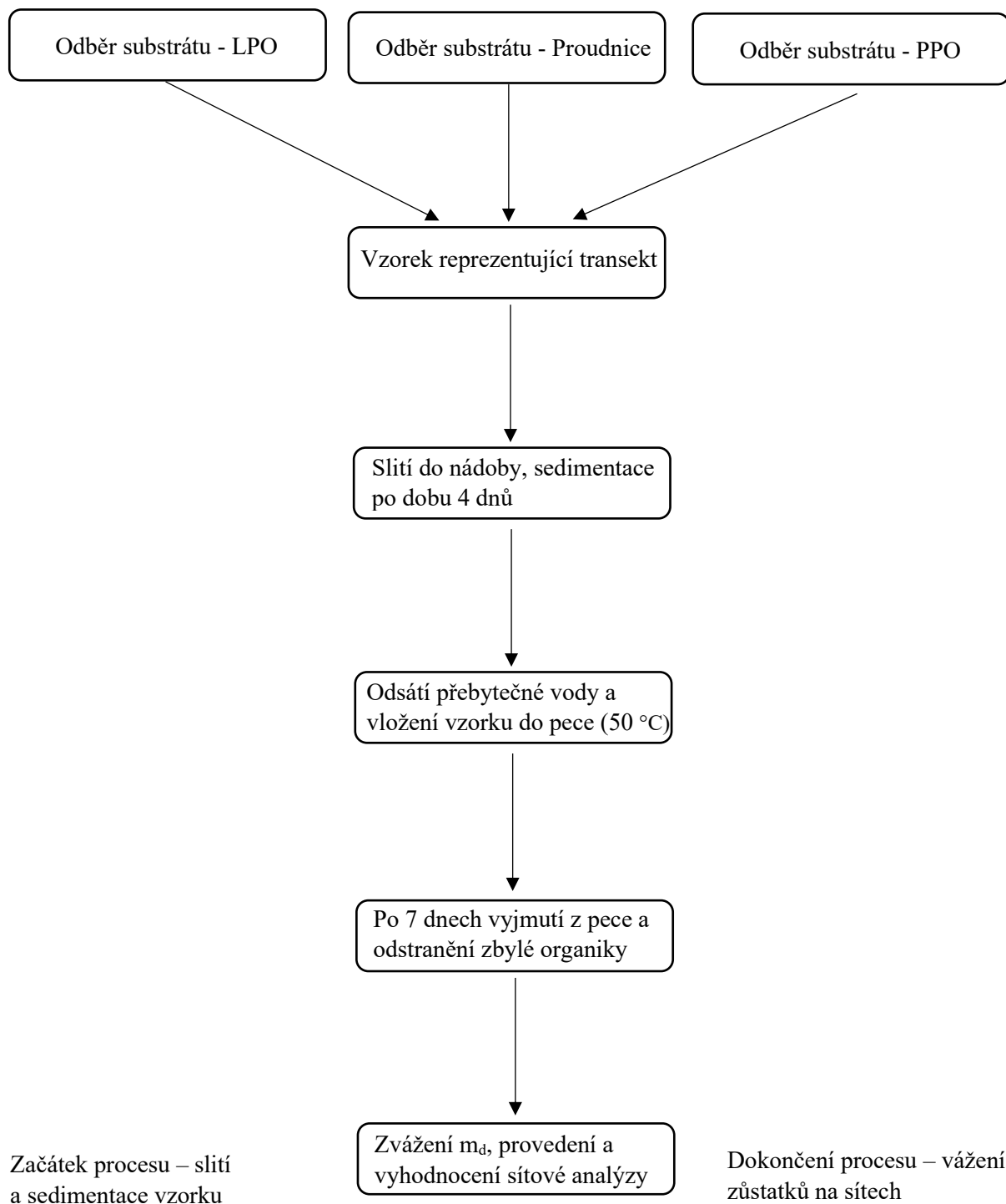
kde d_i = aritmetický průměr velikosti zrn i -té frakce, p_i = procentuální podíl, (Výbora, 1989, p. 105 in Raplík *et al.*, 1989).



Obr. 22 – Rozdělení zájmového transektu na tři odběrné oblasti. Zdroj: (foto Miroslav Jonáš)



Obr. 23 – Rozmístění odběrných míst říčního substrátu na podkladu Ortofota. Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, terénní průzkum)



Obr. 24 – Flow-chart popisující postup zpracování vzorků podkladové vrstvy v laboratoři

5.7.2 Granulometrie krycí vrstvy

Zrnitostní křivky podkladové vrstvy byly doplněny 04.02.2022 o odběr krycí vrstvy, která je primární při ovlivňování fluktuací drsností koryta. Tato byla opět vyhodnocena v laboratoři, avšak primární pomůckou bylo posuvné měřidlo a zatřídění jednotlivých frakcí bylo provedeno dle osy b (šířky) frakcí, jelikož všechna zrna měla relativně pravidelný tvar (Obr. 25). Kromě osy b byly zaznamenány i rozměry zbylých dvou os: osa a (délka vzorku), osa c (výška vzorku). Z těchto rozměrů lze snadno určit přibližný tvar zrna. Drobnější materiál krycí vrstvy (Obr. 25) byl proset přes granulometrická síta o rozměrech ok 31,5 – 4 mm a byl také přidán do celkové hmotnosti navážky substrátu pro jednotlivá odběrná místa (dále jako m_d). Hmotnost m_d se pohybovala v rozmezí prvních jednotek kilogramů. Tato hmotnost, vzhledem k charakteru jednotlivých zrn, by měla být dostatečná pro reprezentativní popis substrátu. Míra přesnosti je velmi výrazně umocněna faktem, že odběr se separátně soustředil na podkladovou a krycí vrstvu, které byly poté složeny dohromady. Tento postup poskytuje doplňující informace o vertikálním pohybu zrn na dně kynety.



Obr. 25 – Relativně pravidelný tvar zrn krycí vrstvy odběrných míst Z1, resp. Z2. Zdroj: (foto Miroslav Jonáš, terénní průzkum)

Obdobně jako v případě podkladové vrstvy, i zde byly vykresleny zrnitostní křivky, určeny vybrané kvantily a efektivní zrna všech odběrných míst. Tyto byly následně spojeny s údaji charakterizující podkladovou vrstvu. Tím vznikly finální zrnitostní křivky, reprezentující kompletní vertikální proměnlivost říčního substrátu v odběrných místech.

5.8 Výpočty aktuální kapacity koryta

V oblasti revitalizací mají hydrotechnické výpočty nezastupitelnou roli a uplatní se při vypracování návrhu prací či revitalizační studii. V intravilánech je ve většině případů možné uvažovat značnou míru zjednodušení, která však stále poskytuje dostatečně reprezentativní výsledky. Značná míra vodotečí, které protínají intravilány, jsou opevněny v celé délce technickým opevněním. Pokud je koryto takto stabilizováno, pak lze jeho podélný profil, ale i sklon, charakterizovat jako neměnný. Při této míře zjednodušení lze dále předpokládat, že střední průřezová (profilová) rychlost je taktéž konstantní a proudění je tedy ustálené rovnoměrné. V tomto případě je pak výpočet průtoku popsán následujícím vztahem:

$$Q = Sv [m^3/s] \quad (5.10).$$

Plocha průtočného průřezu, která do této rovnice vstupuje, je závislá na geometrických charakteristikách koryta, které jsou odlišné dle jeho geometrického tvaru. Tyto byly přesně odečteny v programu AutoCAD 2022. Při platnosti výše zmíněných zjednodušení je poté střední průřezová rychlost stanovena známým Chézyho rychlostním vzorcem:

$$v = C\sqrt{Ri} [m/s] \quad (5.11),$$

kde C = Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0,5}.s^{-1}$], R = hydraulický rádius [m], i = sklon hladiny. Chézyho rychlostní součinitel je známý hydraulický parametr, který je obrácenou hodnotou (Manningova) drsnostního součinitele (dále jako n). V rámci této studie byl výpočet Chézyho parametru podmíněn Manningovým vztahem, který bere v potaz nejen drsnost koryta, ale také jeho geometrii, která je reprezentována hydraulickým rádiusem (dále jako R):

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} [m^{0,5}/s] \quad (5.12).$$

Nicméně všechny hydraulické výpočty operující s drsností, jsou zatíženy větší či menší chybou, která záleží na schopnosti, osoby provádějící výpočty, stanovit drsnost co nejpřesněji. Pouhá změna drsnosti o $\pm 0,001$ vede ke změně průtoku o cca 3-3,5% a strmost změny funkce je při poklesu drsnosti velmi razantní (Jonáš, nepublikováno). Určení drsnosti tedy byla věnována velká pozornost.

5.8.1 Postup určení drsnosti

Při výpočtu maximálních kapacit je samozřejmě třeba brát v potaz nejen materiál kynety, ale také břehů, případně inundačního území. Každý z těchto materiálů přitom zabírá jinou procentuální část omočeného obvodu koryta při jeho plném plnění. Všechna tato fakta je třeba při výpočtu zohlednit. Prvním krokem bylo vytvoření tabulky drsností popisující hodnoty nejčastěji v praxi používaných opevňujících materiálů či typů substrátu kynety (Příloha 9). Tyto hodnoty jsou dále popisovány jako tzv. „korekční faktory drsnosti břehů – nCf “. V dalším kroku je určena drsnost materiálu kynety. Jelikož je koryto aktuálně opevněno hrubými betonovými deskami, byla z Přílohy 9 odečtena hodnota drsnosti charakterizující právě tento materiál: 0,017 (Chow, 1959). V dalším kroku je třeba určit drsnost břehových částí omočeného obvodu. Tento byl položen Rovnicí (5.13). Jedná se o jednoduchý vážený průměr, kdy váhou je délka břehové části omočeného obvodu [m]:

$$n_o = \frac{\sum_{i=1}^n nCf_i * L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (5.13),$$

kde n_o = drsnost břehových částí omočeného obvodu, nCf_i = korekční faktor drsnosti i -tého omočeného obvodu břehů (dle Přílohy 9), L_i = délka i -tého omočeného obvodu břehů [m], n = počet břehových částí, s různou délkou a hodnotu nCf , vstupující do výpočtu. Hodnoty nCf vycházely z charakteru vegetace Bouřlivce v letních měsících. V zimě lze tedy počítat s mírně nižšími drsnostmi a většími vypočtenými kapacitami, neboť na drsnost má vliv například i délka a hustota vegetace (Abood *et al.*, 2006). Výsledná hodnota popisující drsnost složeného profilu je poté popsána Rovnicí (5.14):

$$n_r = \frac{\left(n_o * \left(\frac{Ob}{O} \right) \right) + \left(n * \left(\frac{Od}{O} \right) \right)}{1} \quad (5.14),$$

kde n_r = výsledná hodnota drsnosti koryta se složenou drsností, n = drsnost dna koryta (dle Přílohy 9), n_o = drsnost břehových částí omočeného obvodu dle Rovnice 5.13, O = celková délka omočeného obvodu [m], Ob = délka omočeného obvodu břehových částí [m], Od = délka omočeného obvodu dna [m]. V případě výpočtů návrhových kapacit byla drsnost dna určena buď vzorcem Limerinose (1970, Rov. 5.15 či také 4.19), který byl odvozen na štěrkových korytech anebo dle tabulkových hodnota pro štěrk dle Benson, Dalrymple (1967, Tab. 5).

$$\frac{n}{R^{\frac{1}{6}}} = \frac{0.0926}{1.16 + 2.0 \log \frac{R}{d_{84}}} \quad (5.15),$$

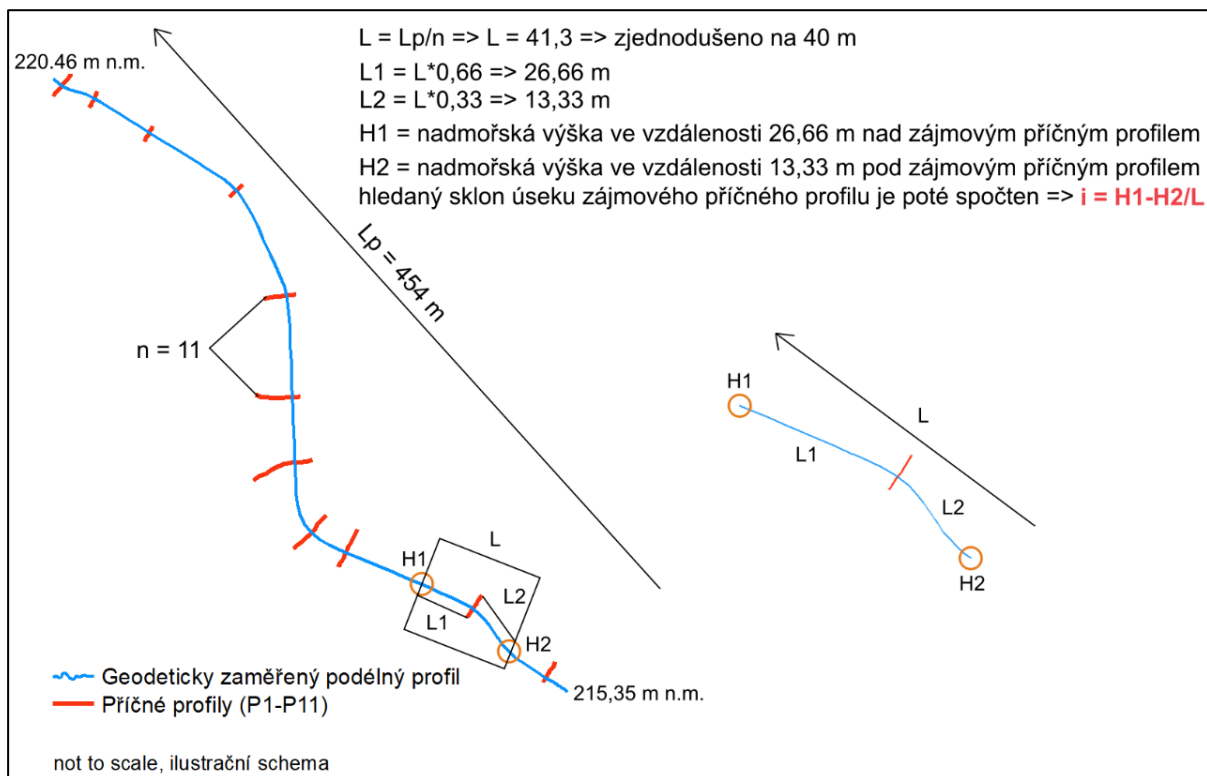
kde d_{84} je kvantil zrnitosti.

Tab. 5 – Tabulkové drsnostní hodnoty balvanů, valounů a šterku. Zdroj: (Benson, Dalrymple, 1967, p. 21)

Balvan, frakce >256 mm	drsnost = 0,040-0,070
Valoun, frakce 64-256 mm	drsnost = 0,030-0,050
Šterk, frakce 2-64 mm	drsnost = 0,028-0,035

5.8.2 Postup určení sklonu

Postup výpočtu sklonu v jednotlivých příčných profilech je popsán na Obr. 26. Nadmořské výšky ve vzdálenosti 2/3 nad zájmovým příčným profilem, resp. 1/3 pod ním, se doporučují odměřit geodeticky přímo na lokalitě, či ze stínovaného digitálního modelu reliéfu (DMR) 5. generace, který je v prohlížeči WMS vrstvě volně dostupný na stránkách ČÚZK.



Obr. 26 – Ukázka detailního výpočtu sklonů v příčných profilech. Zdroj: (Upraveno pro podmínky zájmové lokality dle ČSN ISO 1070, 2019)

5.9 Výpočty stability koryta

Pro výpočty stability byl navržen detailní substrát dna, který by mohl pokrývat nově revitalizovaný úsek. Tento byl zvolen tak, aby plynule navazoval na aktuální substrát na lokalitě v navazujících úsecích a přispěl tak k hladkému hydrologickému zapojení revitalizovaného úseku do toku. Stabilitní výpočty byly poté provedeny metodou nezanášecích a nevymílacích rychlostí (viz stať 4.2.4).

Pro výpočty byla použita rovnice sestavená Neillem (Výbora, 1989 in Raplík *et al.*, 1989, Rov. 5.16, úprava rovnice – viz Zelíková, 2012). Pro její použití je třeba splňovat následující podmínky: 1) dvojrozměrné ustálené rovnoměrné proudění, 2) rovné dno o velikosti frakce nad 3 mm, kde $d_e/h = 0,01-0,5$ (Výbora, 1989 in Raplík *et al.*, 1989).

Rovnice 5.16 – Neillova rovnice pro výpočet nevymílacích rychlostí

$$v_v = \left[2,5 \left(\frac{d_e}{h} \right)^{-0,2} \left(\frac{\rho_m - \rho}{\rho} \right) g d_e \right]^{0,5} \quad (5.16),$$

kde h = hloubka vody [m], g = gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-2}$], ρ_m = měrná hmotnost splavenin [$KN \cdot m^{-3}$], ρ = měrná hmotnost vody [$KN \cdot m^{-3}$], přičemž platí, že měrná hmotnost splavenin $\approx 2650 \text{ kg} \cdot m^{-3} \rightarrow$ lze brát jako $26,5 \text{ KN} \cdot m^{-3}$, měrná hmotnost vody $\approx 997 \text{ kg} \cdot m^{-3} \rightarrow$ lze brát jako $9,97 \text{ KN} \cdot m^{-3}$ (Ďurďa, 2014, p. 28) a gravitační zrychlení $\approx 9,81 \text{ m} \cdot s^{-2}$. Výpočty byly vedeny pro vzorové příčné profily, kde je proveden detailní zakres revitalizačního zásahu. Pro každý z těchto příčných profilů byl stanoven tzv. „hraniční průtok porušující stabilitu“. Tato hodnota průtoku odpovídá situaci, kdy: $v = v_v$, a tedy: $v - v_v = 0$. Z toho již implicitně vyplývá, že veškerá průtočná hodnota pod touto hranicí nebude stabilitu koryta narušovat (max. může při nízkých průtocích docházet k zanášení) a veškerá průtočná hodnota nad touto hranicí již bude koryto vymílat. Čím větší je rozdíl střední průřezové rychlosti a nevymílací rychlosti, tím větší hloubku výmolu lze očekávat. Pro podmínky intravilánu je třeba, aby dno koryta v přímé trase bylo stabilní alespoň pro $Q_1 - Q_2$, aby nedocházelo k podemílání břehových struktur (např. opěrných zdí). Substrát navrhovaný v této studii, nejenže toto splňuje, ale ve všech vzorových profilech, s ohledem na charakter profilu, více či méně tyto N-leté průtoky převyšuje.

5.10 Metodika návrhu podélného profilu

Návrh trasy a charakteru podélného profilu je podmíněn malým prostorem kolem koryta, které nedovoluje vytvoření výraznějších zákrut či snad dokonce meandrů. Hlavní osa návrhu trasy je tedy propojena s prostorem rozšířené kynety. V závislosti na vývoji sklonu a prostoru kolem koryta byla navržena čtyři variantní řešení. Tato se v rámci celé délky podélného profilu střídají, aby nepodporovala dojem uniformní trati. Cílem je ve všech úsecích imitovat přírodní fluvialně morfologické chování toku. Jak ukázal například Rosgen (1994), tak při vyšších sklonech má koryto tendenci přirozeně prořezávat do přímé trati, naopak pro vytvoření oku lahodících zákrut či meandrů jsou zapotřebí mnohem nižší sklony. Zároveň platí, že oblast zákrutu se dá rozdělit na čtyři hlavní části: 1) konkávní (narázový břeh), kde dochází k postupnému erodování břehového materiálu vlivem vymílací síly proudící vody, 2) konvexní (akumulační) břeh, který je protilehlý k břehu konkávnímu a dochází zde naopak k postupnému ukládání, především

v suspenzi, unášeného materiálu, 3) oblast proudnice, kde je střední průřezová rychlost nejvyšší. Proudnice nikdy nevede přesně středem kynety, a to ani u zcela přímých tratí. I zde má totiž po čase tendenci směřovat do zákrutového směru. 4) přechodová oblast mezi konkávním a konvexním břehem – inflexní bod, který přirozeně vytváří oblast mělčin. Ve výsledku se pak na krátkém úseku dvou meandrů střídají nejen topografické útvary dna (tůň, akumulací bary, mělčiny), ale také typy proudění (nejčastěji slapové a klouzavé), (Obr. 27).



Obr. 27 – Ukázka přirozeného fluvialního chování toku. Na snímcích je zachycen zákrutový průběh trasy Soudného potoka (lokálně známý jako Luh), těsně před jeho zaústěním do Bukovanské zátoky VN Orlík. Je patrné, že i takto drobný tok má obrovskou sílu a konkávní břeh je velmi silně podemlet v průběhu celé trasy toku. K těmto erozním procesům dochází při zvýšených vodnostech a zde jsou ještě umocněny vyšší susceptibilitou písku k vymílání.

Zdroj: (foto Miroslav Jonáš, 15.04.2021)

Všechna výše uvedená fakta se odrážejí ve čtyřech různých variantních řešení modelace podélného profilu (Obr. 70), která budou dále diskutována ve výsledcích v kapitole 8.10, kde budou detailně rozebrána jednotlivá variantní řešení, včetně vhodnosti jejich použití ve vybraných úsecích podélného profilu. Nastíněny budou také výhody i nevýhody jednotlivých řešení.

5.11 Metodika návrhu příčných profilů

Detailní zakres revitalizační studie je rozložen mezi 4 hlavní vzorové příčné profily, které ještě v některých případech dávají na výběr z doplňkových variantních řešení. Všechny vzorové profily na sebe logicky navazují a vytvářejí harmonický obraz celé revitalizace. Každý vzorový příčný profil popisuje revitalizační úpravu i v nejbližších profilech kolem něj, tedy navrhovaná revitalizační úprava u vzorového profilu P2 platí i pro profil P1 a P3 (viz Tab. 6). Zákresy, vedené v programu AutoCAD 2022, respektovaly hranice pozemků Povodí Ohře, s.p. a

navyšují či alespoň zachovávají aktuální maximální průtočné kapacity. V kapitole 8.11 budou detailně popsána jednotlivá navrhovaná opatření v každém vzorovém řezu.

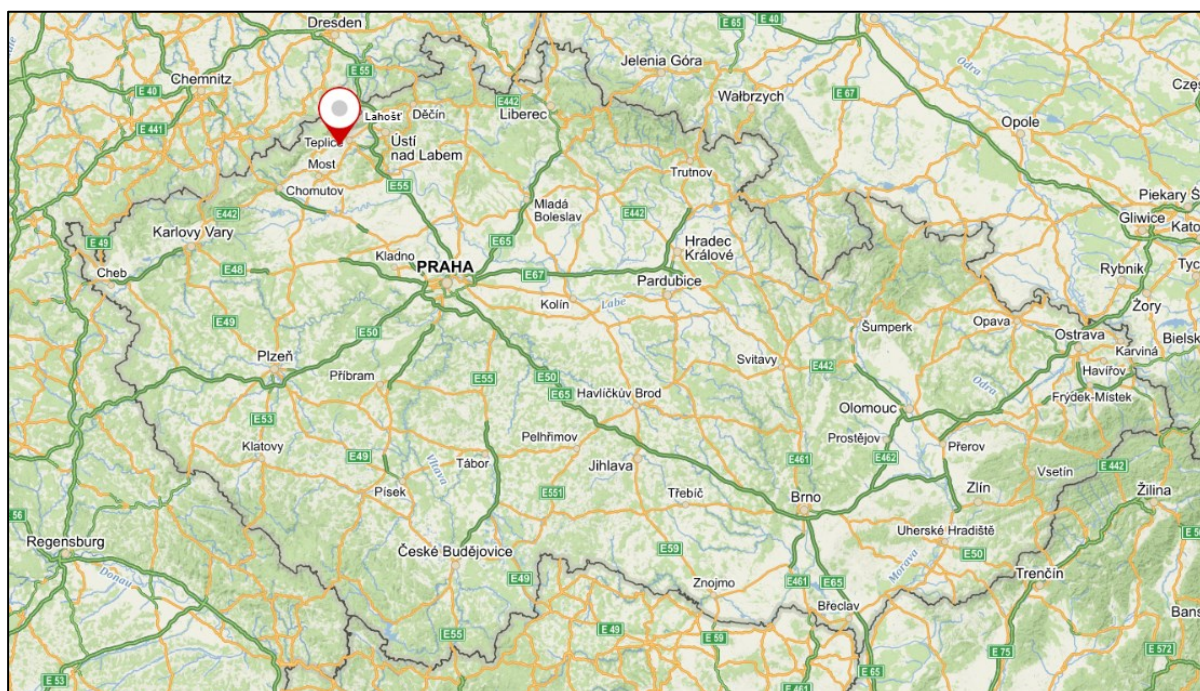
Tab. 6 – Platnost navrhovaných opatření vzorových příčných profilů v rámci celé délky podélného profilu

<i>Vzorový příčný profil</i>	<i>Platnost návrhu pro ostatní příčné profily</i>
P2	P1, P2, P3
P4	P4
P6 – VAR 1	P6
P6	P5, P6, P7
P9	P8, P9, P10
P9 – VAR 2	P8, P9, P10
P11	P11

6. Vymezení zájmového území

Zájmovou lokalitou je vodní tok Bouřlivec v katastrálním území intravilánu obce Lahošť, severovýchodně od města Duchcov a jihozápadně od města Teplice (Obr. 28). Konkrétně se jedná o úsek mezi ř. km 6,785-6,328. Úsek navazuje na již provedenou revitalizaci, která byla realizována v letech 2013-2014, a to mezi ř. km 6,328-5,788. Prochází v celé své délce intravilánem obce Lahošť a je zakončen historickým kamenným mostem s dopravní komunikací č. 254.

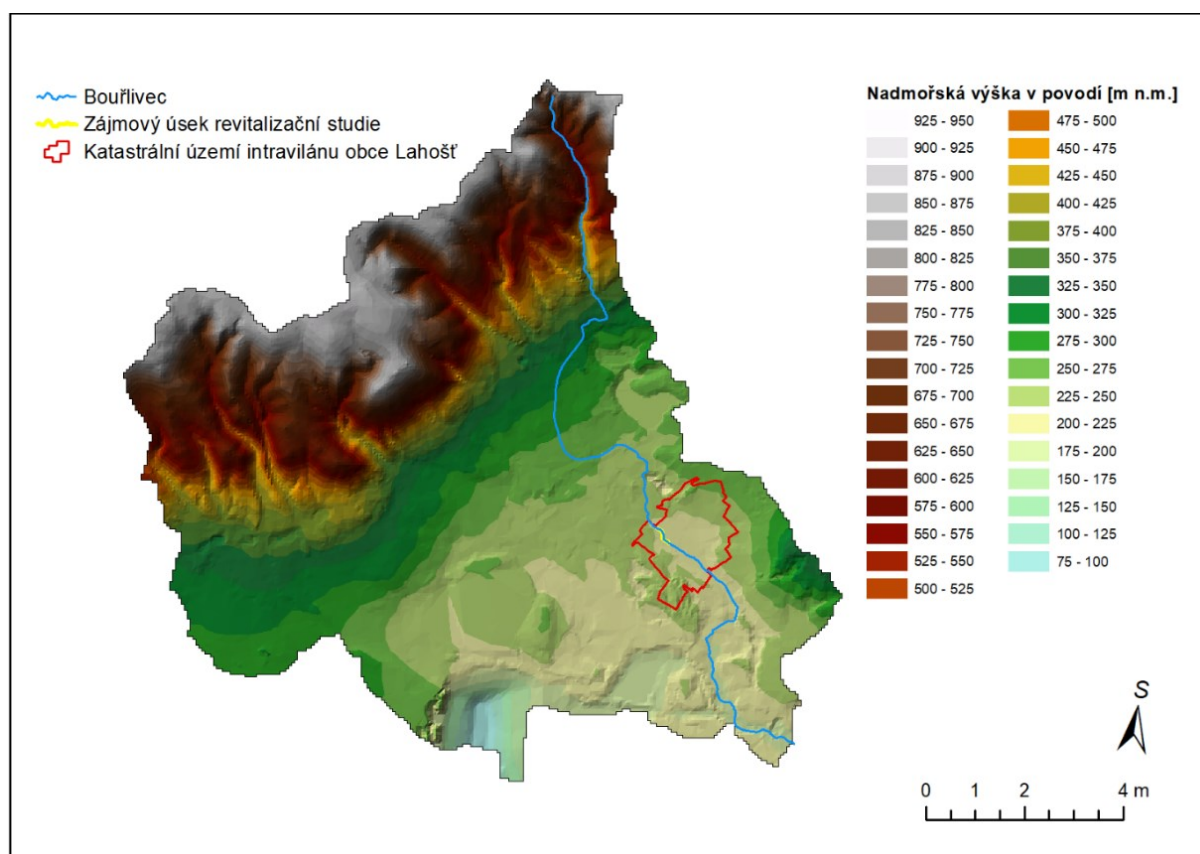
Samotný Bouřlivec pramení nad podhorskou obcí Mikulov v nadmořské výšce 749,69 m n.m. (Jonáš, 2020) a je přítokem Bíliny. Reliéf jeho povodí je specifický, kdy na svém horním toku stéká pod vysokými sklony z příkrých úbočí Krušných hor a na svém středním a dolním toku protéká téměř plochými oblastmi Mostecké a Duchcovské pánve. Vertikální zonálnost reliéfu je prezentována na digitálním modelu reliéfu (dále jako „DMR“), (viz Kapitola 7).



Obr. 28 – Lokalizace zájmové oblasti v rámci území České republiky. Zdroj: (Mapy.cz – Základní mapa)

7. Fyzicko-geografické poměry zájmového území

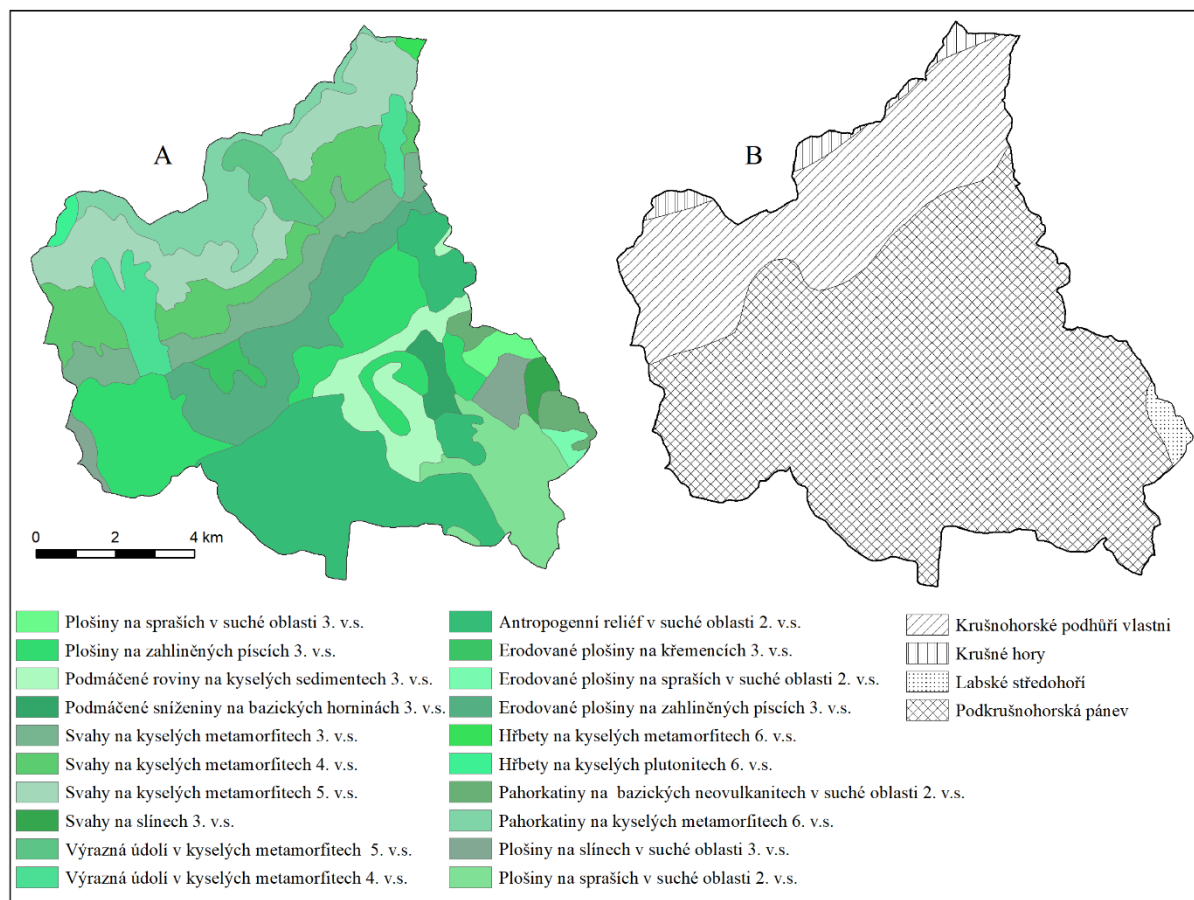
Jako základní přehledová mapa slouží DMR (Obr. 29), který definuje topografii reliéfu celého povodí. Z tohoto DMR již lze okometricky určit relativní výškovou členitost, která je nejvyšší na rozhraních pat svahů Krušných hor s údolními oblastmi, a naopak velmi nízká v údolních pánvích. Horní úseky toků v celém povodí jsou tedy charakteristické velmi vysokými sklony, kdy největší dosažené sklony v povodí jsou v intervalu 25-35° a pokrývají 0,4 % plochy povodí (Jonáš, 2020). Naopak území se sklony do 2° - z geomorfologického hlediska roviny, pokrývají 27 % plochy povodí (Jonáš, 2020). Kompletní přehled svahových poměrů, včetně tvaru svahu a orientace svahu, uvádí Jonáš (2020) či Jonáš, Matoušková (2022). V povodí je převaha jižně ukloněných svahů na úpatí Krušných hor a výrazné zastoupení rovin v údolních pánvích.



Obr. 29 – 2,5D TIN DMR (složen z trojúhelníkové iregulární sítě) odrážející vertikální zonálnost povodí Bouřlivce. Zdroj: (DIBAVOD, ČÚZK – vrstevnice ZABAGED® - Výškopis, ČÚZK – RÚIAN, katastrální mapa ČR)

Fytogeografie a biochory povodí odpovídají vyskytujícím se výškovým stupňům. V nížinatých oblastech Podkrušnohorské pánve převažují podmáčené roviny či sníženiny na kyselých sedimentech, resp. bazických horninách. Se stoupající nadmořskou výškou a přechodem do Krušnohorského podhůří se začínají objevovat erodované plošiny na zahliněných píscích či

spraši, které přecházejí ve vyšších nadmořských výškách Krušných hor do hřbetů na kyselých plutonitech, respektive metamorfitech (dle Obr. 30).

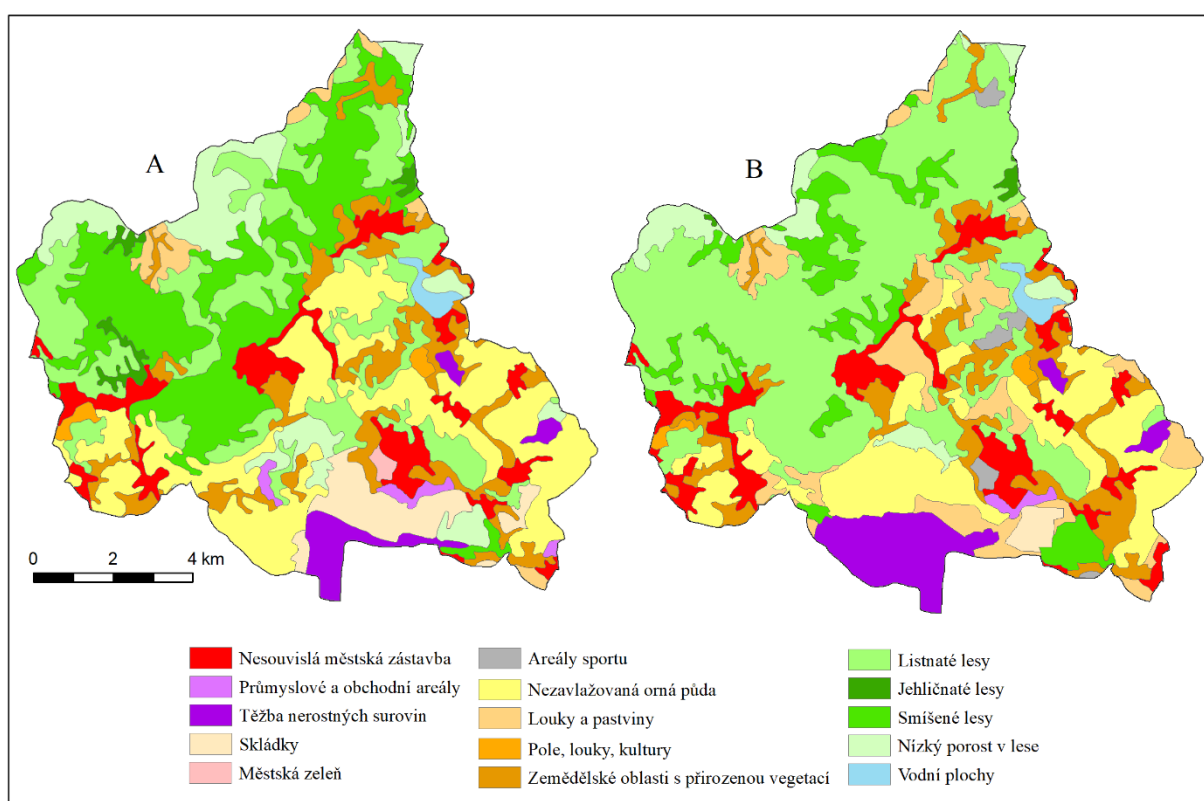


Obr. 30 – Fytogeografické členění (B) a hlavní typy biochor (A) v povodí. Vrstva biochor byla poskytnuta kolegy z AOPK ČR. Zdroj: (Culek et al., 2005, Skalický, 1988, Kaplan, 2012, PLADIAS, AOPK ČR, převzato z Jonáš, 2020)

Vývoj využití land-coveru mezi roky 1990-2018 ukazuje výrazné snížení plochy smíšených lesů, nízkých travních porostů a jehličnatých lesů. Naopak je patrný nárůst listnatých lesů, luk a pastvin, a to především v horních výškových patrech povodí (Jonáš, 2020). Ten je způsoben patrně transformací porostu, kdy úbytek koniferů při zachování stejné či obdobné plochy lesa vede k navýšení plochy listnatých dřevin. Důvodů pro úbytek koniferů v horních patrech povodí může být celá řada. Lze spekulovat o kůrovcové kalamitě, kyselých srážkách či jiném faktoru, každopádně množství mrtvých stromů je patrné pouhým okem (Obr. 31). Celkový přehled vývoje land-coveru mezi lety 1990-2018 sumarizuje Tab. 7 a Obr. 32.



Obr. 31 – Skupiny mrtvých koniferů při cestě mezi přehradou Fláje a obcí Dlouhá Louka. Zdroj: (foto Miroslav Jonáš)

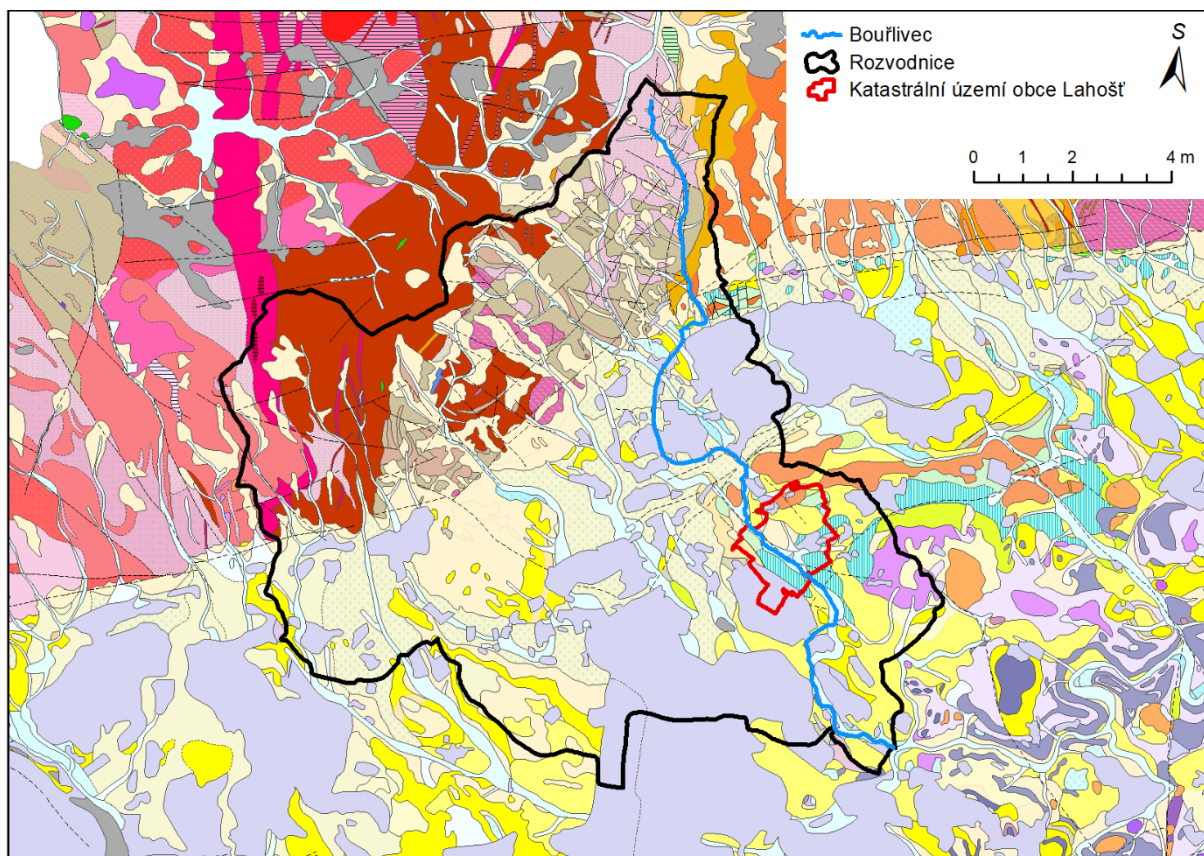


Obr. 32 – Vývoj změn land-coveru v povodí mezi lety 1990-2018. Zdroj: (Copernicus, převzato z Jonáš, 2020)

Tab. 7 – Přehled vývoje změn land-coveru. Zdroj: (*Copernicus, převzato z Jonáš, 2020*)

1990			2018		
Nesouvislá městská zástavba	8,4 km ²	7,3 %	Nesouvislá městská zástavba	9,4 km ²	8,1 %
Průmyslové a obchodní areály	0,9 km ²	0,8 %	Průmyslové a obchodní areály	0,5 km ²	0,4 %
Těžba nerostných surovin	3,1 km ²	2,7 %	Těžba nerostných surovin	6,4 km ²	5,5 %
Skládky	5 km ²	4,4 %	Skládky	1,1 km ²	1 %
Městská zeleň	0,3 km ²	0,3 %	Areály sportu	1,3 km ²	1,1 %
Nezavlažovaná orná půda	24 km ²	20,8 %	Nezavlažovaná orná půda	17,4 km ²	15,1 %
Louky a pastviny	2,2 km ²	1,9 %	Louky a pastviny	9,9 km ²	8,6 %
Pole, louky, kultury	0,7 km ²	0,6 %	Pole, louky, kultury	0,6 km ²	0,5 %
Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	12 km ²	10,4 %	Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	11,6 km ²	10,1 %
Listnaté lesy	22,4 km ²	19,4 %	Listnaté lesy	42,3 km ²	36,6 %
Jehličnaté lesy	1,3 km ²	1,1 %	Jehličnaté lesy	0,3 km ²	0,3 %
Smíšené lesy	24,2 km ²	21 %	Smíšené lesy	9,7 km ²	8,1 %
Nízký porost v lese	10 km ²	8,7 %	Nízký porost v lese	4,5 km ²	3,9 %
Vodní plochy	0,8 km ²	0,7 %	Vodní plochy	0,8 km ²	0,7 %

Pro revitalizaci jsou podstatné především dva prvky fyzicko-geografické charakteristiky, a tím jsou geologické a pedologické poměry. Dle Geologické mapy 1:50 000 (ČGS), která představuje velmi podrobný popis geologických jednotek a hornin, je v údolních pánvích jasná převaha antropogenních navážek. Na úpatí svahů Krušných hor je mocná vrstva nezpevněných a nevytřídněných štěrků. Tyto materiály obvykle disponují vysokými propustnostmi a mohou být dalším podstatným členem v rovnici, která se snaží vyřešit nízké vodnosti nejen Bouřlivce, ale i ostatních toků v povodí. Při srážce je srážková voda přes tyto štěrky rychle infiltrována a musí přirozeně vytékat v nejnižším místě v povodí – lom Bílina. Do toků se tak dostane jen zlomek srážkové vody. Toto tvrzení je třeba ověřit hydrogeologickým průzkumem, jedná se pouze o domněnku, která nebyla fakticky ověřena, a tak je třeba k ní i přistupovat. Horním výškovým patřům poté s převahou dominují metamorfity – především pararuly a ortoruly (dle ČGS, geologická mapa 1:50 000). Přehled hlavních horninových typů vyskytujících se v povodí, a jeho nejbližším okolí, předkládá Obr. 33.



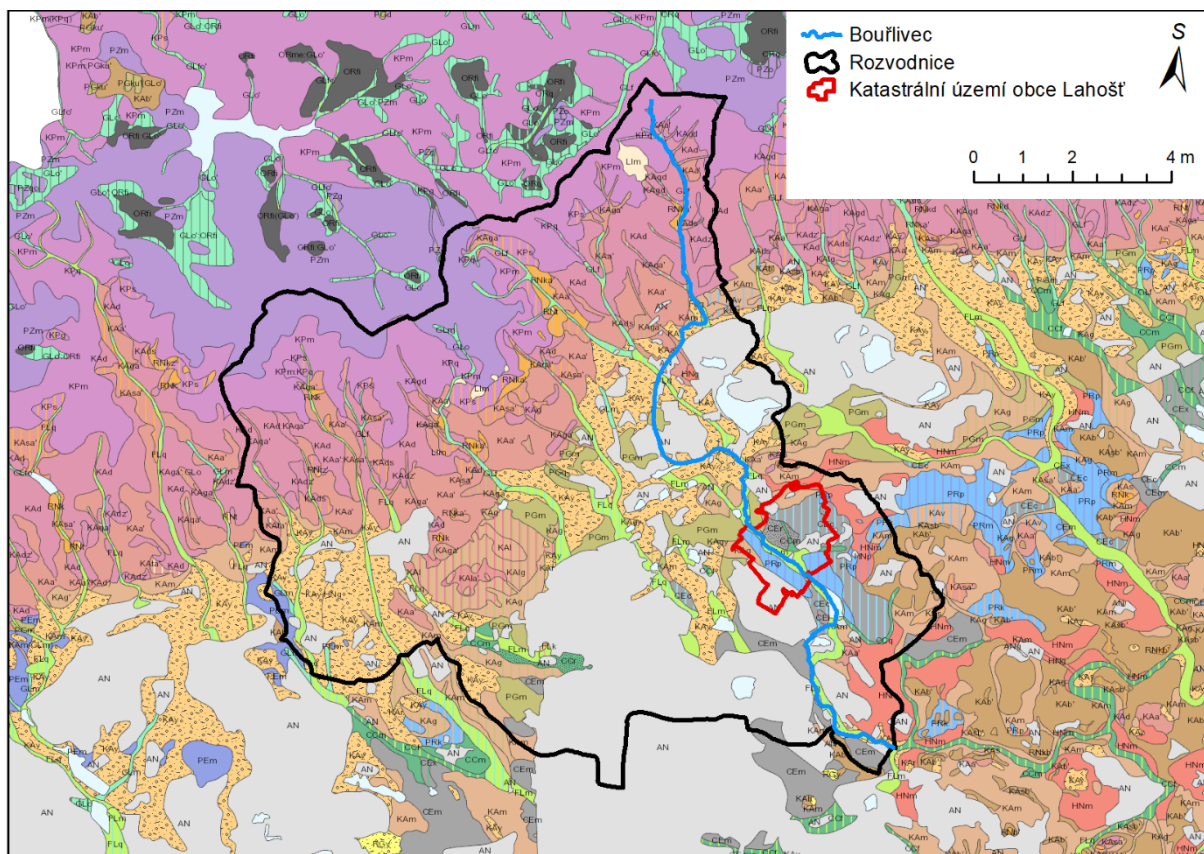
Legenda k Obr. 33 – přehled hlavních vybraných horninových typů

<i>Symbol</i>	<i>Horninový typ</i>	<i>Symbol</i>	<i>Horninový typ</i>
	navážka, halda, výsypka, odval		erlan (Ca-skarn)
	nivní sediment		Ortorula – původně kys. magm.™
	smíšený sediment		pararula – původně pelit
	píščito-hlinitý až hlinito-píščitý sediment		pararula – původně droba
	kamenitý až hlinito-kamenitý sediment		granitový porfyr
	spraš a sprašová hlína		granodioritový porfyr
	nevytříděné šterky		granitový porfyr
	jíly, písky, písčité jíly		granit
	trachyty a sodalitické trachyty		pararula – původně pelit
	olivinický nefelinit, analcimit a leucitit		amfibolit
	vápnité jílovce, slínovce, vápnité prachovce		slínovec s konkrercemi vápenců
	střídání jílovitých vápenců a slínovců		slatina, rašeliniště, hnilokal
	ryolitový ignimbrit		ryolitový tuf a ignimbrit
	ryolitový až trachytový ignimbrit až ryolit		zelená břidlice, albit-epidotický
	ortorula – původně granit		metagranit až metagranodiorit
	ortorula – původně kyselý magmatit*		granit

Obr. 33 – Geologické poměry povodí a jeho nejbližšího okolí. Zdroj: (ČGS – Geologická mapa 1:50 000, * = paleozoikum, ™ = proterozoikum-paleozoikum, DIBAVOD, ČÚZK, R. kat., uprav.)

Co se týče půdních poměrů, tak dle Půdní mapy 1:50 000 (ČGS), jsou oblasti v těsné blízkosti toků místem výskytu modálních fluvizemí a fluvických glejů. V prostoru údolních pánví nelze přehlédnout výrazné rozšíření antropozemí, které se samozřejmě překrývá v geologické mapě s navážkami, haldami či výsypkami. Antropozem je velmi specifický půdní typ, který může mít mnoho podob. Před prací na antropozemi je tedy důležité provést pedologický průzkum, aby byl objasněn konkrétní typ antropozemí. Směrem k úpatí svahů Krušných hor začínají dominovat různé typy kambizemí (např. psefitická, luvická či dystrická). Ostrůvkovitě lze nalézt i velmi úrodné černice (především modální a arenické). Ve vyšších výškových patrech povodí poté převažují kambizemě mesobazické, rankerové, dystrické, ale také kryptopodzoly či rankery (ČGS, půdní mapa 1:50 000). Přehled hlavních půdních typů povodí a jeho nejbližšího okolí předkládá Obr. 34.

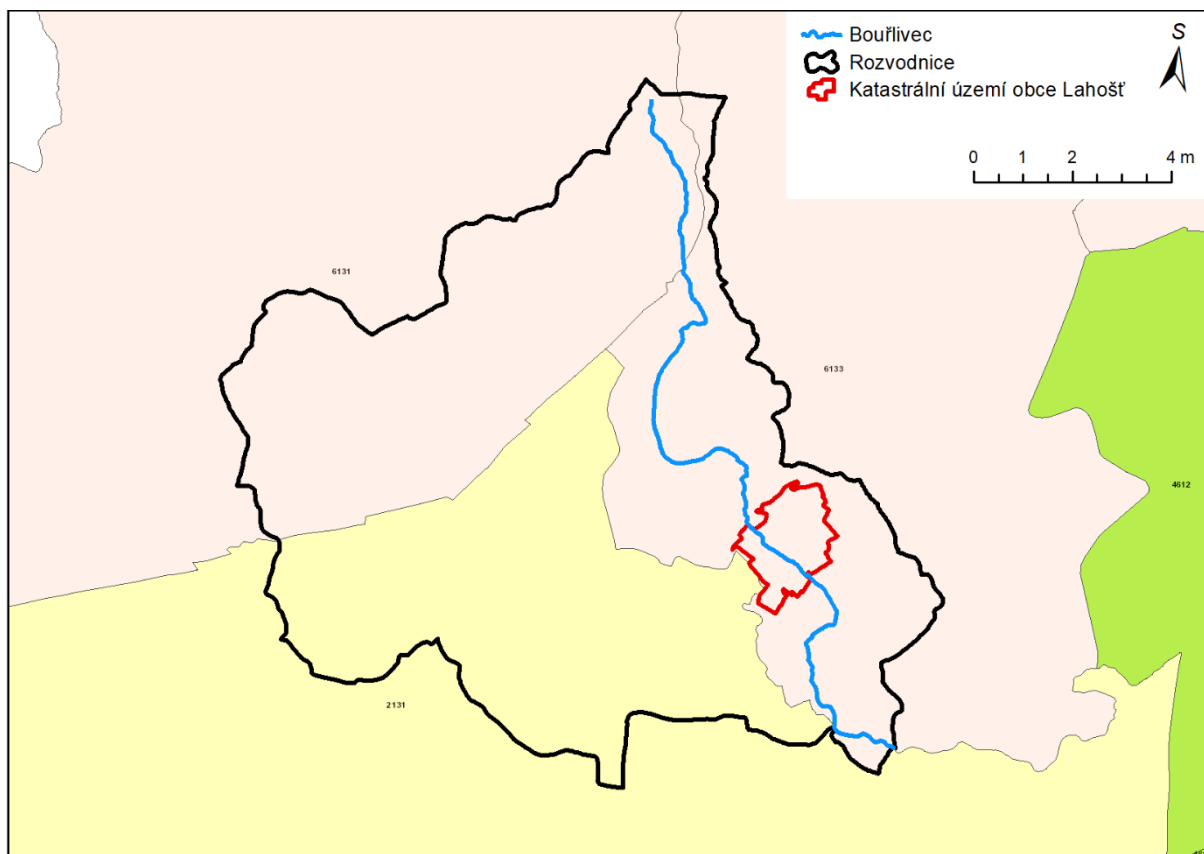
Kromě geologických a pedologických poměrů byly základní analýze podrobeny i hydrogeologické poměry v povodí, především oddělení hranic jednotlivých hydrogeologických rajonů, (dále jako HGR), (Obr. 35). Povodím prochází celkem 3 HGR: 1) 6131 – Krystalinikum Krušných hor od Chomutovky po Moldavu, 2) 6133 – Teplický ryolit, 3) 2131 – Mostecká pánev – severní část. Hranice Teplického ryolitu s hydrogeologickým rajónem 4612 (Křída dolního Labe po Děčín – levý břeh, severní část) je cca 3 km západně od rozvodnice. Z hlediska publikovaných výsledků projektu Rebilance (celostátní projekt, který měl za cíl zhodnotit přírodní podzemní zdroje a jejich možnou využitelnost v celkem 58 hydrogeologických rajonech – viz <http://www.geology.cz/rebilance/o-projektu>) se jako vodohospodářsky nejvýznamnějších z HGR protínající povodí jeví Teplický ryolit. Tento rajon je znám dlouhodobým výskytem teplých termálních vod, jejichž geneze je primárně vázána na hluboký oběh. Naopak prosté vody využívané k vodárenským účelům jsou vázané na přípovrchové vrstvy kolektoru. Kromě minerálních vod byla severní část kolektoru s polohami cínoveckých granitů využívána k těžbě cínů (Burda (ed.), 2016). Celé území se pyšní dobrou vrtnou prozkoumaností, z nichž vrty v těsné blízkosti obce Lahošť jsou především následující: 1) HV-1 – Všechlapy u Zabrušan (h: 31 m), 2) HPJ – 3 Jeníkov u Duchcova (h: 5 m), 3) HPJ – 2 Jeníkov u Duchcova (h: 6 m), 4) HPJ – 1 Jeníkov u Duchcova (h: 5 m), 5) V-2 – Duchcov (h: 86 m), 6) JE-92 – Duchcov (h: 100 m) a další vrty oblasti Duchova, Jeníkova u Duchcova či Hudcova (viz Burda (ed.), 2016). Co se týče transmisivity, tak k jejímu posouzení byl využit vrt 6133_A (Hrkal *et al.*, 2015 in Burda (ed.), 2016), který se nachází v blízkosti obce Košťany. S hloubkou 253 m se jedná o hluboký vrt, jehož měřená transmisivita byla $1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a průměrný koeficient filtrace $8,8 \times 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Legenda k Obr. 34 – přehled hlavních vybraných půdních typů

<i>Symbol</i>	<i>Označení</i>	<i>Půdní typ</i>	<i>Symbol</i>	<i>Označení</i>	<i>Půdní typ</i>
	AN	Antropozem		KPs	Kryptopodzol rankerový
	CEm	Černozem modální		KAsa'	Kambizem ran. mesobaz.
	HNm	Hnědozem modální		RNka'	Ranker kamb. mesobaz.
	FLm	Fluvizem modální		KAdz'	Kambizem dys. podzolov.
	CEc	Černozem karbonátová		KAga'	Kambizem ogl. mesobaz.
	PRp	Pararendzina pelická		KPm	Kryptopodzol modální
	CEr	Černozem arenická		LIm	Litozem modální
	CEc	Černozem karbonátová		KPq	Kryptopodzol glejový
	PGm	Pseudoglej modální		GLf	Glej fluvický
	CCr	Černice arenická		PZm	Podzol modální
	KAy	Kambizem pšfitická		GLo'	Glej zrašelinělý
	KAGy	Kambizem oglejená ps.		ORq	Organozem glejová
	KAl	Kambizem luvická		ORfi	Organozem fibrická
	KAlg	Kambizem luv. oglejená		PZg	Podzol oglejený
	KAA'	Kambizem mesobazická		KAv	Kambizem vyluhovaná
	KAd	Kambizem dystrická		FLq	Fluvizem glejová

Obr. 34 - Pedologické poměry povodí a jeho nejbližšího okolí. Zdroj: (ČGS – Půdní mapa 1:50 000, DIBAVOD, ČÚZK – RÚIAN, katastrální mapa ČR, upraveno)

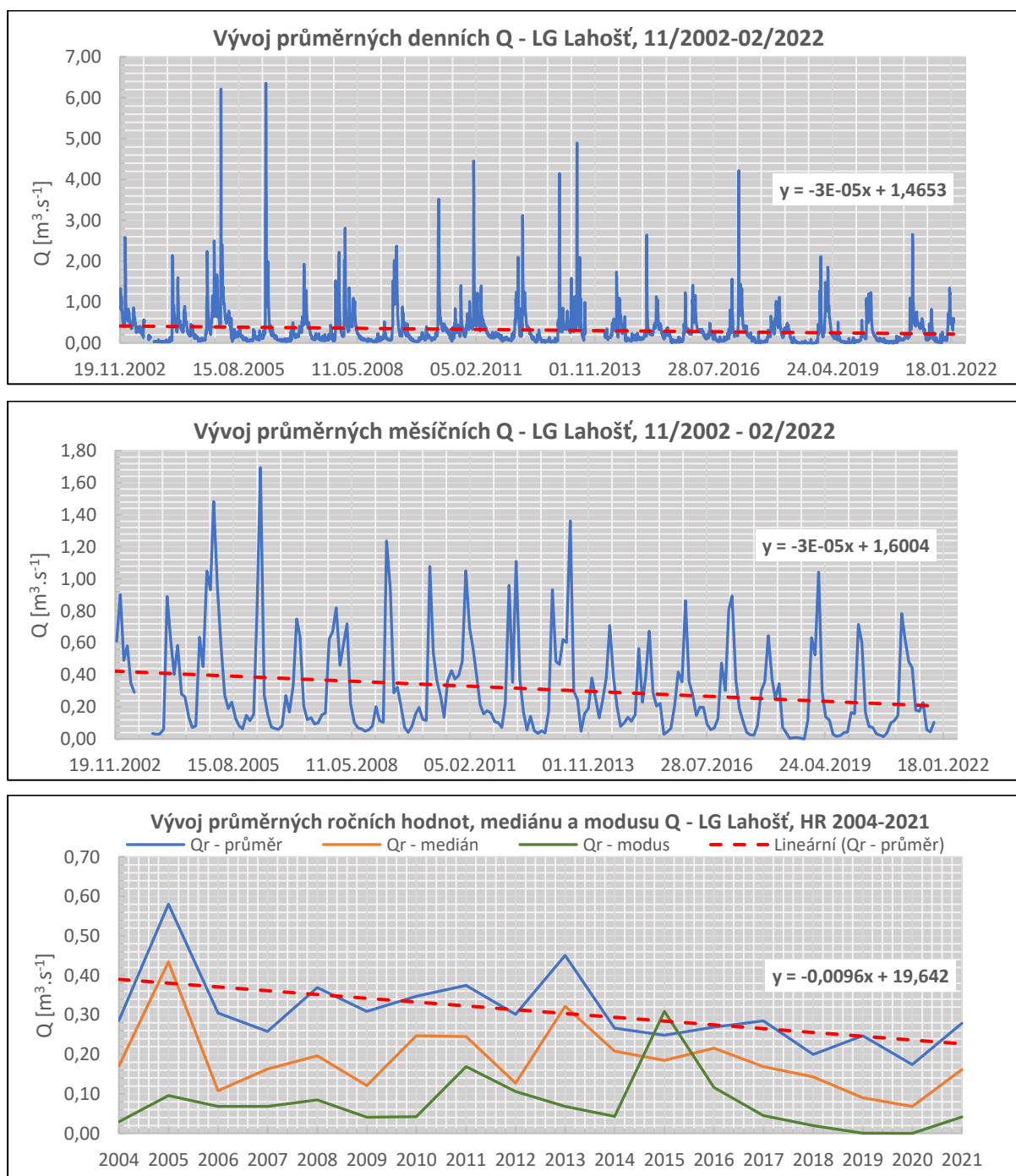


Obr. 35 – Hydrogeologické rajony procházející povodím a jeho nejbližším okolím. Zdroj: (ČGS – Hydrogeologické rajony, DIBAVOD, ČÚZK – RÚIAN, katastrální mapa ČR, upraveno)

8. VÝSLEDKY

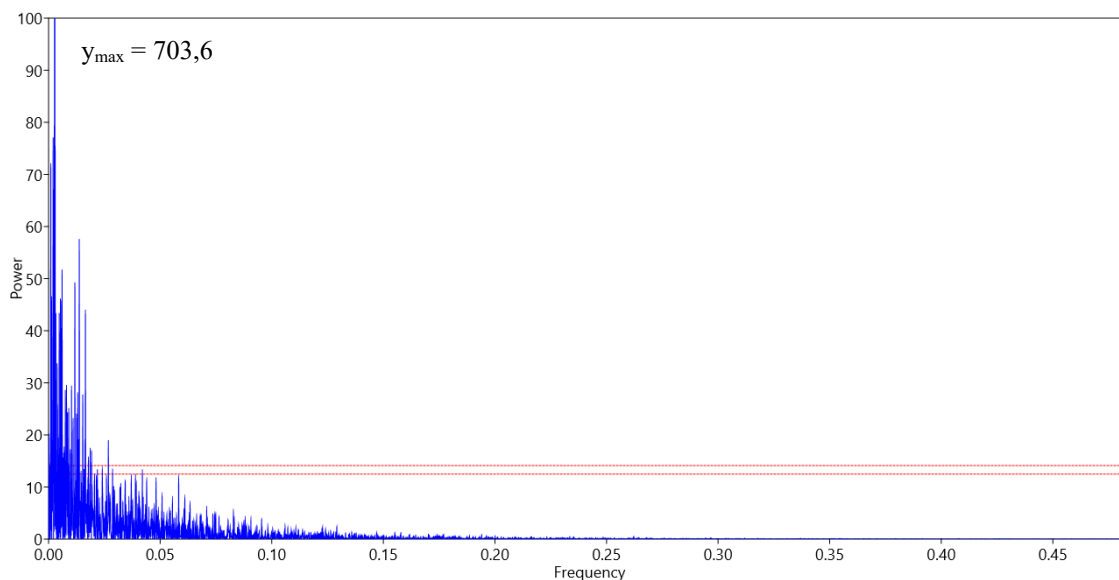
8.1 Analýza odtokových poměrů

Vývoj průměrných denních, měsíčních a ročních průtoků popisuje (Obr. 36). Z grafů okometricky vyplývá mírný poklesový trend a zřetelná periodicitita. Především v měsíčních průměrech je patrné střídání „peaků“ v pravidelných intervalech. Zároveň je na řadě měsíčních průměrů evidentní neekvidistantnost datové řady.



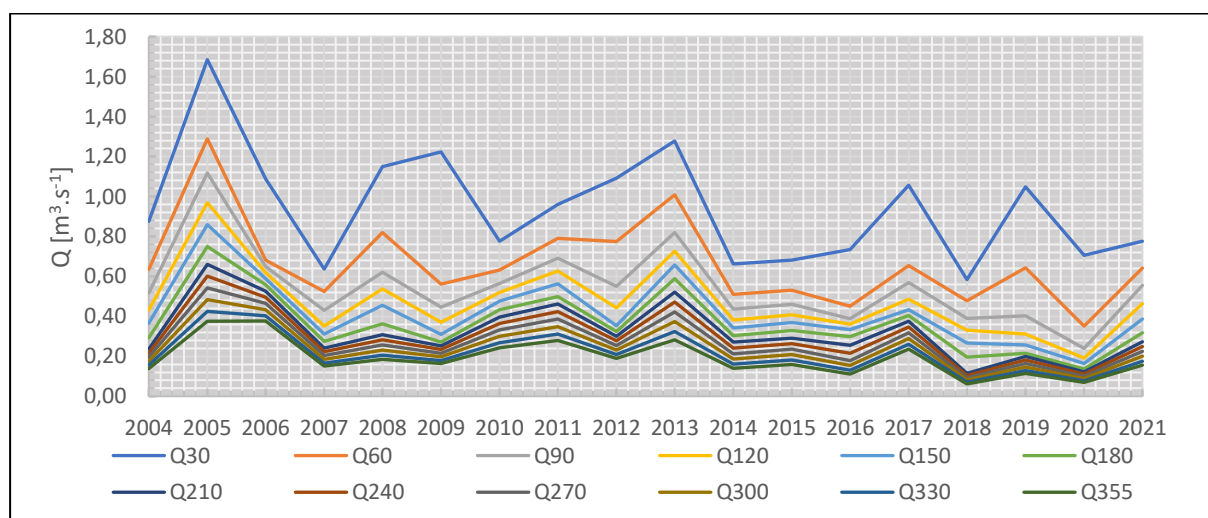
Obr. 36 – Chod průměrných denních, měsíčních, respektive ročních průtoků. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.). Pozn.: HR = hydrologický rok

Pro určení periodicity byla použita základní spektrální analýza pomocí periodogramu (Obr. 37), který byl sestaven v programu „*PAST – PAleontological STATistics*“ (Hammer *et al.*, 2001). K analýze byla použita řada průměrných denních průtoků. Frekvenční hodnota o největší síle je 0,002742. Obrácená hodnota stanoví periodicitu dat $\Rightarrow 1/0,002742 = 364,697$ dnů. V datech byla identifikována zřetelná roční periodicitu.



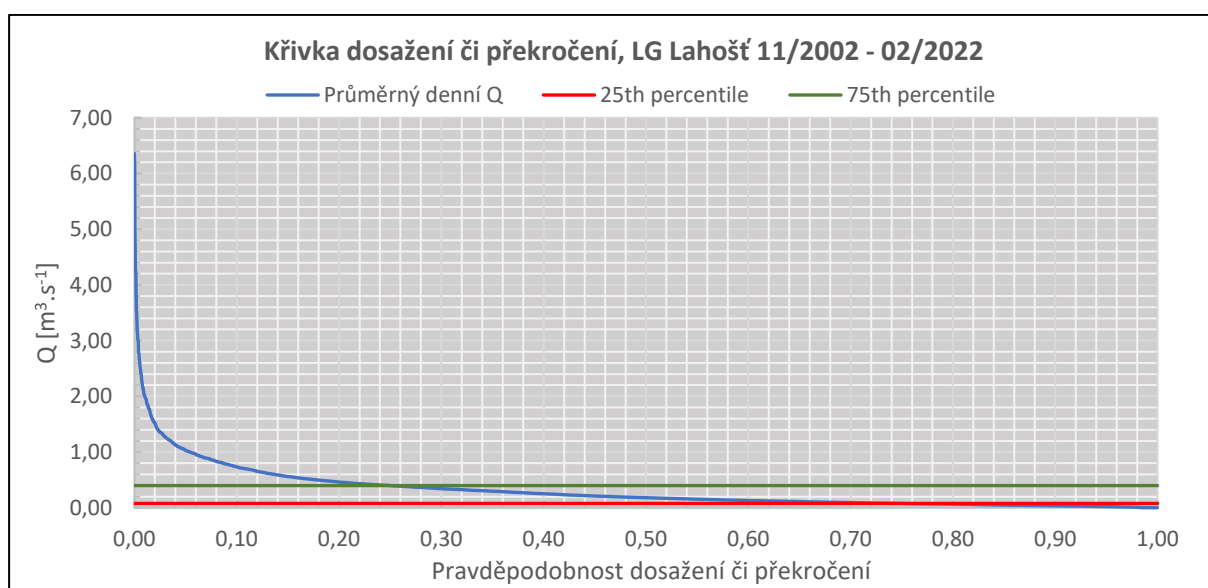
Obr. 37 – Periodogram datové řady prům. denních průtoků. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)

Pro každý rok byly stanoveny hodnoty M-denních průtoků v intervalech Q₃₀-Q₃₅₅, (Obr. 38). I z výpočtu M-dennosti je patrný postupný poklesový trend vodností, reprezentován především minimálními zůstatkovými průtoky (Q₃₅₅), které byly nejnižší v letech 2018 a 2020. Ve většině hydrologických letech nepřesáhl tento průtok hodnotu 0,20 m³.s⁻¹. V roce 2018 klesl dokonce až na 0,06 m³.s⁻¹ a v roce 2020 na 0,07 m³.s⁻¹. To jsou již průtoky pod hranici ekosystémového průtočného deficitu, který byl pro Bouřlivec (LG Lahošť) spočten na 0,077 m³.s⁻¹ (Obr. 39).



Obr. 38 – Intervaly M-denních průtoků. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)

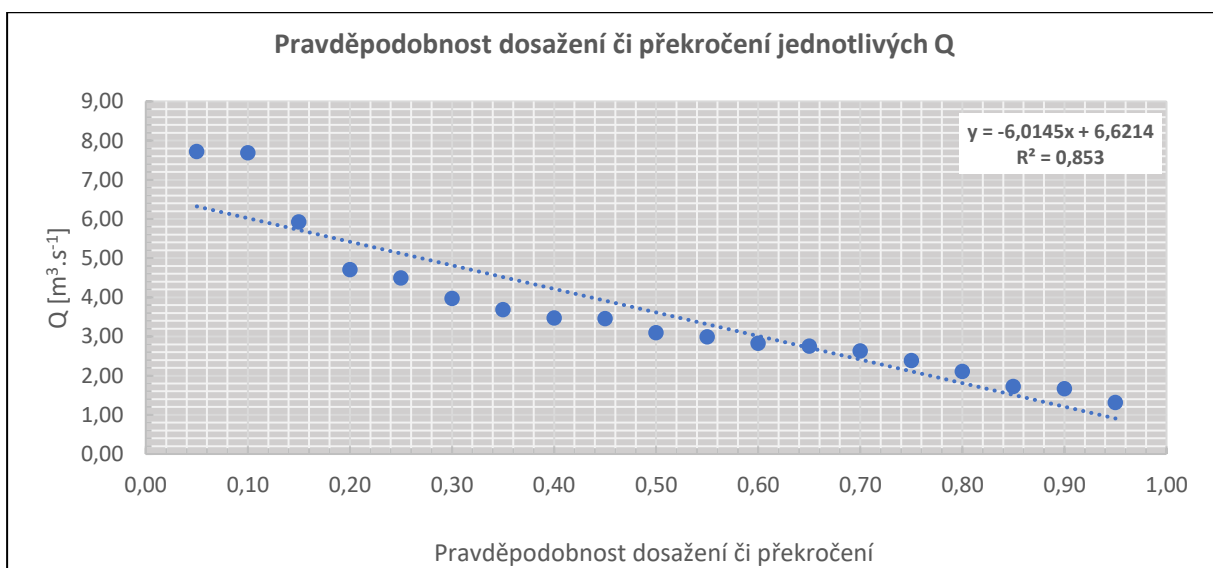
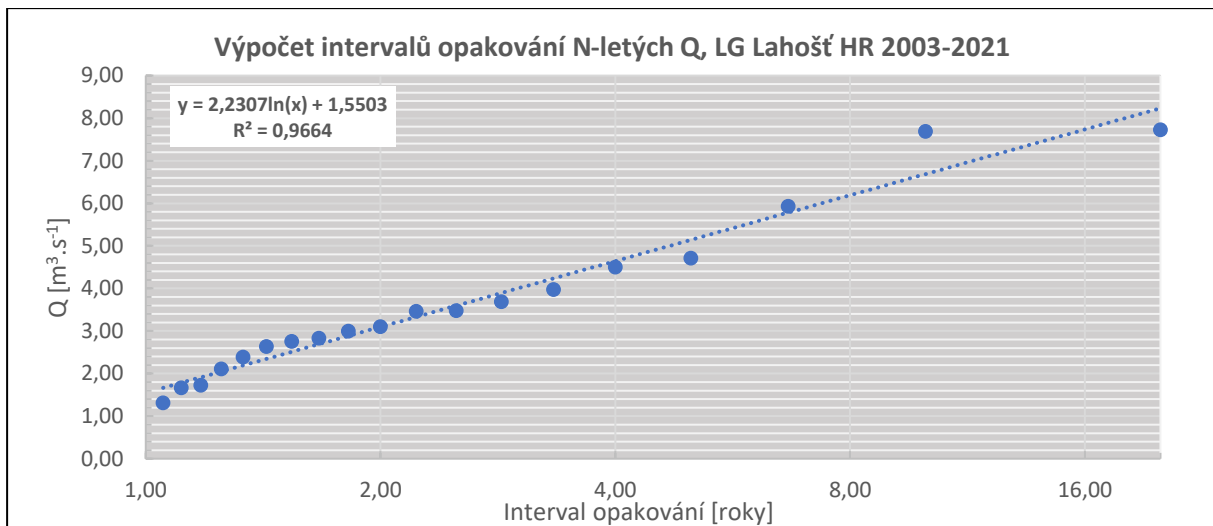
Průtok odpovídající 1. kvartilu (hranice ekosystémového průtočného deficitu = $0,0770 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a průtok odpovídající 3. kvartilu (hranice ekos. průtočného nadbytku = $0,3979 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), (viz Gao *et al.*, 2012 in Sharma *et al.*, 2019, p. 3116-3117) byl odečten z křivky dosažení či překročení jednotlivých průtoků (Obr. 39). Ta poté slouží jako další ukázka trendu velmi nízkých vodností za posledních cca 20 let. Vždyť průtok o hodnotě $0,716 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je v dlouhodobém průměru datové řady dosažen či překročen pouze s pravděpodobností 10 %. Průtoky převyšující hranici $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ jsou dosaženy či překročeny s pravděpodobností cca 5 % a průtoky nad $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pouze s pravděpodobností cca 0,04 %.



Obr. 39 – Křivka dosažení či překročení jednotlivých průtoků. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)

Výpočty N-letostí „RI metodou“ shrnuje (Obr. 40) a Tab. 8. Je patrné, že míra přesnosti/spolehlivosti výpočtu je zde výrazně ovlivněna délkou datové řady. Především hodnota Q_2 ($3,10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) se blíží hodnotě N-letého průtoku dle ČHMÚ ($Q_2 = 3,90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Ostatní hodnoty jsou výrazně nižší, než hodnoty ČHMÚ z roku 2007. Největší rozdíl je patrný v největších intervalech N-letosti ($Q_{20} = 7,72$ vs $Q_{20} = 19,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Z toho vyplývá, že výsledné hodnoty N-letých průtoků nelze navzájem porovnávat s daty ČHMÚ, jelikož k jejich získání nejspíše vedly odlišné výpočetní metody.

Souběžně byl proveden i druhý výpočet pomocí Gumbelovy metody extrémní teoretické distribuce (Obr. 41, Tab. 9), a to, jak jej v několika svých pracích postupně definoval E. J. Gumbel (Gumbel, 1941, Gumbel, 1958 in Ponce, 2014). I zde jsou N-leté průtoky výrazně nižší než hodnoty poskytnuté ČHMÚ. Nicméně mezi oběma použitými metodami je patrný průnik mezi získanými výsledky ($Q_{20} = 7,72$ – RI metoda vs $Q_{20} = 7,74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – Gumbel).

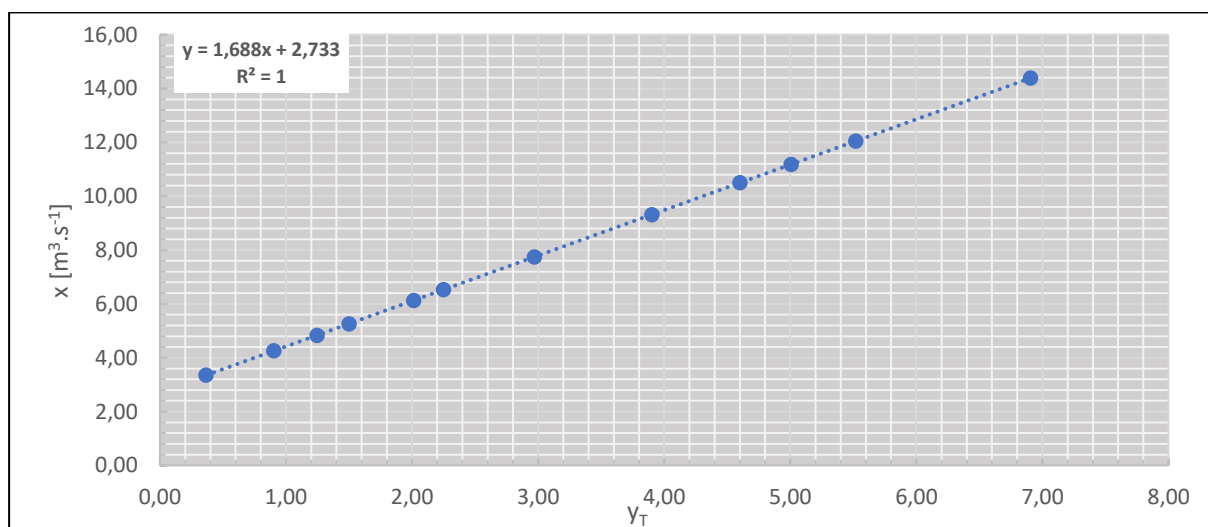


Obr. 40 – Výpočty intervalů opakování průtoků v semilogaritmickém zobrazení pomocí „RI metody“ (nahore) a inverzně zobrazená pravděpodobnost dosažení či překročení vybraných průtoků (dole). Hodnoty N-letostí odkrývá Tab. 8. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)

Za povšimnutí stojí u Gumbelovy teoretické extrémní distribuce, její výpočty shrnuje Tab. 9, také skutečnost, že lze spočítat hodnotu N-letého průtoků pro takřka libovolný časový interval. Zde je výpočet, kromě standardních intervalů, veden i pro intervaly opakování 150, 250 a 1000 let. Hodnota $Q_{1000} = 14,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ neodpovídá ani hodnotě Q_{20} dle ČHMÚ. Jen další ukázka toho, že tyto dva výpočty nelze srovnávat, nicméně, vzhledem k poskytnuté datové řadě, se hodnoty N-letých průtoků prezentované v této studii jeví jako pravděpodobnější a lépe popisující průtokové podmínky na zájmové lokalitě. Pro další porovnání výsledků je možné využít novou metodu výpočtu extrémních hodnot, dle Makkonen, Tikanmäki (2019), která dle autorů, vylepšuje předpovídání extrémních hodnot především u kratších datových řad (případ dat Bouřlivce z LG Lahošť).

Tab. 8 – Přehled výpočtů N-letých průtoků vycházející z grafického zobrazení Obr. 40. Zdroj: (Povodí Ohře, s.p.)

Hyd. rok	Peak Q	Rank (m)	Pravděpodobnost dosažení či překročení	Interval opakování Q [roky]
2006	7,724	1	0,05	20,00
2005	7,692	2	0,10	10,00
2013	5,930	3	0,15	6,67
2011	4,711	4	0,20	5,00
2017	4,496	5	0,25	4,00
2010	3,976	6	0,30	3,33
2019	3,684	7	0,35	2,86
2014	3,478	8	0,40	2,50
2012	3,462	9	0,45	2,22
2015	3,101	10	0,50	2,00
2008	2,994	11	0,55	1,82
2021	2,831	12	0,60	1,67
2003	2,754	13	0,65	1,54
2009	2,637	14	0,70	1,43
2004	2,388	15	0,75	1,33
2007	2,107	16	0,80	1,25
2020	1,725	17	0,85	1,18
2016	1,665	18	0,90	1,11
2018	1,314	19	0,95	1,05



Obr. 41 – Výpočty N-letých průtoků pomocí Gumbelova extrémního teoretického rozložení

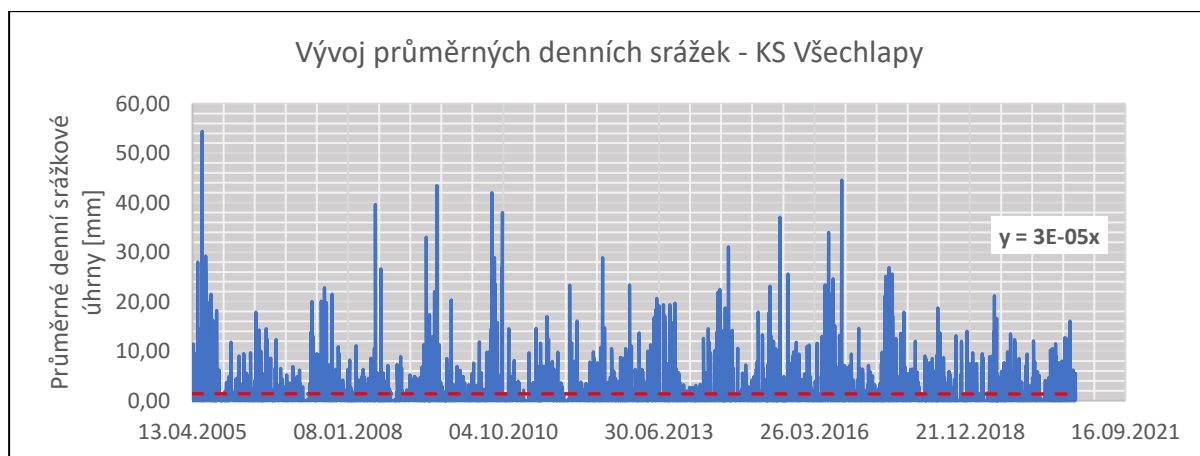
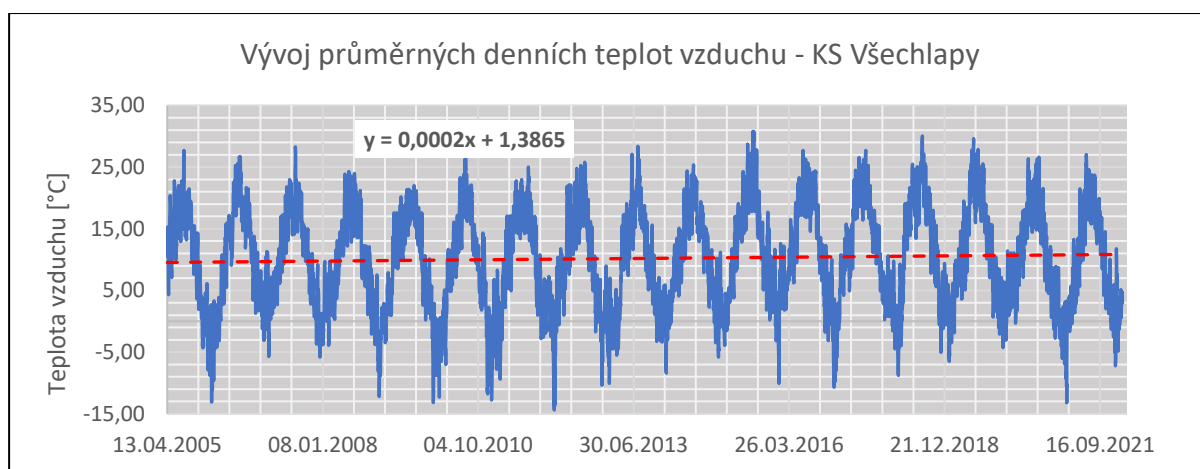
Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)

Standardnímu zpracování podléhala i klimatická data z KS Všechny. Byl vykreslen jejich vývoj z hlediska denních průměrů teplot vzduchu a srážek (Obr. 42). V datech není prakticky žádný trend, nicméně u klimatických dat je třeba dlouhé datové řady, pro identifikaci

případného trendu. I zde je patrná výrazná sezonalita a periodicitu dat, která je u dat teploty vzduchu i srážek opět v jasných ročních cyklech.

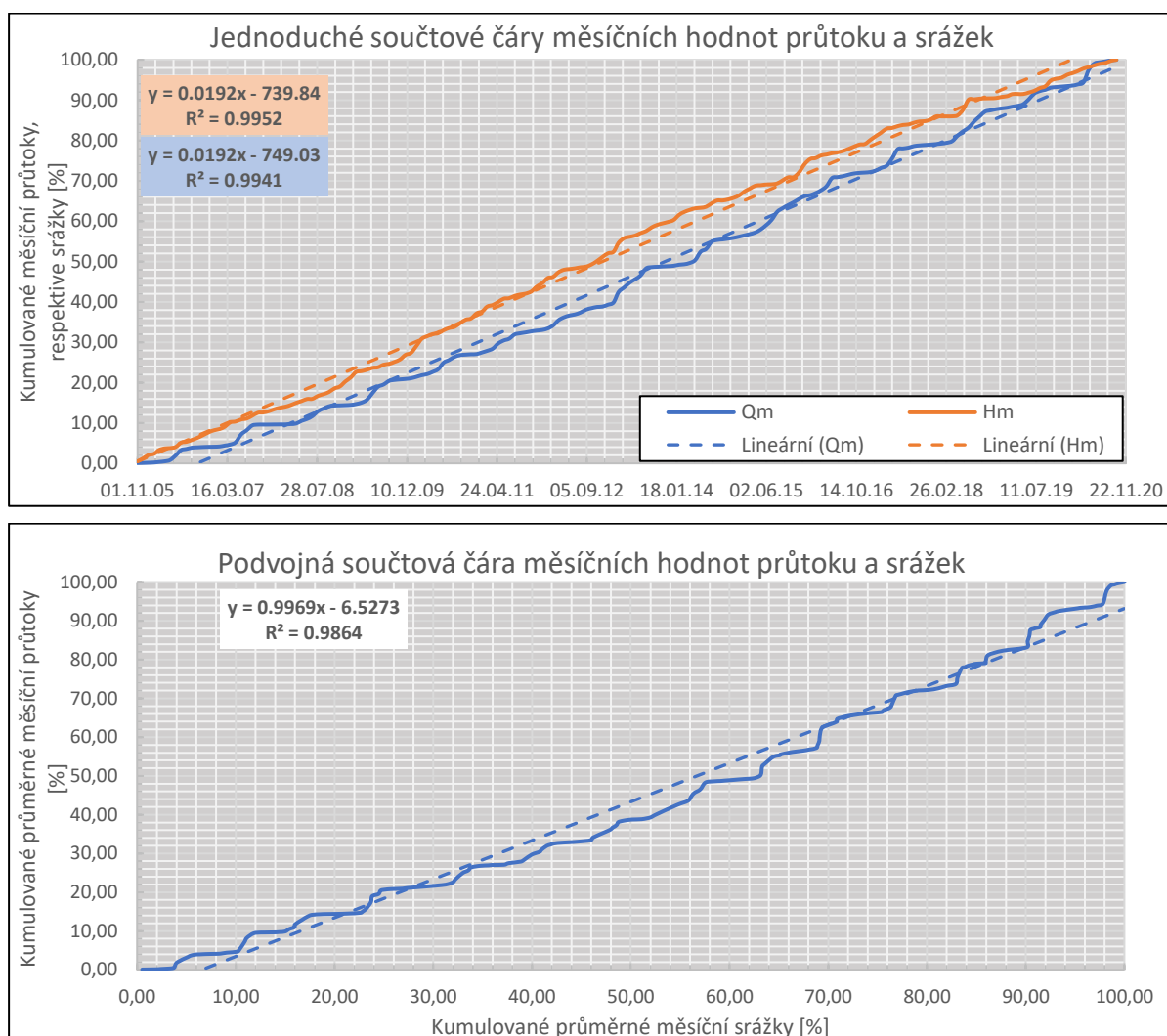
Tab. 9 – Výpočet N-letosti pomocí Gumbelova extrémního teoretického rozložení. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p., rovnice pro výpočty: Gumbel, 1941, Gumbel, 1958 in Ponce, 2014, Selaman et al., 2007, Kaur et al., 2021)

<i>T [roky]</i>	<i>y_T</i>	<i>K</i>	<i>x [m³.s⁻¹]</i>	<i>Průměr Peak Q</i>	<i>Std. Dev Peak Q</i>
2	0,366512921	-0,147171869	3,35168951	3,614158	1,78341409
3	0,902720456	0,360326004	4,25676837		
4	1,245899324	0,685186298	4,83612879		
5	1,499939987	0,92555365	5,26480332		
8	2,013418678	1,411659894	6,13173204		
10	2,250367327	1,635782063	6,53143467		
20	2,970195249	2,317050207	7,74641788		
50	3,901938658	3,19888194	9,31908902		
100	4,600149227	3,859690731	10,4975847		
150	5,007292664	4,24502429	11,184794		
250	5,519457577	4,729753527	12,049267		
1000	6,907255071	6,043209417	14,3917027		



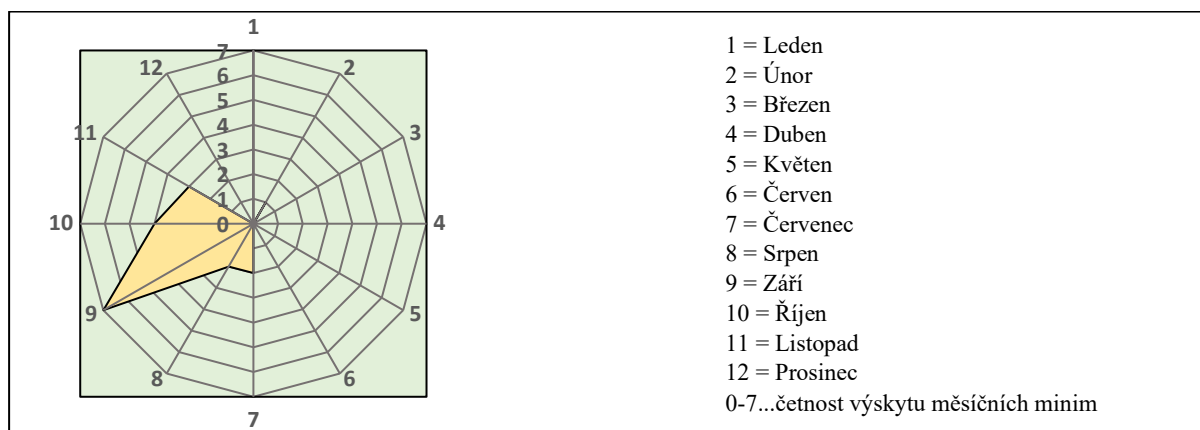
Obr. 42 – Vývoj průměrných denních klimatických dat. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)

Vzájemnou syntézou hydroklimatických dat jsou jednoduché a podvojně součtové čáry (viz Obr. 43). Z průběhu jednoduché součtové čáry lze odvodit míru vyrovnanosti odtokového režimu, resp. srážek (Kliment, Matoušková, 2007). Pokud je nárůst součtové čáry pozvolný, lineární a bez větších výkyvů, lze usoudit, že v daném profilu nebyly v poslední době výrazné změny odtokového režimu. Toto tvrzení však neplatí pro Bouřlivec (viz. Obr. 43), kde dochází v průběhu součtové čáry k pravidelnému nárůstu a poklesu. Tento může být způsoben pravidelným nočním čerpáním z Obřího pramene, který se nachází na severním okraji obce Lahošť, přibližně 150 m nad silničním mostem spojující hlavní komunikací města Duchcov a Teplice. Dalším způsobem, jak vykreslit kumulované hodnoty průtoků a srážek je ve formě podvojných součtových čar (Obr. 43). Tyto lépe vizualizují změny srážko-odtokových poměrů na lokalitě.



Obr. 43 – Jednoduché a podvojně součtové čáry, období 04/2005-10/2020. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)

Finální zhodnocení odtokových poměrů lze shrnout následujícími větami. Bouřlivec v obci Lahošť se dlouhodobě potýká spíše s nižšími vodnostmi, kdy absolutní průtočná minima se nejčastěji vyskytují v září, jak ukazuje paprskový graf sezonality (Obr. 44). Výrazná roční periodicita je doprovázena dlouhodobě statisticky signifikantním poklesovým trendem. Důvodů může být hned několik. Bouřlivec na svém, téměř celém, toku ztrácí výrazné množství vody, jak ukazuje recentní práce (Junková, 2021). Celé situaci nepomáhají ani nikým nekontrolované odběry v samotné Lahošti (Obr. 45). Nicméně, nelze zde opomenout riziko povodně, jelikož relativně ploché údolní dno leží přímo pod vysoce skloněnými svahy Krušných hor, které jsou srážkově nadprůměrné a silná konvektivní srážka či rychlé tání sněhové pokrývky může v údolí vyvolat značné škody. Další analýzy srážko-odtokových procesů poskytují nedávné diplomové práce v povodí (viz Junková, 2021 a Vítková, 2021).



Obr. 44 – Paprskový graf sezonality minimálních průměrných měsíčních průtoků. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



Obr. 45 – Ukázka nepovolených odběrů v záměrném úseku. Zdroj: (foto Milada Matoušková)

8.2 Kvalita povrchových vod

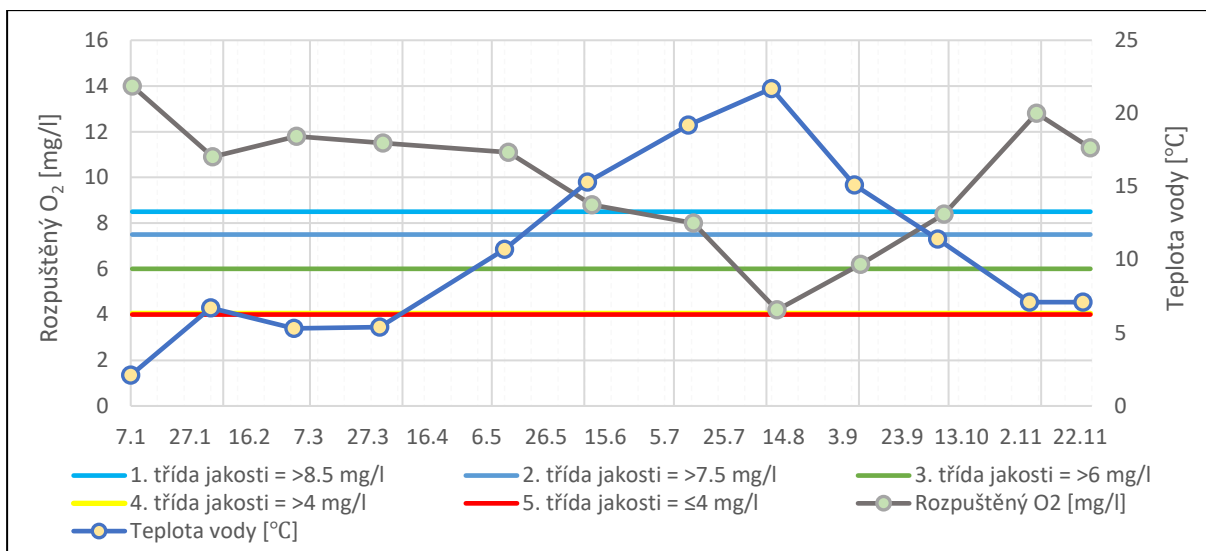
Analytické vyhodnocení dat jakosti vody je rozděleno do dvou podkapitol. V první budou vyhodnocena data z odběrného místa Povodí Ohře, s.p. Ve druhé části se pozornost přesune na data vlastních odběrů, která byla odebrána v intravilánu obce Lahošť a jeho nejbližším okolí.

8.2.1 Analýza dat Povodí Ohře, s.p. – soutok Bouřlivce a Loučenského p.

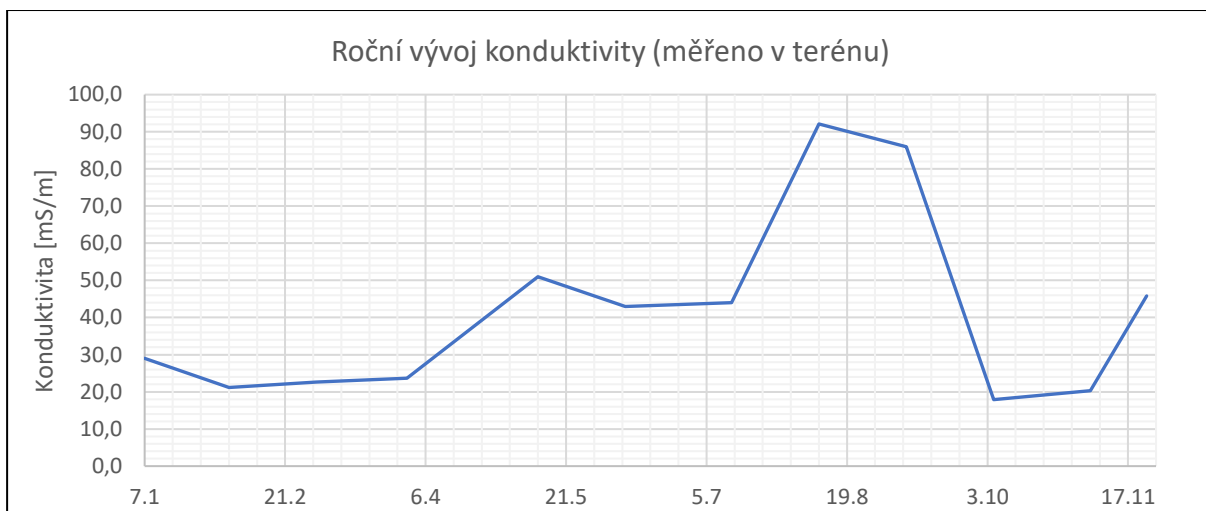
Vývoj obecných a fyzikálně-chemických ukazatelů v roce 2020 shrnuje Obr. 46-a. Za povšimnutí stojí velmi nízké koncentrace O_2 v letních měsících, které se již pohybují na hranici „*velmi znečištěné vody*“. Tyto jsou primárně způsobeny zvýšením teploty vzduchu, a tedy i vodního prostředí. S poklesem teplot vody opět koncentrace rozpuštěného kyslíku stoupají (Obr. 47-a). Nicméně spotřeba O_2 ve vodních tocích je také navyšována přísunem přírodních organických látek, a to především při jejich rozkladných procesech, které probíhají po konci vegetačního období. Paradoxně nejvyšší riziko vytvoření bezkyslíkatých vrstev vodního sloupce tedy není v létě, nýbrž začátkem podzimu.

Kromě kriticky nízkých letních koncentrací rozpuštěného O_2 je také patrný výrazný nárůst konduktivity (Obr. 46-b). Ta je taktéž silně spjata s mírou rozpuštěného kyslíku ve vodě (Obr. 47-b) a tedy i teplotou vody (Obr. 47-c). Síla těchto asociací je značná a převyšuje hranici popisující signifikantní závislost (Obr. 47-d, de Vaus, 2002). Čím nižší koncentrace rozpuštěného kyslíku za větších teplot vody, tím zpravidla bývají vyšší i měřené hodnoty konduktivity. Ze vzájemné závislosti rozpuštěných látek (dále jako RL), a právě konduktivity, lze určit míru homogenity znečištění. Pokud vývoj dodržuje pozvolný lineární nárůst, zdroj znečištění je pravděpodobně homogenní, avšak pokud jsou hodnoty nelineární, pak znečišťující látky pochází zřejmě z několika, na sobě nezávislých, lokalit.

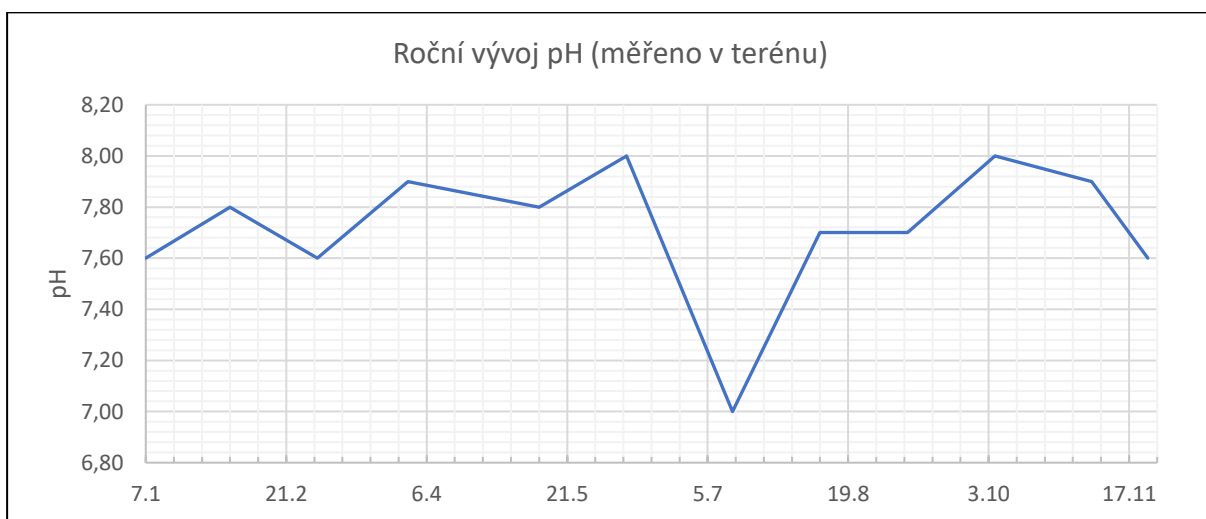
Co se týče ročního vývoje pH (Obr. 46-c), kolísá cca od 7-8, mezi neutrálním či mírně alkalickým. Tyto hodnoty představují standardní interval pro povrchové vodní toky, který je přibližně 6-9. Letní pokles alkalických látek v toku je, bez doplňujících analýz, složité objasnit.



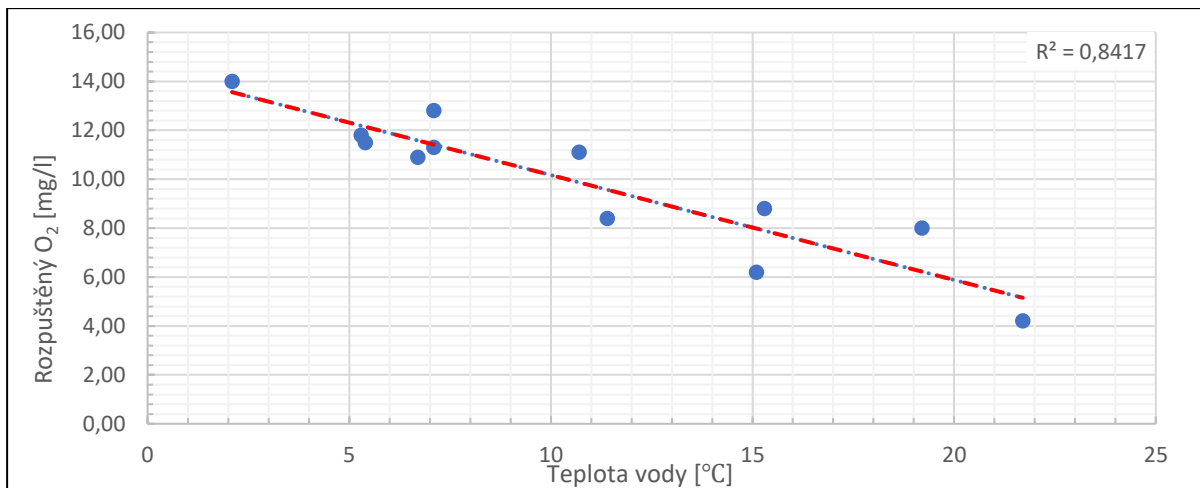
Obr. 46-a – Vývoj základních obecných a fyzikálně-chemických ukazatelů jakosti vody v roce 2020. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



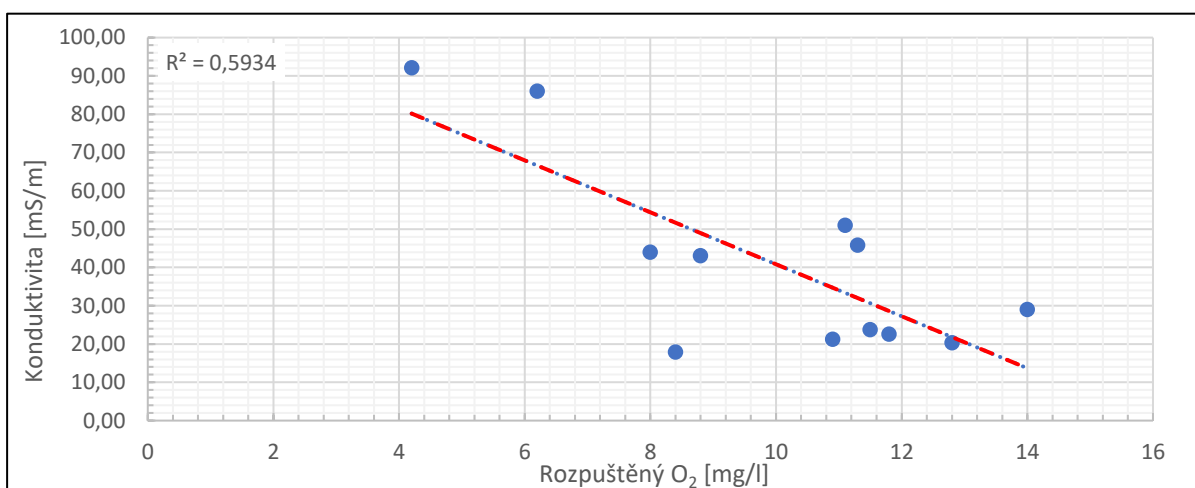
Obr. 46-b – Vývoj konduktivity v roce 2020. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



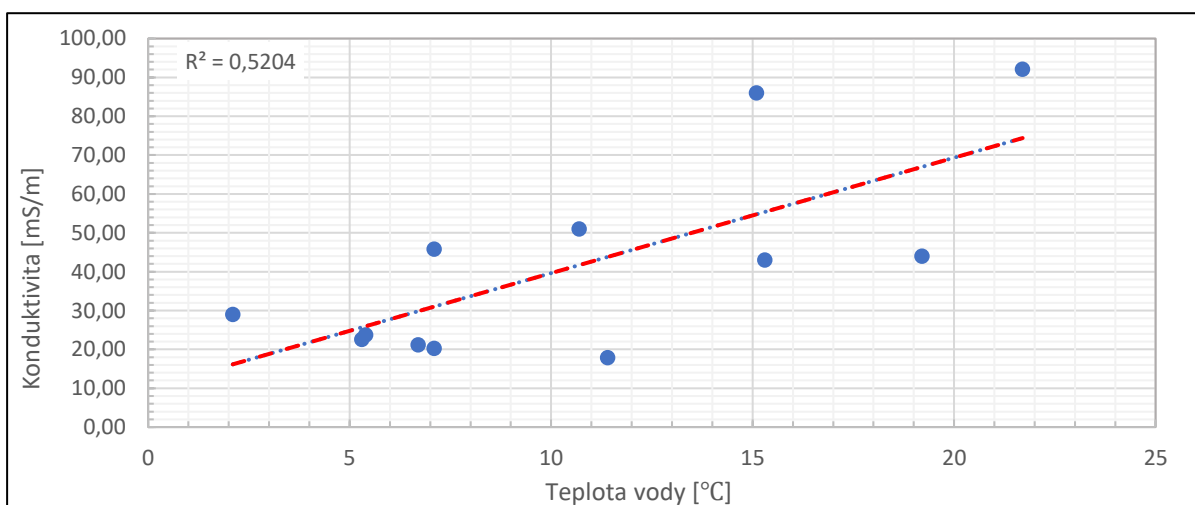
Obr. 46-c – Vývoj pH v roce 2020. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



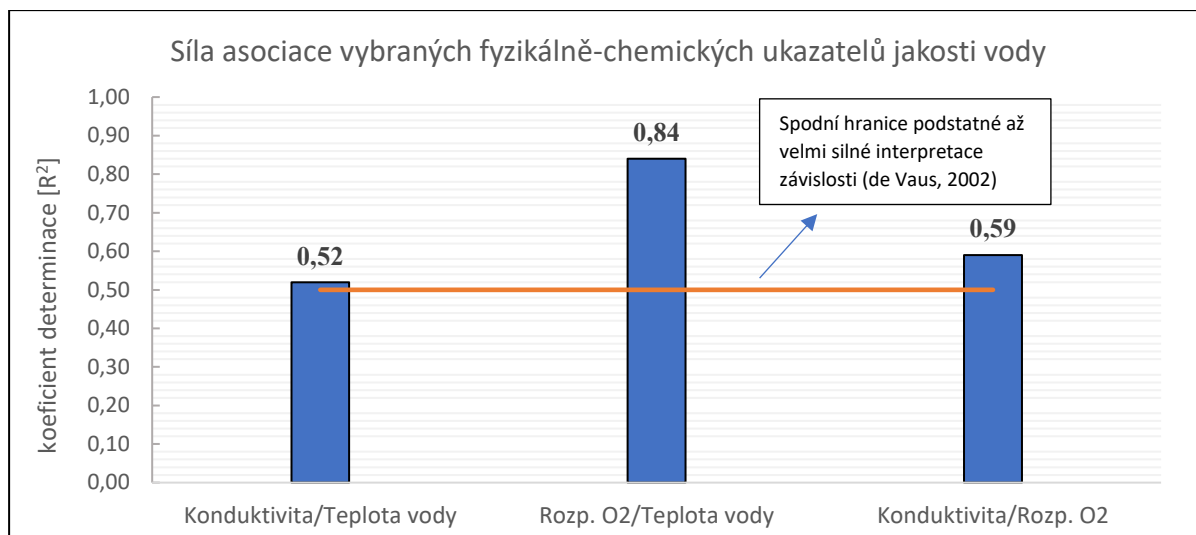
Obr. 47-a – Inverzní závislost koncentrací rozpuštěného O₂ na teplotě vody. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



Obr. 47-b – Vzájemný vztah konduktivity a rozpuštěného kyslíku. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



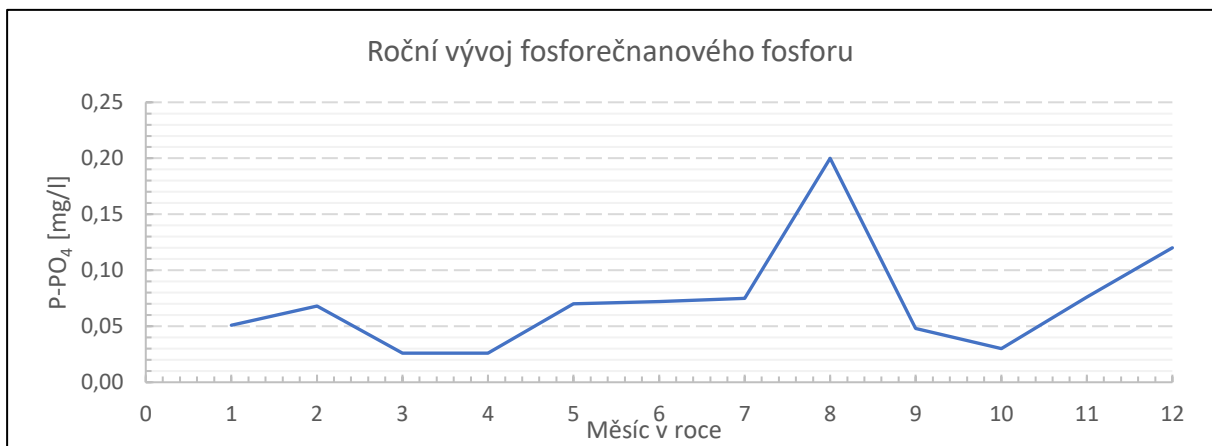
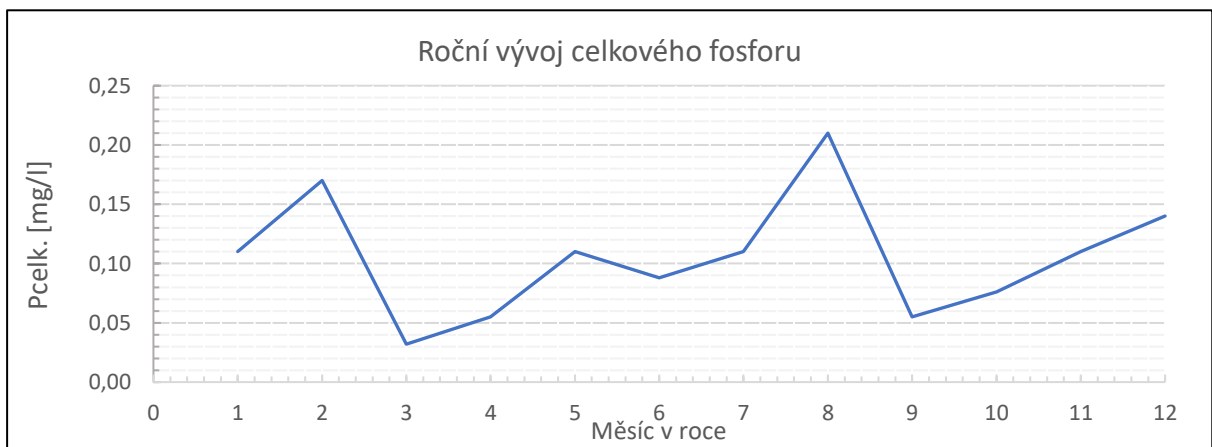
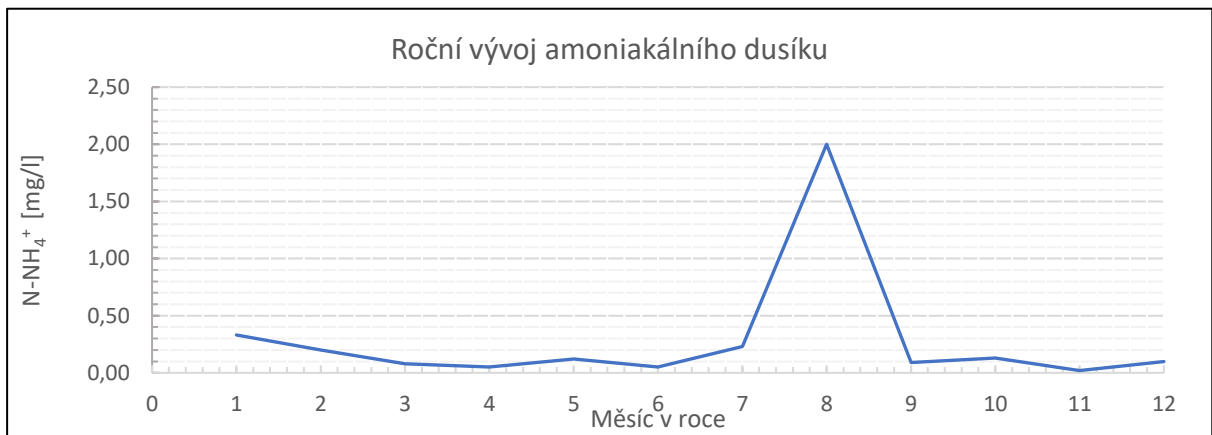
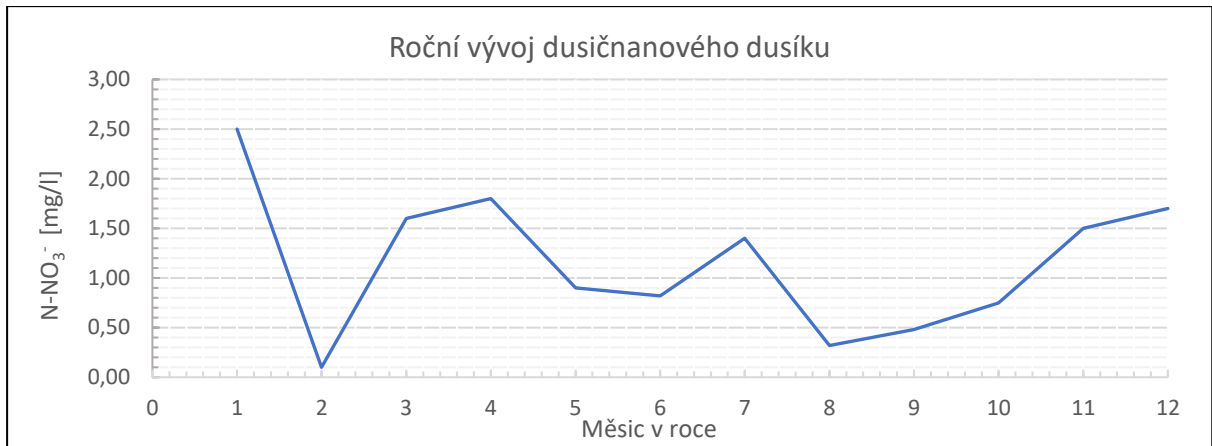
Obr. 47-c – Vzájemný vztah konduktivity a teploty vody. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



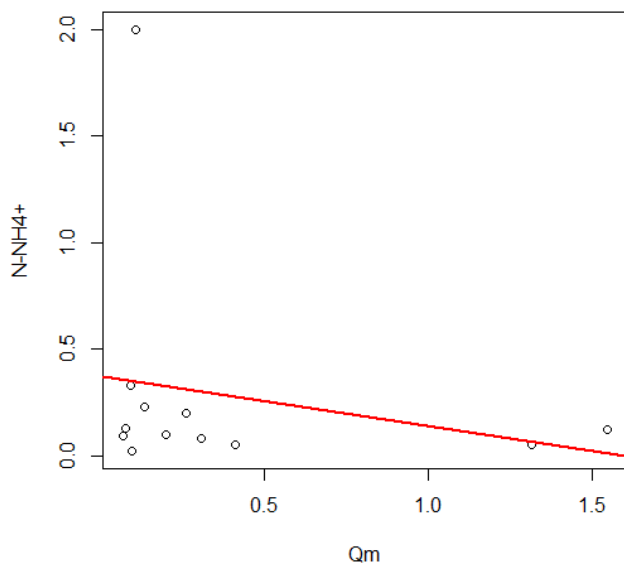
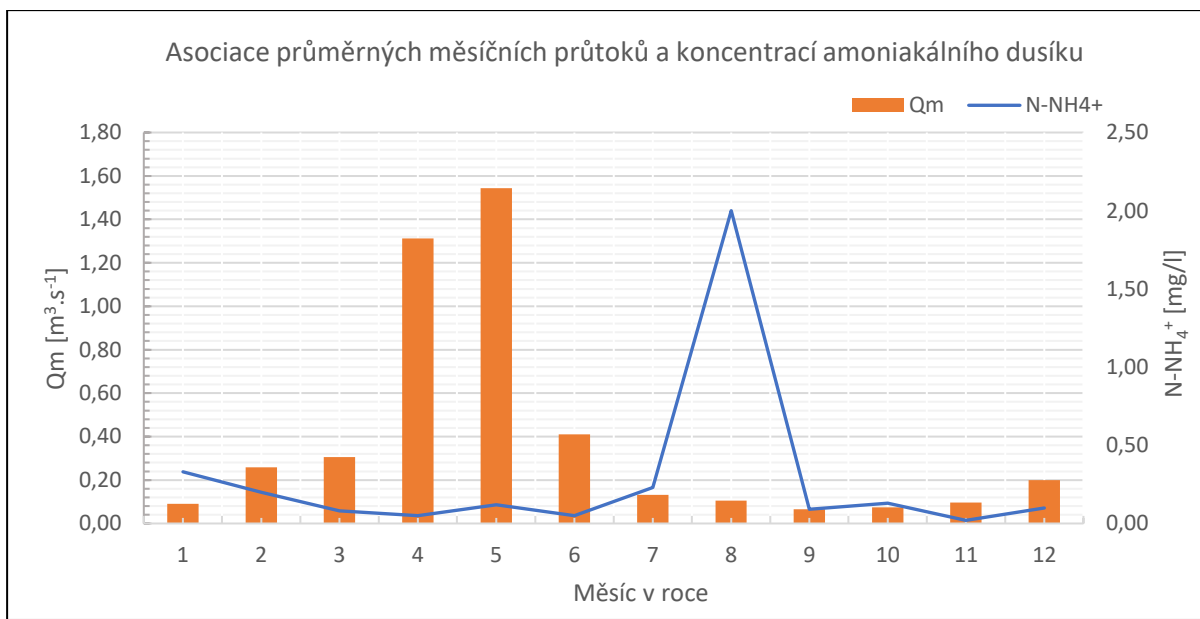
Obr. 47-d – Míra signifikantnosti vzájemných asociací vybraných obecných a fyzikálně-chemických ukazatelů. Zdroj: (Povodí Ohře, s.p., de Vaus, 2002, p. 259)

V dalším kroku byly graficky zpracovány hodnoty sloučenin dusíku (N), tedy dusitanový dusík – N-NO₂, dusičnanový dusík – N-NO₃ a amoniakální dusík – N-NH₄ a také sloučeniny fosforu (P) – celkový P a reaktivní orthofosforečnanový fosfor – P-PO₄. Výsledné roční průběhy jsou na Obr. 48. Vývoj N-NO₂ i N-NO₃ je odlišný od N-NH₄. Dusitany i dusičnany dosahují zpravidla svých peaků v zimních měsících, kdy jsou zpravidla nižší průtoky (Q) a v porovnání s měsíci vegetačního období, zanedbatelný odběr živin vegetací. Výrazně důležitějším z těchto sloučenin dusíku jsou dusičnany, jelikož dusitany podléhají v tocích oxidačním procesům a jejich koncentrace jsou tak velmi nízké. Maximální měřené hodnoty dusičnanů jsou v průběhu celého roku v oblasti 1. či na hranici 1. a 2. třídy kvality.

Zcela jiná situace však panuje u N-NH₄. Extrémní hodnoty amoniakálního dusíku byly zjištěny v srpnu, a to až 2 mg/l (Obr. 48)! Tato hodnota odpovídá nejhorší třídě kvality. Velmi klíčové je zde spolu s naměřenými hodnotami jakosti vody sledovat hodnoty průtoků. Nejvyšší koncentrace nutrientů a obecně znečišťujících látek se zpravidla vyskytují v letních měsících (neplatí však např. pro dusičnany). Jedním z důvodů jsou i nízké letní průtoky. Vyšší průtoky totiž znečištění ředí, naopak nízké průtoky přispívají k jejich vyšším koncentracím (viz Obr 49). Znečištění N-NH₄ zřejmě pochází z bodových zdrojů znečištění, těch může být celá řada, ale zde se lze přiklonit k ne zcela ideálně fungující kanalizaci v obci Hrob a vypouštění odpadních vod z provozu vyřazené ČOV pod obcí Mikulov (Obr. 50). Tyto dva potenciální zdroje znečištění by bylo vhodné podrobit dalšímu monitoringu.



Obr. 48 – Vývoj nutrientů v roce 2020. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p.)



Inverzní asociace mezi průtočným množstvím a koncentracemi ukazatelů jakosti vody je obecně známým a platným faktem, který je třeba vždy posuzovat, a to především u vysokých koncentrací znečištění. Pokud je zdroj a míra vypouštěného znečištění stálá, naměřené koncentrace závisí výhradně na průtoku v době měření.

Obr. 49 – Vliv průtoků na ukazatele jakosti vody. Zdroj: (data Povodí Ohře, s.p., Jonáš, Matoušková, 2022)

Nicméně dle Redfieldova poměru je hlavním limitujícím nutrientem v českých tocích, z pohledu eutrofizace, fosfor (P). Fosfor se dělí na celkový P a na P-PO₄ – orthofosforečnanový fosfor. Právě P-PO₄ je tzv. biologicky dostupnou formou fosforu a je hlavním hybatelem eutrofních procesů v tocích. Je patrný jeho razantní nárůst v letních měsících. P se do toků nedostává pouze zemědělskou činností, ale je obsažen také v produktech obecné hygieny – detergentech či pracích prostředcích. Koncentrace P se pohybují ve třetí třídě kvality (0,20 mg/l). Nejedná se o extrémní hodnoty, nicméně je doporučeno i nadále tyto koncentrace sledovat, především v kombinaci s rozpuštěným kyslíkem. Při vysokých koncentracích nutrientů a výraznému poklesu O₂ v letních měsících hrozí riziko vytvoření bezkyslíkatého prostředí po konci vegetačního období.



Obr. 50 – Výtok odpadních vod do toku – „ČOV“ pod obcí Mikulov. Zdroj: (foto M. Jonáš)

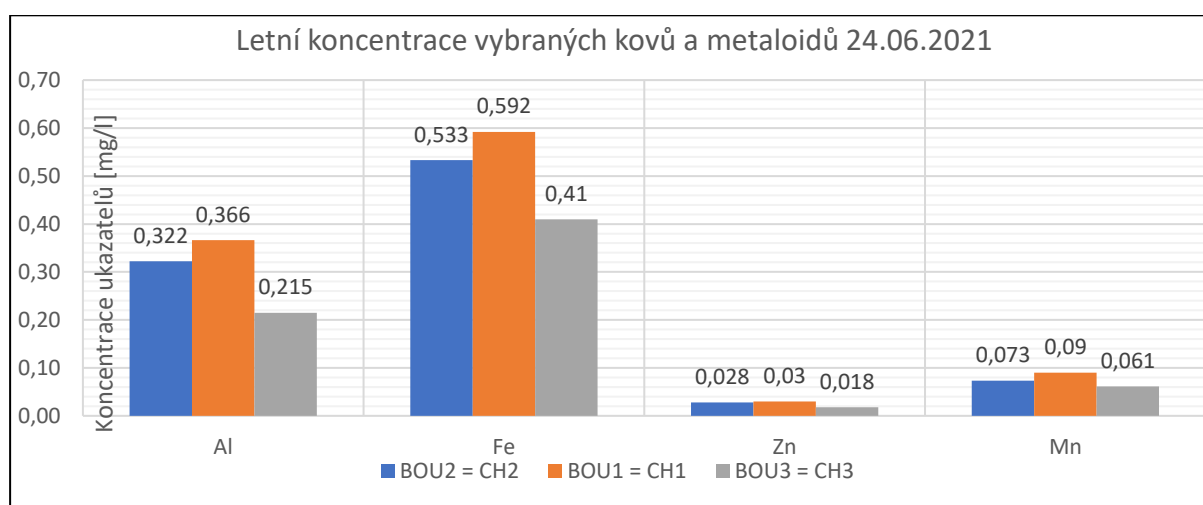
8.2.2 Analýza vlastních odběrů

V rámci vyhodnocení jakosti vody z vlastních odběrných míst byly prvně stanoveny vybrané kovy a metaloidy, a to ve všech třech odběrech (léto – Obr. 51-a, podzim – Obr. 51-b, zima – Obr. 51-c). Jako hlavní kovy a metaloidy byly zvoleny hliník (Al), železo (Fe), mangan (Mn) a zinek (Zn). Fe a Mn ovlivňují primárně organoleptické vlastnosti vody (barvu, chuť, zápach). Typická železitá chuť vody ale může být způsobena i Cd – velmi silně toxický prvek. Z tohoto důvodu analýza zahrnovala i silně toxické těžké kovy a metaloidy (Cd, Pb či As). Jejich výskyt v toku nebyl ve zvýšených koncentracích potvrzen.

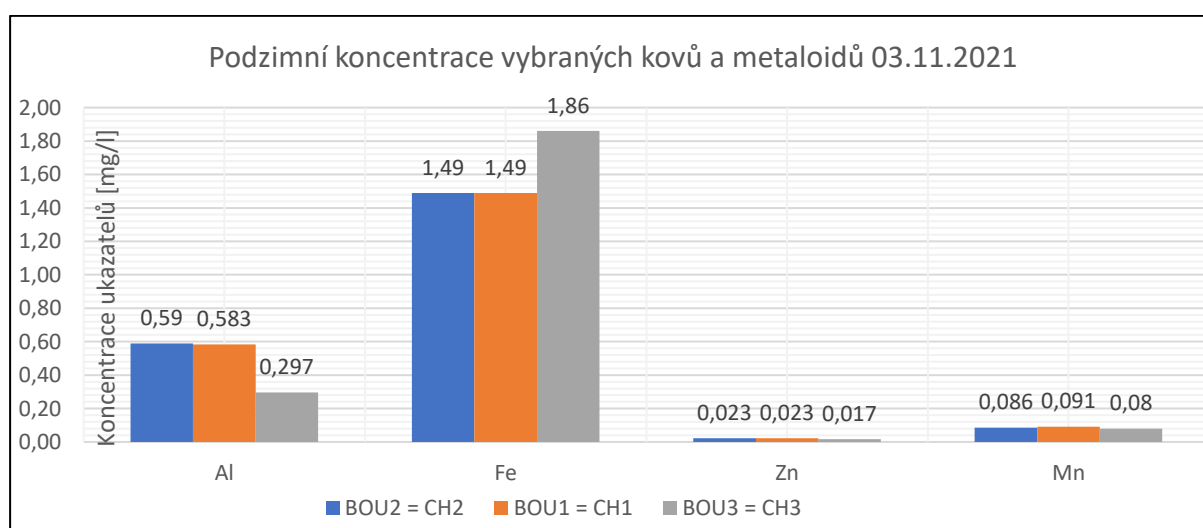
Nejvyšší koncentrace Fe i Mn byly zaznamenány v podzimních měsících. Peak Fe – 1,86 mg/l jej řadí do třetí třídy kvality a přináleží konci úseku již provedené revitalizace (CH3). Nejvyšší koncentrace Mn – 0,091 mg/l byly zaznamenány také v podzimních měsících, a to

v zájmovém úseku této revitalizační studie, v samém středu intravilánu obce Lahošť. Tyto však stále spadají do nejlepší jakostní třídy.

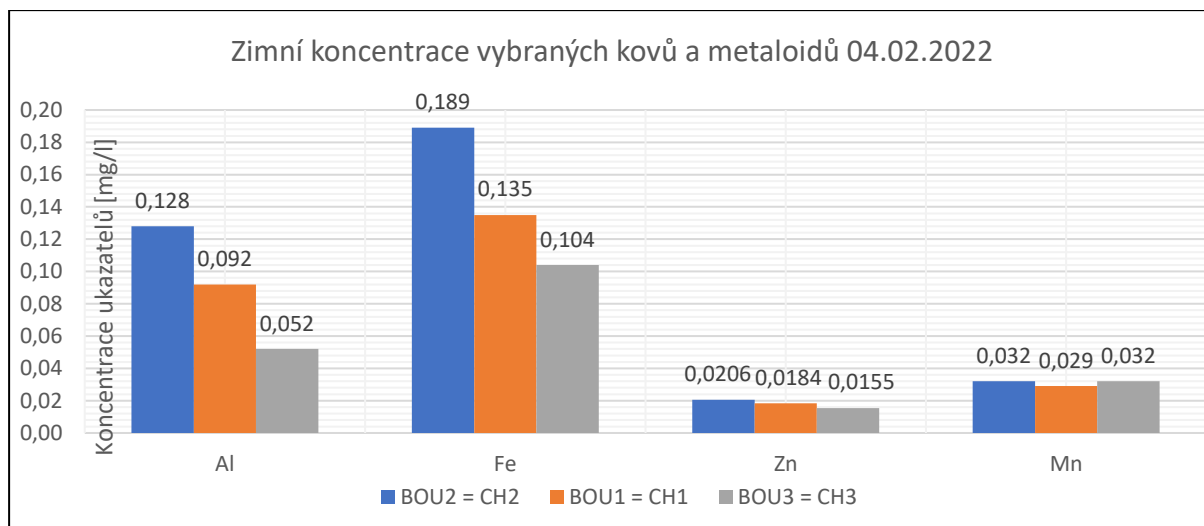
Také koncentrace Al byly nejvyšší v podzimních měsících. Peak činil 0,59 mg/l a byl zachycen v přírodnějším úseku nad revitalizací. Tato koncentrace je sice hraniční, ale stále spadající do I. třídy kvality. Nicméně hliník (Al) je specifickým prvkem, který ve vodním prostředí nabývá mnoho podob (viz Šimková, 2012). Mezi hlavní zdroje Al ve vodách patří jeho vyluhování z okolních hornin a z půdy, kdy nejvíce toxickým je volný ion Al^{3+} . Posledním vybraným prvkem této analýzy byl Zn. Nejvyšší koncentrace – 0,03 mg/l byla dosažena v zájmovém úseku revitalizace uprostřed intravilánu obce Lahošť. Tentokrát se již tyto koncentrace pohybují v II. třídě kvality, stále však bez výraznějšího ohrožení vodní fauny.



Obr. 51-a – Letní koncentrace vybraných kovů a metaloidů – odběr dne 24.06.2021. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

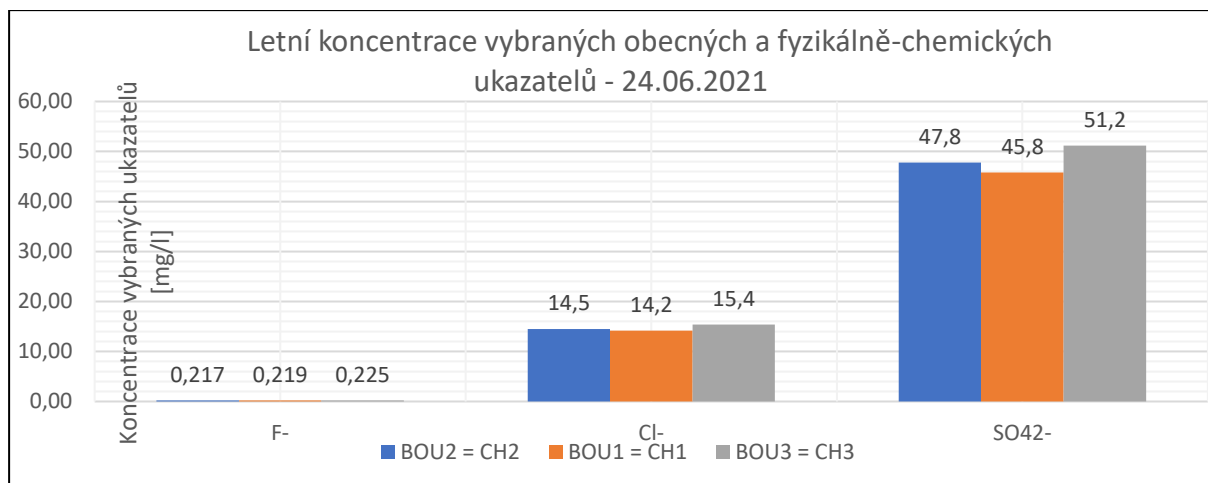


Obr. 51-b – Podzimní koncentrace vybraných kovů a metaloidů – odběr dne 03.11.2021. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

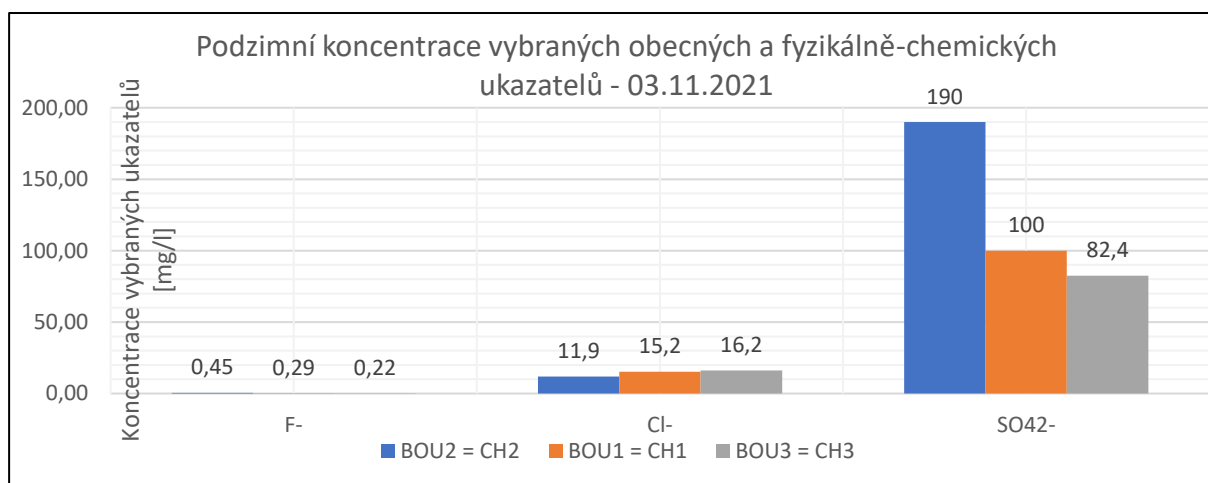


Obr. 51-c – Zimní koncentrace vybraných kovů a metaloidů – odběr dne 04.02.2022. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

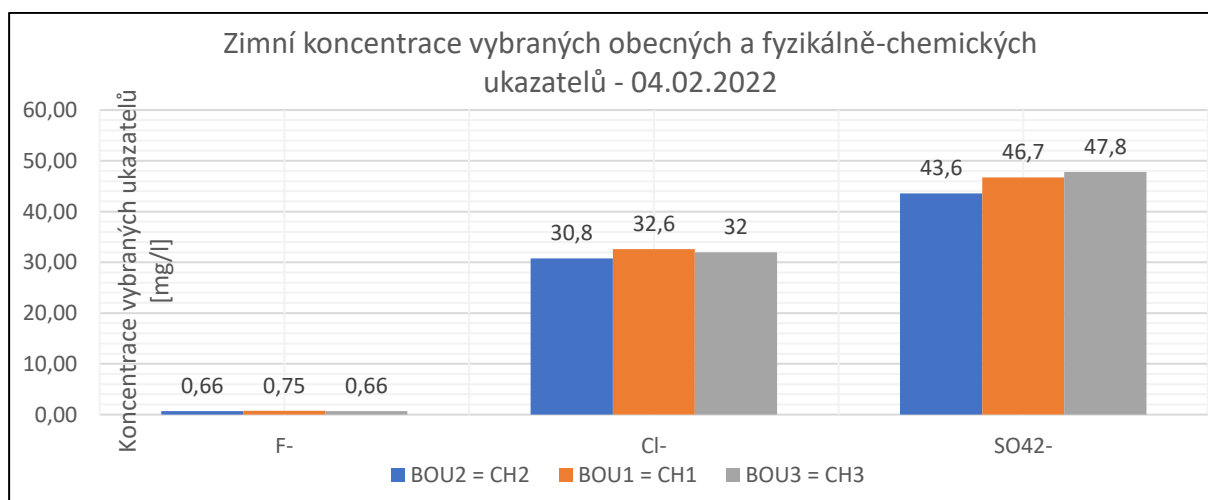
Kromě kovů a metaloidů nebyly opomenuty ani obecné, fyzikálně-chemické ukazatele (Obr. 52). Konduktivita, O_2 , teplota a pH byly měřeny v terénu (04.02.2022) a jejich podélný vývoj je prezentován v následujícím grafickém materiálu (Konduktivita – Obr. 53-a, O_2 – Obr. 53-b, teplota vody – Obr. 53-c, pH – Obr. 53-d). Geochemickou laboratoří PřF UK poté byly v každém odběru stanoveny koncentrace fluoridů (F^-), chloridů (Cl^-) a síranů (SO_4^{2-}), (letní odběr - Obr. 52-a, podzimní – Obr. 52-b, zimní – Obr. 52-c). Vysoké koncentrace síranů – 190 mg/l (3. třída kvality) byly v podzimních měsících zaznamenány v přírodním úseku na počátku vtoku Bouřlivce do obce Lahošť. Při stejném měření byly zjištěny i vysoké hodnoty konduktivity ($>500 \mu S/cm$, které však byly měřeny v laboratoři). Důvodem bude zřejmě vyústění vod z objektu na levém břehu, před silničním mostem Duchcov-Teplice, kde byly odběry prováděny. Jedná se o občasný levostranný přítok, který dle mapových podkladů pramení v těsné blízkosti kamenolomu v obci Jeníkov (Obr. 54). Nicméně se může také jednat o silněji mineralizovanou podzemní vodu Teplického ryolitu.



Obr. 52-a – Letní koncentrace základních a fyzikálně-chemických ukazatelů – odběr dne 24.06.2021. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

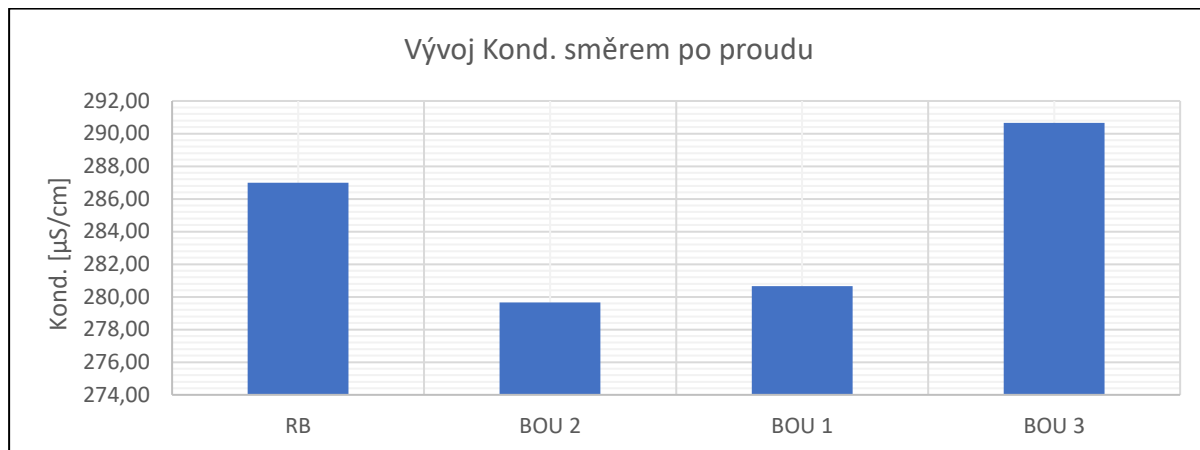


Obr. 52-b – Podzimní koncentrace základních a fyzikálně-chemických ukazatelů – odběr dne 03.11.2021. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

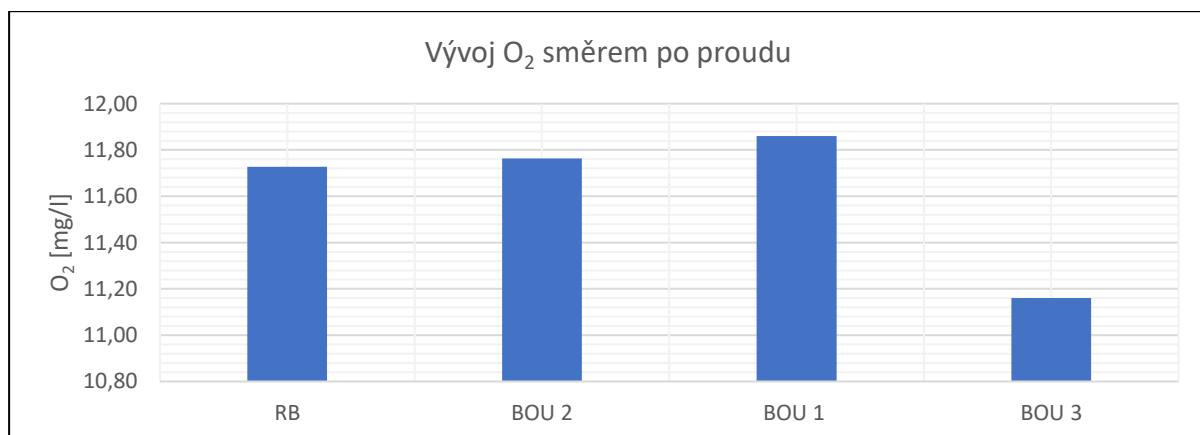


Obr. 52-c – Zimní koncentrace základních a fyzikálně-chemických ukazatelů – odběr dne 04.02.2022. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

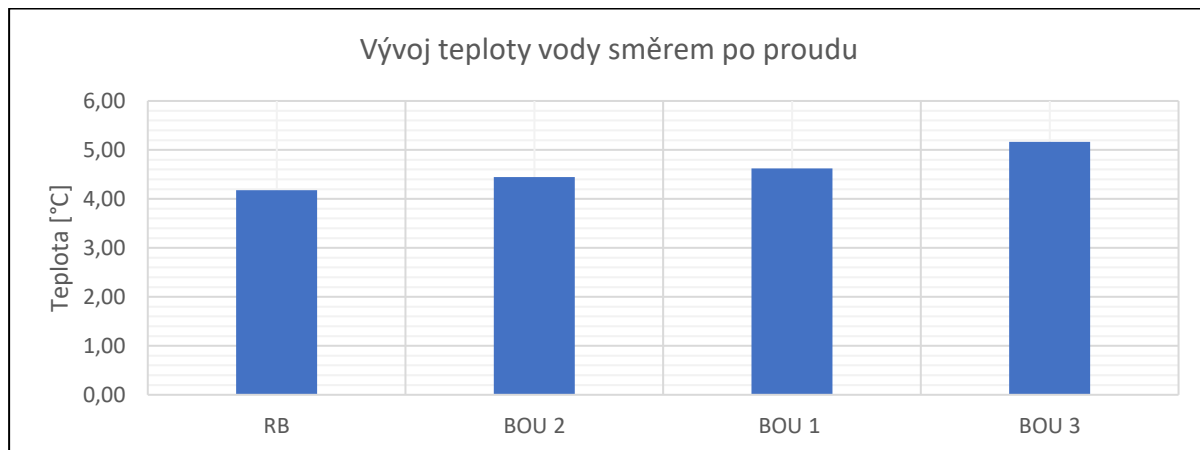
Koncentrace Cl^- jsou ve všech měřeních v I. třídě kvality, to však neplatí o F^- . Nejvyšší koncentrace – 0,75 mg/l radí fluoridy až do 3. třídy kvality. Byly zaznamenány v zimních měsících v profilu CH1 (zájmový úsek revitalizační studie), nicméně i ve zbylých odebíraných profilech (CH2, resp. CH3) překročily koncentrace F^- hranici 2. třídy. Důvod jejich nárůstu v zimních měsících není možné bez doplňkového měření a dlouhodobého monitoringu určit.



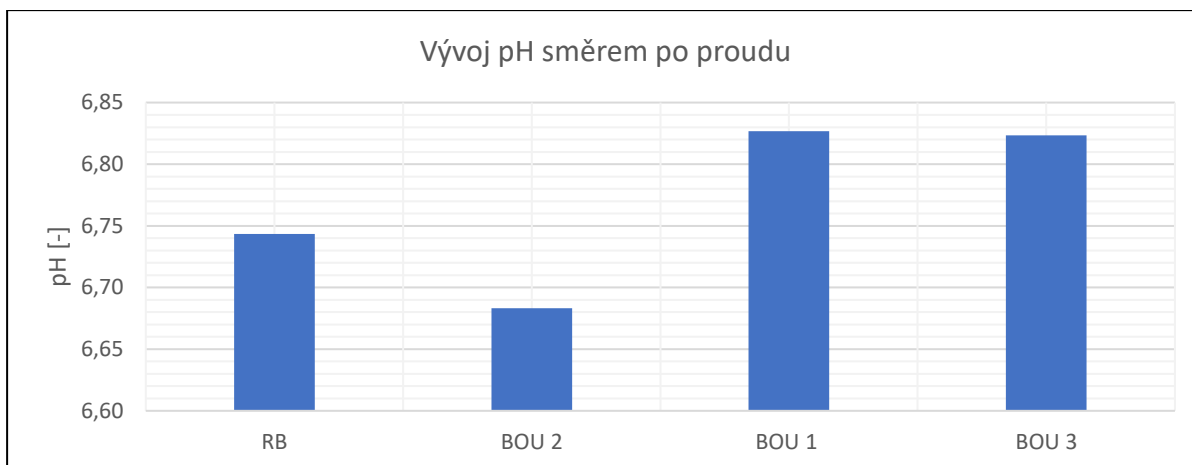
Obr. 53-a – Podélný vývoj konduktivity vodního toku Bouřlivec v k.ú. obce Lahošť



Obr. 53-b – Podélný vývoj rozpuštěného O₂ vodního toku Bouřlivec v k.ú. obce Lahošť

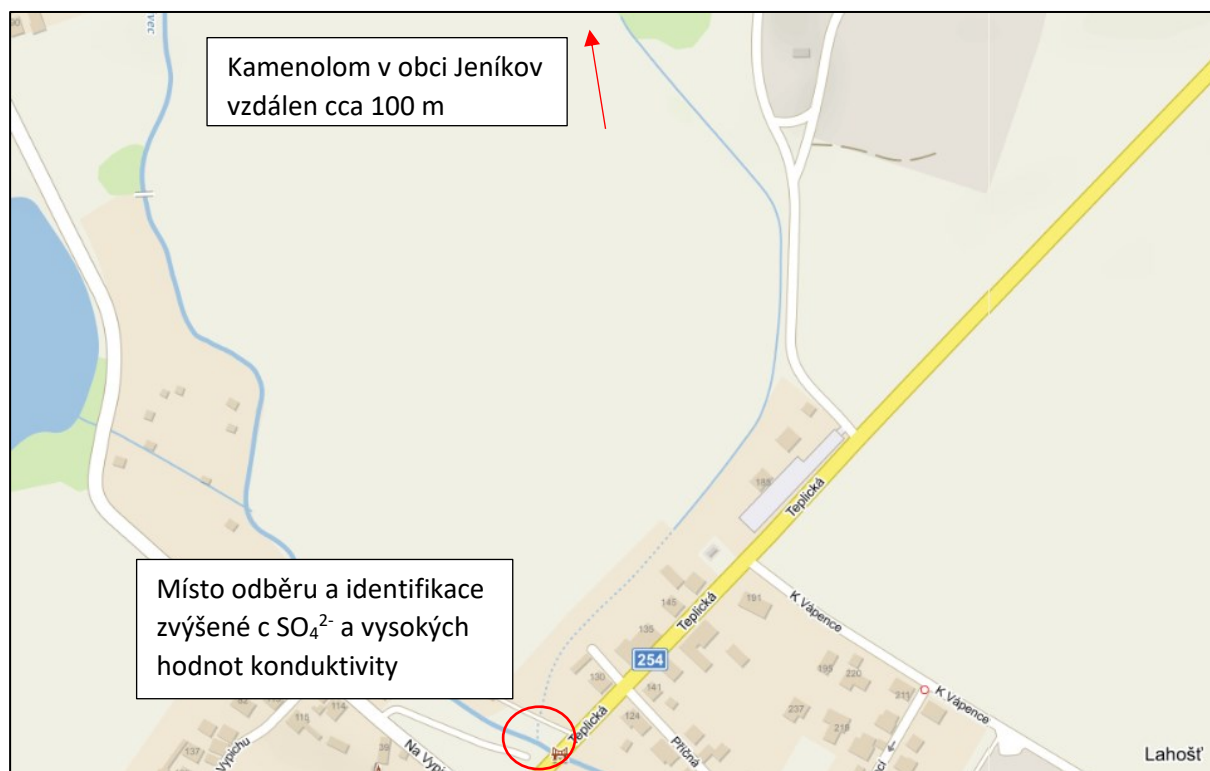


Obr. 53-c – Podélný vývoj teploty vody vodního toku Bouřlivec v k.ú. obce Lahošť



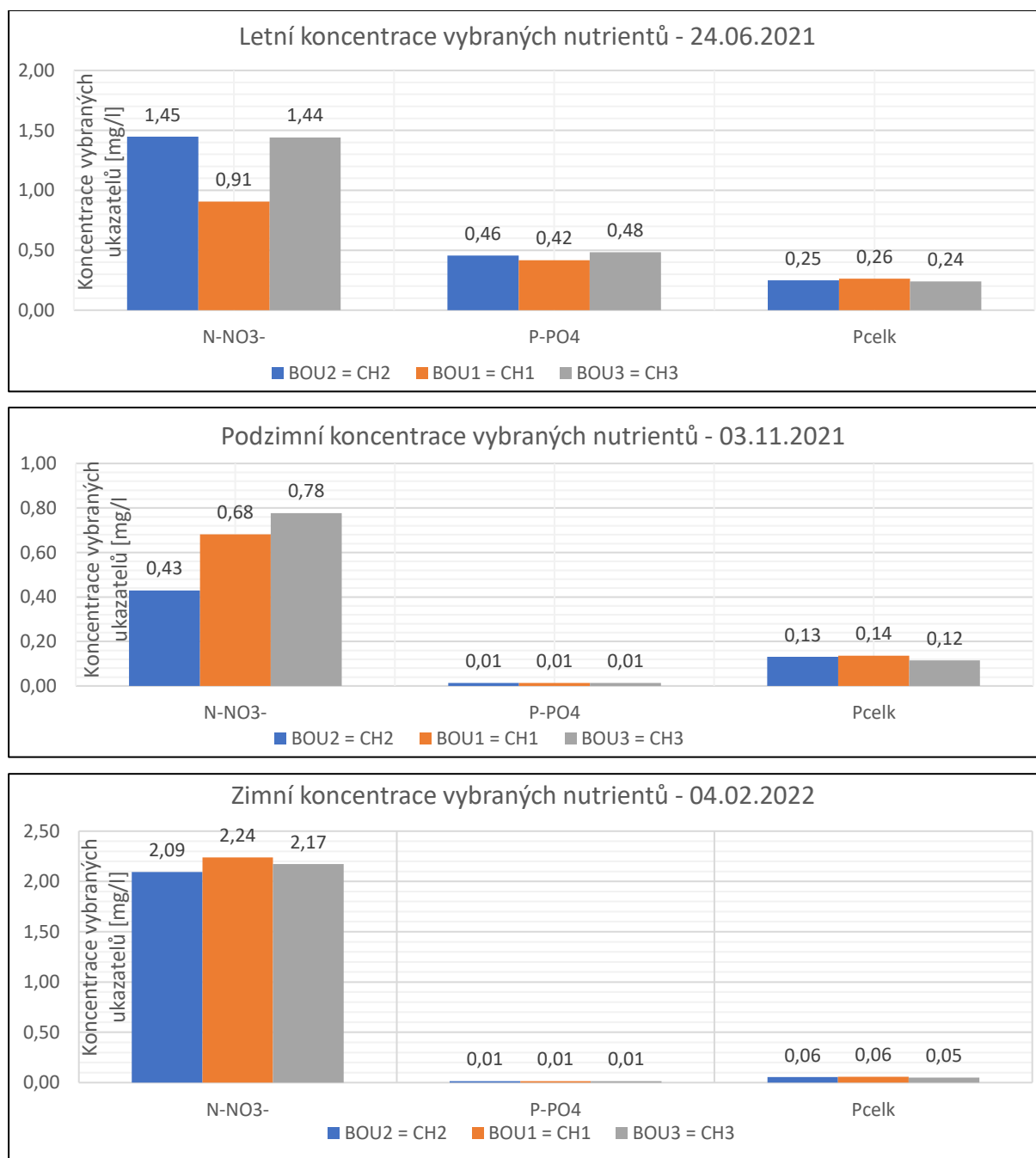
Obr. 53-d – Podélný vývoj pH vodního toku Bouřlivec v k.ú obce Lahošť

Podélné měření ukazatelů v obci bohužel neprobíhalo 24.06.2021 a 03.11.2021, mohlo z technických důvodů probíhat pouze v laboratoři, za zcela odlišných podmínek, než jaké panují v terénu. Zde je tedy prezentován výsledek monitoringu ze 04.02.2022, kdy byly všechny ukazatele měřeny přímo v terénu (Obr. 53 a-d). Vzorkována byla i oblast přítoku z Růžového rybníka, kde byly mnohokrát v rámci posledních cca 3 let pozorovány zhoršené organoleptické vlastnosti přitékající vody – především barva a zápach. Pro tuto oblast byly také vyhodnoceny vybrané kovy a metaloidy, nutrienty i obecné, fyzikálně-chemické ukazatele.



Obr. 54 – Identifikace místa znečištění sírany v podzemním odběru. Zdroj: (Mapy.cz – Základní mapa, upraveno)

V otázce nutrientů byla vyhodnocena data dusičnanů, reaktivního orthofosforečnanového fosforu a celkového fosforu (Obr. 55). Koncentrace dusičnanů, obdobně jako u odběrného místa pod správou Povodí Ohře, s.p. vykazují nejvyšší koncentrace v zimních měsících, konkrétně na profilu CH1 – 2,24 mg/l (1. třída kvality). U sloučenin fosforu jsou naopak nejvyšší koncentrace nepřekvapivě vztaženy na letní měsíce. U P-PO₄ – 0,48 mg/l v profilu CH3 a u celk. P – 0,26 mg/l v profilu CH1 (3. třída kvality). Nutno podotknout, že koncentrace sloučenin P se v rámci podélného profilu příliš nemění a všude se pohybují v oblasti 3. třídy kvality.



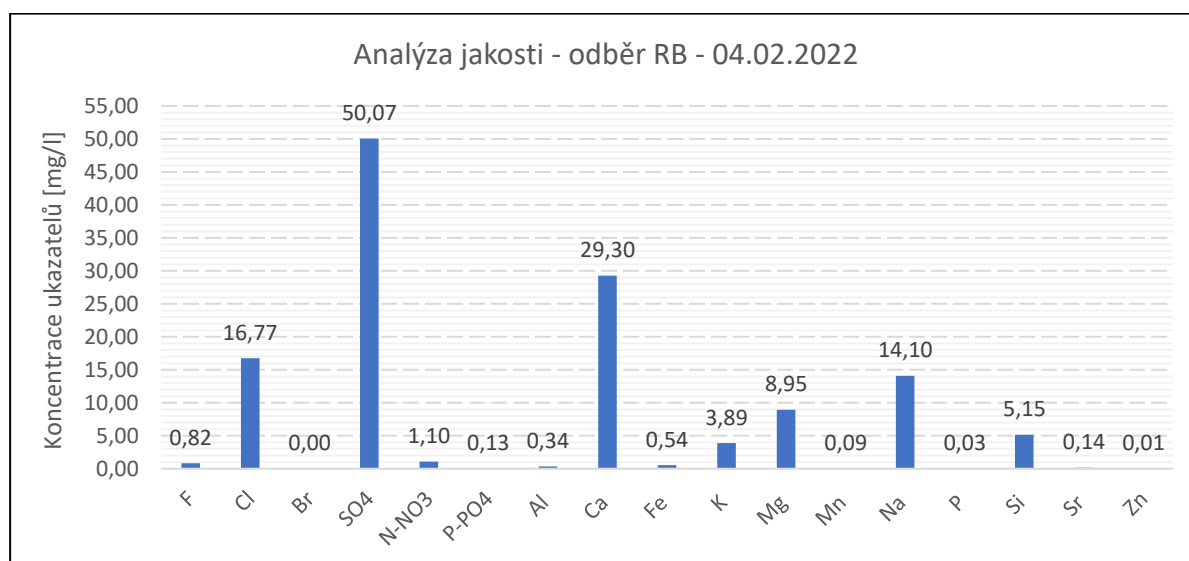
Obr. 55 – Vývoj nutrientů v podélném směru. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

Pravidelně zhoršené organoleptické vlastnosti u přítoku z Růžového rybníka (RB), (Obr. 56) byly důvodem přidání tohoto odběrného místa do celkového vyhodnocení jakosti. Odběr proběhl lehce nešťastně v zimním období, kdy nebyly pozorovány zhoršené organoleptické vlastnosti vody. Byla stanovena velká škála hydrochemických ukazatelů (Obr. 57), z nichž žádný neukazuje výraznější znečištění.



Obr. 56 – Zhoršené organoleptické vlastnosti toku u přítoku z Růžového rybníku (03.11.2021).

Zdroj: (foto: Miroslav Jonáš)



Obr. 57 – Vývoj všech stanovovaných ukazatelů pro oblast přítoku z Růžového rybníku – situace ke 04.02.2022. Zdroj: (terénní průzkum, vyhodnoceno Geochemickou laboratoří PřF UK)

Finální zhodnocení kvality vody v zájmovém úseku lze shrnout následujícími komentáři: 1) Vliv již provedené revitalizace na dočištění kvality vody je zanedbatelný, 2) jakost vody klesá v podélném směru a je patrné její zhoršení v oblasti intravilánu obce Lahošť, 3) zvýšené koncentrace těžkých kovů či jiných toxických látek nebyly potvrzeny, 4) jako problematické se mohou jevit letní koncentrace celkového fosforu, které se nachází ve 3. jakostní třídě a

především amoniakálního dusíku, které překračují až do nejhorší jakostní třídy. Tyto dva nutrienty je třeba dlouhodobě sledovat a případně identifikovat možné zdroje znečištění. 5) Naopak dusičnanový dusík má již typicky nejvyšší koncentrace v zimních měsících, ty jsou však stále v nejlepší jakostní třídě, 6) je vhodné monitorovat přítok z Růžového rybníku v letních měsících a pravidelně jej vzorkovat.

8.3 Historický průběh trasy koryta Bouřlivce v intravilánu obce Lahošť

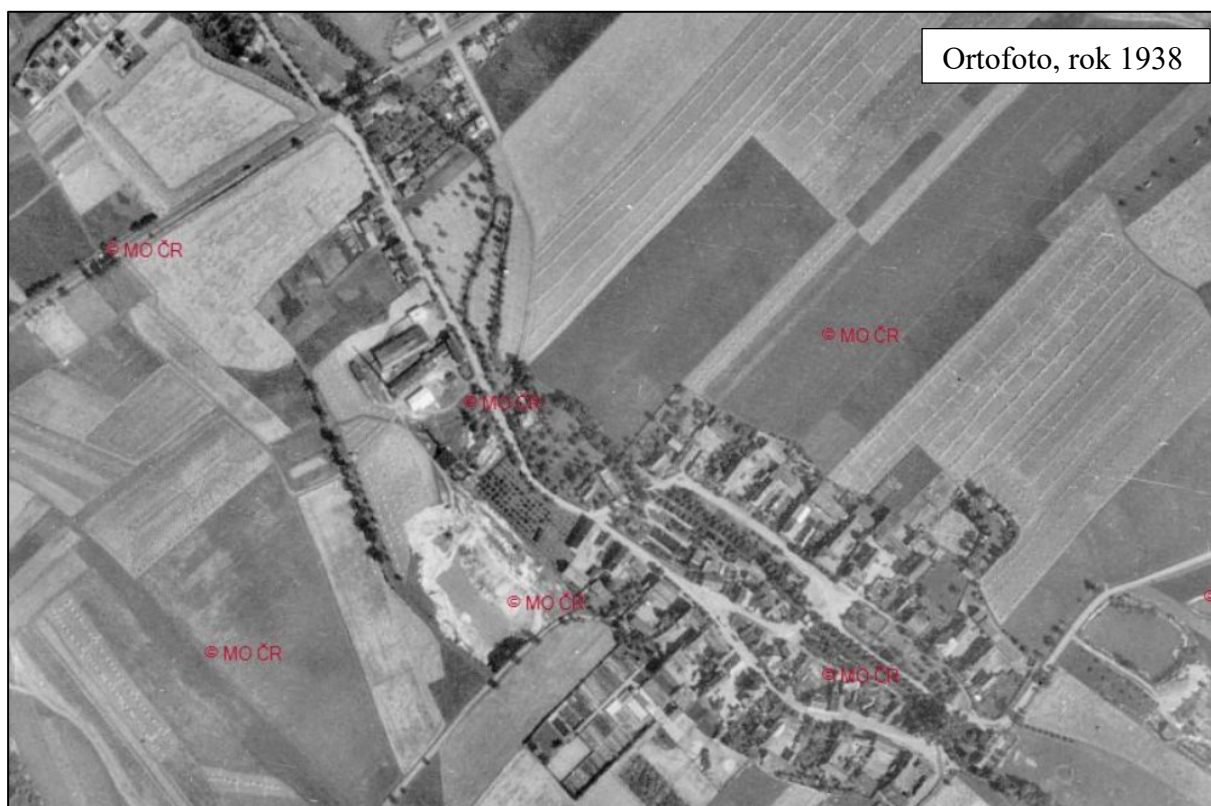
Cílem bylo pokusit se rekonstruovat změny půdorysného průběhu trasy koryta vodního toku a přibližně horizont let, kdy došlo k aktuálnímu opevnění koryta. Výsledky nejstaršího průběhu trasy odhaluje Obr. 58. Pozdější transformace změny trasy, okolního vegetačního doprovodu či pozvolný nárůst rozlohy intravilánu obce Lahošť, je vyobrazen na sekvenci Ortofoto snímků – (Obr. 59-a,b).



Obr. 58 – Nejstarší použitý mapový podklad – Císařské otisky stabilního katastru z roku 1842.
Zdroj: (Archiválie ČÚZK)

Tyto zachycují rozvětvení Bouřlivce na dvě ramena, obepínající dva menší ostrovy pokryté pravděpodobně nivní a lužní vegetací. Ono rozdvojení Bouřlivce probíhá celým územím obce a vodní tok působí přírodním dojmem. Jediná (snad) známka napřímení je možná v úseku protínající hlavní silnici Duchcov-Teplice (silná růžová linie v levé části snímku v Obr. 58), která ale po pár desítkách metrů končí již zmiňovaným rozvětvením toku na dvě ramena. Tento

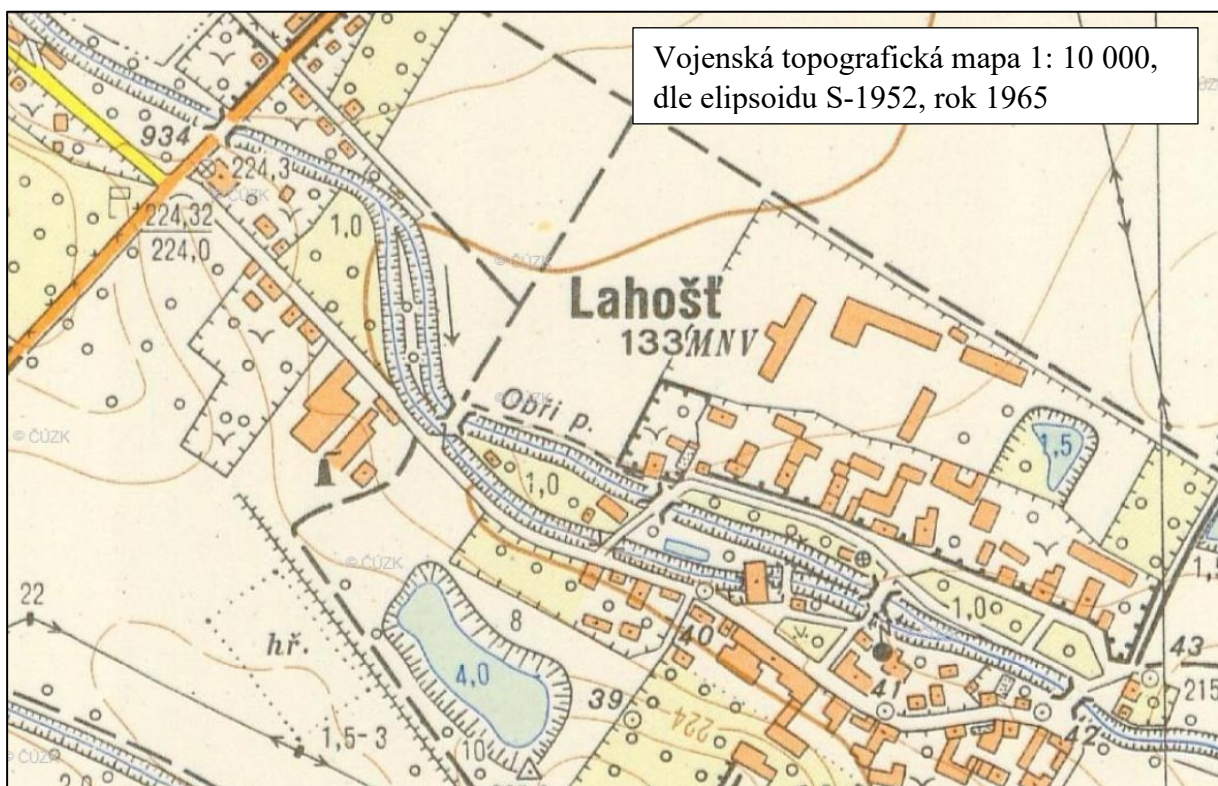
zajímavý historický směr je v obci patrný dodnes, kdy v „centrálním“ parku je evidentní oblast zasypaného koryta, která byla zachycena i na geodetických příčných řezech, které jsou graficky prezentovány v Přílohách 1-5.



Obr. 59-a – Historický průběh trasy Bouřlivce v roce 1938. Zdroj: (Archiválie ČÚZK)

Rozvětvení koryta Bouřlivce na dvě ramena je dobře patrné i na mapových podkladech pozdějšího data. Nicméně po roce 1938 (Obr. 59-a) se začíná pomalu charakter toku měnit. Na ortofoto snímcích mezi lety 1950-1964 sice není ještě opevněn, ale již začíná v některých úsecích docházet k mírnému napřimování. První, souvislé, opevnění toku (typ opevnění nelze určit) prezentuje Vojenská topografická mapa 1: 10 000 z roku 1965 (Obr. 59-b). I když evidentně opevněno, koryto si stále zachovává svou původní – rozvětvenou trasu. Ta se již na Státní mapě 1: 5000 z roku 1979 nevyskytuje. Z toho lze vyvodit, že do aktuální podoby byl tok převeden pravděpodobně někdy mezi lety 1965-1979.

Ze studovaných mapových podkladů je patrný i historický vývoj největšího přítoku Bouřlivce – Loučenského potoka, který byl zachycen na Ortofotu z roku 1959, 1964 a Vojenské topografické mapě 1: 10 000 z roku 1965. Především rok 1964 odhaluje míru výrazného napřimování a antropogenní modifikace extravilánového úseku Loučenského potoka jižně až jihozápadně od obce Lahošť (Obr. 59-b). Z mapových podkladů tedy vyplývá, že Loučenský potok byl patrně morfologicky i ekologicky degradován dříve než Bouřlivec.



Obr. 59-b – Sekvence použitých historických mapových a ortofoto snímků ilustrující změnu v charakteru opevnění Bouřlivce. Zdroj: (Archiválie ČÚZK)

8.4 Hydromorfologický průzkum, typy opevnění koryta toku v k.ú. obce Lahošť

Tato část diplomové práce se soustředí na hydromorfologii, typy opevnění a vymapování výpustí a míst černých odběrů zájmového úseku a jeho nejbližší okolí (ř. km 7,637-5,272).

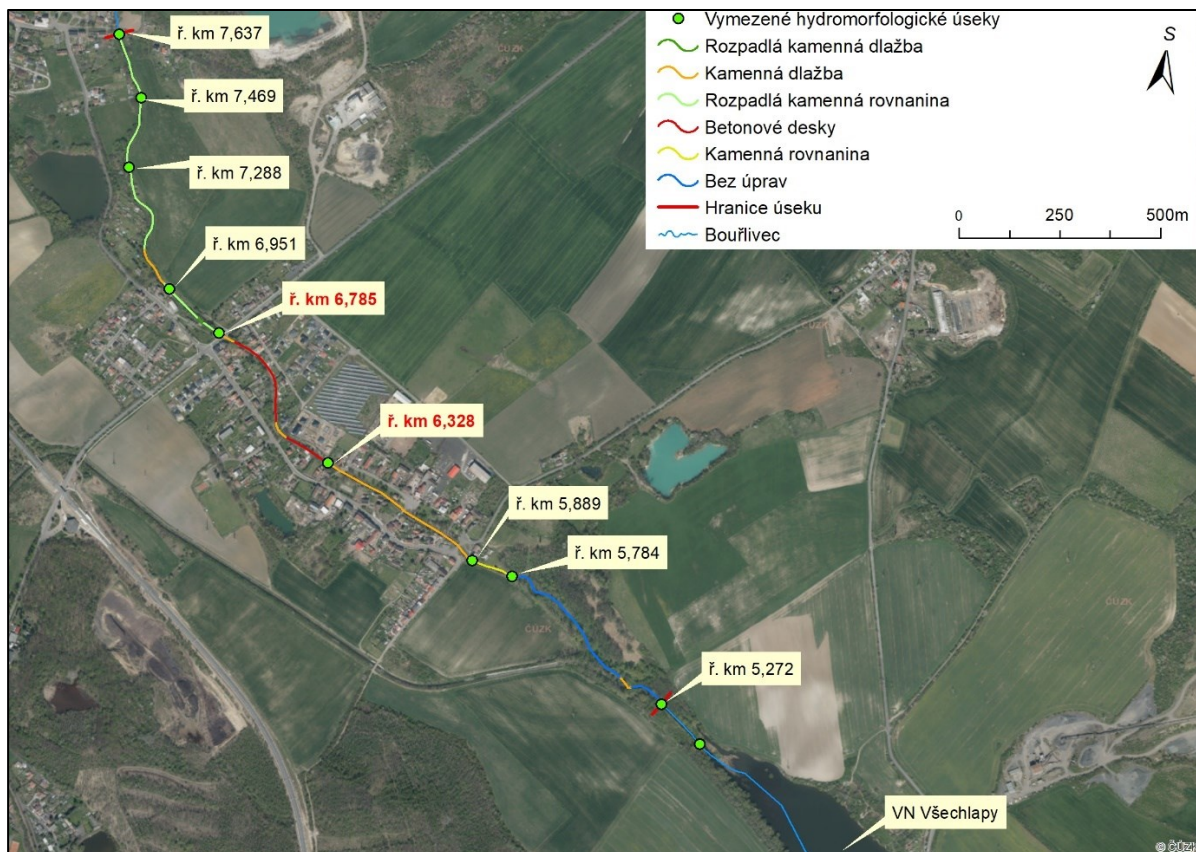
Zájmový úsek byl hodnocen 4. třídou kvality (viz Tab. 10) a na celém toku patřil k nejhorším. Celé skóre výrazně sráží zejména typ upravenosti dna (UDN) v podobě betonových desek, které je v rámci toku výjimečné. Tento typ opevnění neumožňuje přirozenou sedimentaci v suspenzi unášených plavenin – tedy skóre popisující typ dnového substrátu (DNS) je také nejhorší, jelikož žádný substrát se v korytě nevyskytuje. Obdobně je tomu i u variability hloubek v podélném profilu. Betonové desky neumožňují tvorbu přirozené topografie dna, kde se střídají výmoly, akumulční bary a brody. I tento parametr je tedy hodnocen nejhorším možným skóre. Celému úseku na hydromorfologické kvalitě nepřidává ani skutečnost, že prochází zastavěným územím. Automaticky si odnáší velmi nízká skóre ve využití příbřežní zóny (VPZ), využití údolní nivy (VNI) a průchodnosti inundačního území (PIN). Tyto atributy však plánovaná revitalizace nemůže výrazněji ovlivnit.

Tab. 10 – Detailní hydromorfologický stav zájmového úseku (ř. km 6,785 – 6,325)* Zdroj: (Jonáš, 2020) *Pozn.: vysvětlení použitých zkratk metodiky HEM (Langhammer, 2014) je uvedeno v seznamu zkratk v úvodu práce

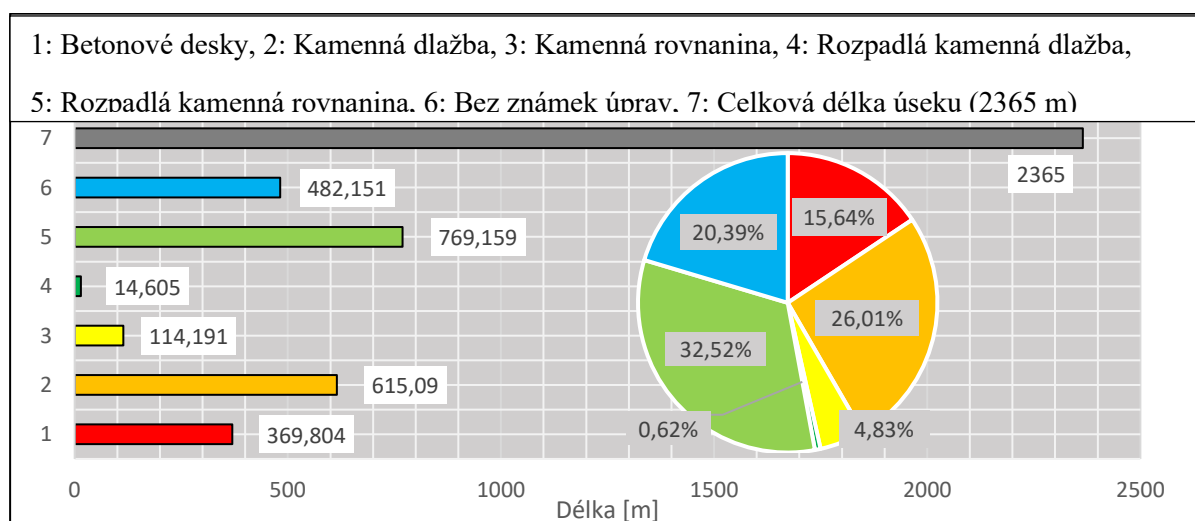
TRA	4	DNS	5	PRO	2	BVG	4	BMK	4
VSK	1	UDN	5	OHR	3	VPZ	5	HMS	3,93
VHL	3	MDK	3	PPK	1	VNI	5	Třída	4
VHP	5	STD	5	UBR	4	PIN	5		

Jak je vidět na Obr. 60-a, respektive 60-b, tak nejbližší okolí tohoto úseku je buď opevněno kamennou dlažbou či zhutnělou rovnaninou. První protiproudé úseky pak přechází v relativně přírodní stav, kdy jediné známky opevnění ukazuje již značně rozpadlá kamenná rovnanina. Co se týče úseků po proudu, ty po konci revitalizace protínají zalesněné území porostlé především flórou měkkého luhu a z hlediska hydromorfologie jsou velmi kvalitní (Jonáš, 2020). Zákrutový průběh trasy je doplněn o přírodní topografii dna se střídáním tůní a mělčin, břehy jsou přírodně stabilizovány kořenovými pletenci zdravé doprovodné vegetace. To vede samozřejmě k lepšímu hydromorfologickému stavu (dále HMS) navazujících úseků (Obr. 61). Jediným negativem je výrazné zpomalení proudění před vtokem do VN Všeclapy, které vede k sedimentaci relativně velkého množství jemnozrnného materiálu. Tyto akumulace budou

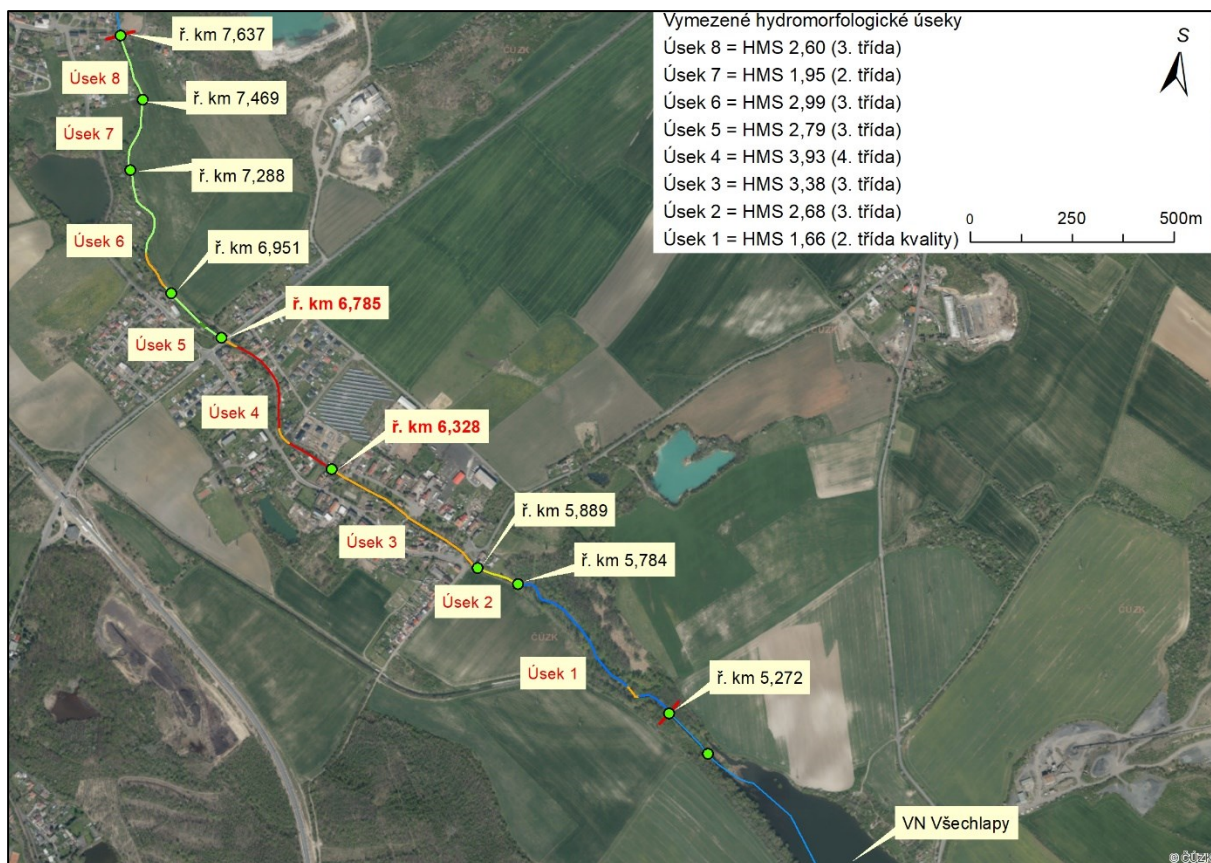
pravděpodobně při větších průtocích vyplaveny do VN Všechlapy, kde budou podporovat její zanášení. Kromě mapování typů opevnění, a obecné hydromorfologie, byly také do map zaneseny místa výraznějších odpadních výpustí a černých odběrů, (Obr. 62). Tyto je třeba co nejdříve adresovat a zamezit tak kontinuálnímu snižování vodnosti toku v letních měsících.



Obr. 60-a – Jednotlivé typy opevnění Bouřlivce mezi ř. km 7,637 – 5,272. Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, Jonáš, 2020, terénní průzkum, Povodí Ohře, s.p.)



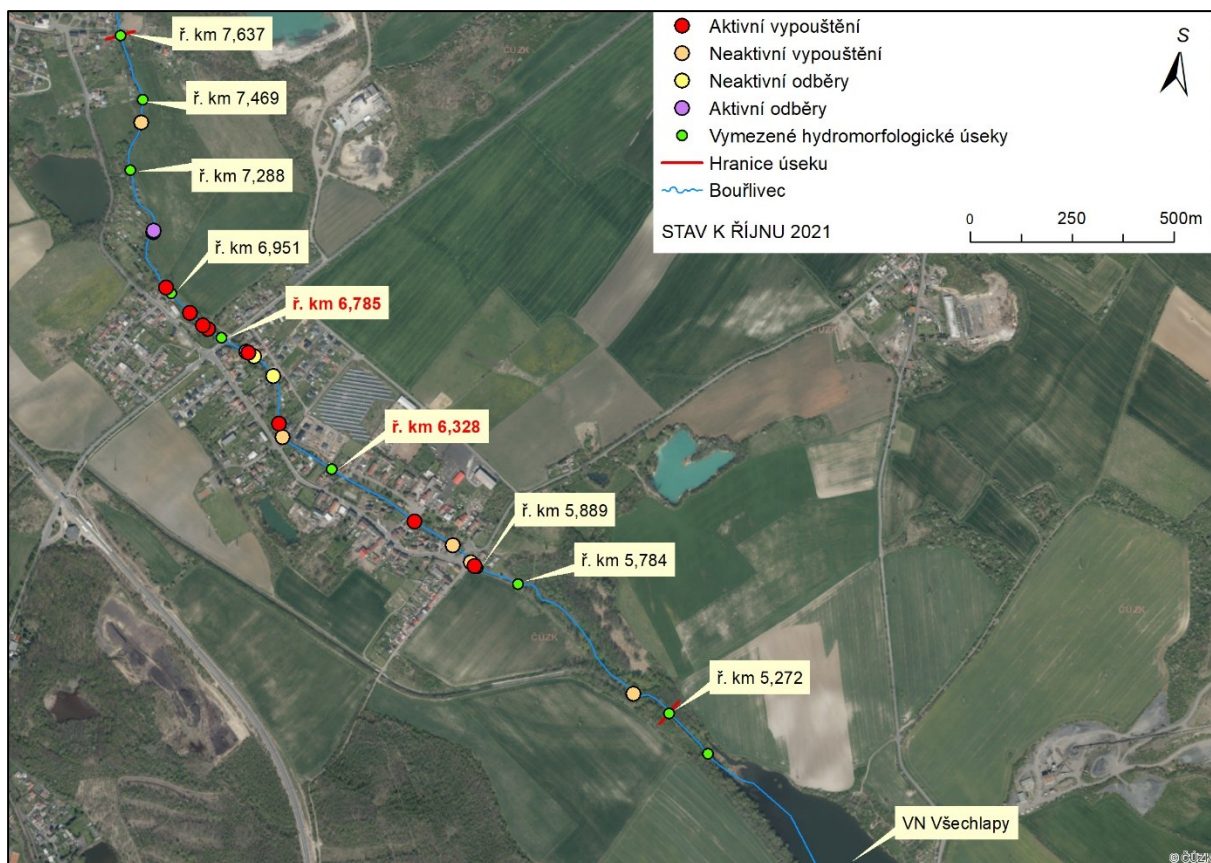
Obr. 60-b – Doplnění délek typů opevnění. Zdroj: (Jonáš, 2020, terénní průzkum)



Obr. 61 – HMS úseků Bouřlivce mezi ř. km 7,637 – 5,272. Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, Jonáš, 2020, terénní průzkum, Povodí Ohře, s.p.)

Z obr. 62, který popisuje míru odběrů a vypouštění, je patrná jejich vysoká koncentrace především v severozápadní části intravilánu obce Lahošť. Avšak jejich výskyt je i za hranicemi obce, v relativně přírodních oblastech, kde jsou často ukryty ve strukturách příbřežní vegetace. Mezi tzv. „aktivní vypouštění“ se řadí zpravidla větší kanalizační výpusti, které byly aktivní nejen v době terénního průzkumu (říjen 2021), ale také pravidelně v uplynulých letech. Často jimi do toku vytéká voda o zhoršených organoleptických vlastnostech, připomínající splaškovou vodu (šedo-bílá barva s výrazným zápachem). Doporučuje se tyto výpusti monitorovat a pravidelně vzorkovat. V případě uvolňování výrazných koncentrací znečišťujících látek dohledat zdroj a celou situaci řešit legální cestou.

Stejnou, ne-li větší nemilou skutečností je míra černých odběrů na lokalitě, která je především v letních měsících alarmující. Tamní obyvatelé uměle přehrazují tok cihlami, sutí a dřevní hmotou, za účelem vytváření tůní s hlubší vodou, kterou poté čerpadly odčerpávají a využívají k vlastním potřebám. Tyto aktivity je třeba důsledně monitorovat, jelikož pokud je cílem této studie zlepšení hydromorfologického stavu úseku, je třeba si uvědomit, že do hodnocení hydromorfologie zasahují i tyto dva ukazatele.



Obr. 62 – Vymapování míst odběrů a hlavních kanalizačních výpustí (k říjnu 2021). Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, Jonáš, 2020, terénní průzkum)

8.5 Geodetické zaměření trasy koryta, podélného profilu a příčných profilů

Hlavním výstupem geodetických prací je převedení bodového zaměření jednotlivých bodů podélného, resp. příčných profilů do liniové formy (Obr. 63) a vykreslení podélného profilu i příčných profilů v používaných měřítkách. Podélný profil byl vykreslen v délkojevném měřítku 1: 2000 a profily příčné v měřítkách 1: 50, 1: 100 a 1: 150. Důvodem rozdílných měřítek u příčných profilů byla snaha, aby je bylo možné prezentovat na listu papíru o velikosti A4.

U všech profilů bylo nejprve spočteno měřítko a poté, již v odpovídajícím měřítku, byly technicky překresleny do programu AutoCAD 2022, aby grafické zpracování vyhovovalo obecně platným požadavkům na kvalitu kreslení příčných profilů. Všechny tyto profily jsou dostupné v Přílohách na konci práce (Přílohy 1-5 – příčné profily, Příloha 6 – podélný profil).



Obr. 63 – Zaměřený podélný profil a příčné profily v pracovním prostředí ArcMap 10.6. Zdroj: (ČÚZK – WMS starší vrstva Ortofoto, terénní mapování)

8.6 Analýza majetko-právních poměrů

Výstupem analýzy majetko-právních poměrů je určení hranice pozemků pod správou Povodí Ohře, s.p. a zanesení aktuálních majetko-právních dat do přehledných tabulek (Příloha 7-8), které vycházejí z grafického zpracování katastrálních dat pro zátopu odpovídající hodnotě Q_{20} (Obr. 64), resp. Q_{100} (Obr. 65-a, 65-b).

8.6.1 Majetko-právní poměry při Q_{20}

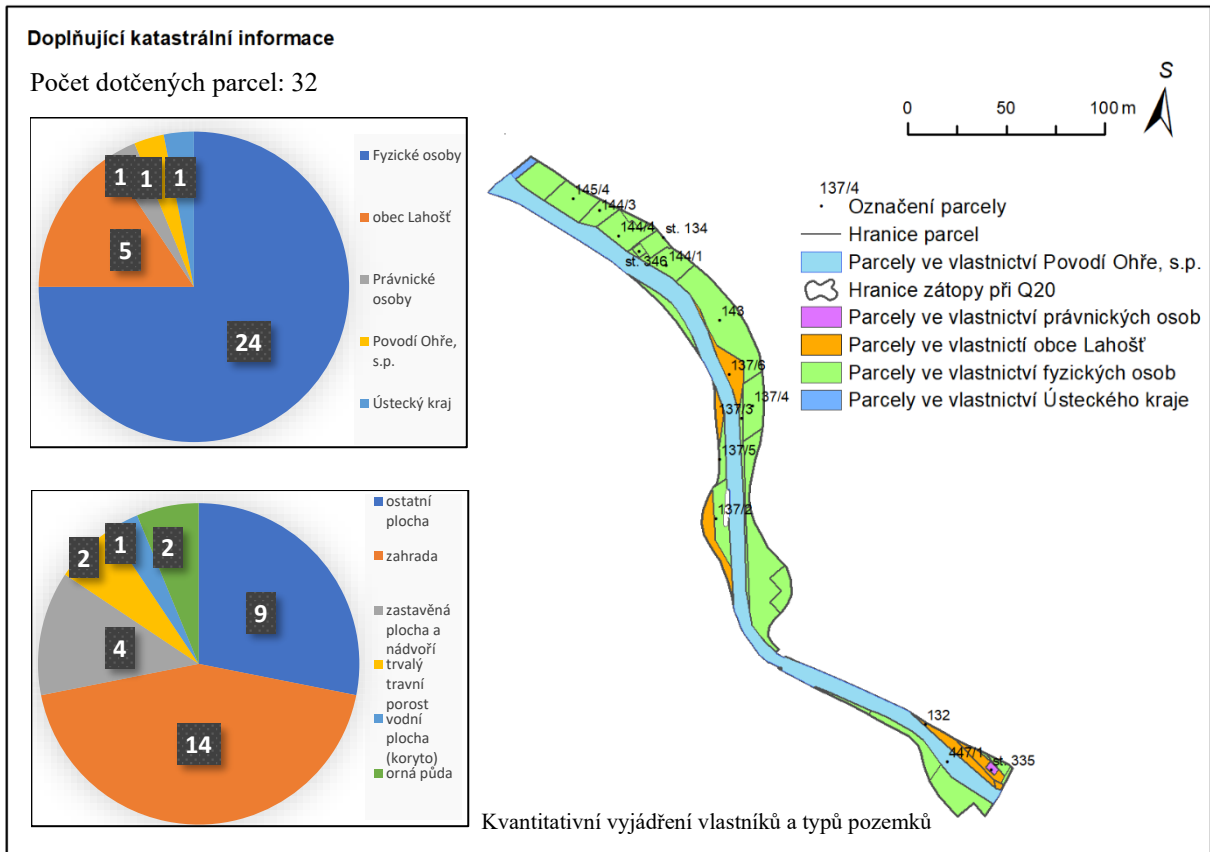
Při zátopě odpovídající hranici Q_{20} je zasaženo celkem 32 parcel (Obr. 64). Z toho je 24 parcel (75 %) ve vlastnictví fyzických osob, 5 parcel (15,63 %) v majetku obce Lahošť a vždy po jedné parcele (3,13 %) ve správě podniku Povodí Ohře, s.p., Ústeckého kraje a právnických osob. Mezi hlavní využití dotčených parcel se řadí zahrady (43,75 %), následovány ostatní plochou (28,13 %) a zastavěnými plochami a nádvořími (12,5 %). Trvalý travní porost a orná půda jsou shodně zastoupeny 6,25 % a 3,13 % zaujímá vodní plocha (koryto Bouřlivce). Z hlediska výměry je samozřejmě parcela Bouřlivce ve správě Povodí Ohře, s.p. největší s rozlohou 8510 m². Druhou největší výměrou poté disponuje parcela čísla 143 (využití: zahrada) o rozloze 1107 m² (ČÚZK, Katastrální mapa).

Při rozlivu je patrný konkávní levostranný břeh, kam bude směřovat většina vyběřené vody. Největší škody při povodňové události budou zaznamenány na nemovitostech a přilehlých zahradních pozemcích po levém břehu.

8.6.2 Majetko-právní poměry při Q₁₀₀

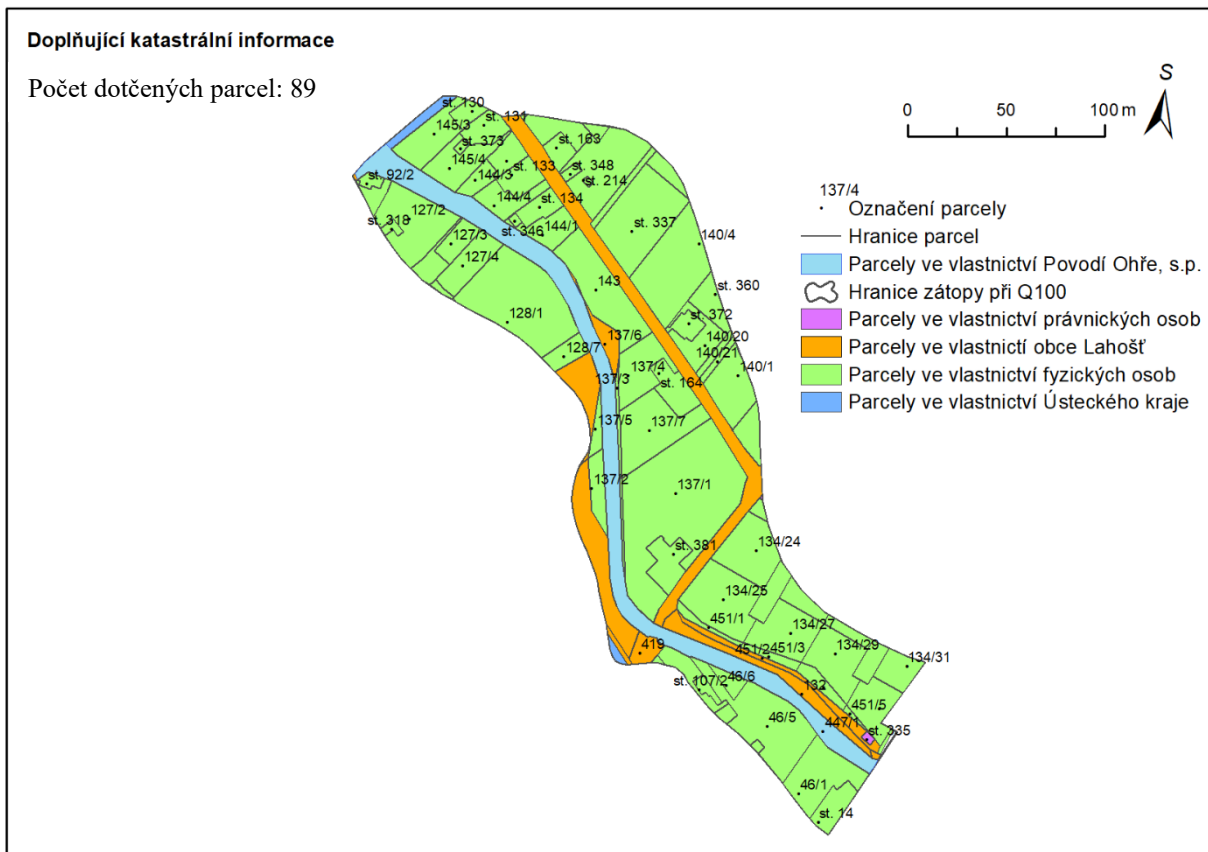
Při zátopě odpovídající hranici Q₁₀₀ je zasaženo celkem 89 parcel (Obr. 65-a, 65-b). Z toho je 73 parcel (82,02 %) ve vlastnictví fyzických osob, 10 parcel (11,24 %) v majetku obce Lahošť a vždy po dvou parcelách (2,25 %) ve správě podniku Povodí Ohře, s.p., Ústeckého kraje a právnických osob. Mezi hlavní využití dotčených parcel se řadí ostatní plocha (30,38 %), následována zastavěnými plochami a nádvořími (25,84 %) a zahradami (24,72 %). Orná půda je zastoupena v 10 případech (11,24 %), trvalý travní porost ve 4 případech (4,49 %), vodní plocha (koryto Bouřlivce) využívá 2,25 % a konečně ovocným sadům náleží 1,12 %. Z hlediska výměry je opět největší, s rozlohou 8510 m², parcela Povodí Ohře, s.p. Druhou největší výměrou poté disponuje parcela čísla 128/1 (využití: zahrada) o rozloze 3468 m². Navazuje číslo 137/1 o výměře 3377 m². Nejvíce sdílených vlastníků – fyzických osob má parcela 140/21 o výměře 94 m², a to celkem 8 (ČÚZK, Katastrální mapa). Při rozlivu bude opět docházet k výraznějším škodám na levém, nárazovém břehu koryta.



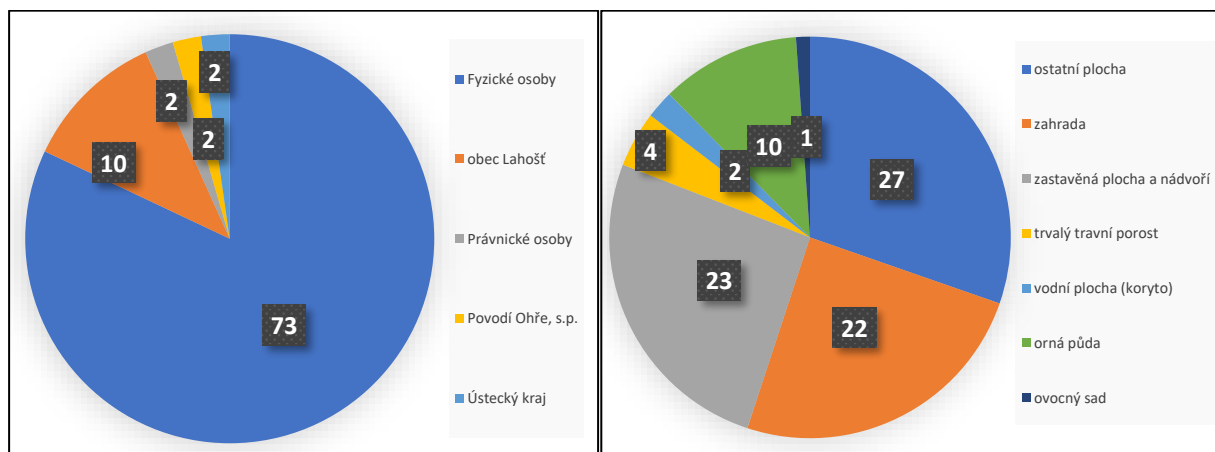


Obr. 64 – Přehled majetko-právních poměrů při zátopě odpovídající Q₂₀. Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, ČÚZK – Katastrální mapa ČR, Povodí Ohře, s.p.)





Obr. 65-a – Přehled majetko-právních poměrů při zátopě odpovídající Q_{100} . Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, ČÚZK – Katastrální mapa ČR, Povodí Ohře, s.p.)



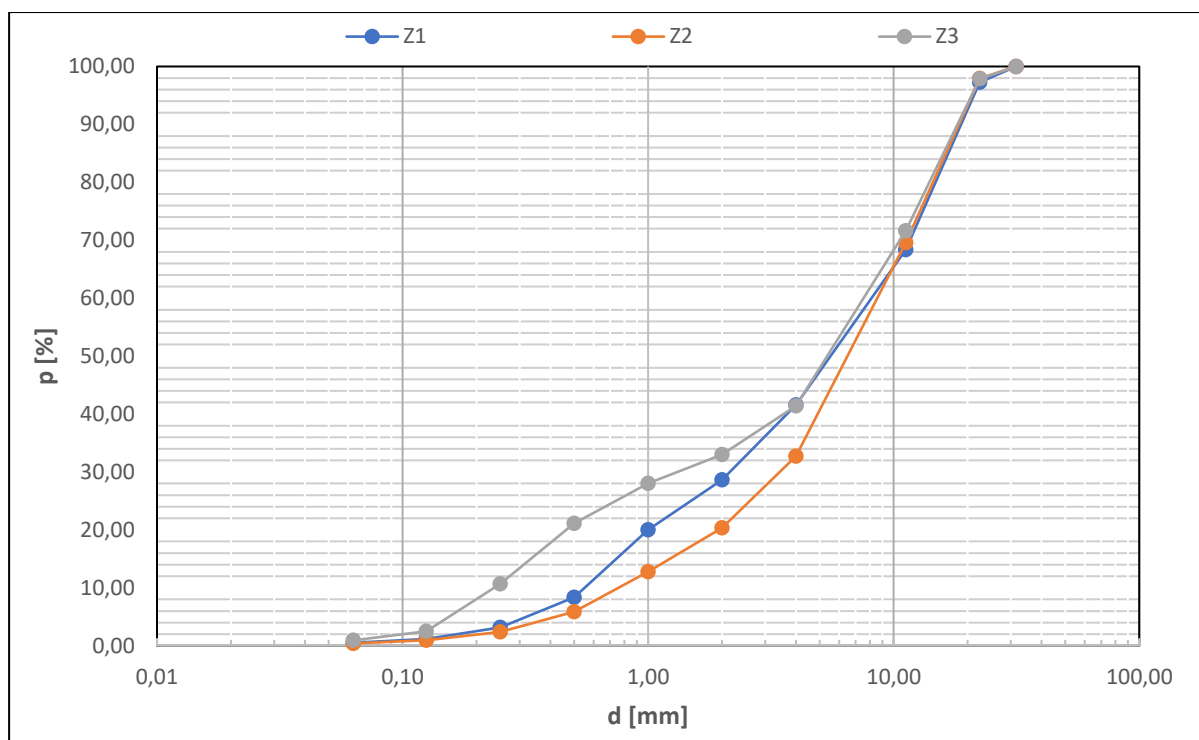
Obr. 65-b – Doplnění kvantitativního vyjádření vlastníků a typů pozemků při situaci Q_{100} . Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, ČÚZK – Katastrální mapa ČR, Povodí Ohře, s.p.)

8.7 Zrnitostní analýza říčního substrátu – granulometrie

Odběr byl rozdělen do dvou etap, které měly za cíl analyzovat dvě vertikálně odlišné vrstvy říčního substrátu, a to vrstvu podkladovou a krycí.

8.7.1 Analýza podkladové vrstvy

Zrnitostní křivky podkladových vrstev byly vykresleny pro všechna tři odběrná místa (Obr. 66), stejně tak byly určeny všechny základní kvantily zrnitostní křivky, včetně efektivního zrna (Tab. 11). Hodnota efektivního zrna (dále jako d_e) je zcela klíčová pro následující výpočty stability (kapitola 8.9).



Obr. 66 – Zrnitostní křivky podkladové vrstvy říčního substrátu. Zdroj: (terénní průzkum)

Tab. 11 – Vybrané kvantily a efektivní zrna odběrných míst podkladové vrstvy. Zdroj: (terénní průzkum)

Vzorek Z1												
d_x	d_e	d_{10}	d_{20}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{70}	d_{80}	d_{84}	d_{90}	d_{94}	d_{95}
[mm]	9,60	0,57	1,00	2,21	6,26	8,95	11,82	15,70	17,25	19,58	21,13	21,52
Vzorek Z2												
d_x	d_e	d_{10}	d_{20}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{70}	d_{80}	d_{84}	d_{90}	d_{94}	d_{95}
[mm]	9,92	0,80	1,95	3,56	7,37	9,32	11,36	15,31	16,89	19,26	20,84	21,23
Vzorek Z3												
d_x	d_e	d_{10}	d_{20}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{70}	d_{80}	d_{84}	d_{90}	d_{94}	d_{95}
[mm]	8,85	0,24	0,47	1,39	6,05	8,43	10,81	14,76	16,47	19,03	20,73	21,16

Ze zrnitostní analýzy podkladové vrstvy vyplývají podstatné závěry. Zastoupení velmi jemnozrného materiálu ($<0,250$ mm) stoupá v podélném profilu a je s přehledem nejvýraznější v úseku již provedené revitalizace (křivka Z3 – Obr. 66). Důvodů je několik, ale tím primárním je předimenzovaná drsnost koryta již revitalizovaného úseku. Toto nové koryto navazuje na zájmový úsek této studie, kde vlivem nevhodného opevnění nedochází k sedimentačním procesům. Veškerý suspendovaný materiál je ve velkých rychlostech transportován do nového koryta, kde dochází k výraznému poklesu unášecích rychlostí a deponování, v suspenzi unášeného, materiálu. Míra zanášení nově revitalizovaného koryta je výrazná, jak ukáže i následující analýza krycí vrstvy.

8.7.2 Analýza krycí vrstvy a finální vyhodnocení zrnitosti říčního substrátu

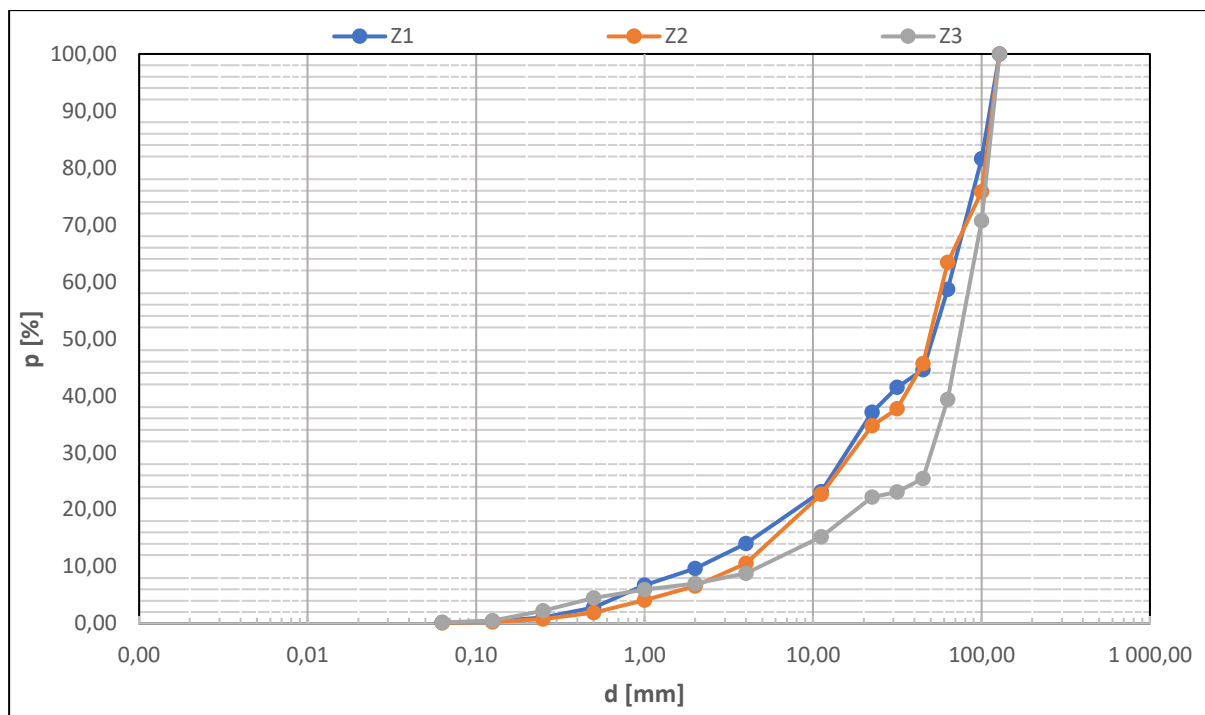
U odebraných zrn byly posuvným měřidlem změřeny všechny osy (Tab. 12) a přidány do již vyhodnocených zrnitostních křivek podkladové vrstvy. Výsledné zrnitostní křivky, reprezentující podkladovou i krycí vrstvu substrátu, jsou k vidění na Obr. 67. Závěrečné zhodnocení zrnitosti Bouřlivce je následující.

V přírodních úsecích na okraji intravilánu obce Lahošť (Z1) a dále proti proudu – mezi obcemi Lahošť a Jeníkov, je velmi dobře vytríděný říční substrát. Drtivá většina je zastoupena frakcí říčního štěrku (2-63 mm), následovaná pískovými zrny (0,63-2 mm). Největší velikosti zrn se pohybují kolem 120 mm a řadí se tedy mezi valouny. Podíl jemnozrné frakce roste se snižující se kilometrží toku (směrem k ústí). Největší zastoupení jemnozrné vrstvy je v úseku Z3 – již provedená revitalizace.

Struktura substrátu je v úsecích Z1 a Z2 takřka totožná a tvar zrnitostních křivek připomíná Fullerovu křivku (viz Wriggers, Moftah, 2006). Rozdílná je situace v úseku Z3. Na Obr. 67 je patrný pokles nárůstu procentuálního zastoupení zrn ve velikostech 15-40 mm. Zrnitostní křivka úseku Z3 je z části tzv: „*gap-graded*“, tedy evidentně výrazně chybí jedna či více velikostních frakcí. Povšimněme si křivek Z1 a Z2, které neustále stoupají, v takřka exponenciálním tvaru. Všechny velikostní frakce jsou tedy zastoupeny obdobně. Nicméně u úseku Z3 téměř zcela chybí střednězrný štěrk. Tyto štěrkové vrstvy jsou využívány celou řadou zástupců ichtyofauny, stejně tak velké množství benthosu je vázáno na štěrk. Absence střednězrného štěrku však není tím nejhorším. Dno v úseku je prakticky tvořeno pouze dvojitým materiálem: úlomky lomového kamene o nejčastějších velikostech osy b kolem 55-75 mm a jemnozrným bahnitým materiálem, který zde byl usazen. S tím souvisí i razantní pokles ve velikosti d_e . Z průvodní zprávy vyplývá, že doporučená minimální velikost d_e při již provedené revitalizaci měla být 100 mm. Aktuální hodnota je 57,36 mm! (Tab. 13).

Tab. 12 – Rozměry os a váha jednotlivých zrn krycí vrstvy. Zdroj: (terénní průzkum)

Vzorek Z1				
<i>Číslo zrna</i>	<i>osa a [mm]</i>	<i>osa b [mm]</i>	<i>osa c [mm]</i>	<i>m [g]</i>
1	150,67	123,96	58,38	1117,75
2	122,40	89,07	42,98	695,55
3	107,16	73,98	52,06	474,21
4	97,76	56,32	39,89	361,40
5	71,02	62,85	23,35	151,79
6	65,52	51,11	30,00	128,33
7	65,50	47,63	35,95	130,36
8	64,35	64,23	33,26	225,51
9	52,14	48,73	25,15	84,21
hmotnost drobnějšího materiálu prosetého přes síta (31,5 – 4 mm), [g]				657,51
Vzorek Z2				
1	128,54	101,57	79,58	1282,71
2	106,79	94,12	22,04	324,72
3	97,18	58,14	40,27	340,31
4	87,74	62,86	58,89	428,34
5	86,07	71,04	42,84	332,33
6	73,87	44,98	35,30	155,08
7	61,27	57,13	42,02	173,08
8	61,19	43,36	31,87	128,41
hmotnost drobnějšího materiálu prosetého přes síta (31,5 – 4 mm), [g]				424,55
Vzorek Z3				
1	152,68	112,79	60,62	1275,88
2	104,84	75,58	32,62	303,16
3	97,10	70,33	35,56	331,58
4	95,54	73,04	71,05	758,19
5	94,99	81,23	59,94	367,22
6	82,67	66,79	37,83	361,99
7	81,29	57,08	41,27	172,93
8	79,16	54,46	31,55	160,99
9	78,78	78,76	31,16	259,39
10	70,68	51,59	26,62	143,82
11	58,75	44,78	43,26	127,06
hmotnost drobnějšího materiálu prosetého přes síta (31,5 – 4 mm), [g]				184,64



Obr. 67 – Výsledné zrnitostní křivky. Zdroj: (terénní průzkum)

Tab. 13 – Výsledné velikosti kvantilů zrnitosti a efektivních zrn. Zdroj: (terénní průzkum)

Vzorek Z1												
d_x	d_e	d_{10}	d_{20}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{70}	d_{80}	d_{84}	d_{90}	d_{94}	d_{95}
[mm]	43,20	2,15	8,71	16,70	51,92	65,15	81,27	97,40	103,1	110,9	116,1	117,4
Vzorek Z2												
d_x	d_e	d_{10}	d_{20}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{70}	d_{80}	d_{84}	d_{90}	d_{94}	d_{95}
[mm]	45,11	3,71	9,59	17,97	49,40	59,54	82,66	100,3	100,5	100,9	101,2	101,3
Vzorek Z3												
d_x	d_e	d_{10}	d_{20}	d_{30}	d_{50}	d_{60}	d_{70}	d_{80}	d_{84}	d_{90}	d_{94}	d_{95}
[mm]	57,36	5,35	18,87	50,92	75,59	87,40	99,20	104,1	105,8	108,4	110,2	110,6

To je velmi podstatným poznatek, který prezentují výše uvedené výsledky. Za pár let tedy došlo k téměř polovičnímu poklesu velikosti d_e . Vzhledem k tomu, že charakter opevnění revitalizovaného úseku je silně předimenzován z hlediska drsnosti, dochází zde k silnému zanášení jemnozrnným materiálem.

8.8 Výpočty aktuální kapacity koryta

Výsledky aktuální kapacity koryta shrnuje Tab. 14. Výpočty jednotlivých hydraulických parametrů vychází z výše uvedených rovnic (kapitola 4, resp. 5.8). Dle N-letých průtoků ČHMÚ z roku 2007 je hodnota $Q_{20} = 19,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z výpočtů je tedy patrné, že aktuálně není koryto v plné své délce bezpečně schopno převést intravilánem obce Lahošť tento průtok a nespĺňuje tak základní kapacitní a protipovodňová hlediska vodních tratí v intravilánech. Jelikož u profilu P1 byl rozdíl v možném zaměření výšky břehových hran na levém a pravém břehu příliš velký (oplocení na pravém břehu neumožnilo pokračovat v geodetické záměře), nebyla zde maximální kapacita koryta počítána, protože výsledná hodnota by neodpovídala ani přibližně realitě. Podobná situace je u profilu P2, zde byl nakonec výpočet proveden a Q_{max} u profilu P2 lze s určitou mírou zjednodušení aproximovat i pro profil P1.

Nejvíce hydrologicky navazujícími úseky (z hlediska kapacity) jsou profily P10-P5. Profil P11 má být dle informací od podniku Povodí Ohře, s.p. dimenzován na Q_{100} . Stoletý průtok je dle ČHMÚ (2007) $48,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Koryto je tedy v tomto profilu schopno bez větších potíží Q_{100} převést, nicméně jeho výrazné předdimenzování přispívá ke kapacitním skokům v rámci podélného profilu. Jediné opodstatnění takto výrazné kapacity je díky ochraně nosných pilířů silničního mostu mezi městy Duchcov – Teplice. Dalšími výraznějšími výkyvy v kapacitě v podélném směru jsou profily P4 a P3. Jejich, v porovnání s navazujícími profily, výrazně vyšší maximální kapacita, je dána odlišnou geometrií příčného profilu. Profily P4 i P3 jsou obehnané zdí z kamenné dlažby na jednom či obou březích a disponují vyšší plochou koryta při zachování podobných hodnot omočeného obvodu.

Tab. 14 – Aktuální maximální kapacity Bouřlivce v jednotlivých příčných profilech. Zdroj: (terénní průzkum, * dle podkapitoly 5.8.1, ** dle podkapitoly 5.8.2)

Název	i^{**}	$R [m]$	$O [m]$	$S [m^2]$	n^*	$C [m^{0.5}/s]$	$v [m/s]$	Q_{max}
P1	/	/	/	/	/	/	/	/
P2	0.0107	0.66	7.97	5.26	0.03960	23.63	1.99	10.46
P3	0.0139	0.96	8.47	9.15	0.02651	37.49	4.34	35.35
P4	0.0156	0.86	9.10	7.85	0.03663	26.66	3.10	24.32
P5	0.0129	0.59	7.90	4.70	0.03063	30.05	2.63	12.36
P6	0.0118	0.63	8.46	5.32	0.02711	34.25	2.95	15.67
P7	0.0103	0.70	8.56	6.03	0.02726	34.68	2.96	17.82
P8	0.0076	0.82	9.29	7.66	0.03154	30.74	2.44	18.66
P9	0.0113	0.69	8.16	5.67	0.03079	30.64	2.72	15.40
P10	0.0094	0.67	8.38	5.62	0.02620	35.80	2.84	15.94
P11	0.0047	1.23	15.68	19.23	0.02550	40.52	3.08	59.32

8.8.1 Porovnání aktuálních a návrhových kapacit

Výpočet návrhových kapacit byl proveden ve vzorových profilech a respektuje, v nich navrhovaná, revitalizační opatření. Je patrné navýšení maximální průtočné kapacity ve všech profilech, kromě P9, kde je uváděný rozptyl maximálních kapacit, který závisí na typu zvoleného opevnění svahů. Při použití kamenné rovnániny, bez vegetačního oživení, bude kapacita mírně vyšší než při oživení kamenné rovnániny či odebrání posledních dvou horních řad kameniva a jejich nahrazení travním či trávo-bylinným osetím. Rozdíly jsou však zanedbatelné. Porovnání aktuálních a návrhových maximálních kapacit odhaluje Tab. 15.

Tab. 15 – Porovnání aktuálních a návrhových maximálních kapacit koryta ve vzorových příčných profilech

<i>Vzorový profil</i>	<i>Aktuální max. kapacita [$m^3 \cdot s^{-1}$]</i>	<i>Návrhová max. kapacita [$m^3 \cdot s^{-1}$]</i>	<i>Δ [%]</i>	
P2	≈10,46	≈14,18	35,56	
P4	≈24,32	≈28,04	15,30	
P6	≈15,67	≈19,65	25,40	
P9	≈15,40	≈15,40 – 15,51	0,00	0,71

8.9 Stabilita koryta

Výpočet byl veden pro detailně navržený substrát dna, který by měl pokrývat nově modelované koryto (Tab. 16). Jedná se o aritmetický průměr substrátů Z1 a Z3.

Tab. 16 – Navrhovaná struktura substrátu kynety zájmového úseku revitalizační studie

<i>Kvantil [%], resp. efektivní zrno</i>	<i>d [mm]</i>
d ₁₀	3,75
d ₂₀	13,79
d ₃₀	33,81
d ₅₀	63,76
d ₆₀	76,28
d ₇₀	90,24
d ₈₀	100,74
d ₈₄	104,46
d ₉₀	109,68
d ₉₄	113,16
d ₉₅	114,03
d _{max}	118,38
d_e	50,28 ≈ 50

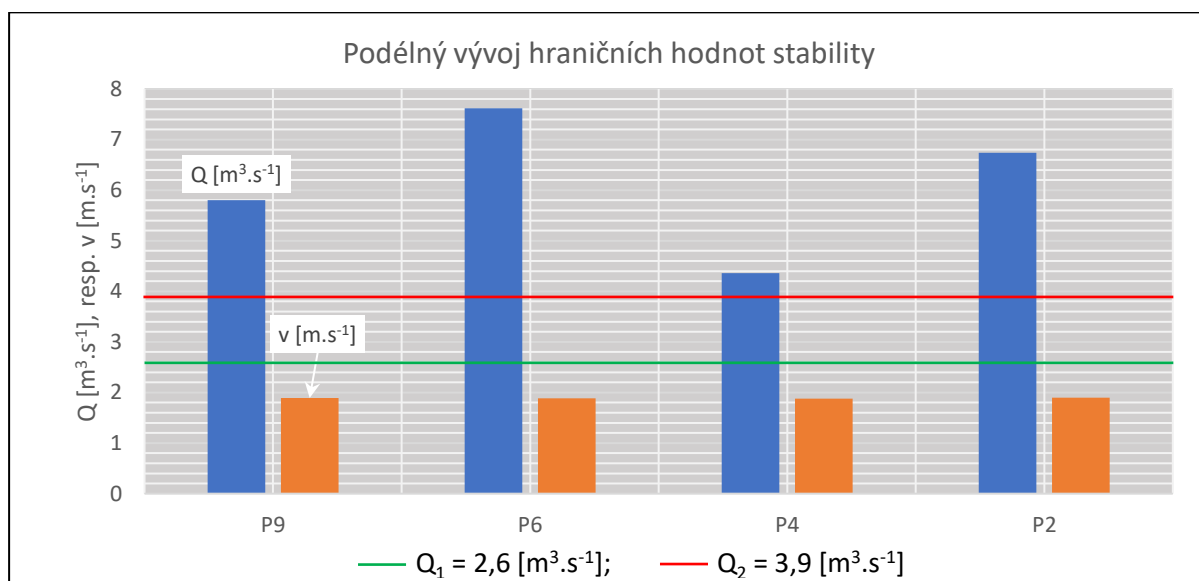
Výsledné hodnoty stability dna koryta v přímé trase, s uvažovaným substrátem dle Tab. 16, shrnuje Tab. 17. Bylo třeba zabezpečit dva základní aspekty: 1) kyneta při jejím plném plnění (před zapojením berem) musí být s přehledem stabilní, 2) dno koryta musí být stabilní i při Q₂ a míra výmolu při překročení stability by neměla být příliš výrazná. Oba tyto aspekty byly splněny (viz Tab. 17). Výraznější rozdíly v hraničních hodnotách průtoků (např. mezi P4 a P6) jsou dány geometrickou typologií koryta v profilu P4. Opevnění pravobřežní kamennou zdí neumožňuje rozšíření kapacity v oblasti kynety a berem, ani směrem k břehové hraně. Navíc hloubka profilu je výrazně vyšší než u zmiňovaného profilu P6. Výsledkem je téměř totožná střední průřezová rychlost, která je násobena odlišnými plochami průřezů koryt.

Obrázek o vhodném hydrologickém napojení revitalizačního návrhu v jednotlivých vzorových příčných profilech tedy neposkytuje až tak hraniční průtok, ale hraniční hodnoty střední průřezové rychlosti (Obr. 68). Tyto se pohybují v rozmezí 1,877-1,899 m.s⁻¹. Stabilita v patě svahu a v obloucích nebyla počítána, jelikož revitalizační návrh počítá s opevněním těchto namáhaných částí balvany či těžkými kamennými figurami. Z výsledků výpočtů stability tedy vyplývá, že koryto nejenže zajišťuje stabilitu při potřebných N-letých průtocích, ale také nevytváří stabilitní skoky v rámci podélného profilu. Kromě toho výrazně snižuje riziko zanášení v porovnání s již revitalizovaným úsekem po proudu. Nicméně i zde se dají najít

nevýhody. Celý proces výpočtů stability byl veden jedním hlavním cílem: nalézt substrát o nejmenší možné velikosti d_e , aby nedocházelo k výraznému zanášení koryta, ale přitom stále zajistit potřebnou stabilitu. Tento proces je relativně náročný a v případném revitalizačním projektu jej lze obejít navržením substrátu o výrazně větších rozměrech d_e a úmyslně tak dno kynety předimenzovat. Při tomto postupu je však třeba počítat se snížením maximální průtočné kapacity vlivem navýšení drsnosti dna, a pro alespoň zachování stávajících kapacit (které ovšem stále nejsou schopné převést Q_{20}), bude třeba ještě více zvětšit prostor kynety a bermy, a tedy zvýšit sklony břehů, případně vykoupit pozemky ohraničující manipulační prostor kolem toku spadající pod správu Povodí Ohře, s.p.

Tab. 17 – Výpočty stability ve vzorových příčných profilech. Tučně: „hraniční průtok porušující stabilitu“, prostřední řádek: stabilita při maximálním plnění, spodní řádek: stabilita kynety při plném plnění.

$d_e = 50.28 \text{ mm}$, VZOROVÝ PROFIL „P2“									
h [m]	v [m.s ⁻¹]	R [m]	O [m]	S [m ²]	Q [m ³ .s ⁻¹]	v _v - Neil	vn - Neil	Vymílá?	Je stabilní?
0,86	1,899	0,487	7,29	3,55	6,74	1,899	1,329	0,000	/
1,200	2,28	0,640	9,69	6,22	14,18	1,964	1,375	0,316	NE
0,25	1,09	0,209	2,77	0,58	0,63	1,679	1,175	-0,591	ANO
$d_e = 50.28 \text{ mm}$, VZOROVÝ PROFIL „P4“									
h [m]	v [m.s ⁻¹]	R [m]	O [m]	S [m ²]	Q [m ³ .s ⁻¹]	v _v - Neil	vn - Neil	Vymílá?	Je stabilní?
0,77	1,877	0,373	6,17	2,31	4,36	1,877	1,314	0,000	/
1,647	3,09	0,860	9,10	7,85	24,32	2,027	1,419	1,063	NE
0,25	1,05	0,149	2,14	0,32	0,34	1,679	1,175	-0,629	ANO
$d_e = 50.28 \text{ mm}$, VZOROVÝ PROFIL „P6“									
h [m]	v [m.s ⁻¹]	R [m]	O [m]	S [m ²]	Q [m ³ .s ⁻¹]	v _v - Neil	vn - Neil	Vymílá?	Je stabilní?
0,795	1,884	0,486	8,32	4,04	7,62	1,884	1,319	0,000	/
1,272	2,44	0,743	10,82	8,04	19,65	1,975	1,383	0,468	NE
0,25	1,09	0,197	3,08	0,61	0,66	1,679	1,175	-0,586	ANO
$d_e = 50.28 \text{ mm}$, VZOROVÝ PROFIL „P9“									
h [m]	v [m.s ⁻¹]	R [m]	O [m]	S [m ²]	Q [m ³ .s ⁻¹]	v _v - Neil	vn - Neil	Vymílá?	Je stabilní?
0,83	1,892	0,472	6,49	3,07	5,80	1,892	1,325	0,000	/
1,306	2,43	0,710	8,93	6,35	15,40	1,980	1,386	0,446	NE
0,25	0,93	0,159	2,18	0,35	0,323	1,679	1,175	-0,749	ANO



Obr. 68 – Podélný vývoj hraničních průtoků porušujících stabilitu dna koryta v přímé trase

8.10 Návrh podélného profilu

Celkem jsou k dispozici 4 variantní řešení podélného profilu, která budou postupně představena v rámci vhodnosti jejich použití v jednotlivých úsecích podélného profilu (Obr. 69).

8.10.1 Variantní řešení „A“

Počítá s vytvořením zákrutového průběhu trasy toku, který mírně navyšuje aktuální sinusitu (1,10). V návrhu odpovídá nová hodnota sinusity přibližně údaji 1,17. Tento pouze odráží schématický zákres v Obr. 70-a,b,c,d. V praktickém revitalizačním projektu se tato hodnota může samozřejmě měnit, avšak není doporučeno překonávat hodnoty sinusity nad 1,30. Důvodem jsou pravidelné nízké letní vodnosti. Je třeba zajistit, že rychlost proudící vody nebude zákrutami příliš zpomalena a nebude docházet k jejímu akumulování a rychlému vypařování v těchto zákrutech. Návrh také počítá s vypreparováním topografie dna, jehož nejhlubší část (25 cm) pod bermou, bude u konkávního břehu a směrem ke konvexe bude hloubka postupně klesat. Toto zvrásnění dna stačí kynetě jen naznačit, ta si pak v průběhu času sama najde optimální trasu pro vedení proudnice, která bude řídit změny v podélném i vertikálním rozložení štěrkového substrátu. Konkávní břeh je opevněn kamennými figurami (např. rovnaninou, balvany či těžkým pohozem). Konvexní břeh je v oblasti bermy primárně stabilizován drnovou travní vegetací, kdy pata svahu bermy je opevněna balvanem o mírném sklonu jeho horní hrany, která přirozeně navazuje na sklon bermy. V oblastech inflexních bodů jsou vytvořeny přechodové mělčiny mezi jednotlivými zákruty, a to vyklínováním štěrkové kynety pomocí větších kamenů. Tyto přechody podporují diverzifikaci v režimu proudění. Celý

návrh vyzdvihuje především vytvoření dostatečné tvarové členitosti a podporu tvorby přirozených živočišných habitatů (viz Obr. 70-a). Kapacita kynety v plném plnění vyhovuje dlouhodobému průtočnému normálu – Q_a , bermy se začnou zapojovat jen při zvýšených průtocích a okamžik jejich zapojení se liší v jednotlivých příčných řezech.

8.10.2 Variantní řešení „B“

Toto řešení lze použít pouze v jednom úseku podélného profilu (ÚSEK 2, viz Obr. 69). Jeho hlavním cílem je přiblížit revitalizaci co nejvíce tamním obyvatelům. Vodní tratě v intravilánu by neměly pouze plnit funkci prosté vodoteče, ale také příjemného prostoru k relaxaci. Tato myšlenka je podporovaná navýšením makrodrsnosti toku v inflexních bodech zapuštěním velkých balvanů kolmo na směr proudění. Jejich primární funkcí je umožnění přechodu toku „suchou nohou“ (Obr. 70-b). Skrytým benefitem takto umístěných balvanů je vytváření vířivého proudění kolem těchto překážek, které podporuje přirozené, vertikální zdrsnění dna.

8.10.3 Variantní řešení „C“

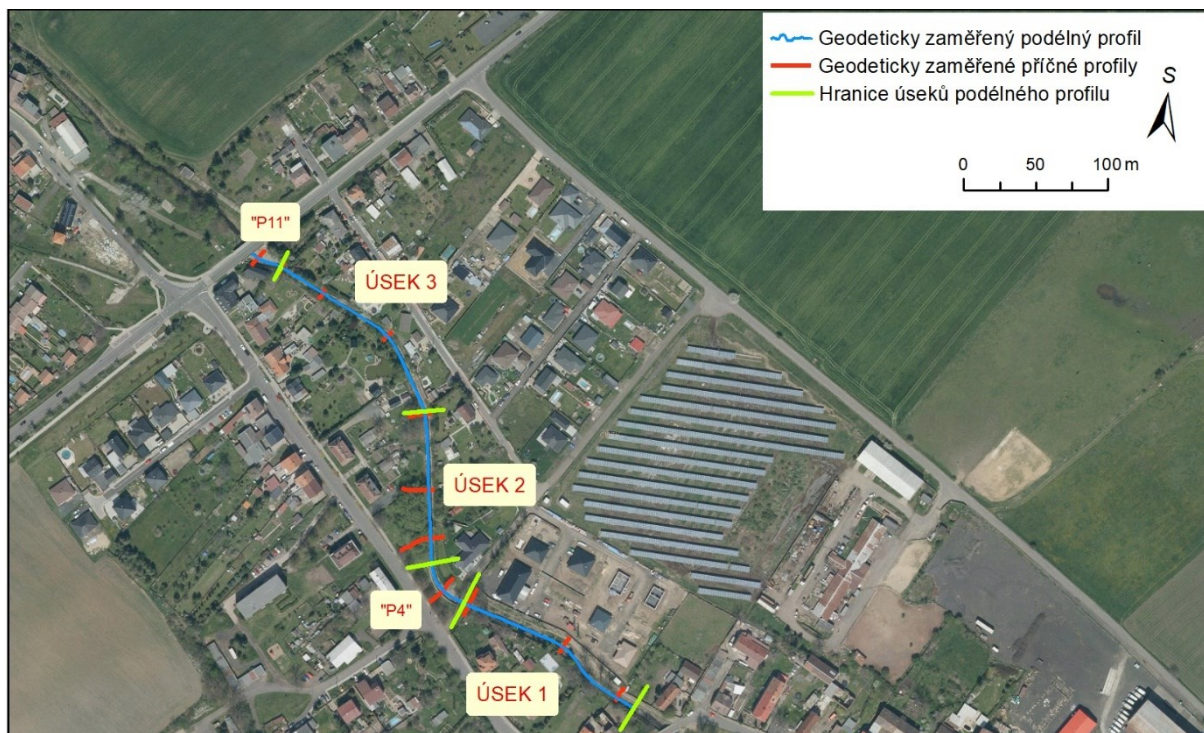
Toto řešení navazuje na již provedenou revitalizační úpravu v tom směru, že dno je opevněno v inflexních bodech kamennými prahy kolmo na směr proudění. Na rozdíl od již provedené revitalizace je zvýšen rozdíl mezi jednotlivými prvky kamenného prahu. Voda tak může za nižších vodností proudit mezi kameny a přecházet do slapového proudění (Obr. 70-c). Řešení je nejnáročnější na realizaci, ať už z časového či finančního hlediska. Jeho použití se hodí převážně v ÚSEKU 3 (Obr. 69), kde je doplňková stabilizace kynety vzhledem k blízkým zahradním pozemkům a nemožnosti výraznějšího zpomalení rychlosti proudící vody zákrutami, podporována. Aplikace těchto opevňujících prahů by měla být prováděna důsledným zapuštěním do šterkového dna, aby při povodňových situacích nedošlo k jejich odplavení a poškození struktur po proudu. Mezi vhodné materiály se řadí frakce lomového kamene tmavé barvy, který byl použit v navazující revitalizaci po proudu (ř. km 6,328-5,788).

8.10.4 Variantní řešení „D“

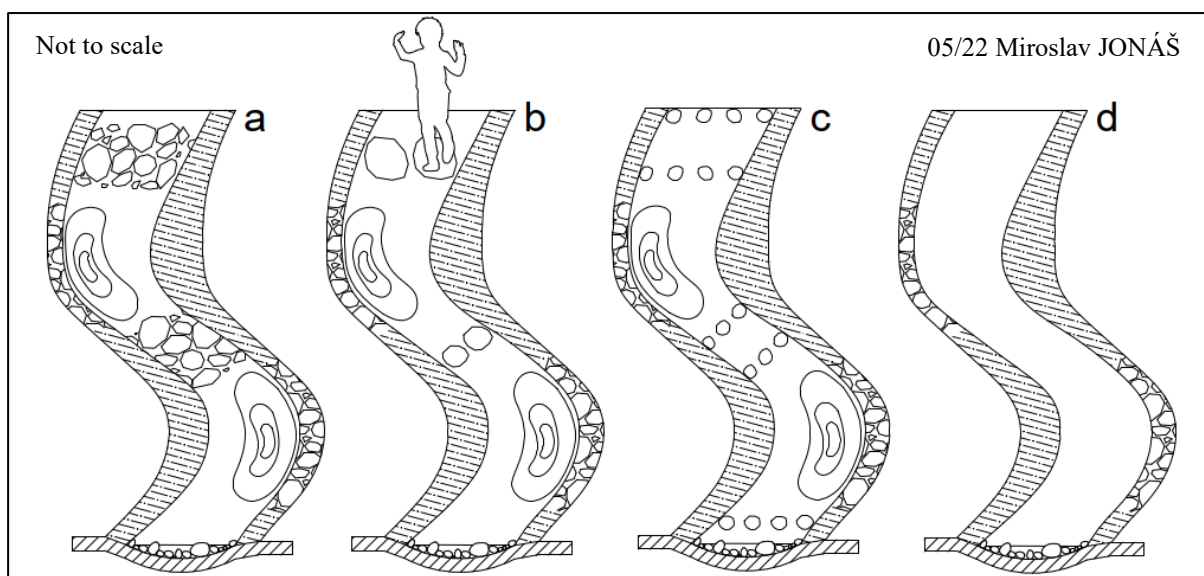
Nejjednodušší řešení, které počítá pouze s opevněním konkávního a konvexního břehu. Dotvoření topografie dna je ponecháno přírodnímu vývoji. Jediným zásahem je navedení toku do zákrutové trasy (Obr. 70-d). Primárně se hodí do oblastí s nižšími sklony a většími hloubkami, kde vytváří klouzavé proudění, odpočinkové i rozmnožovací zóny pro většinu zoocenózy. V podélném profilu lze uvažovat jeho zapojení výhradně v ÚSEKU 1 (Obr. 69).

U některých úseků je možno použít více typů, např. ÚSEK 2, kde variantní řešení „B“ se nevztahuje na celou délku úseku, ale pouze na oblast vybraného příčného profilu (P6 – VAR 1). V reálném projektu se i očekává co nejčastější střídání těchto řešení v rámci úseků, aby se

tok v podélném směru neproměnil ve čtyři ohraničené oblasti, které na sebe zdánlivě nenavazují. Přechod z jednoho typu řešení kynety do druhého by měl být přirozený, kdy při větším rozdílu mezi sklony je tento překlenut drobným balvanitým skluzem. Není doporučováno rozdíly ve sklonech řešit umělými stupni. Tyto prodražují celou úpravu a omezují migrační prostupnost, která je výše prezentovanými řešeními respektována. Navrhovaná začlenění jednotlivých řešení kynety shrnuje tabulka (Tab. 18), a Obr. 69.



Obr. 69 – Rozdělení podélného profilu z hlediska vhodnosti použití jednotlivých variantních řešení kynety. Zdroj: (ČÚZK – WMS vrstva Ortofota, ČÚZK, terénní průzkum)



Obr. 70 – a,b,c,d – Schématická variantní řešení kynety

Tab. 18 – Možná začlenění variantních řešení kynety do podélného profilu

<i>Název úseku podélného profilu</i>	<i>Vhodné variantní řešení kynety</i>
ÚSEK 1	D
ÚSEK 2	A;B
ÚSEK 3	C;A

8.11 Návrh příčných profilů

Jednotlivá revitalizační opatření ve vzorových příčných profilech popisují následující řádky.

8.11.1 Vzorový příčný profil „P2“

V obr. 69 znázorňuje tento vzorový příčný profil ÚSEK 1, tedy příčné profily P1-P3 a nachází se na ř. km 6,379. Samotný zákres je vyobrazen v Příloze 10. Hlavní podmínkou řídicí návrh bylo přinejmenším zachování, v lepším případě navýšení, maximální průtočné kapacity. Toho bylo dosaženo zvětšením prostoru kynety a bermy a zvýšením sklonu břehových svahů. Prošterkované dno kynety je tvořeno substrátem dle Tab. 16, který vychází z granulometrie úseků navazujících po i proti proudu, poskytne tedy vhodné hydrologické začlenění, a zároveň odpovídá požadovaným minimálním stabilitám dna koryta v přímé trase. Prošterkování bude provedeno do hloubky 30 cm a samotné dno kynety bude zapuštěno 25 cm pod navazující bermy. Pata bermy při pravém svahu (blíže nemovitostem) bude opevněna těžkými plochými balvany, které budou zapuštěny pod prošterkování kynety. Ve sklonu horní hrany balvanů na ně bude navazovat krátká berma, ukloněná přibližně pod úhlem 10 °, mocná alespoň 15 cm a pokrytá zeminou s travní až trávo-bylinnou vegetací. Základovým materiálem bermy na levém konkávním břehu bude podsyp z hrubozrnného šterku, který bude opět ohumusován a pokryt travními drny pro zvýšení stability. Výhoda travních drnů oproti prostému zatravnění je, že začínají svou funkci plnit téměř okamžitě po jejich zanesení do stavby. U osetí je doba začátku fungování mnohem delší, zároveň osetí musí být prováděno v měsících vegetačního období travin. S tím je spojeno riziko vyplavení zeminy vodou ještě před samotným vyklíčením travního osiva. Stojí zde za zvážení umocnit stabilizaci paty bermy opět těžkým balvanem, jelikož konkávní břeh musí odolat větším vymílacím silám proudící vody. Na druhou stranu levý břeh poskytuje prostor pro mírnou boční migraci koryta, která podpoří hydromorfologickou stránku celé revitalizace.

Co se týče svahů, jejich struktura se bude na pravém, resp. levém břehu výrazně lišit. Pravý konvexní břeh, přímo navazující na oplocené zahradní pozemky blízkých nemovitostí stačí stabilizovat protierozní travní až trávo-bylinnou směsí. Touto travní směsí bude oseta alespoň 15 cm mocná vrstva zeminy, která bude navezena na pravý příbřežní svah. V případě,

že po odkrytí aktuální vegetace bude zjištěna dobrá bonita již na místě se vyskytující zeminy, je možné použít i ji. Mezi vhodné druhy trav a bylin k výsadbě se řadí např. košťavy, jílky a lipnice. Naopak situace na levém nárazovém břehu již požaduje výraznější stabilizaci. Do podsypu z hrubozrnného štěrku (či stěrko-písčitého) budou zaneseny těžké kamenné figury ve formě záhozu či pohozu. Možné je také vyklínování do formy kamenné rovnaniny. Vhodné je použít stejný typ kameniva, který je použit již v úseku provedené revitalizace, aby na sebe obě stavby esteticky navazovaly. Předpokládá se, že použité kamenné opevnění bude po čase porostlé náletovou vegetací, která pomůže přírodně celou kamennou figuru začlenit do okolní krajiny. Na samotné břehové hraně je poté vhodné zvážit vysazení doprovodné stromové vegetace. Výsadba však musí být mírná, s dostatečnými mezerami mezi jednotlivými dřevinami. Příliš hustá výsadba by s sebou přinesla následující nepříjemnosti: 1) přílišné zastínění toku, 2) přísun velkého množství organické hmoty do toku, její následný rozklad (za spotřebování O₂ a uvolňování CO₂) by poté mohl nepříjemně ovlivňovat kyslíkové poměry v toku, 3) dřeviny v blízkosti toků extrémně navyšují výpar a hrozilo by výrazné snížení vodností či až vyschnutí toku v sušších letních měsících. Vhodné druhy je třeba konzultovat s botaniky. Mělo by se primárně jednat o druhy, které se přirozeně vyskytují v okolí (jsou zvyklé a prosperují v klimatu oblasti). Za žádných okolností by neměly být zvoleny druhy dorůstající vysokých výšek či druhy s velmi mělce rozvětveným kořenovým systémem (hrozí riziko pádu a poškození okolních nemovitostí či zranění osoby procházející kolem toku). Mezi možné kandidáty lze řadit střemchu obecnou, břizu bělokorou či vybrané druhy olší.

Je zde potřeba počítat s pravidelnou údržbou. Jedná se především o sekání porostu berem a pravého břehu, případné zastřihávání doprovodné stromové vegetace. Sekání by mělo být prováděno s ohledem na aktuální upravenost vegetace, a to ve vegetačním období. Zastřihávání doprovodné stromové vegetace poté nejlépe v průběhu léta nebo na konci zimy.

8.11.2 Vzorový příčný profil „P4“

ÚSEK P4, v Obr. 69, právě ten je zajišťován vzorovým příčným profilem P4. Jedná se, spolu s profilem P11, o jediné dva profily, které je třeba řešit separátně, a to díky opevňovacím materiálům břehů či jejich poloze v rámci podélného profilu. Profil P4 se nachází na ř. km 6,473, v těsné blízkosti nízkokapacitního cihlového mostku (Obr. 71). Vypočtené maximální kapacity v profilech P3, resp. P4, které přímo sousedí s touto cihlovou stavbou, jsou výrazně větší, než je aktuální průtočná kapacita pod cihlovým mostkem. Z toho vyplývá, že při vyšších průtocích, které budou stále akceptovány korytem nad mostkem, bude docházet k jeho významnému porušení a vlivem jeho nízké kapacity k pravděpodobnému vybřežení vody

v jeho okolí. Most je ve špatném technickém stavu a je nutné jeho odborné posouzení. Doporučení jsou tedy následující: 1) ověřit založení a stav cihlového mostu odbornou firmou, 2) popřemýšlet o jeho zbourání a nahrazení modernější konstrukcí (pozn. pokud se nejedná o stavební památku podléhající ochraně).

Pravý konkávní břeh profilu je aktuálně tvořen vysokou zdí z kamenné dlažby, která se táhne cca 40 m proti proudu (Obr. 72). Aktuálně je ve velmi dobrém stavu a pravděpodobně slouží jako ochrana nárazového břehu. Nicméně bylo by vhodné dohledat přesný funkční význam této stavby.



Obr. 71 – Nízkokapacitní cihlový most v sousedství profilů P3 a P4. Zdroj: (foto Milada Matoušková)



Obr. 72 – Pravobřežní zeď z kamenné dlažby v prostoru profilu P4. Zdroj: (foto Milada Matoušková)

Samotný návrh revitalizačních opatření v tomto profilu odkrývá Příloha 11. I zde, jak je tomu u všech profilů, bylo třeba návrhem minimálně zachovat, v lepším případě navýšit, aktuální maximální kapacitu. Toho bylo opět docíleno rozšířením prostoru kynety a berem, s mírným posunutím k levému břehu. Prošterkovaná kyneta, do hloubky 30 cm, je zapuštěna 25 cm pod oblast berem. Šířka kynety ve všech návrzích kopíruje aktuální stav na lokalitě a pohybuje se v rozmezí 180-210 cm. Pata bermy na pravém konkávním břehu musí být opevněna těžkým balvanem zapuštěným pod hloubku prošterkované kynety. Jako podklad navazující bermy nelze využít šterkový podsyp, který by mohl být časem odplaven. Jako základový podklad je tedy navrhována hutněná zemina s jílovou složkou kolem 30 %. Větší zastoupení jílu by výrazně zvýšilo dobu konsolidace, navíc díky tvaru jílových zrn by bylo třeba počítat s „*creepem*“. Na ten základ bude do cementového lože o mocnosti alespoň 15 cm zapuštěn těžký kamenný pohoz (> 80 kg). Nicméně toto opevnění musí být pod základnou paty kamenné zdi. Bohužel technická dokumentace o této stavbě nebyla k dispozici, před jakýmkoliv stavebním zásahem je třeba přesně určit hloubku založení zdi. Nelze vyloučit, že po zjištění této informace se výše navrhovaný způsob opevnění bude muset pozměnit. Samotná zeď je v návrhu prozatím ponechána.

Levý břeh bude sloužit jako prostor pro zvýšení hydromorfologické stránky revitalizace. Pata bermy bude stabilizována plochým balvanem, jehož sklon horní hrany bude plynule navazovat na mírný sklon bermy (kolem 5 °). Berma tvořena zeminou bude zpevněna travní až trávo-bylinnou směsí. Vhodné nakombinovat např. protierozní a parkovou směs. Na bermu navazující svah poté přebírá podloží i pokryv bermy. Nedoporučuje se další vysazování doprovodné stromové vegetace, jelikož se již na levém břehu profilu vyskytuje. Náklady na údržbu se budou týkat primárně levého břehu, kde je třeba pravidelně sekat pokryv bermy a břehu.

8.11.3 Vzorový příčný profil „P6 – VAR 1“

Dle Obr. 69 se jedná o ÚSEK 2, který by měl nejvíce přiblížit revitalizační úpravu toku tamním obyvatelům a je zachycen Přílohou 12. Okolí pravého břehu je tvořeno největší souvislou plochou zeleně v obci (Obr. 73), která poskytuje nejvíce prostoru kolem koryta. Vzorový profil je umístěn na ř. km 6,542, tedy přibližně uprostřed ÚSEKU 2. Miskovitá kyneta o šířce 200 cm je opět do hloubky 30 cm prošterkována a dno kynety je 25 cm pod úrovní berem. Levý, mírně nárazový břeh je v patě bermy opevněn těžkým balvanem, který je zapuštěn pod hloubku prošterkování. Základový materiál bermy je sice v zákresu revitalizačního návrhu (Příloha 12) popsán jako zhutněná zemina, avšak pokud zemina vyskytující se na lokalitě bude splňovat

hustotní podmínky, je možné jako základ bermy využít i ji. Horní hrana bermy bude opět pokryta zeminou, mocnost alespoň 15 cm, která bude oseta travní až trávo-bylinnou směsí. Obdobně jako u profilu P4, i zde bude struktura bermy, včetně jejího pokryvu, plynule přecházet do oblasti svahu. Aktuální snímky z lokality zde nicméně zachycují velmi těsnou stromovou výsadbu, která v takovéto míře není vhodná (Obr. 74). Doporučuje se zanést polohu této výsadby do map a v případě jejího překryvu s pozemky patřícími pod správu Povodí Ohře, s.p., její výrazná probírka anebo odstranění.



Obr. 73 – Prostor obecního parku po pravé straně koryta ÚSEKU 2. Zdroj: (foto Milada Matoušková)



Obr. 74 – Nově vysázená stromová vegetace na horní hraně levého břehu části ÚSEKU 2. Zdroj: (foto Miroslav Jonáš, stav: 21.03.2022)

Pata bermy v oblasti pravého konvexního břehu je taktéž opevněna balvanitou stabilizací, která omezuje boční migraci koryta, především za účelem podpůrné stabilizace instalovaného přístupu k vodoteči. Základový podsyp i osetí bermy je shodné s bermou na levém břehu. Zde však na objekt bermy navazuje přístup z plochých kamenů, který je zapuštěn do cca 15 cm mocného písčitého podsypu (Obr. 75). Délka základny jednotlivých plochých kamenů je 65 cm, výška schodnice 15 cm a délka horní hrany 30 cm. Slouží ke snadnému přístupu k vodoteči pro tamní obyvatele a v kombinaci s implementací variantního řešení kynety typu B (viz Obr. 70-b, resp. kapitola 8.10) umožňuje kompletní překročení toku „suchou nohou“.

Tento prvek je velmi atraktivní v již provedené revitalizaci Litovického potoka v k.ú. obce Hostivice (Obr. 76). Variantním řešením je místo přístupu z plochých kamenů použít kulatinu kolmo pokládanou na sklon svahu, stabilizovanou dřevěnými kolíky na podsypu z hrubozrnného štěrku (Obr. 77). Údržba tohoto řešení je více pracnější. Kromě pravidelného sekání travního pokryvu berem a levého břehu, je potřeba také udržovat samotnou přístupovou konstrukci k toku. Zároveň je třeba pravidelným kontrolám podrobit stabilitu založení těchto kamenů, v případě zvolení variantního řešení kulatin, aby nedošlo k poranění osob využívajících tyto prvky (např. vyvrknutí kotníku).



Obr. 75 – Ukázka začlenění přístupu z plochých kamenů. Je možné použít buď solitérní kamenivo skládané do horizontální linie anebo již prefabrikovanou horizontální schodnici. Obě řešení mají své výhody i nevýhody. Výhodou solitérně skládaných kusů kameniva je jejich přirozenější vzhled, nicméně vyžadují vyšší míru údržby, neboť v mezírkách mezi nimi dochází k sukcesním procesům. Zdroj: (foto Milada Matoušková)

Vedení obce Lahošť počítá s proměněním parkové oblasti na pravém břehu tohoto úseku do podoby odpočinkové zóny (minimálně se uvažuje o vhodném umístění nových laviček), která koresponduje s navrhovanou revitalizační studií. Navrhovaná revitalizační studie je vedením obce podporována.



Obr. 76 – Ukázka variantního řešení kynety „B“ – přechod toku „suchou nohou“. Balvany je třeba zapustit do říčního substrátu, aby byly stabilní a nedošlo k jejich odplavení při vyšších průtocích. Zdroj: (foto Milada Matoušková)



Obr. 77 – Variantní řešení přístupu k toku pomocí dřevěné kulatiny. Ta musí být dobře ukotvena, aby při povodňových průtocích nebyla stržena do toku, kde by mohla působit škody po proudu. Zdroj: (foto Milada Matoušková)

8.11.4 Vzorový příčný profil „P6“

Výše navrhovaná úprava přibližující vodoteč tamním obyvatelům není platná pro celý ÚSEK 2, ale pouze jako varianta pro jeden vybraný profil. V případě, že tato zvolena nebude, je možné ÚSEK 2 řešit variantním řešením, které bude popsáno v této podkapitole. Je třeba využít volného prostoru po pravém břehu ke zvýšení hydromorfologie celého úseku. Navrhovaná úprava P6 odpovídá provedení levého břehu profilu P2, resp. P4. Prošterkovaná kyneta miskovitého tvaru, bude zahlobena 25 cm pod bermu. Mocnost prošterkování je již známých 30 cm. Paty berem, jak v konkávě, tak v konvexe, jsou opevněny těžkými balvany, které jsou zapuštěny pod hloubku prošterkování. Na sklon jejich horní hrany navazují bermy, založeny v zemině a pokryty travní až trávo-bylinnou vegetací, která přechází plynule do břehového svahu. Údržbově se jedná opět o pravidelné sečení pokryvu berem a svahů.

8.11.5 Vzorový příčný profil „P9“

Tento profil definuje z hlediska revitalizačního zásahu prostor ÚSEKU 3 (Obr. 69). Jedná se o specifický úsek, který se táhne ve velmi těsné blízkosti oplocených zahradních pozemků přilehlých nemovitostí a neposkytuje žádný dodatečný prostor kolem koryta (Obr. 78).



Obr. 78 – Ukázka takřka neexistujícího prostoru kolem koryta v ÚSEKU 3. Zdroj: (foto Milada Matoušková)

Dalším nepříjemným jevem jsou nejen četné odběry vody, především v letních měsících, ale prostor kolem koryta zde také plní „skládku rozmanitého odpadu“ (viz Obr. 79), ze kterého se do toku mohou uvolňovat např. sloučeniny N a P. Jak bylo nastíněno v kapitole 8.2, tak sloučeniny P jsou v letních měsících zastoupeny v koncentracích převyšující 3. třídu kvality. Je doporučeno tuto oblast (ÚSEK 3) podrobovat pravidelným kontrolám.



Obr. 79 – Oblast kompostu zasahující do koryta v oblasti ÚSEKU 3. Zdroj: (foto Milada Matoušková)

Návrh revitalizace v tomto úseku shrnuje Příloha 13. Jedná se o jediný úsek, kde revitalizační návrh nenavýšuje stávající maximální kapacitu, nýbrž ji zachovává. Opět byl rozšířen prostor kynety a berem a navýšen sklon svahů. Miskovitá kyneta o šířkách 180-210 cm je opět do hloubky 30 cm proštěrkována a její dno je 25 cm pod hranicí bermy. Paty berem jsou jak v konkávě, tak v konvexe stabilizovány těžkým balvanem sahajícím pod úroveň proštěrkování kynety. Sklon umístění balvanu v konkávě je přibližně 1:1 (45°) a navazuje na něj ukloněná berma o sklonu 5-10°. Základovým materiálem bermy je zemina o dostatečné hustotě, ať už lokální či na lokalitě zhutněná. Povrch bermy bude tvořen zeminou o mocnosti alespoň 15 cm, která bude pokryta travní až trávo-bylinnou vegetací. Stejně schéma je platné i pro bermu

v konvexe. Sklon stabilizačního balvanu v konvexe je mírný, plynule navazující na úklon bermy odpovídající cca 5-10°.

Opevnění svahů je v případě obou břehů řešeno vyklínováním kamennou rovnaninou. Typ použitého kameniva by měl být shodný s již provedenou revitalizační úpravou po proudu. Variantním řešením je opevnit svahy rovnaninou pouze ze $\frac{3}{4}$ a poslední $\frac{1}{4}$ osít travní směsí (ideálně kombinací protierozní a parkové směsi, viz Příloha 14). V mezerách mezi vyklínovaným kamenivem se doporučuje umístění bylinné či zakrslé keřovité flóry. Vzniklá oživená kamenná rovnanina působí estetičtějším dojmem a poskytuje útočiště řadě živočichů z řad plazů, hmyzu či ptactva. Na druhou stranu je nutné počítat s pravidelnou údržbou v podobě sečení a plevelení. Volba oživené kamenné rovnaniny je volitelným prvkem. Její inkorporace velmi mírně mění drsnost břehového materiálu, ale změna maximální průtočné kapacity, která z ní plyne, je zanedbatelná. Za zvážení také stojí vytvoření kamenných schůdků, poskytující snazší přístup k toku tanním obyvatelům.

8.11.6 Vzorový příčný profil „P11“

Profil ohraničuje začátek revitalizace ve směru po proudu a nachází se na ř. km 6,785. Z hlediska kapacity výrazně převyšuje okolní úseky toku. Maximální kapacita je dimenzována na Q_{100} , který, dle výpočtů v kapitole 8.8, bezpečně převádí. Silniční most přes Bouřlivec je zároveň klíčovou dopravní komunikací č. 254 mezi městy Duchcov a Teplice. Je aktuálně ve velmi dobrém stavu. Koryto je zde opevněno kamennou dlažbou, je velmi mělké a postrádá tvarovou a hydraulickou členitost. Kamenná dlažba však musí být zachována v bezprostřední blízkosti opěrných pilířů mostu, aby nedocházelo k jejich podemletí proudící vodou. Je vhodné dohledat stavební dokumentaci mostu a zjistit hloubku a kvalitu jeho založení před zahájením revitalizačních prací.

Samotný návrh opatření nabízí dvě, resp. tři variantní řešení. Tím prvním je ponechání profilu a jeho okolí v aktuálním stavu (Obr. 80-a). Druhým variantním řešením je aplikace balvanitého trojúhelníkového výhonů pod pravobřežní ochranou zeď (Obr. 80-b). Výhon bude tvořen ukotvenou kulatinou a podsypem z hrubozrnného štěrku. Na tento podsyp budou kladeny těžké balvany (lze použít těžký pohoz >80 kg), které budou celý výhon stabilizovat v pozici. Na délku pravého břehu je doporučeno umístit jeden či dva tyto výhony, které budou odklánět proudící vodu do středu koryta. Třetím variantním řešením je balvanité výhony doplnit zatravněním levostranné bermy (Obr. 80-c). Tuto úpravu je vhodné směřovat do období nízkých průtoků, aby nedošlo k odplavení zeminy ještě před uchycením zatravnění. Je doporučeno provádět pravidelnou údržbu v podobě nejen sečení, ale také úklidu.

Kamennou dlažbu lze z kynety odstranit pouze v dostatečné vzdálenosti od opěrných mostních pilířů, aby nedošlo k porušení stability mostní konstrukce. Pokud dojde k jejímu odstranění, doporučuje se kynetu opět prošťerkovat substrátem o min. velikosti d_e cca 50 mm.



Obr. 80-a – Aktuální stav v oblasti příčného profilu P11. Zdroj: (foto Milada Matoušková)



Obr. 80-b – Variantní řešení I. – aplikace balvanitého výhonu pod pravobřežní zeď směřující proudění vody do středu koryta



Obr. 80-c – Variantní řešení II. – doplnění pravostranných výhonů o zatravnění levostranné bermy

8.12 Evaluace revitalizačního efektu

Primárním cílem revitalizační studie je zlepšení hydromorfologie zájmového úseku, s ohledem na zachování, optimálně navýšení, aktuálních maximálních kapacit, a tedy protipovodňové ochrany. Zhodnocení revitalizačního efektu bylo provedeno porovnáním hydromorfologie aktuálního stavu úseku s předpokládaným hydromorfologickým stavem při aplikaci zde prezentované revitalizační studie. Vývoj změny v jednotlivých ukazatelech shrnuje Tab. 19.

Tab. 19 – Potenciální změna hydromorfologického stavu zájmového úseku při hodnocení metodikou HEM. Zdroj: (Langhammer, 2014, Jonáš, 2020)

<i>Hydromorfologický ukazatel</i>	<i>Aktuální skóre</i>	<i>Nové skóre</i>	<i>Změna</i>	<i>Typ změny</i>
TRA	4	4	0	↔
VSK	1	1	0	↔
VHL	3	3	0	↔
VHP	5	1	-4	↑
DNS	5	2	-3	↑
UDN	5	2	-3	↑
MDK	3	3	0	↔
STD	5	2	-3	↑
PRO	2	1	-1	↑
OHR	3	2*	-1	↑
PPK	1	1	0	↔
UBR	4	3	-1	↑
BVG	4	4	0	↔
VPZ	5	5	0	↔
VNI	5	5	0	↔
PIN	5	5	0	↔
BMK	4	3**	-1	↑
HMS	3,93	3,38	-0,55	↑

*Pozn.: ke zlepšení dojde pouze za předpokladu snížení míry odběrů a vypouštění. Maximální povolený rozsah, při zachování lepšího skóre, je 10 %.

**Pozn.: Pouze v případě drobné vertikální migrace koryta, která je uvažována ojedinele v ÚSEKU 1, resp. 2.

K pozitivní změně, při případné inkorporaci revitalizační studie, dojde v 8 ze 17 sledovaných parametrů. K výraznému zlepšení dojde především v parametrech charakterizující morfologii dna. S drobným zlepšením se počítá také v parametru charakterizující míru diverzifikace proudění a upravenosti břehů. Díky pozici v intravilánu jsou některé parametry v čase proměnlivé a závislé na přístupu tamních obyvatel k revitalizaci. Jedná se především o ovlivnění hydrologického režimu ilegálními odběry či vypouštěním. Pokud bude jejich rozsah do 10 %, pak lze očekávat drobné zlepšení, nicméně aktuálně tuto hodnotu výrazně převyšují.

Celkové skóre se zlepšilo z původních 3,93 (4. třída hydromorfologické kvality) na 3,38 (3. třída). Výpočet byl řízen metodikou HEM (Langhammer, 2014). Vytyčeného cíle, tedy zlepšení o jednu kvalitativní třídu, bylo dosaženo. Zároveň je návrhové hydromorfologické skóre totožné s úsekem již provedené revitalizace a jen tak umocňuje míru velmi dobrého, nejen hydrologického, ale také hydromorfologického a estetického začlenění revitalizační návrhu do toku.

9. Diskuze výsledků

Předkládaná diplomová práce shrnuje více než 2 roky výzkumných prací v zájmovém území a představuje komplexní revitalizační studii drobného vodního toku. Postup zpracování studie byl průběžně konzultován se školitelkou a členy řešitelského týmu výzkumného úkolu pro Povodí Ohře, s.p.

Analýzou odtokových poměrů byly zjištěny statisticky signifikantní poklesové trendy ve vodnostech s tím, že v letech 2018 a 2020 průtoky dokonce klesly pod hranici minimálního ekologického zůstatkového průtoku ($0,770 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), který byl pro zájmovou lokalitu spočten z křivky překročení či dosažení jednotlivých průtoků. Tyto výpočty jsou v souladu s prací Vítkové (2021), která taktéž označila stejné roky za nejvýznamnější z hlediska sucha. Dlouhodobě nejnižších hodnot průtoku je poté dosahováno v září. Míra stále se snižujících vodních stavů v letních měsících je zde zřejmě kombinací několika faktorů. Již dlouhodobě jsou pozorovány stále výraznější období nízkých průtoků v pramenných oblastech Krušných hor, které jsou zásadní pro charakter průtoků i v dolních úsecích toků Vlach *et al.*, (2021). K tomuto jevu se v rámci povodí Bouřlivce přidává i rostoucí trend teplot vzduchu (Vítková, 2021), které podporují výpar a výrazně snižují vodnosti toků v letních měsících. V kombinaci s četnými odběry v rámci celého toku (Jonáš, 2020, Junková, 2021, Jonáš, Matoušková, 2022) dochází k výrazným ztrátám vodnosti. Tyto jsou částečně nadleřšovány Flájským přivaděčem pro zabezpečení dostatečné výšky hladiny ve VD Všechlapy.

Analýza kvality vody ukázala přechodně velmi špatné kyslíkové poměry v toku, které byly zapříčiněny uvolněním vysokých koncentrací amoniakálního dusíku (N-NH_4) v srpnu roku 2020. Vzhledem k průběhu průnikové křivky se lze přiklánět spíše k jednorázovému zdroji znečištění (Obr. 49). Míra trofie vody a znečištění nutrienty sloučeninami P dosahuje v letních měsících III. jakostní třídy. Z hlediska dusičnanového dusíku (N-NO_3) se hodnoty pohybují v oblastech I. či hranici I. a II. třídy. V rámci vybraných kovů alkalických zemin (Ca, Mg, Sr) byl hodnocen poměr vápníku a hořčíku (Ca:Mg) na jednom vzorkovaném profilu (profil „RB“), (Obr. 57). Hydrogenuhlíčitanové typy vod o celkové mineralizaci do 500 mg/l disponují nejčastěji poměrem v rozmezí 4 : 1 – 2 : 1 (Pitter, 1990, p. 188). V rámci této práce byl vzájemný poměr těchto prvků vypočten jako cca 3,27 : 1. Ze zbylých kovů alkalických zemin bylo stanoveno pouze stroncium (Sr), jehož koncentrace nevybočují z běžně měřených hodnot.

Mezi hlavní posuzované kovy ve vodách patřil hliník (Al), zinek (Zn), železo (Fe) a mangan (Mn). Nejvyšší koncentrace Al byly zaznamenány v podzimních měsících a dosahovaly hodnot 0,59 mg/l. Tyto jej řadí do I. třídy kvality dle ČSN 75 7221 (2017). Vyšší zjištěné podzimní hodnoty Al v porovnání s jarními hodnotami korespondují s pozorováním

z polského toku Nysa a jeho přítoků, což zřejmě značí, že zdroje Al pocházející ze zemědělské činnosti a odtokových epizod jsou vyšší než hodnoty z jarních epizod tání, Senze *et al.*, (2021). Co se týče Zn, tak jeho maximální koncentrace – 0,03 mg/l jej již řadí do II. třídy kvality. Tyto hodnoty byly měřeny v úseku protínající intravilán obce Lahošť. Důvodem zvýšených koncentrací v intravilánu mohou být splachy z pozinkovaných ploch (např. střech), jak ukazují Gromaire *et al.*, (2002). Koncentrace u dalších, detailněji, zkoumaných kovů – Fe a Mn nepředstavují výraznější riziko pro vodní ekosystémy. Tyto kovy především ovlivňují organoleptické vlastnosti vody. Jejich vyšší koncentrace jsou u toků s nižším pH, obvykle výtoků z rašelinišť za přítomnosti huminových látek a organické hmoty (Pitter, 1990, Fraindová *et al.*, 2022).

Hodnoty vysoce toxických kovů – arsenu (As), olova (Pb) či kadmia (Cd) byly ve všech případech na hraně detekce. V rámci As to může být podpořeno také letními zvýšenými koncentracemi orthofosforečnanů a přechodně také síranů, které zřejmě omezují sorpční schopnosti As, jak svou rešerší ukazují (Wällstedt *et al.*, 2010). Obecně lze hodnotit kvalitu vody zájmového úseku většinu hydrologického roku jako mírně znečištěnou až znečištěnou, což se slučuje s požadavky na kvalitu vody při realizaci intravilánových revitalizačních projektů. Revitalizační opatření v intravilánech dávají totiž smysl, pokud povrchová voda ve vodoteči splňuje alespoň III. třídu jakosti dle nejhůře hodnoceného parametru.

Aktuální i návrhové kapacity byly vypočteny za pomoci známých hydraulických vztahů Manninga a Chézyho. Dále byla navržena modifikace postupu určení drsnosti pro koryta se složenými drsnostními profily. Výpočty stability byly řízeny Neillovou rovnicí nevymílací rychlosti (Výbora, 1989 in Raplík *et al.*, 1989, Zelíková, 2012) a byly vedeny pro kvantily nově navrhovaného substrátu dna, který byl stanovena zrnitostním rozbořem úseků navazujících na zájmovou oblast revitalizace. Zrnitostní analýza byla separována na krycí a podkladovou vrstvu, aby zabezpečila maximální možné posouzení vývoje velikosti dnových splavenin ve vertikálním profilu. Analýza podélného vývoje velikosti efektivního zrna ukázala výraznou míru zanášení, kterou trpí již revitalizovaný úsek mezi ř. km 6,328 – 5,788.

Geodeticky zaměřené profily (podélný i příčné) byly technicky zpracovány v programu AutoCAD 2022. Zákresy revitalizačních opatření respektují přání zadavatele projektu (Povodí Ohře, s.p.), zlepšují hydromorfologické ukazatele zájmové lokality a ve většině případů navyšují aktuální průtočné kapacity. Realizaci úplné revitalizace bránil nedostatečný manipulační prostor kolem koryta. Nastavený cíl revitalizační studie – pozvednutí hydromorfologické stránky vodoteče alespoň o jednu třídu kvality, dle metodiky HEM 2014 (Langhammer, 2014), byl splněn.

Pro úspěšné začlenění revitalizovaného úseku do krajiny je doporučeno vhodně navrhnout vegetační doprovod a opevňovací travní směsi. Zvolená travní či trávo-bylinná směs by měla obsahovat druhy, které splňují následující požadavky: 1) hustý, rychle rostoucí kořenový systém podporující stabilitu, 2) rezistentnost vůči krátkodobým záplavám a síle proudící vody, 3) rychlý růst ve vegetačním období, 4) bonusem jsou esteticky příjemné barvy květů, které zkrášlují okolí toku v intravilánu (např. máta vodní – *Mentha aquatica*). Při volbě doprovodných keřů či dřevin je vhodné volit ty druhy, které se na lokalitě již přirozeně vyskytují a je ověřena jejich schopnost tolerovat tamní klimatické podmínky. Zvolený počet vybraných druhů by měl být střídavý, aby nedocházelo k přílišnému zastínění, opadu velkého množství organiky do toku či zvýšenému výparu v letních měsících. Mezi vhodné druhy lze řadit kupříkladu: střemchu obecnou (*Prunus padus*), brslen evropský (*Euonymus europaeus*), kalinu obecnou (*Viburnum opulus*), olši lepkavou (*Alnus glutinosa*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), javor mléč (*Acer platanoides*), lípu velkolistou (*Tilia platyphyllos*) či lípu malolistou (*Tilia cordata*).

10. Závěr

Revitalizace vodních ekosystémů v urbanizovaném území představuje stále důležitější aspekt krajinářských opatření. I při těchto typech akcí je třeba věnovat zvýšenou pozornost hydromorfologickým a hydroekologickým funkcím koryta, které by dnes nemělo plnit pouze funkce protipovodňové či funkce recipientu srážkových a odpadních vod. V rámci výše uvedených souvislostí byl stanoven hlavní cíl této práce, kterým bylo vypracování revitalizační studie drobného vodního toku v urbanizovaném území, jež respektuje potřebné atributy protipovodňové ochrany, ale zároveň přináší výrazný vzestup v hydromorfologických parametrech zájmové lokality.

V úvodní, rešeršní, části práce jsou zmíněny hlavní charakteristiky intravilánových úseků vodních toků, a to především z hlediska jejich převládajícího morfologického úpadku. Následuje vysvětlení termínu revitalizace a detailní separace aplikovaných revitalizačních opatření v intravilánu a v otevřené krajině. Na tuto část navazují kapitoly hydrauliky otevřených koryt, které detailněji rozebírají nutnost hydrotechnických výpočtů v rámci revitalizační praxe. Zvýšená pozornost byla věnována mimo jiné postupům stanovení drsnosti a sklonu koryta, ale také základním přístupům posuzující jeho stabilitu.

Aplikovaná část práce se zaměřuje výhradně na analýzu dostupných hydrologických, klimatických či hydrochemických dat. Za významné stojí zmínit poklesový trend v průtocích, které v letech 2018 a 2020 klesly pod hranici ekologického zůstatkového minima. Analýzou sezonality bylo zjištěno, že tyto nízké průtočné hodnoty se nejčastěji vyskytují v září. Jedním z primárních výsledků pravidelného hydrochemického vzorkování okolí zájmového úseku je skutečnost, že již provedená revitalizační úprava na ř km. 6,328 – 5,788 má zcela zanedbatelný vliv na podélný vývoj v ukazatelích kvality vody. Naopak podstatný vliv na zhoršení kvality vody v letních měsících mají četné odběry. Za přínosný materiál lze tedy považovat vymapování těchto odběrných míst nejen v rámci zájmového úseku, ale také v úsecích bezprostředně navazujících.

Hydraulické parametry návrhu revitalizační studie byly určeny s ohledem na zlepšení hydromorfologických ukazatelů. Jednalo se především o detailní zrnitostní rozbor říčního substrátu. Výstupem je návrh velikosti efektivního zrna, ale také všech kvantilů zrnitosti pro nově uvažované koryto zájmového úseku. Tento návrh, z hlediska stability, vyhovuje obecným požadavkům na rychlosti proudící vody v intravilánech, ale zároveň snižuje riziko míry zanášení.

Výsledky a postupy v předkládané práci v některých ohledech obohacují revitalizační praxi. Jedná se především o separaci říčního substrátu na krycí a podkladovou vrstvu, která

umožňuje lépe chápat dynamiku ukládání a vertikálního pohybu splavenin v korytě. Pro modifikaci nového postupu stanovení drsnosti koryt se složeným profilem byla vytvořena databáze hodnot drsnostního koeficientu pro v praxi běžně, ale také okrajově používané, opevňovací materiály.

V rámci výzkumného úkolu pod vedením Dr. Šobra (Šobr 2021) byl již na Bouřlivci proveden orientační průzkum makrozoobentosu. Vhodným doplňkem podobných revitalizačních projektů mohou být i batrachologický průzkum – zabývající se výskytem obojživelníků (hlavně žab, mloků a čolků), astakologický a ichtyologický průzkum, které sníží riziko, že revitalizačním opatřením dojde ke poklesu abundance či ztrátě chráněného anebo ohroženého druhu.

11. Literatura

1. ABOOD, Manal M., Badronnisa YUSUF, Thamer Ahmed MOHAMMED and Abdul Halim GHAZALI, (2006). *Manning roughness coefficient for grass-lined channel*. Suranaree J. Sci. Technol. **13**(4), 317–330.
2. AGROSKIN, I. I., G. T. DMITRIJEV and F. I. PIKALOV, (1955). *Hydraulika I*. SNTK, Praha, přeložili Miroslav Hibš a Zdeněk Kebort, 412 s.
Available at: http://www.pla.cz/planet/public/dokumenty/publikace/Povodne_1998_po_10_let.pdf.
Available at: doi:10.1016/j.apgeochem.2010.05.002
3. BARLING, Rowan D. and Ian D. MOORE, (1994). *Role of buffer strips in management of waterway pollution: A review*. Environmental Management. **18**(4), 543–558. ISSN 1432-1009. Available at: doi:10.1007/BF02400858
4. BELLETTI, Barbara, Carlos GARCIA DE LEANIZ, Joshua JONES, Simone BIZZI, Luca BÖRGER, Gilles SEGURA, Andrea CASTELLETTI, Wouter VAN DE BUND, Kim AARESTRUP, James BARRY, Kamila BELKA, Arjan BERKHUYSEN, Kim BIRNIE-GAUVIN, Martina BUSSETTINI, Mauro CAROLLI, Sofia CONSUEGRA, Eduardo DOPICO, Tim FEIERFEIL, Sara FERNÁNDEZ, Pao FERNANDEZ GARRIDO, Eva GARCIA-VAZQUEZ, Sara GARRIDO, Guillermo GIANNICO, Peter GOUGH, Niels JEPSEN, Peter E. JONES, Paul KEMP, Jim KERR, James KING, Małgorzata ŁAPIŃSKA, Gloria LÁZARO, Martyn C. LUCAS, Lucio MARCELLO, Patrick MARTIN, Phillip MCGINNITY, Jesse O'HANLEY, Rosa OLIVO DEL AMO, Piotr PARASIEWICZ, Martin PUSCH, Gonzalo RINCON, Cesar RODRIGUEZ, Joshua ROYTE, Claus Till SCHNEIDER, Jeroen S. TUMMERS, Sergio VALLESI, Andrew VOWLES, Eric VERSPOOR, Herman WANNINGEN, Karl M. WANTZEN, Laura WILDMAN and Maciej ZALEWSKI, (2020). *More than one million barriers fragment Europe's rivers*. Nature. **588**(7838), 436–441. ISSN 14764687. Available at: doi:10.1038/s41586-020-3005-2
5. BENSON, M., A. and Tate DALRYMPLE, (1967). *General field and office procedures for indirect discharge measurements*. U.S. Geological Survey, Book 3 - Application of hydraulics, Chapter A1, 30 s.
6. BEVENGER, Gregory S. and Rudy M. KING, (1995). *A pebble count procedure for assessing watershed cumulative effects*. Res. Pap. RM-RP-319. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 17 p.
7. BINGHAM, C. S., P. W. WESTERMAN and M. R. OVERCASH, (1980). *Effect of grass buffer zone length in reducing the pollution from land application areas*. Transactions of the ASAE. **23**(2), 330–335. ISSN 0001-2351. Available at: <https://doi.org/10.13031/2013.34580>.
8. BOJKOVÁ, Jindřiška, Ivana BUFKOVÁ, Vanda RÁDKOVÁ, Tomáš SOLDÁN and Jaroslav VRBA, (2017). *Jak se žije v revitalizovaných potocích na Šumavě*. Živa 2/2017. Available at: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/jak-se-zije-v-revitalizovanych-potocich-na-sumave.pdf>

9. BUNYA, S., J. C. DIETRICH, J. J. WESTERINK, B. A. EBERSOLE, J. M. SMITH, J. H. ATKINSON, R. JENSEN, D. T. RESIO, R. A. LUETTICH, C. DAWSON, V. J. CARDONE, A. T. COX, M. D. POWELL, H. J. WESTERINK and H. J. ROBERTS, (2010). *A High-Resolution Coupled Riverine Flow, Tide, Wind, Wind Wave, and Storm Surge Model for Southern Louisiana and Mississippi. Part I: Model Development and Validation*. Monthly Weather Review [online]. **138**(2), 345–377. Available at: doi:10.1175/2009MWR2906.1
10. BURDA, J., (ed.), (2016). *Závěrečná zpráva hydrogeologický rajon 6133 – Teplický ryolit*. Česká geologická služba. Praha, 136 s.
11. Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) pobočka Hradec Králové. Zpracovali: MRKVICA, Zdeněk, Ladislav METELKA, Petr VÁCHAL, Jan PAVLÍK, Zdeněk ŠIFTAŘ, Roman POZLER, Eugenie HANČAROVÁ and Richard VESELÝ, (1998). *Katastrofální povodeň v podhůří Orlických hor, červenec 1998*. Hradec Králové, prosinec 1998. Available at: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/povodnove_zpravy/hk_1998_07.pdf
12. ČSN 75 7221, (2017). *Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod*.
13. ČSN ISO 1070, (2019). *Hydrometrie – Metoda sklonu a plochy*.
14. DE VAUS, D. A., (2002). *Surveys in social research*. Fifth edition. Allen & Unwin, Australia. ISBN 1 86508 611 8, 379 s.
15. DEMEK, Jaromír, Zuzana VATOLÍKOVÁ and Peter MACKOVČIN, (2007). *Metodika pro hodnocení hydromorfologie na referenčních lokalitách v rámci monitoringu ekologického stavu tekoucích vod podle rámcové směrnice o vodách (WFD 2000/60/ES)*. AOPK ČR, Brno, 2007, 17 s.
16. DETERT, M. and V. WEITBRECHT, (2012). *Automatic object detection to analyze the geometry of gravel grains – a free stand-alone tool*. In: MURILLO MUNOZ, Rafael (Ed.), (2012). *River Flow 2012* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13250>, p. 595-600.
17. DETERT, M. and V. WEITBRECHT, (2013). *User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN*. In FUKUOKA, Shoji, Hajime NAKAGAWA, Tetsuya SUMI and Hang ZHAO, (Eds.), (2013). *Advances in river sediment research* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b15374>, p. 1789-1796.
18. DUB, Oto, (1957). *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. SVTL, Bratislava, 485 s.
19. DUDA, Alfred M., David R. LENAT and David L. PENROSE, (1982). *Water quality in urban streams: What we can expect*. Journal (Water Pollution Control Federation). **54**(7), 1139–1147. Available at: doi:10.2307/25041633
20. DUFOUR, Simon and Hervé PIÉGAY, (2009). *From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: Forget natural references and focus on human benefits*. River Research and Applications. **25**(5), 568–581. ISSN 1535-1459. Available at: <https://doi.org/10.1002/rra.1239>
21. ĎURĎA, Eduard, (2014). *Hydraulické posouzení a návrh úpravy drobného vodního toku*. VUT Brno, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb, bakalářská práce, 85 s. Vedoucí práce Tomáš Julínek.

22. ECKLEY, Chris S., Brian BRANFIREUN, Miriam DIAMOND, Peter C. VAN METRE and Frank HEITMULLER, (2008). *Atmospheric mercury accumulation and washoff processes on impervious urban surfaces*. Atmospheric Environment. **42**(32), 7429–7438. ISSN 13522310. Available at: doi:10.1016/j.atmosenv.2008.06.013
23. EDWARDS, Pamela J., Edward A. WATSON and Frederica WOOD, (2019). *Toward a better understanding of recurrence intervals, bankfull, and their importance*. Journal of Contemporary Water Research & Education, **166**(1), 35-45. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2019.03300.x>
24. ENDRENY, Theodore A., (2006). *Land Use and Land Cover Effects on Runoff Processes: Urban and Suburban Development*. In: ANDERSON, Malcolm, G., (2006), *Encyclopedia of Hydrological Sciences* [online]. ISBN 9780470848944. Available at: doi:10.1002/0470848944.hsa122
25. FINKENBINE, J. K., J. W. ATWATER and D. S. MAVINIC, (2000). *Stream health after urbanization*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. **36**(5), 1149–1160. ISSN 1093-474X. Available at: doi:<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb05717.x>
26. FRAINDOVÁ, Kateřina, Milada MATOUŠKOVÁ, Zdeněk KLIMENT, Lukáš VLČEK, Vojtěch VLACH and Pavla ŠPRINGEROVÁ, (2022). *Headwaters biogeochemistry focused on different rainfall-runoff conditions, and the role of waterlogged areas: a comparative study of Czech mountains*. Hydrological Sciences Journal, **67**(4), 588-612. Available at: <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2038792>
27. GORDON, Ryan P., Laura K. LAUTZ and Timothy L. DANILUK, (2013). *Spatial patterns of hyporheic exchange and biogeochemical cycling around cross-vane restoration structures: Implications for stream restoration design*. Water Resources Research. **49**(4), 2040–2055. ISSN 0043-1397. Available at: <https://doi.org/10.1002/wrcr.20185>
28. GROMAIRE, Marie-Christine, Ghassan CHEBBO and A. CONSTANT, (2002). *Impact of zinc roofing on urban runoff pollutant loads: the case of Paris*. Water Sci Technol. **45**(7), 113-122. Available at: <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0123>
29. GUMBEL, E. J., (1941). *The return period of flood flows*. Ann. Math. Statist. 12(2): 163-190 (June, 1941). Available at: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731747>
30. HAMILTON COUNTY GOVERNMENT, (2008). *Chapter 5.2 Channel stabilization with basic flow calculations*. In: *Stormwater BMP manual best management practices*. City of Chattanooga, Town of Signal Mountain and Hamilton County including Collegedale, East Ridge, Lakesite, Lookout Mountain, Red Bank, Ridgeside, Soddy Daisy. January, 2008. Available at: https://www.hamiltontn.gov/WaterQuality_BestManagementPractices.aspx
31. HAMMER, Øyvind, David A. T. HARPER and Paul D. RYAN, (2001). *Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. Palaeontologia Electronica, vol. 4, issue 1, art. 4: 9 pp. Available at: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.

32. HARVEY, Mark C., Danielle K. HARE, Alex HACKMAN, Glorianna DAVENPORT, Adam B. HAYNES, Ashley HELTON, John W. LANE Jr. and Martin A. BRIGGS, (2019). *Evaluation of stream and wetland restoration using UAS-based thermal infrared mapping*. *Water*. **11**, 1568, 13 p. Available at: doi:10.3390/w11081568
33. HENDERSON, F. M., (1966). *Open channel flow*. Macmillan Publishing, New York, 522 s.
34. HESTER, Erich T. and Michael N. GOOSEFF, (2010). *Moving beyond the banks: Hyporheic restoration is fundamental to restoring ecological services and functions of streams*. *Environmental Science & Technology*. **44**(5), 1521–1525. ISSN 0013-936X. Available at: doi:10.1021/es902988n
35. CHAUDHRY, M. Hanif, (2008). *Open-Channel flow. Second edition*. Springer, 523 s. ISBN 978-0-387-30174-7.
36. CHOW, Ven Te, (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, USA, 680 s. ISBN 07-010776-9.
37. JONÁŠ, Miroslav and Milada MATOUŠKOVÁ, (2022). *Revitalizační studie vodního toku Bouřlivec v intravilánu obce Lahošť. Závěrečná výzkumná zpráva smluvního výzkumu pro POH*. Přírodovědecká fakulta UK, 120 s.
38. JONÁŠ, Miroslav, (2020). *Hydromorfologický průzkum jako podklad pro návrh revitalizačních opatření vodních toků v intravilánech*. Přírodovědecká fakulta UK, Katedra fyzické geografie a geoekologie, bakalářská práce, 127 s. Vedoucí práce Milada Matoušková.
39. JUNKOVÁ, Anna, (2021). *Ztráty vody v povodí Loučenského potoka a Bouřlivec a možnosti jejich snížení v období hydrologického sucha*. Přírodovědecká fakulta UK, Katedra fyzické geografie a geoekologie, diplomová práce, 179 s. Vedoucí: Miroslav Šobr.
40. JUST, Tomáš, (2013). *Některé aspekty péče o břehové porosty ve vztahu k morfologickému stavu vodních toků*. In: BAROŠ, Adam (ed.), (2013). *Břehové porosty vodních toků*. Sborník ze semináře, VÚKOZ, Průhonice, p. 11-14. ISBN 978-80-85116-98-4.
41. JUST, Tomáš, Kateřina KUJANOVÁ, Karel ČERNÝ and Miroslav KUBÍN, (2020). *Ochrana a zlepšování morfologického stavu vodních toků: Revitalizace, dílčí vodohospodářská opatření, podpora renaturačních procesů*. Metodika AOPK ČR, Praha 2020, 464 s. ISBN 978-80-7620-069-2.
42. JUST, Tomáš, Václav MATOUŠEK, Martin DUŠEK, David FIŠER and Petr KARLÍK, (2005). *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. AOPK ČR, MŽP ČR, 359 s. ISBN 80-239-6351-1.
43. JŮVA, Karel, Antonín HRABAL and Václav TLAPÁK, (1984). *Malé vodní toky*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 256 s.
44. KATOPODIS, C. and R. GERVAIS, (2016). *Fish swimming performance database and analyses*. Fisheries and Oceans Canada, Canadian Science Advisory Secretariat, ISSN 1919-5044, 550 p. Available at: <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/362248.pdf>.

45. KAUR, Lovepreet, Kumar MANISH, Anvesha ANVESHA, Suman LATA VERMA and Pravendra KUMAR, (2021). *Annual maximum rainfall prediction using frequency analysis for Roorkee, Uttarakhand, India*. MAUSAM, 72, (2), p. 359-372. Available at: <https://doi.org/10.54302/mausam.v72i2.623>.
46. KENDALL, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods, 4th ed.* London, Charles Griffin.
47. KLIMENT Zdeněk and Milada MATOUŠKOVÁ, (2007). *Změny ve vývoji odtoku v pramenných oblastech Otavy v kontextu vlivu člověka a změny klimatu, p. 95-103*. In: LANGHAMMER, Jakub (Ed.), (2007). *Změny v krajině a povodňové riziko*. Sborník příspěvku semináře Povodně a změny v krajině, PřF UK, Praha, ISBN 978-80-86561-87-5, 251 s.
48. KONDOLF, G. Mathias and Elisabeth R. MICHELI, (1995). *Evaluating stream restoration projects*. Environmental Management. 19(1), 1–15. ISSN 1432-1009. Available at: [doi:10.1007/BF02471999](https://doi.org/10.1007/BF02471999)
49. LAKE, P. S., N. BOND and P. REICH, (2007). *Linking ecological theory with stream restoration*. Freshwater Biology. 52(4), 597-615. April 2007. ISSN 00465070. Available at: [doi:10.1111/j.1365-2427.2006.01709.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01709.x)
50. LANGHAMMER, Jakub, (2009). *Kvalita povrchových vod a jejich ochrana*. Přírodovědecká fakulta UK, Katedra fyzické geografie a geoekologie, 225 s.
51. LANGHAMMER, Jakub, (2014). *HEM 2014 Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků*. Státní fond životního prostředí ČR, MŽP ČR, PřF UK, Praha, 2014, 72 s.
52. LANGHAMMER, Jakub, (2019). *UAV monitoring of stream restorations*. Hydrology. 6(2). ISSN 23065338. Available at: [doi:10.3390/hydrology6020029](https://doi.org/10.3390/hydrology6020029)
53. LAWRENCE, Justin E., Magnus E. SKOLD, Fatima A. HUSSAIN, David R. SILVERMAN, Vincent H. RESH, David L. SEDLAK, Richard G. LUTHY and John E. MCCRAY, (2013). *Hyporheic zone in urban streams: A review and opportunities for enhancing water quality and improving aquatic habitat by active management*. Environmental Engineering Science. 30(8), 480–501. Available at: [doi:10.1089/ees.2012.0235](https://doi.org/10.1089/ees.2012.0235)
54. LEE, Kye-Han, (1999). *Effectiveness of multi-species riparian buffer system for sediment and nutrient removal*. Iowa state university, dissertation thesis, 150 p. Retrospective Theses and Dissertations. 12148. Available at: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/12148/>
55. LEHOTSKÝ, Milan and Anna GREŠKOVÁ, 2007. *Fluvial geomorphological approach to river assessment – Methodology and procedure*. Geografický Časopis. 59(2), 107–129.
56. LEWIS, Robert Q., (2018). *A pragmatic approach to stream restoration*. Applied Biodiversity Sciences Perspectives Series. University of Birmingham, 6 p.
57. LI, Hong, Hongkai GAO, Yanlai ZHOU, Chong-Yu XU, Rengifo Z. ORTEGA M. and Nils Roar SÆLTHUN, (2020). *Usage of SIMWE model to model urban overland flood: a case study in Oslo*. Hydrology Research [online]. 51(2). Available at: [doi:10.2166/nh.2020.068](https://doi.org/10.2166/nh.2020.068)

58. LIMERINOS, J. T., (1970), *Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels*. Studies of flow in alluvial channels, Geological Survey Water-Supply Paper 1898-B. United States Government Printing Office, Washington, 1970, 53 p.
59. LOUHI, Pauliina, Heikki MYKRÄ, Riku PAAVOLA, Ari HUUSKO, Teppo VEHANEN, Aki MÄKI-PETÄYS and Timo MUOTKA, (2011). *Twenty years of stream restoration in Finland: little response by benthic macroinvertebrate communities*. Ecological Applications. **21**(6), 1950-1961. ISSN 1051-0761. Available at: <https://doi.org/10.1890/10-0591.1>
60. LOŽEK, Vojen. (1998), *Ekologický význam malých vodních toků*, p. 36-38. In: KENDER, Jan, Karel POŠMOURNÝ and Zdeněk KUKAL (eds.). *Krajina v geologii – Geologie v krajině. Soubor statí jak geologické procesy ovlivňují tvář krajiny*. MŽP ČR, 2004, 578 s.
61. LUYTEN, J., K. SNIEGOWSKI, K. VAN EYCK, D. MAERTENS, S. TIMMERMANS, Sven LIERS and L. BRAEKEN, (2013). *AOX removal from industrial wastewaters using advanced oxidation processes: assessment of a combined chemical-biological oxidation*. Water Science and Technology. **68**(9), 2048–2054. ISSN 02731223. Available at: doi:10.2166/wst.2013.459
62. MAKKONEN, Lasse and Maria TIKANMÄKI, (2019). *An improve method of extreme value analysis*. Journal of Hydrology X, Volume **2**, 100012, January 2019, 7 p. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2018.100012>
63. MANN, Henry B., 1945. *Nonparametric Tests Against Trend*. Econometrica [online]. **13**(3), 245–259. ISSN 00129682, 14680262. Available at: doi:10.2307/1907187.
64. MAREŠ, Karel, (1997). *Úpravy toků, Navrhování koryt*. Vydavatelství ČVUT, Fakulta stavební, 210 s. ISBN 80-01-00903-3.
65. MATOUŠKOVÁ, Milada (ed.), (2008). *Ekohydrologický monitoring vodních toků: v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/ES*. Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 209 s. ISBN 978-80-86561-54-7.
66. MATOUŠKOVÁ, Milada, (2003). *Ekohydrologický monitoring jako podklad pro revitalizaci vodních toků: Modelová studie povodí Rakovnického potoka*. Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, disertační práce, 219 s.
67. MATOUŠKOVÁ, Milada, (2004). *Ecohydrological monitoring of the river habitat quality*. Geografie Sborník České Geografické Společnosti, **109**(2), p. 105-116. Available at: https://geografie.cz/media/pdf/geo_2004109020105.pdf
68. MATTAS, Daniel, (1998). *Měření průtoků nestandardními metodami a v nestandardních podmínkách*. VÚV, Praha 1998, Výzkum pro praxi, sešit 37, 46 s. ISBN 80-85900-20-3.
69. MATTAS, Daniel, (2014). *Výpočet průtoků v otevřených korytech*. VÚV, Praha 2014, Práce a studie sešit 205, 110 s. ISBN 978-80-87402-27-6.
70. MAY, Christopher W., Richard R. HORNER, James R. KARR, Brian W. MAR and Eugene B. WELCH, (1997). *Effects of urbanization on small streams in the Puget Sound Lowland Ecoregion*. Watershed Protection Techniques. **2**(4), 483-494.

71. MAY, Rachel, (2006). “Connectivity” in urban rivers: Conflict and convergence between ecology and design. *Technology in Society*. **28**(4), 477–488. ISSN 0160791X. Available at: doi:10.1016/j.techsoc.2006.09.004
72. MILH, Hannah, Kwinten VAN EYCK, Bert BASTIAENS, Steven DE LAET, Dirk LEYSEN, Deirdre CABOOTER and Raf DEWIL, (2020). *Predicting residual adsorbable organic halides concentrations in industrial wastewater using typical wastewater parameters*. *Water*. **12**(6), 1653. Available at: doi:10.3390/w12061653
73. MLČOCHOVÁ, Zuzana, (2014). *Posouzení zanášení koryta toku Blata v intravilánu obce Senice na Hané*. VUT Brno, Fakulta Stavební, Ústav vodních staveb, bakalářská práce, 72 s. Vedoucí práce Hana Uhmánová.
74. MYERS, G. J., P. W. DAVIDSON, C. COX, C. SHAMLAYE, E. CERNICHIARI and T. W. CLARKSON, (2000). *Twenty-seven years studying the human neurotoxicity of Methylmercury exposure*. *Environmental Research*. **83**(3), 275–285. ISSN 0013-9351. Available at: <https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4065>
75. NAKAMURA, Keigo, Klement TOCKNER and Kunihiko AMANO, (2006). *River and wetland restoration: Lessons from Japan*. *BioScience*. **56**(5), 419–429. Available at: doi:10.1641/0006-3568(2006)056[0419:RAWRLF]2.0.CO;2
76. OSBORNE, Lewis L. and David A. KOVACIC, (1993). *Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management*. *Freshwater Biology*. **29**(2), 243–258. ISSN 0046-5070. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1993.tb00761.x>
77. PANDER, Joachim and Juergen GEIST, (2013). *Ecological indicators for stream restoration success*. *Ecological Indicators*. **30**, 106–118. ISSN 1470-160X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.039>
78. PECH, Pavel and Radek ROUB, (2014). *Hydraulika – Příklady*. Skripta ČZU, Fakulta životního prostředí, 136 s. Available at: https://home.czu.cz/storage/583/55592_skripta.pdf
79. PITTER, Pavel, (1990). *Hydrochemie*. Praha, SNTL, 565 s. ISBN 80-03-00525-6.
80. POLEDNIKOVÁ, Zuzana and Tomáš GALIA, (2021). *Photo simulation of a river restoration: Relationships between public perception and ecosystem services*. *River Research and Applications*. **37**(1), 44–53. ISSN 1535-1459. Available at: <https://doi.org/10.1002/rra.3738>
81. PONCE, Victor M., (2014). *Engineering hydrology: principles and practices. Second edition, 2014 [on-line, cit. 10.04.2022]*. Available at: <http://ponce.sdsu.edu/enghydro/>
82. POVODÍ LABE, státní podnik, redakce: JIRÁSEK, Václav, Ladislav MERTA and Zlata ŠÁMALOVÁ, (2008). *Katastrofální povodeň v podhůří Orlických hor v roce 1998, 10 let po povodni*. POVODÍ LABE, GARAMON s.r.o. Hradec Králové, 16 s.
83. QIN, Chengrong, Baojie LIU, Lingzhi HUANG, Chen LIANG, Cong GAO and Shuangquan YAO, (2018). *Adsorptive removal of adsorbable organic halogens by activated carbon*. *Royal Society Open Science*. **5**(12). ISSN 20545703. Available at: doi:10.1098/rsos.181507

84. RANTA, Elina, Maria Rosario VIDAL-ABARCA, Ana Raquel CALAPEZ and Maria João FEIO, (2021). *Urban stream assessment system (UsAs): An integrative tool to assess biodiversity, ecosystem functions and services*. Ecological Indicators. **121**, 106980. ISSN 1470-160X. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106980>
85. RIBEIRO, J. P., C. C. MARQUES, I. PORTUGAL and M. I. NUNES, (2020). *AOX removal from pulp and paper wastewater by Fenton and photo-Fenton processes: A real case-study*. In: Energy Reports. **6** (2020) B.m.: Elsevier Ltd, p. 770–775. ISSN 23524847. Available at: [doi:10.1016/j.egy.2019.09.068](https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.068)
86. RILEY, Ann Lawrence, (1998). *Restoring streams in cities: a guide for planners, policy makers, and citizens*. Island Press Washington DC, Covelo California, 423 s. ISBN 1-55963-042-6.
87. ROSGEN, David L., (1994). *A classification of natural rivers*. Catena **22** (1994), 169-199.
88. SELAMAN, Onni S., Salim SAID and Frederik JOSEP PUTUHENA, (2007). *Flood frequency analysis for Sarawak using Weibull, Gringorten and L-moments formula*. J. Inst. Eng. Malaysia. **68**(1).
89. SENZE, Magdalena, Monika KOWALSKA – GÓRALSKA and Katarzyna CZYZ, (2021). *Availability of aluminum in river water supplying dam reservoirs in Lower Silesia considering the hydrochemical conditions*. Environmental nanotechnology, monitoring & management, **16**, 11 p. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100535>
90. SHARMA, Yaggesh, Ashish AGGARWAL and Jaspal SINGH, (2019). *Development of flow duration curves and eco-flow metrics for the Tawi river basin – (Jammu, India)*. International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS. **8**(1). 3114-3125. Available at: [doi:10.23953/cloud.ijarsg.432](https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.432).
91. SHIELDS Jr., F. D., S. S. KNIGHT and C. M. COOPER, (1994). *Effects of channel incision on base flow stream habitats and fishes*. Environmental Management. **18**(1), 43–57. ISSN 0364152X. Available at: [doi:10.1007/BF02393749](https://doi.org/10.1007/BF02393749)
92. SICKMAN, J. O., M. J. ZANOLI and H. L. MANN, (2007). *Effects of urbanization on organic carbon loads in the Sacramento River, California*. Water Resources Research. **43**(11). ISSN 00431397. Available at: [doi:10.1029/2007WR005954](https://doi.org/10.1029/2007WR005954)
93. SKÁCEL, A., (2000). *Potřeba komplexního hodnocení akcí revitalizace říčních systémů*. Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, 30. dubna 22, 70103 Ostrava. IUAPPA Praha 2000, Section: B, p. 274-278. Available at: https://www.umad.de/infos/iuappa/pdf/b_42.pdf
94. SMELÍK, Lukáš, (2015). *Návrh metodiky stanovení součinitele drsnosti otevřených koryt*. VUT Brno, Fakulta stavební, Disertační práce, 131 s. Vedoucí práce: Hana Uhmánová.
95. STURM, Terry W., (2001). *Open channel hydraulics*. McGraw Hill Book Company, Singapore, 493 s. ISBN 0-07-120180-7.
96. SYNKOVÁ, Jana, (2008). *Revitalizace ve vodním prostředí krajiny*. LDF MZLU Brno, disertační práce, 108 s.

97. SYNKOVÁ, Jana, (2009). *Posouzení stability revitalizovaného koryta toku*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., **57**(1), 105-114. Available at: doi: 10.11118/actaun200957010105
98. ŠIMÍČEK, Václav, (1999). *Břehové a doprovodné porosty vodních toků – součást lužních ekosystémů*. Praha, Agrospoj, 102 s.
99. ŠIMKOVÁ, Petra, (2012). *Formy hliníku v acidifikovaných povrchových vodách – toxicita a trendy*. Přírodovědecká fakulta UK, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, diplomová práce, 83 s. Vedoucí práce Jakub Hruška.
100. ŠOBR, Miroslav, (2021). *VD Všechny – management hospodaření na vodních tocích Loučenský potok a Bouřlivec*. Přírodovědecká fakulta UK, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Závěrečná zpráva, 256 s.
101. ŠOLC, Jakub, (2018). *Hodnocení revitalizačních efektů na vodních tocích se zaměřením na hydromorfologii*. Přírodovědecká fakulta UK, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Bakalářská práce, 78 s. Vedoucí práce Milada Matoušková.
102. TNV 75 2321, (2011). *Zprůchodňování migračních bariér rybími přechody*. Available at: http://eagri.cz/public/web/file/104412/TNV_75_2321.pdf.
103. US ARMY CORPS OF ENGINEERS, (1994). *Chapter 5, Methods for predicting n values for the Manning equation*. In: US ARMY CORPS OF ENGINEERS, (1991). *Hydraulic design of flood control channels*. EM 1110-2-1601, 1 July 1991, 183 s.
104. VERÓL, Aline Pires, Bruna Peres BATTEMARCO, Mylelma Linares MERLO, Ana Costa Marques MACHADO, Assed Naked HADDAD and Marcelo Gomes MIGUEZ, (2019). *The urban river restoration index (URRIX) - A supportive tool to assess fluvial environment improvement in urban flood control projects*. Journal of Cleaner Production. **239**. ISSN 09596526. Available at: doi:10.1016/j.jclepro.2019.118058
105. VÍTKOVÁ, Petra, (2021). *Analýza hydrologického sucha a trendy srážkoodtokových dat v povodí Bouřlivece a Loučenského potoka*. Přírodovědecká fakulta UK, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, diplomová práce, 149 s. Vedoucí práce Miroslav Šobr.
106. VLACH, Vojtěch, Milada MATOUŠKOVÁ and Ondřej LEDVINKA, (2021). *Impacts of regional climate change on hydrological drought characteristics in headwater areas of the Ore mountains*. River research and applications, **37**(7), 919-930. Available at: <https://doi.org/10.1002/rra.3818>
107. VÝBORA, Pavel, (1989). *Základní teoretické podklady úprav toků*. In: RAPLÍK, Milan, Pavel VÝBORA and Karel MAREŠ, (1989). *Úprava tokov*. Bratislava, Alfa, 03.08.1989, 640 s. ISBN 80-05-00128-2.
108. WÄLLSTEDT, Teresia, Louise BJÖRKVALD and Jon Petter GUSTAFSSON, (2010). *Increasing concentrations of arsenic and vanadium in (southern) Swedish streams*. Applied Geochemistry. **25**(8), 1162–1175. ISSN 08832927.

109. WALSH, Christopher J., Allison H. ROY, Jack W. FEMINELLA, Peter D. COTTINGHAM, Peter M. GROFFMAN and Raymond P. MORGAN II, (2005). *The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure*. Journal of the North American Benthological Society. **24** (3), 706-723. Available at: <https://doi.org/10.1899/04-028.1>.
110. WEIGLOVÁ, Kamila, (2007). *Mechanika zemin*. VUT Brno, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, 186 s. ISBN 978-80-7204-507-5.
111. WILSON, Kristen N., Suzanne L. BAKER and G. Mathias KONDOLF, (2020). *The ideal meander: Exploring freshwater scientist drawings of river restoration*. Freshwater Science. **39**(2), 349–355. ISSN 21619565. Available at: doi:10.1086/709012
112. WOLMAN, M. Gordon, (1954). *A method of sampling coarse river-bed material*. Eos, Transactions, American Geophysical Union. **35**(6), 951–956. ISSN 0002-8606. Available at: <https://doi.org/10.1029/TR035i006p00951>
113. WRIGGERS, P., and S. O. MOFTAH, (2006). *Mesoscale models for concrete: Homogenisation and damage behaviour*. Finite Elements in Analysis and Design. **42**(7), 623-636. Available at: doi:10.1016/j.finel.2005.11.008.
114. XIA, Junqiang, Roger A. FALCONER, Binliang LIN and Guangming TAN, (2011). *Modelling of flash flood risk in urban areas*. Water Management. **164**(6), 267–282. Available at: doi:10.1680/wama.2011.164.6.267
115. ZELÍKOVÁ, Gabriela, (2012). *Posouzení stavu vodního toku v povodí řeky Moravy*. VUT Brno, Fakulta stavební. Bakalářská práce, 75 s. Vedoucí práce Hana Uhmánová.
116. ZUNA, Jaroslav, (2008). *Hrazení bystrin*. ČVUT Praha, Fakulta stavební, 180 s. ISBN 978-80-01-04010-2.

11.1 Internetové zdroje

1. Archiválie ČÚZK – Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního, Dostupné na: <https://ags.cuzk.cz/archiv/> [online, cit: 14.04.2022]
2. ČGS – Česká geologická služba, Geologická mapa 1: 50 000. Dostupné na: https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geologicka_mapa50/MapServer/WMSSEServer, [on-line, cit. 26.04.2022]
3. ČGS – Česká geologická služba, Hydrogeologické rajony. Dostupné na: https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Inspire/HG_rajony/MapServer/WMSSEServer, [on-line, cit. 26.04.2022]
4. ČGS – Česká geologická služba, Půdní mapa 1: 50 000. Dostupné na: https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni_typy50/MapServer/WmsServer, [on-line, cit. 26.04.2022]

5. ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální, Ústřední archiv zeměměřictví a katastru (UAZK), on-line prohlížení Archivu. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/Urady/Zememericky-urad/Dalsi-informace/UAZK/Prohlizeni-archivalii,-archivni-mapy.aspx>. [Cit. 27.02.2021, 23:43].
6. ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální – RÚIAN – Registr územní identifikace, adres a nemovitostí, katastrální mapa ČR. Dostupné na: <https://services.cuzk.cz/shp/ku/epsg-5514/>, [on-line, cit. říjen 2021]
7. ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální – ZABAGED® – Základní báze geografických dat, vrstva vrstevnic.
8. ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální, Katastrální mapa ČR ve formátu SHP. Dostupné na: <https://services.cuzk.cz/shp/ku/epsg-5514/> [on-line, cit. říjen 2021]
9. ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální, WMS prohlížeč vrstva Ortofota. Dostupné na: https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx [on-line, cit. 18.04.2022]
10. DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat – vrstva hydrologické členění – povodí IV. řádu. Dostupné na: <https://www.dibavod.cz/index.php?id=27>, [on-line, cit. říjen 2022]
11. JUST, Tomáš, AOPK ČR – *Příklady dobré praxe revitalizace řek ve městech*. Dostupné na: http://www.uprm.cz/data/docs/becva/revitalizace_intravilany.pdf [on-line, cit. 12.05.2022].
12. KARNECKI, Jiří – *Revitalizace vodních toků ve městě*. Dostupné na: <https://www.prostranstvi.cz/Priklady-dobre-praxe/Databaze/Revitalizace-vodnich-toku-ve-meste.aspx> [on-line, cit. 28.03.2022].
13. Mapy.cz – on-line prohlížení historických mapových podkladů z 19. st. Dostupné z: <https://mapy.cz/19stoleti?x=16.2166607&y=50.3223287&z=15> . [Cit. 27.02.2021, 23:44].
14. Mapy.cz – *Základní mapa*.
Dostupné z <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>
15. PRAŽSKÁ PŘÍRODA – Revitalizace a opravy na Litovicko-Šáreckém potoce => Revitalizace v lokalitě Zlatnice. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/litovicko-sarecky-potok/revitalizace-a-opravy-na-litovicko-sareckem-potoce/revitalizace-v-lokalite-zlatnice/> [Cit. 22.03.2021, 18:23].
16. PRAŽSKÁ PŘÍRODA – Revitalizace a opravy na Litovicko-Šáreckém potoce => „otevření u Hvězdy“. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/litovicko-sarecky-potok/> [Cit. 22.03.2022].
17. River Restoration Centre (RRC), Case study 3.10 *Sinuuous low-flow course in an over-wide urban channel*. (2011). Dostupné z: <https://www.therrc.co.uk/projects/river-somer-channel-enhancement-midsomer-norton>. [Cit. 18.02.2021, 23:10].

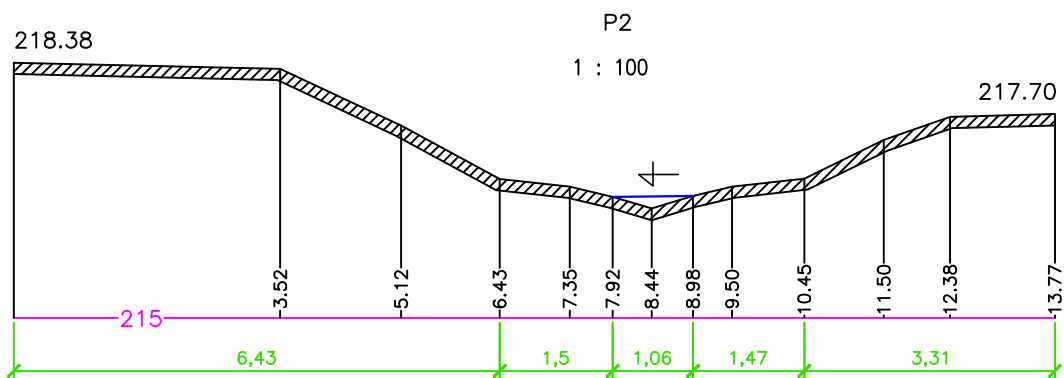
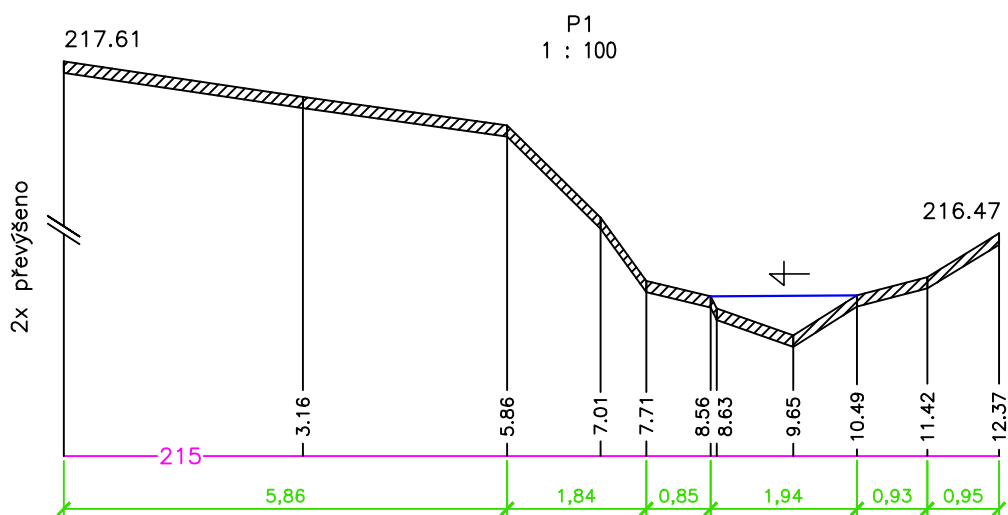
12. Přílohy

Příloha 1 - Geodeticky zaměřené příčné profily P1 a P2

REVITALIZAČNÍ STUDIE "BOUŘLIVEC - LAHOŠŤ"

ZAMĚŘENÉ PŘÍČNÉ PROFILY

Označení profilů:	P1	P2
Zaměřeno dne:	24.06.2021	24.06.2021
Zaměřili:	M. Šobr, M. Jonáš	M. Šobr, M. Jonáš
Kreslil:	M. Jonáš	M. Jonáš
Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.	Povodí Ohře, s.p.
Měřítko:	1:100	1:100
Srovnávací rovina:	215 m n.m.	215 m n.m.



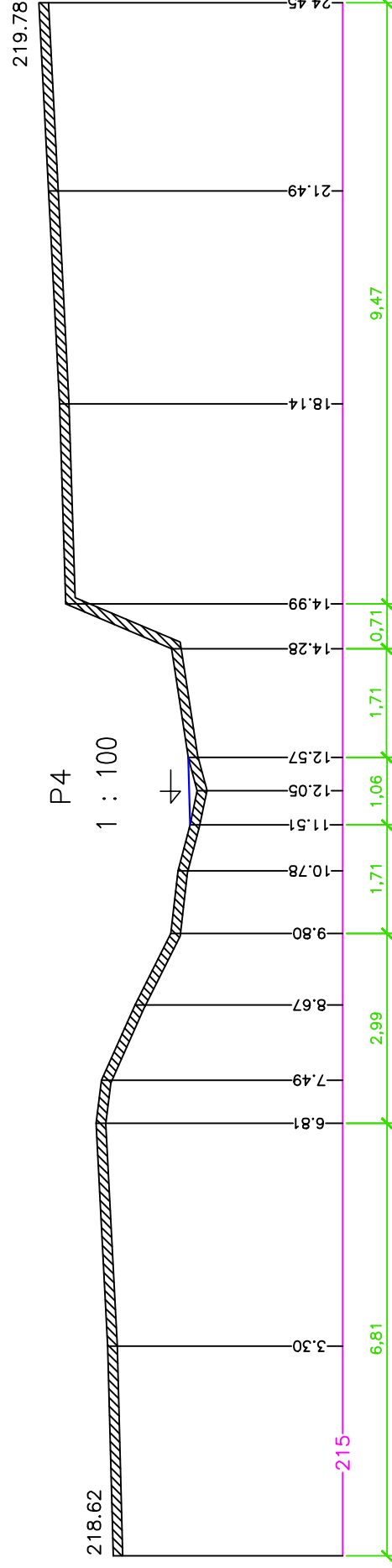
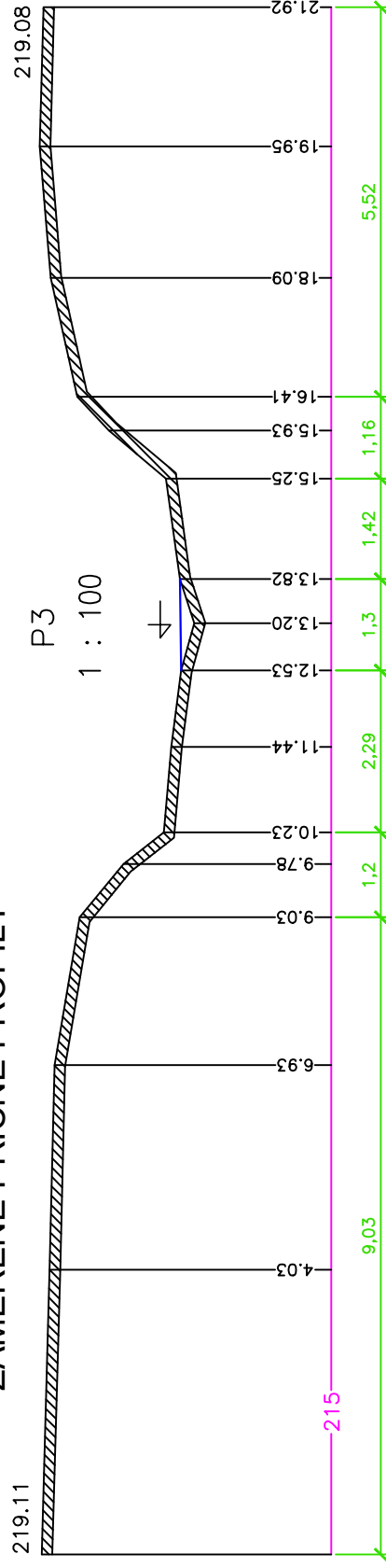
Kótováno v m

Příloha 2 - Geodeticky zaměřené příčné profily P3 a P4

REVITALIZAČNÍ STUDIE "BOUŘLIVEC - LAHOŠŤ"

ZAMĚŘENÉ PŘÍČNÉ PROFILY

Označení profilů:	P3	P4
Zaměřeno dne:	24.06.2021	24.06.2021
Zaměřili:	M. Šobr, M. Jonáš	M. Šobr, M. Jonáš
Kreslil:	M. Jonáš	M. Jonáš
Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.	Povodí Ohře, s.p.
Měřítko:	1:100	1:100
Srovnávací rovina:	215 m n.m.	215 m n.m.



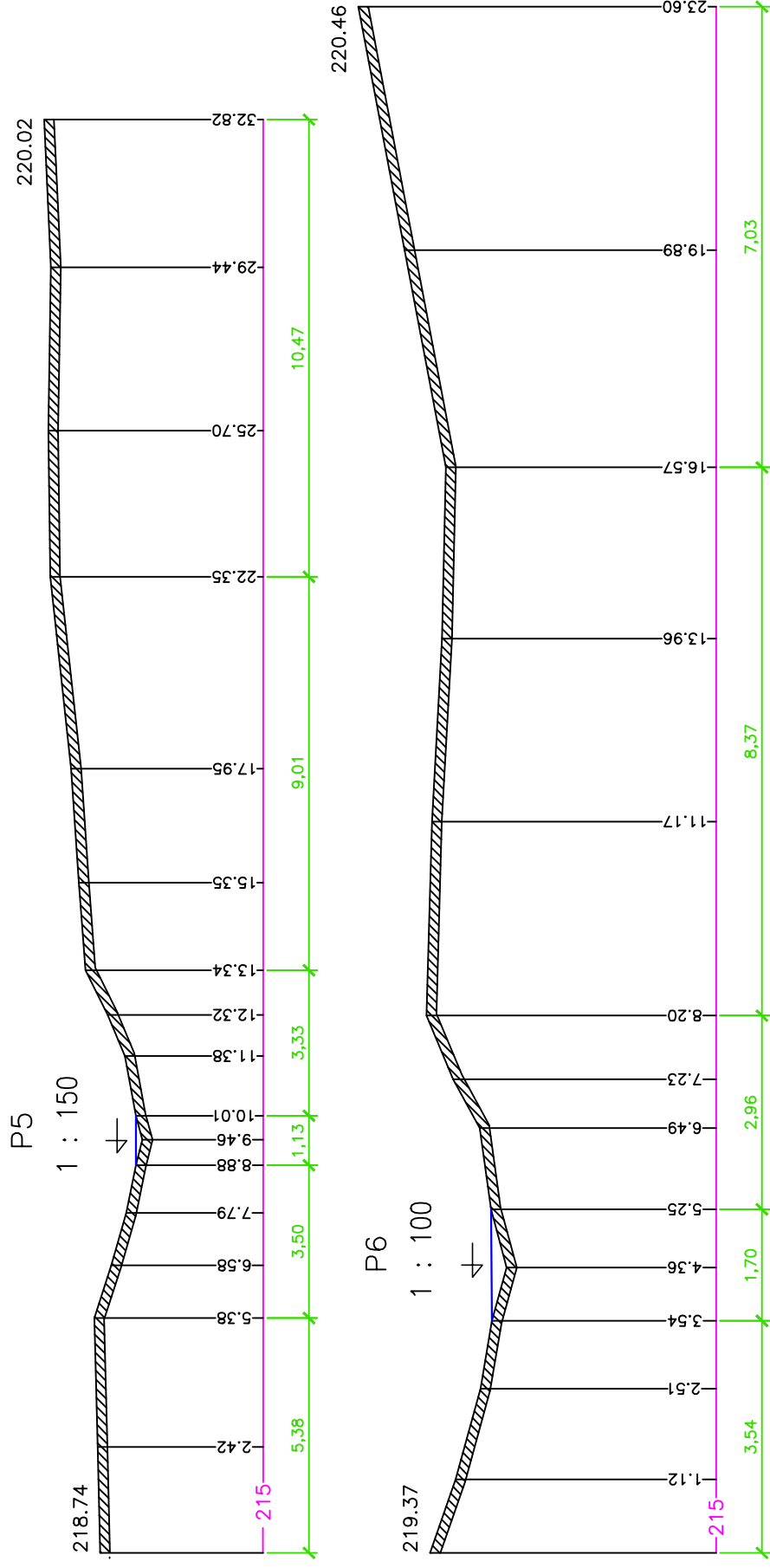
Kótováno v m

Příloha 3 - Geodeticky zaměřené příčné profily P5 a P6

REVITALIZAČNÍ STUDIE "BOUŘLIVEC - LAHOŠŤ"

ZAMĚŘENÉ PŘÍČNÉ PROFILY

Označení profilů:	P5	P6
Zaměřeno dne:	24.06.2021	24.06.2021
Zaměřili:	M. Šobr, M. Jonáš	M. Šobr, M. Jonáš
Kreslí:	M. Jonáš	M. Jonáš
Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.	Povodí Ohře, s.p.
Měřítko:	1:150	1:100
Srovnávací rovina:	215 m n.m.	215 m n.m.

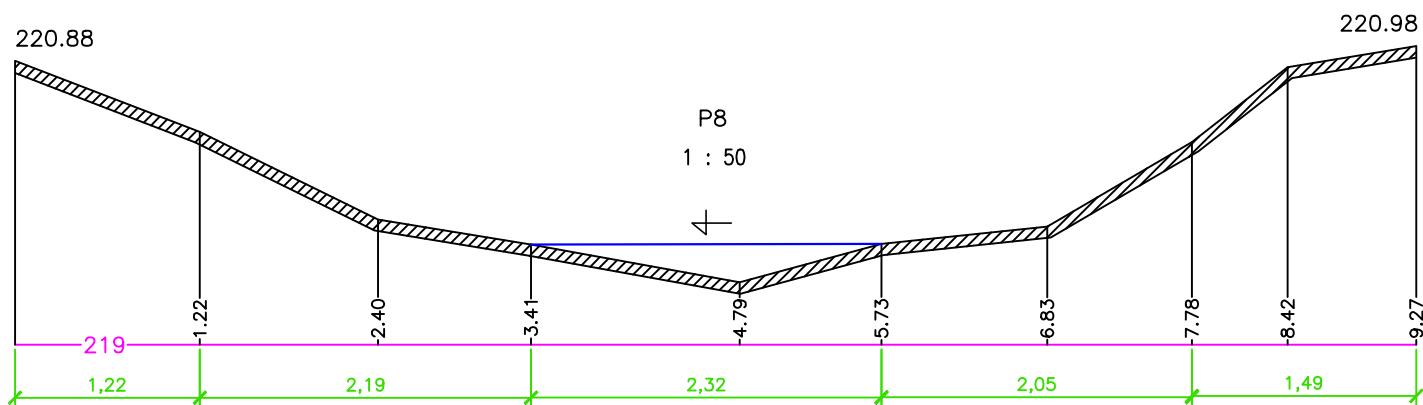
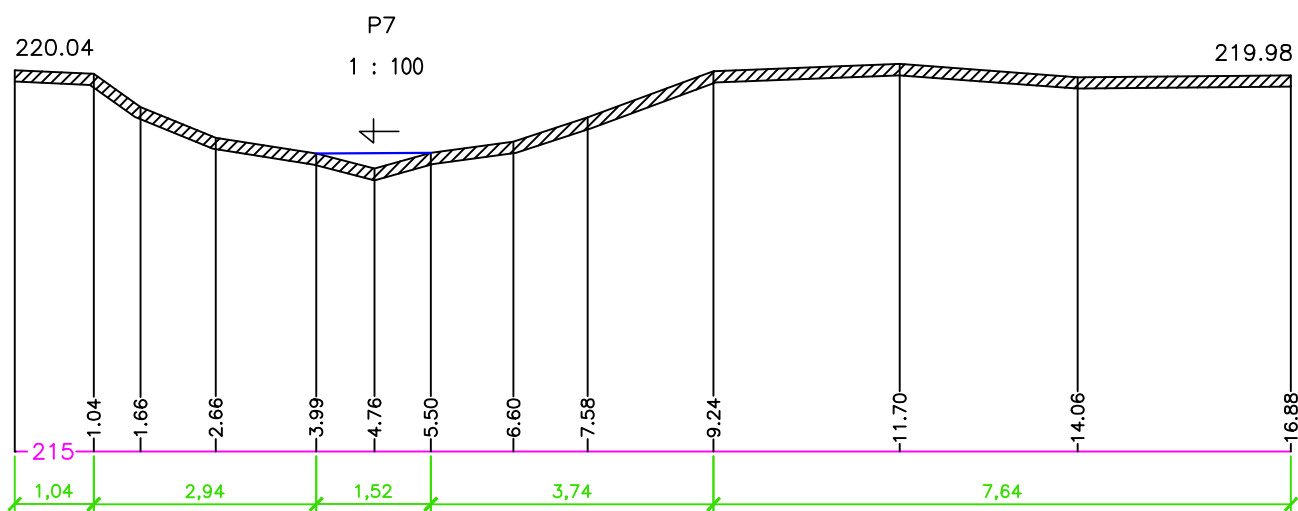


Příloha 4 - Geodeticky zaměřené příčné profily P7 a P8

REVITALIZAČNÍ STUDIE "BOUŘLIVEC - LAHOŠŤ"

ZAMĚŘENÉ PŘÍČNÉ PROFILY

Označení profilů:	P7	P8
Zaměřeno dne:	24.06.2021	24.06.2021
Zaměřili:	M. Šobr, M. Jonáš	M. Šobr, M. Jonáš
Kreslil:	M. Jonáš	M. Jonáš
Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.	Povodí Ohře, s.p.
Měřítko:	1:100	1:50
Srovnávací rovina:	215 m n.m.	219 m n.m.



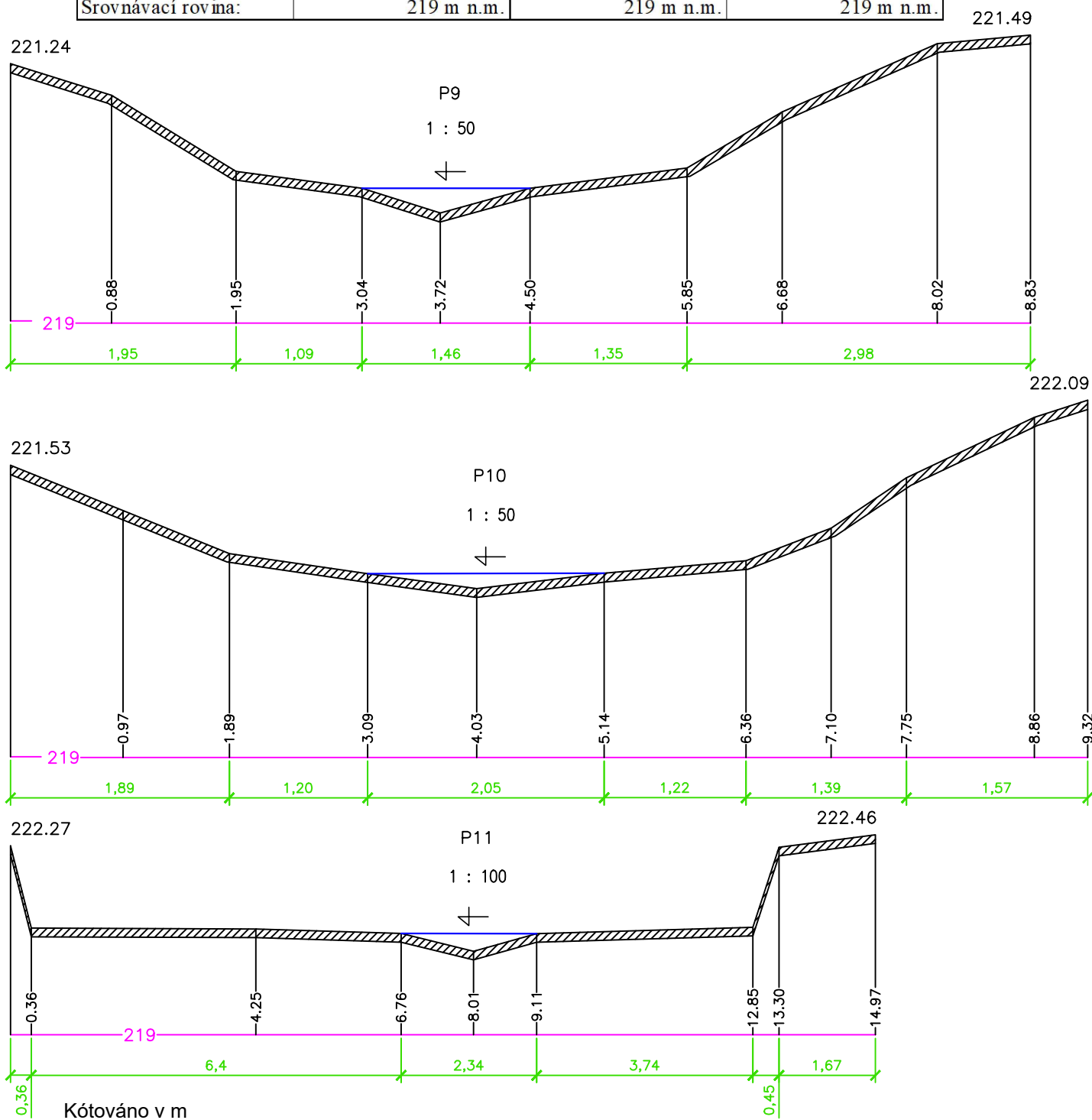
Kótováno v m

Příloha 5 - Geodeticky zaměřené příčné profily P9, P10 a P11

REVITALIZAČNÍ STUDIE "BOUŘLIVEC - LAHOŠŤ"

ZAMĚŘENÉ PŘÍČNÉ PROFILY

Označení profilů:	P9	P10	P11
Zaměřeno dne:	24.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
Zaměřili:	M. Šobr, M. Jonáš	M. Šobr, M. Jonáš	M. Šobr, M. Jonáš
Kreslil:	M. Jonáš	M. Jonáš	M. Jonáš
Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.	Povodí Ohře, s.p.	Povodí Ohře, s.p.
Měřítko:	1:50	1:50	1:100
Srovnávací rovina:	219 m n.m.	219 m n.m.	219 m n.m.



Příloha 7 – Přehledová tabulka dotčených parcel při zátopě Q₂₀. Zdroj: (ČÚZK – Katastrální mapa). Pozn.: * jen část parcely je dotčeno rozlivem Q₂₀

Označení parcely	Výměra (m ²)	Vlastník	Jméno vlastníka/ů	Typ pozemku	Druh parcely
137/3	132	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	ostatní plocha	Pozemková
137/4	600	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	zahrada	Pozemková
137/6	231	obec Lahošť	/	ostatní plocha	Pozemková
143	1107	Fyzická osoba	Pavel Janoušek	zahrada	Pozemková
144/3	183	Fyzická osoba	Sergej Grinin, Ludmila Grinina	zahrada	Pozemková
144/4	351	Fyzická osoba	Karel Kropáček, Anna Kropáčková	zahrada	Pozemková
447/1	8510	Povodí Ohře, s.p.	/	vodní plocha (koryto)	Pozemková
st. 134	235	Fyzická osoba	Oldřich Homola	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
132	589	obec Lahošť	/	ostatní plocha (neplodná půda)	Pozemková
137/2	268	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	trvalý travní porost	Pozemková
137/5	126	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	ostatní plocha	Pozemková
144/1	359	Fyzická osoba	Oldřich Homola	zahrada	Pozemková
145/4	537	Fyzická osoba	Ing. Karol Holub	zahrada	Pozemková
st. 346	28	Fyzická osoba	Oldřich Homola	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 335	23	Právnícká osoba	ČEZ Distribuce, a.s.	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
46/1	*	Fyzická osoba	Josef Goth, Ivana Gothová	zahrada	Pozemková
46/5	*	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	zahrada	Pozemková
46/6	*	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	zahrada	Pozemková
451/5	*	Fyzická osoba	Eva Foldová	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
134/32	*	Fyzická osoba	Eva Foldová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
419	*	obec Lahošť	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
137/1	*	Fyzická osoba	Jana Hořejší	zahrada	Pozemková
st. 381	*	Fyzická osoba	Jana Hořejší	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
129	*	obec Lahošť	/	trvalý travní porost	Pozemková
137/7	*	Fyzická osoba	Karel Sadílek	zahrada	Pozemková
128/3	*	obec Lahošť	/	ostatní plocha	Pozemková
128/1	*	Fyzická osoba	Jiří Mudra, Jana Mudrová, DiS.	zahrada	Pozemková
145/3	*	Fyzická osoba	Oleg Uslontsev	zahrada	Pozemková
437/2	*	Ústecký kraj, SÚSÚK	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
149/9	*	Fyzická osoba	Jiří Zatloukal, Helena Zatloukalová	zahrada	Pozemková
460/3	*	Fyzická osoba	Pavel Novakovský, Mgr. Mirka Novakovská	orná půda	Pozemková
460/6	*	Fyzická osoba	Filip Knorr	orná půda	Pozemková

Príloha 8 – Přehledová tabulka dotčených parcel při zátopě Q₁₀₀. Zdroj: (ČÚZK – Katastrální mapa). Pozn.: * jen část parcely je dotčeno rozlivem Q₁₀₀

Označení parcely	Výměra (m ²)	Vlastník	Jméno vlastníka/ů	Typ pozemku	Druh parcely
451/1	113	Fyzická osoba	Rostislav Vladař	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
451/2	337	obec Lahošť	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
46/1	1660	Fyzická osoba	Josef Goth, Ivana Gothová	zahrada	Pozemková
46/5	2364	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	zahrada	Pozemková
st. 372	165	Fyzická osoba	Nikola Sovová	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 373	35	Fyzická osoba	Ing. Karol Holub	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
137/7	1032	Fyzická osoba	Karel Sadílek	zahrada	Pozemková
st. 381	402	Fyzická osoba	Jana Hořejší	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
134/24	864	Fyzická osoba	Martin Minařík, Magdalena Minaříková	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/25	1034	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/27	720	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/29	689	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/31	562	Fyzická osoba	Mgr. Zbyněk Ulrich	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/32	610	Fyzická osoba	Eva Foldová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
128/7	242	Fyzická osoba	Jana Mudrová, DiS.	ostatní plocha	Pozemková
st. 92/2	76	Fyzická osoba	Jiří Jindra	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 163	185	Fyzická osoba	Josef Drvota, Jana Drvotová	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 214	16	Fyzická osoba	Jiří Očko	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 164	375	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 135	468	Fyzická osoba	Jiří Zatloukal	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 136/2	289	Fyzická osoba	Ing. Ondřej Dvořák, Ing. Eva Dvořáková	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 107/2	78	Fyzická osoba	Růžena Černá	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
137/3	132	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	ostatní plocha	Pozemková
137/4	600	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	zahrada	Pozemková
137/6	231	obec Lahošť	/	ostatní plocha	Pozemková
143	1107	Fyzická osoba	Pavel Janoušek	zahrada	Pozemková
144/3	183	Fyzická osoba	Sergej Grinin, Ludmila Grinina	zahrada	Pozemková
144/4	351	Fyzická osoba	Karel Kropáček, Anna Kropáčková	zahrada	Pozemková

Příloha 8 - pokračování

128/1	3468	Fyzická osoba	Jiří Mudra, Jana Mudrová, DiS.	zahrada	Pozemková
447/1	8510	Povodí Ohře, s.p.	/	vodní plocha (koryto)	Pozemková
419	210	obec Lahošť	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
st. 14	954	Fyzická osoba	Josef Goth, Ivana Gothová	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 130	207	Fyzická osoba	Oleg Uslontsev	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 131	295	Fyzická osoba	Ing. Karol Holub	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 132	246	Fyzická osoba	Sergej Grinin, Ludmila Grinina	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 133	289	Fyzická osoba	Karel Kropáček, Anna Kropáčková	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 134	235	Fyzická osoba	Oldřich Homola	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
46/6	133	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	zahrada	Pozemková
127/2	1505	Fyzická osoba	Ivan Rath, Helena Rathová	zahrada	Pozemková
127/3	248	Fyzická osoba	Michal Koritko	zahrada	Pozemková
127/4	470	Fyzická osoba	František Jakubec, Lenka Jakubcová	zahrada	Pozemková
132	589	obec Lahošť	/	ostatní plocha (neplodná půda)	Pozemková
140/20	402	Fyzická osoba	Nikola Sovová	orná půda	Pozemková
140/21	94	Fyzická osoba	8 vlastníků (viz náhled katastru nemovitostí)	orná půda	Pozemková
137/1	3377	Fyzická osoba	Jana Hořejší	zahrada	Pozemková
137/2	268	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	trvalý travní porost	Pozemková
137/5	126	Fyzická osoba	Karel Sadílek, Jana Sadílková	ostatní plocha	Pozemková
140/1	981	Fyzická osoba	Pavel Šmidrkal, Ing. Zuzana Šmidrkalová	zahrada	Pozemková
st. 318	56	Fyzická osoba	Ivan Rath, Helena Rathová	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
144/1	359	Fyzická osoba	Oldřich Homola	zahrada	Pozemková
145/3	623	Fyzická osoba	Oleg Uslontsev	zahrada	Pozemková
145/4	537	Fyzická osoba	Ing. Karol Holub	zahrada	Pozemková
140/4	2280	Fyzická osoba	Pavel Janoušek	orná půda	Pozemková
st. 346	28	Fyzická osoba	Oldřich Homola	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 348	51	Fyzická osoba	Jiří Očko	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
149/15	202	Fyzická osoba	Stanislav Tauš, Iveta Taušová	zahrada	Pozemková
st. 335	23	Právnícká osoba	ČEZ Distribuce, a.s.	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 337	1359	Fyzická osoba	Bc. Jana Kožíšková	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
st. 360	544	Fyzická osoba	Daniel Matějček, Michaela Uriová	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
451/5	35	Fyzická osoba	Eva Foldová	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková

Příloha 8 - pokračování

451/3	115	Fyzická osoba	Rostislav Vladař	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
451/4	179	Fyzická osoba	Rostislav Vladař	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
437/2	*	Ústecký kraj, SÚSÚK	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
420	*	Ústecký kraj, SÚSÚK	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
665	*	Povodí Ohře, s.p.	/	vodní plocha (koryto)	Pozemková
460/3	*	Fyzická osoba	Pavel Novakovský, Mgr. Mirka Novakovská	orná půda	Pozemková
460/7	*	Fyzická osoba	Mgr. Jaroslav Novák	orná půda	Pozemková
460/2	*	Fyzická osoba	Pavel Novakovský, Mgr. Mirka Novakovská	orná půda	Pozemková
489/1	*	obec Lahošť	/	ostatní plocha	Pozemková
128/3	*	obec Lahošť	/	ostatní plocha	Pozemková
129	*	obec Lahošť	/	trvalý travní porost	Pozemková
448/1	*	obec Lahošť	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
st. 107/1	*	Fyzická osoba	Růžena Černá	zastavěná plocha a nádvoří	Stavební
46/4	*	Fyzická osoba	Růžena Černá	zahrada	Pozemková
134/8	*	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/28	*	Fyzická osoba	Rostislav Vladař, Pavlína Vladařová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/26	*	Fyzická osoba	Bc. Ondřej Novák, Ing. Pavla Melicharová	ostatní plocha (manipulační)	Pozemková
134/1	*	Právnícká osoba	FVE Lahošť, s.r.o.	ostatní plocha (fotov. elektr.)	Pozemková
418	*	obec Lahošť	/	ostatní plocha (komunikace)	Pozemková
140/5	*	Fyzická osoba	16 vlastníků (viz náhled katastru nemovitostí)	orná půda	Pozemková
140/6	*	Fyzická osoba	Jakub Vlk, Lucie Vlková	orná půda	Pozemková
140/8	*	Fyzická osoba	Jan Janoušek	orná půda	Pozemková
144/7	*	Fyzická osoba	Jiří Očko	ovocný sad	Pozemková
144/5	*	Fyzická osoba	Milan Horváth, Jitka Horváthová	zahrada	Pozemková
144/6	*	Fyzická osoba	Pavel Soukup, Miluše Soukupová	zahrada	Pozemková
145/1	*	Fyzická osoba	Pavel Soukup, Miluše Soukupová	zahrada	Pozemková
149/6	*	obec Lahošť	/	trvalý travní porost	Pozemková
455/5	*	Fyzická osoba	Lucie Navrátilová	trvalý travní porost	Pozemková
460/6	*	Fyzická osoba	Filip Knorr	orná půda	Pozemková

Příloha 9 – Tabulkové hodnoty korekčního faktoru omočeného obvodu břehu („ nCf “)

Materiál omočeného obvodu břehů	nCf	Reference
Ideálně hladký, smaltovaný či glazurovaný povrch	0,009	(Pavlovský in Agroskin <i>et al.</i> , 1955)
Cement, hladký vyrovnaný povrch	0,011	(Chow, 1959)
Cement, maltovaný	0,013	(Chow, 1959)
Kovový povrch, hladký, nenatřený	0,012	(Chow, 1959)
Kovový povrch, hladký, natřený	0,013	(Chow, 1959)
Betonový povrch, hladce vyrovnaný	0,015	(Chow, 1959)
Betonový povrch, zdrsňený štěrkem	0,017	(Chow, 1959)
Cihly, glazované	0,013	(Chow, 1959)
Cihly, uloženy v maltovaném cementovém loži	0,015	(Chow, 1959)
Hoblované dřevo	0,012	(Chow, 1959), (Endreny, 2006)
Nehoblované dřevo	0,013	(Chow, 1959), (Endreny, 2006)
Spárovaná kamenná dlažba	0,025	(Chow, 1959)
Kamenná dlažba na sucho	0,032	(Chow, 1959)
Kamenná rovnanina z ostrohranných úlomků lomového kamene	0,040	(Chow, 1959)
Kamenný pohoz/zához	0,031	modifikováno dle (Chow, 1959)
Balvan, převažující velikost frakce 256 mm	0,050	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 21)
Valoun, převažující velikost frakce 160 mm	0,040	modifikováno dle (Benson, Dalrymple, 1967, p. 21)
Valoun, převažující velikost frakce 64 mm	0,030	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 21)
Valoun/štěrk, převažující velikost frakce 64 mm	0,035	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 21)
Štěrk, převažující velikost frakce 33 mm	0,0315	modifikováno dle (Benson, Dalrymple, 1967, p. 21)
Štěrk, převažující velikost frakce 2 mm	0,028	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 21)
Mokřadní les, listnatý	0,140	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Mokřadní les, jehličnatý	0,160	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Mokřadní les, smíšený	0,150	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Horský les, listnatý	0,160	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Horský les, jehličnatý	0,180	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Horský les, smíšený	0,170	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Husté borovicové houští	0,180	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Mokřadní křovinná vegetace, listnatá	0,060	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)

Příloha 9 - pokračování

Mokřadní křovinná vegetace, jehličnatá	0,080	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Mokřadní křovinná vegetace, smíšená	0,070	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Horská křovinná vegetace, listnatá	0,070	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Horská křovinná vegetace, jehličnatá	0,090	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Horská křovinná vegetace, smíšená	0,080	(upraveno dle Chow, 1959, Barnes, 1967, Arcement, Schneider, 1989 in Bunya <i>et al.</i> , 2010)
Holá půda, vyrovnaná, bez vegetace	0,020	(Hamilton County government, January, 2008)
Holá půda, vyrovnaná, pokryta krátkým travním porostem	0,025	(Hamilton County government, January, 2008)
Holá půda, zvlněná, nevyrovnaná, bez vegetace	0,025	(Hamilton County government, January, 2008)
Holá půda, zvlněná, nevyrovnaná, pokryta krátkým travním porostem	0,030	(Hamilton County government, January, 2008)
Travní porost, dominantně multistonkové druhy, hustota osázení 60 veg/m ² , hloubka ponoření 0,10 m	0,0125	adaptováno dle (Abood <i>et al.</i> , 2006)
Travní porost, dominantně multistonkové druhy, hustota osázení 60 veg/m ² , hloubka ponoření 0,12 m	0,0185	adaptováno dle (Abood <i>et al.</i> , 2006)
Travní porost, dominantně multistonkové druhy, hustota osázení 60 veg/m ² , hloubka ponoření 0,14 m	0,027	adaptováno dle (Abood <i>et al.</i> , 2006)
Travní porost, dominantně jednonstonkové druhy, hustota osázení 60 veg/m ² , hloubka ponoření 0,10 m	0,024	adaptováno dle (Abood <i>et al.</i> , 2006)
Travní porost, dominantně jednonstonkové druhy, hustota osázení 60 veg/m ² , hloubka ponoření 0,12 m	0,023	adaptováno dle (Abood <i>et al.</i> , 2006)
Travní porost, dominantně jednonstonkové druhy, hustota osázení 60 veg/m ² , hloubka ponoření 0,14 m	0,0215	adaptováno dle (Abood <i>et al.</i> , 2006)
Rozptýlené keře, silně zapleveleno	0,050	(Chow, 1959)
Mírně hustá keřová vegetace se stromky, v zimě	0,050	(Chow, 1959)
Mírně hustá keřová vegetace se stromky, v létě	0,060	(Chow, 1959)
Středně hustá až hustá keřová vegetace, v zimě	0,070	(Chow, 1959)
Středně hustá až hustá keřová vegetace, v létě	0,100	(Chow, 1959)
Protierozní travní směs, dominantně kostřava, příklad pro $v = 3,05 \text{ m.s}^{-1}$, $R = 1,22 \text{ m}^{**}$	0,044	adaptováno dle (Hamilton County government, January, 2008)
Prosté zatravnění, neupravovaný pažit	0,035	(Chow, 1959)
Prosté zatravnění, zastřižený pažit	0,030	(Chow, 1959)
Otevřená krajina bez vegetace s výskytem vyvrácených pařezů	0,040	(Sigstad, 2018 in Li <i>et al.</i> , 2020), (Chow, 1959)
Protierozní geotextilie – jutová síť	0,022	(Hamilton County government, January, 2008)
Protierozní geotextilie – slaměné pletivo	0,030	upraveno dle (Hamilton County government, January, 2008)
Písek, $d_{50} = 1 \text{ mm}^*$	0,026	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 22)
Písek, $d_{50} = 0,8^*$	0,025	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 22)

Příloha 9 - pokračování

Písek, $d_{50} = 0,6^*$	0,023	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 22)
Písek, $d_{50} = 0,5^*$	0,022	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 22)
Písek, $d_{50} = 0,4^*$	0,020	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 22)
Písek, $d_{50} = 0,3^*$	0,017	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 22)
Písek, $d_{50} = 0,2^*$	0,012	(Benson, Dalrymple, 1967, p. 22)

Pozn.: * platné pro horní režim proudění (*valid for Upper flow regime only*)

**pro podmínky na lokalitě lze spočítat dle grafického materiálu v citované publikaci

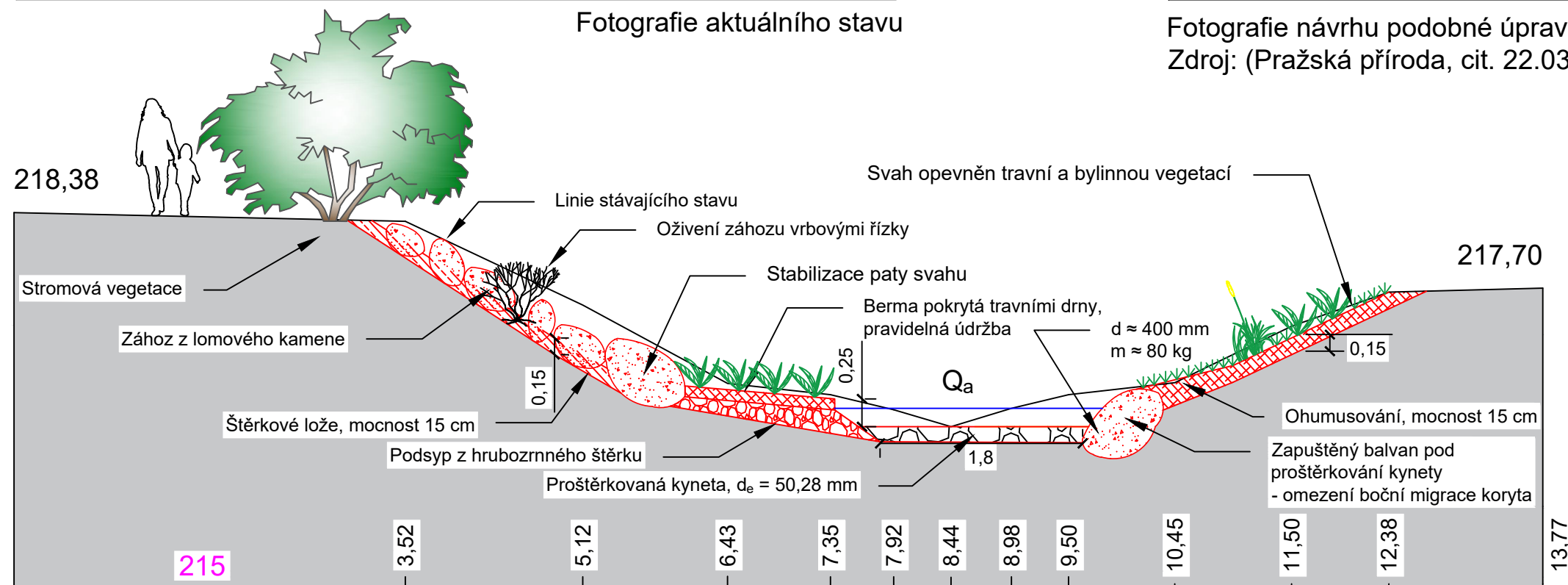
Příloha 10 - VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ "P2"- ÚSEK 1, ř. km 6,379



Fotografie aktuálního stavu



Fotografie návrhu podobné úpravy - Litovicko-Šárecký potok, Praha - Ruzyně
Zdroj: (Pražská příroda, cit. 22.03.2022)



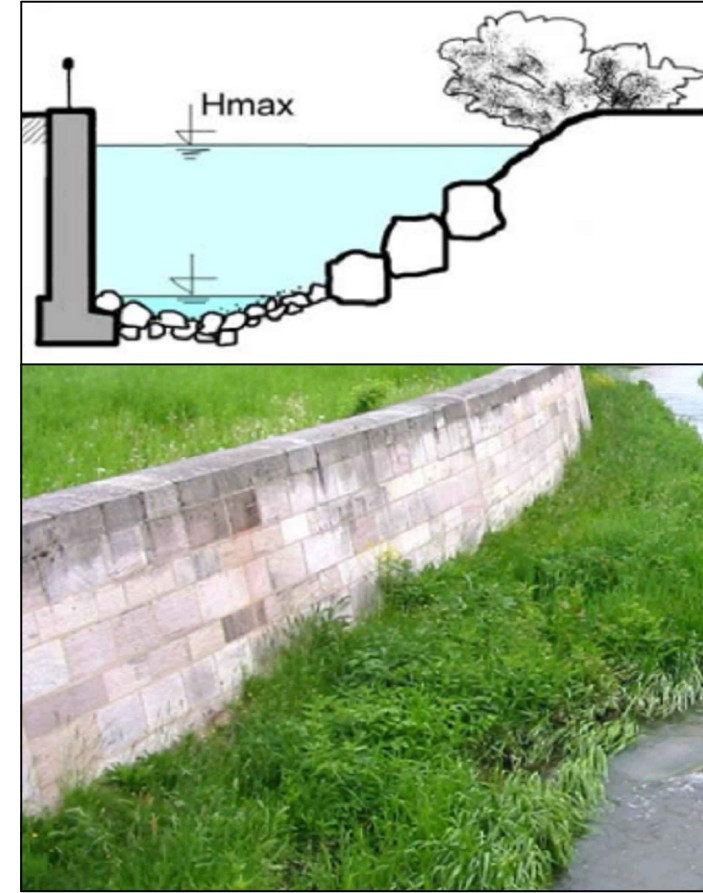
Kótováno v m

Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.
Zpracoval:	Miroslav Jonáš
Datum:	03/2022
Vodní tok:	Bouřlivec
Kraj:	Ústecký
Obec:	Lahošť
Měřítko:	1:50

Příloha 11 - VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ - "P4", ř. km 6,473



Fotografie stávajícího stavu oblasti



Fotografie a ilustrace obdobné navrhované úpravy. Zdroj: (Tomáš Just, AOPK, ČR)

Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.
Zpracoval:	Miroslav Jonáš
Datum:	03/2022
Vodní tok:	Bouřlivec
Kraj:	Ústecký
Obec:	Lahošť
Měřítko:	1:50

Svah a berma pokryty trávobylinnou vegetací, pravidelná údržba

Opevnění paty zdi těžkým pohoze, kamenivo >80 kg:
-zapuštění 15 cm do cementového lože

Linie stávajícího stavu

$d \approx 400 \text{ mm}$
 $m \approx 80 \text{ kg}$

Zachování stávajícího stavu:
-kvalitní opěrná zeď z kamenné dlažby

Cementové lože, mocnost 15 cm

Zhutnění zeminy, minimální mocnost u paty 25 cm

Stabilizační balvan v konkávě omezující boční pohyb koryta

Ohumusování, mocnost 15-30 cm

Balvanitá stabilizace v konvexe, mírný sklon navazující na bermu

3,30

215

6,81

7,49

8,67

9,80

10,78

11,51

12,05

12,57

14,28

14,99

18,14

21,49

Kótováno v m

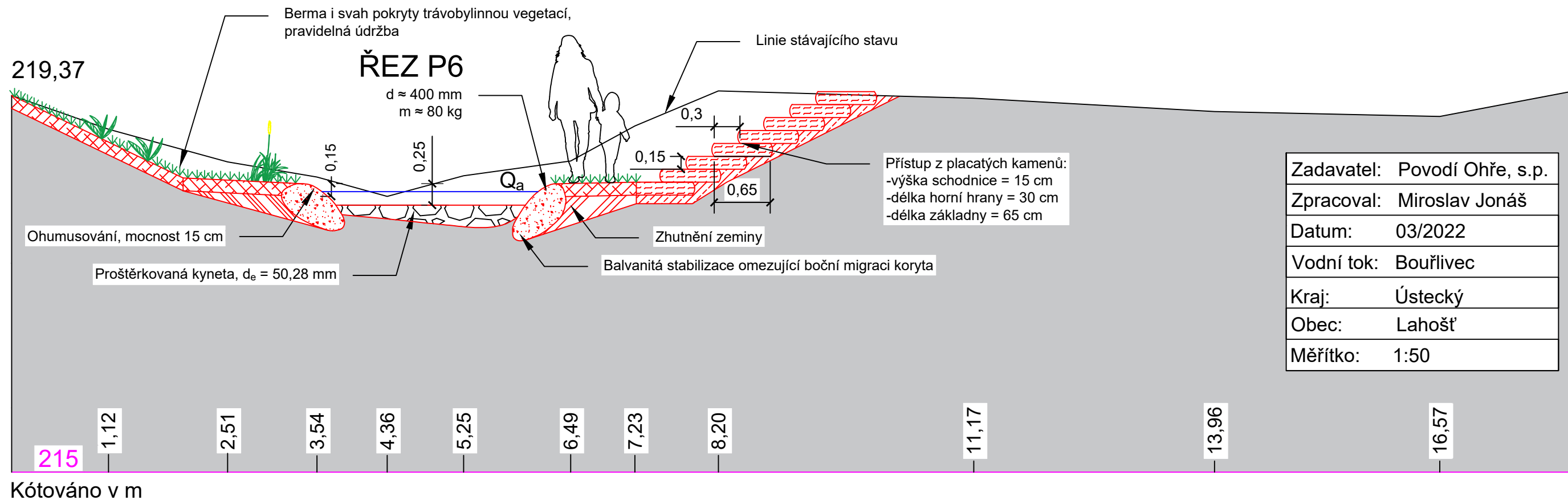
Příloha 12 - VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ "P6 - VAR 1"- ÚSEK 2, ř. km 6,542



Fotografie stávajícího stavu oblasti



Fotografie obdobné navrhované úpravy, zdroj: (M. Matoušková)

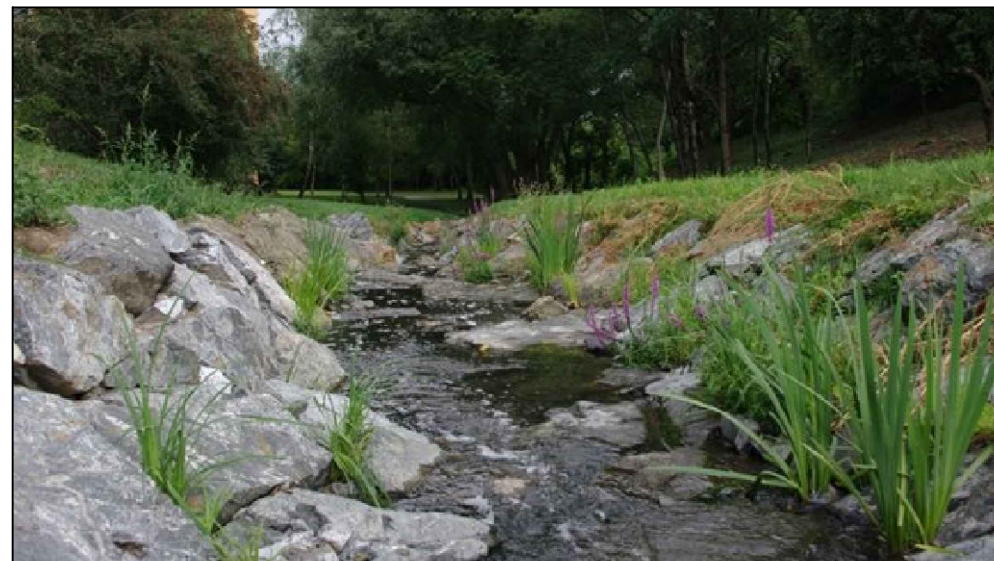


Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.
Zpracoval:	Miroslav Jonáš
Datum:	03/2022
Vodní tok:	Bouřlivec
Kraj:	Ústecký
Obec:	Lahošť
Měřítko:	1:50

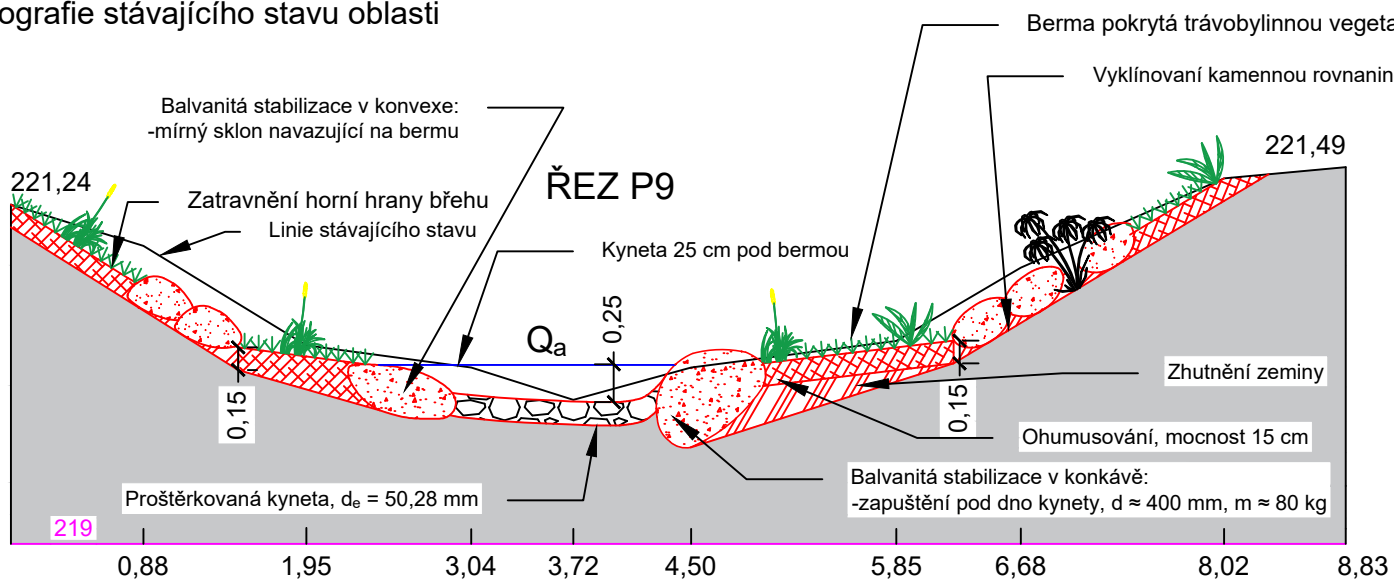
Příloha 14 - VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ "P9 - VAR 2" - ÚSEK 3, ř. km 6,710



Fotografie stávajícího stavu oblasti



Fotografie návrhu obdobné úpravy - Chodovecký potok. Zdroj: (J. Karnecki, cit. 28.03.2022)



Zadavatel:	Povodí Ohře, s.p.
Zpracoval:	Miroslav Jonáš
Datum:	03/2022
Vodní tok:	Bouřlivec
Kraj:	Ústecký
Obec:	Lahošť
Měřítko:	1:50

Kótováno v m